

Proposal for a matrix of minimum distances between AM broadcast stations for Venezuela based on the propagation curves ITU-R P.368

Fabián Robledo*

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

Abstract.- In this paper the technical rules of AM radio broadcasting in force in Venezuela are analyzed, and it is designed a proposed matrix with the minimum distances between AM transmitting stations in that nation, considering its various administrative classes, which serves as a reference to evaluate the compatibility between interfered/interfering stations. The matrix was developed considering the dominant mode of propagation of the surface-wave in hectometric frequencies, and the propagation curves from ITU-R Rec. P.368, relating the electrical conductivity of the terrain in the nation with the ones referred in the continental atlas of the Rec. ITU-R P.832. For the design, the current venezuelan protection ratios were considered (dB), and the matrix is proposed both for the bottom (500 kHz) as the top (1500 kHz) part of the AM band, with several conductivities. The range of values obtained for the minimum distances is between 44 km and 1850 km, depending on the classes of the stations, on the band sector in which they operate, on their frequency separation and on the conductivity. The study shows that the proposal is relevant for possible consideration in the planning of the AM broadcast network in Venezuela. It also warns about the need to review the protection ratios in the venezuelan regulations.

Keywords: AM; interference amplitude modulation; broadcasting; ground-wave; radio propagation.

Propuesta de una matriz de distancias mínimas entre estaciones AM para Venezuela basada en las curvas de propagación UIT-R P.368

Resumen.- En este artículo se analiza la normativa técnica de la radiodifusión sonora AM vigente en Venezuela, y se diseña una propuesta de matriz de distancias mínimas entre estaciones transmisoras AM para esa nación, considerando sus diversas clases administrativas, la cual sirve como referencia para evaluar la compatibilidad entre estaciones interferidas/interferentes. La matriz se elaboró considerando el modo dominante de propagación de la onda superficial en frecuencias hectométricas, y las curvas de propagación de la UIT-R de la Rec. P.368, relacionando además la conductividad eléctrica del terreno a nivel nacional con el atlas continental de la Rec. UIT-R P.832. Se consideraron para el diseño las relaciones de protección vigentes en Venezuela (dB), y la matriz se propone para la parte baja (500 kHz) y alta (1500 kHz) de la banda AM, con diversas conductividades. El rango de valores obtenido de las distancias mínimas se encuentra entre los 44 km y los 1850 km, dependiendo de las clases de las estaciones, del sector de la banda en que operen, de su separación de frecuencias y de la conductividad. El estudio demuestra que la propuesta realizada es pertinente para su posible consideración en la planificación de la red de radiodifusión AM en Venezuela. Se advierte también sobre la necesidad de revisar las relaciones de protección en la normativa venezolana.

Palabras claves: AM; interferencia; modulación de amplitud; onda de superficie; radiodifusión sonora; radiopropagación.

Recibido: enero 2018

Aceptado: junio 2018

1. Introducción

Dentro de los servicios de radiocomunicaciones que se explotan en Venezuela se encuentra el

correspondiente a la radiodifusión sonora, que emplea el método de modulación de amplitud (AM), el cual tienen por objetivo la difusión abierta y directa de mensajes de audiofrecuencia (voz y música) en la banda de frecuencias de onda media (MF o MW) por parte de las estaciones emisoras habilitadas para ello, suministrando información y entretenimiento al público en general situado en las localidades ubicadas en su área de cobertura.

*Autor para correspondencia:

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

El ente regulador que gestiona las habilitaciones de radiodifusión de los operadores en ese país es la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), y el marco legal que abarca lo relativo a las emisoras AM se soporta actualmente en el Reglamento sobre la Operación de las Estaciones de Radiodifusión Sonora [1], instrumento publicado en 1993. En lo que sigue se señalará a este instrumento como “el Reglamento”. Normas adicionales aún vigentes que no coliden con el Reglamento y que corresponden a la radiodifusión sonora AM en Venezuela se encuentran en parte del anterior Reglamento de Radiocomunicaciones [2], publicado en 1984.

Una acción importante en la planificación y gestión de la red del servicio AM consiste en determinar las distancias mínimas de separación que deben existir entre las antenas transmisoras de las estaciones radioeléctricas de los operadores, cuyas potencias de operación pueden ser de hasta 100 kW en el país, 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 o protección, definida por el ente regulador, soportada usualmente por la precedencia del otorgamiento de su habilitación administrativa o antigüedad.

Sin embargo, el Reglamento y la normativa adicional vigente disponible, incluyendo los manuales, instructivos y/o guías en relación a la radiodifusión sonora publicadas por CONATEL, no establecen normas o lineamientos directos sobre las distancias mínimas (km) que deberían satisfacerse entre las antenas de las estaciones de radio AM de los diversos operadores, a los fines de obtener una interferencia admisible o para que el fenómeno no esté presente en forma apreciable.

La omisión de una matriz reglamentaria de distancias mínimas entre estaciones AM también se observa al revisar la normativa actualizada de los EE.UU., cuando se estudia la documentación pertinente de la Federal Communications Commission (FCC), que incluye a la 47 CFR Part 73 Radio and Television Broadcast Rules, Subpart A: AM Broadcast Stations [3], así como también al analizar lo establecido con alcance mundial

por la Unión Internacional de Comunicaciones (UIT), organismo que no ha publicado en sus recomendaciones o reportes (incluyendo a las recomendaciones de la serie P y de la serie BS.) una matriz al respecto que sirva como guía de planificación para el servicio AM.

Sin embargo, se determinó que en el vecino país de Colombia su ente regulador, quien es el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MINTIC), elaboró en 2017 el Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en Amplitud Modulada, el cual incluye una “Matriz de distancias de protección (Km)” para el servicio de AM [4], observándose allí que se definen normativamente las distancias mínimas de operación entre estaciones AM, y que se encuentran en el rango comprendido entre 54 km y 670 km para estaciones que operan en la banda entre 500 kHz y 1500 kHz, y en donde se considera la interferencia cocanal y en canales adyacentes, advirtiéndose que las distancias mínimas se corresponden con los particulares niveles de intensidad campo eléctrico (mV/m) y las clases administrativas de las estaciones (que implican ciertas potencias máximas permitidas) definidas reglamentariamente en esa nación, los cuales son diferentes a las clases establecidas en Venezuela por el Reglamento, por lo que la reutilización de esa matriz no sería viable para el caso de Venezuela.

En Venezuela, el Reglamento establece en su Artículo 4 que una estaciones AM transmiten en un canal de la banda de frecuencias de 535 kHz a 1705 kHz (ondas hectométricas), y el Artículo 72 indica que se opera con un ancho de banda necesario (de media potencia) por canal de 10 kHz (nominal) y hasta de 20 kHz siempre que no se produzca interferencia. Además en los artículos numerados del 59 al 63 del Reglamento se categorizan las estaciones AM en cuatro clases administrativas, siendo éstas: a) Estaciones de canal despejado (EDCD). b) Estaciones regionales (ER). c) Estaciones locales (EL) y d) Estaciones locales restringidas (ELR), definiéndose en cada clase la potencia de operación máxima de operación (kW) (o potencia en la antena) y la intensidad de campo eléctrico (dB μ)

Tabla 1: Categorización oficial de las estaciones de radio AM en Venezuela, potencias de operación y contornos de nivel de intensidad de campo eléctrico que limitan las zonas de servicio primaria.

Clase de la estación AM	Potencia de operación, kW			Contorno límite de la zona de servicio primaria, dBμ		Artículo del Reglamento
	Diurna		Nocturna	Diurno	Nocturno	
	Mínima	Máxima				
Canal despejado (EDCD)	50	100	50	57,5	57,5	60
Regional (ER)	10	50	10	61,9	76,3	61
Local (EL)	1	10	5	61,9	80,0	62
Local restringida (ELR)	-	10	5	> 61,9	> 80,0	63

mínima de los modos diurno y nocturno que las estaciones deben colocar en la zona de servicio primaria, la cual está limitada por el contorno protegido de la onda de superficie, que es el modo de propagación dominante para el servicio en esa banda de frecuencias. Esta categorización en clases se resume en la Tabla 1 [1].

Considerando las clases de la Tabla 1, se estima oportuno disponer en el país de una matriz de distancias mínimas entre estaciones AM que permita planificar la red de radiodifusión y estimar si existe o no factibilidad técnica para la incorporación de una estación nueva coexistiendo con las preestablecidas bajo la figura de interferencia inexistente, admisible o perjudicial, matriz que deberá estar soportada por un modelo de interferencia que considere la radiopropagación dominante del modo de onda superficial (groundwave).

En este sentido, en un trayecto de radiocomunicación terrenal con visibilidad directa, se modela en general la propagación entre el transmisor y el receptor por medio de la superposición de una onda directa y una onda reflejada en el terreno, y dependiendo de la naturaleza del suelo, de la frecuencia de operación y de la polarización de la onda, se presenta también una componente adicional a superponer debida a la onda superficial, representadas conceptualmente en un trayecto de radiopropagación entre antenas en presencia de terreno como se indica en la Figura 1. La ecuación de propagación en el caso armónico para el campo eléctrico recibido es la suma fasorial/vectorial de estas tres componentes [5]:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \left[1 + \widehat{R}e^{-j\delta} + (1 - \widehat{R}) \widehat{A}e^{-j\delta} \right] \quad (1)$$

donde \vec{E}_0 es el vector intensidad de campo eléctrico recibida en condiciones de espacio libre y \vec{E} es el vector intensidad de campo eléctrico recibida en condiciones aproximadas a la realidad (con reflexión y difracción). El ángulo δ (rad) de la ecuación (1) corresponde a la diferencia de fase entre las ondas directa y reflejada, definido como:

$$\delta = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) l \quad (2)$$

siendo l la diferencia de recorrido (m) entre la onda reflejada y la onda directa, y λ es la longitud de onda (m). \widehat{R} en la ecuación (1) es el coeficiente de reflexión complejo en el punto de reflexión, que expresado en función de su magnitud $|\widehat{R}| = R$ y fase en retraso $arg(\widehat{R}) = -\beta$ es:

$$\widehat{R} = Re^{-j\beta} \quad (3)$$

y el parámetro adimensional \widehat{A} de la ecuación (1) es el factor de atenuación de Sommerfeld de la onda superficial, el cual depende del ángulo rasante, de la polarización, de la conductividad, de la permitividad del suelo, de la longitud de onda y de la distancia involucrada, según el modelo clásico de difracción de Bullington (validado por la UIT-R). Expresiones matemáticas para el cálculo del factor \widehat{A} son analizadas por Rábanos, Riera y Tomás [5], y por Barboza [6].

Fenomenológicamente, la onda superficial es el modo de propagación dominante en el rango de

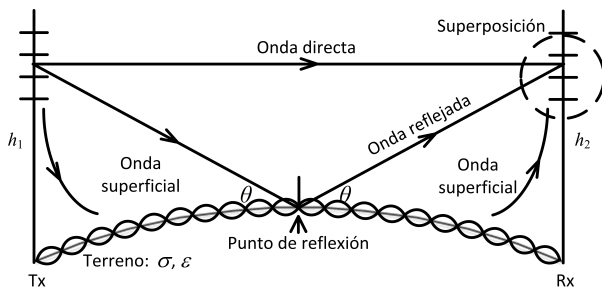


Figura 1: Modelo de superposición en el receptor de la onda directa, la onda reflejada y la onda superficial.

frecuencias que incluye la banda del servicio de AM. En ese rango de ondas hectométricas y para las alturas de antena típicas de las estaciones de radio, se tiene de la ecuación (3) que $\hat{R} \approx 1$ (válido para pequeños ángulos de incidencia en el punto de reflexión, situación típica) y de la ecuación (2) que $\delta \approx 0$ rad [6], por lo que en la ecuación (1) la onda directa y la onda reflejada prácticamente se anulan entre sí al estar en contrafase, y sólo queda como mecanismo de propagación significativo el remanente de la componente de la onda superficial, de modo que bajo este hecho la ecuación (1) se simplifica para la banda del servicio AM, resultando:

$$\vec{E} = 2\hat{A}\vec{E}_0 \quad (4)$$

En la práctica, la UIT propone estimar la intensidad de campo eléctrico \vec{E} (en magnitud) debida a la onda de superficie en forma alternativa a la ecuación (4), mediante el empleo de un juego de cartas con curvas de propagación normalizadas para frecuencias comprendidas entre 10 kHz y 30 MHz, presentes en la vigente Recomendación UIT-R P.368-9 de 2007 titulada: Curvas de propagación por onda de superficie para frecuencias comprendidas entre 10 kHz y 30 MHz [7].

Las curvas se suministran para diversos tipos de terreno (conductividad σ) y frecuencias de operación, determinándose en ellas el denominado campo eléctrico unitario E_G (dB μ) correspondiente a una potencia de operación de 1 kW y empleando una antena transmisora con polarización vertical que produce un campo característico E_C de 300 mV/m a 1 km de distancia, campo definido en la

señalada P.368-9. Ésta es una forma equivalente de especificar la ganancia de la antena, definiendo el campo característico, pues no es usual trabajar con la ganancia de antena o la potencia efectiva radiada en el argot de la radiodifusión AM en Venezuela. Las curvas de P.368-9 se pueden emplear para otra potencia de operación P_T (dBk) y un diferente campo característico E_C (mV/m), determinándose la magnitud del campo recibido E (dB μ) de la onda de superficie en esas condiciones de explotación, como señala Barboza [6]:

$$E = E_G + 20 \log_{10} \left[\frac{E_C}{300} \right] + 10 \log_{10} P_T \quad (5)$$

Por ejemplo, la FCC emplea en sus curvas de propagación AM (similares en concepto a las de la UIT) un campo característico de 346,4 mV/m en lugar de 300 mV/m [6]. Es oportuno indicar que el campo característico es función de la altura del mástil y del número y longitud de los radiales que forman el plano de tierra de la antena AM. La forma típica del campo eléctrico unitario E_G según la distancia se muestra en el ejemplo de la familia de curvas de la Figura 2, para una conductividad y permitividad dieléctrica del terreno determinadas (correspondientes al tipo de suelo, dependiendo de su grado de humedad) y diversas frecuencias de la banda de AM, considerando una potencia de 1 kW y un campo característico de 300 mV/m para una antena de referencia tipo monopolo vertical corto, como se refiere en la señalada ITU P.368-9. La línea recta en la Figura 2 corresponde a la inversa de la distancia asociada a suelo perfectamente conductor y nótese la atenuación adicional a grandes distancias debida al terreno.

La Rec. UIT-R P.368-9 suministra las curvas calibradas de onda superficial para diversos tipos de terrenos, y un rango extendido de frecuencias.

Sobre la base de los argumentos legales administrativos y teóricos expuestos, se tiene como objetivo del presente estudio el diseñar una matriz de distancias mínimas entre estaciones AM para las clases de las estaciones establecidas normativamente en Venezuela, que sirva como referencia para la planificación de la red y los estudios de factibilidad técnica de coexistencia,

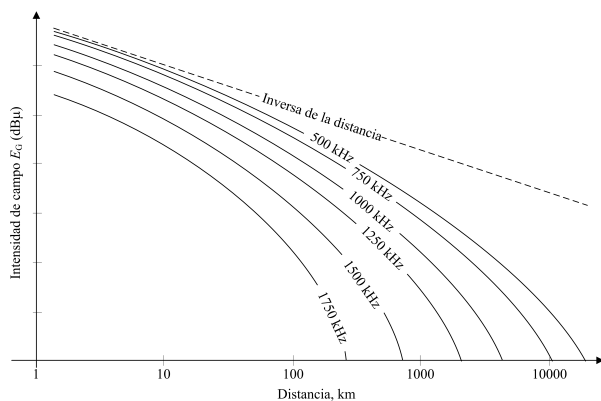


Figura 2: Ejemplo esquemático de las curvas de propagación de la onda superficial de la UIT, representando a la intensidad de campo eléctrico unitario contra la distancia, elaboradas para un determinado campo característico y una potencia de 1 kW.

elaborada empleando un método de propagación válido para el servicio primario, considerando el modelo de propagación de onda superficial señalado por la Rec. UIT-R P.368-9 con varios tipos de terreno presentes en Venezuela.

Diversos antecedentes de investigación oportunos se presentan en la sección 2, y la metodología a utilizar se describe en la sección 3. Los resultados obtenidos y su discusión se exponen en la sección 4, elaborándose las conclusiones pertinentes del estudio en la sección 5. Finalmente se señalan las referencias bibliográficas.

2. Antecedentes

En el ámbito del estudio del problema consistente en determinar adecuadamente a las distancias mínimas que deben existir entre estaciones de radiodifusión para la coexistencia sin interferencia perjudicial ni sobrealcance de la señal de radio, conviene señalar la investigación de Robledo y Castañeda [8], quienes propusieron en 2015 una matriz actualizada con las distancias mínimas requeridas entre emisoras que operan en la banda de frecuencia modulada (FM en VHF 88-108 MHz) ubicadas en Venezuela, basándose en un modelo que fue diseñado por los autores a tal efecto, soportado por las curvas de propagación de la FCC y también como alternativa por las

curvas de la UIT-R propuestas en la Rec. P. 1546, comparándose los resultados obtenidos. El análisis de esa investigación propició la transferencia conceptual del problema para adaptarlo a la banda AM (MF) en el presente estudio, considerándose las diferencias físicas de los modos dominantes de radiopropagación, consecuencia del empleo de distintas bandas de frecuencia para los servicios AM y FM, y empleando también las recomendaciones de la UIT-R adecuadas, en este caso para el servicio de modulación de amplitud.

En relación a otras investigaciones recientes de radiopropagación e interferencia en la banda AM, Torres y Oleas [9] publicaron en 2014 un estudio técnico con el diseño e implementación de una radio digital AM con cobertura en la zona centro del Ecuador, analizando el problema desde el eje de los estándares pertinentes en esa nación. En esa misma nación, en 2013 López y Villarruel [10] efectuaron el diagnóstico de la situación actual de los servicios de radio AM, FM y TV en el sur del país mediante el análisis de información del Sistema Automático de Control del Espectro Radioeléctrico (SACER) de la Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL), planteando soluciones técnicas para las irregularidades de mayor incidencia, incluyendo interferencias entre estaciones, calidad del servicio y monitorización.

En cuanto al modelado de propagación asociado al modo dominante en AM aplicable para cobertura e interferencia, Nishioka, Inasawa, y Konishi [11] efectuaron en 2013 la comparación de las predicciones teóricas de las características de propagación por onda superficial en la banda de onda media y en terrenos mixtos tierra-mar (Métodos de Rotheram y de Millington), contra resultados medidos en Japón. Se trata de modelos computacionales emergentes más allá de lo establecido por la UIT-R y la FCC.

En un sentido similar, Apaydin y Sevgi [12] analizaron en 2013 la propagación por onda superficial en distancias cortas, como alternativa de modelado de precisión de fuente en comparación con los modelos de largo alcance. Adicionalmente, el modelado de propagación de la onda superficial fue revisado en 2011 por Apaydin, Ozgun, Kuzuoglu y Sevgi [13], quienes publicaron un

modelo computacional de propagación de dos rayos basado en la ecuación parabólica de elementos finitos, para tomar en cuenta los efectos de dispersión hacia atrás de la onda de superficie en terreno irregular y en atmósfera no homogénea, refiriendo que el modelo fue verificado y calibrado, lo que enriquece las opciones de cómputo a evaluar más allá de lo que establecen canónicamente las entidades como la FCC y la UIT-R, siendo importante señalar que la UIT-R presenta una mayor recurrencia en la actualización de sus recomendaciones en el tiempo, en comparación con la reglamentación de la FCC.

En relación a la normativa y los parámetros de las estaciones de radiodifusión sonora, Erazo [14] efectuó en 2009 el análisis de la tecnología de redes de isofrecuencia y su aplicación a la radiodifusión en las bandas de AM/FM para la optimización del espectro en la ciudad de Quito, interpretando la situación de interferencia y la normativa, comparada con la establecida por la UIT-R. Finalmente Cely, Bravo y Medina [15] realizaron en 2015, en Ecuador un estudio del comportamiento de las portadoras AM en radiodifusión, con el fin de poder obtener datos estadísticos de la utilización de los canales de transmisión licenciados por el ente regulatorio nacional de ese país, ARCOTEL.

Estos antecedentes de modelado, análisis técnico y normativo del problema de propagación e interferencia en la banda de radiodifusión AM facilitaron el diseño de la metodología para abordar el problema planteado en esta investigación.

3. Metodología

La investigación contempló inicialmente el análisis de la Recomendación UIT-R SM.337-8 de 2008, titulada: Separaciones en frecuencia y en distancia [16], donde se describen los procedimientos para calcular la separación de frecuencia y distancia entre estaciones con el objeto de obtener un nivel de interferencia de RF admisible. Allí se plantea un método de estimación de distancias mínimas que incluye consideraciones de variabilidad estadística, pero que se decidió no aplicarlo en el presente estudio debido a que

no toma en cuenta la interferencia en el aire de los campos de las estaciones en una determinada localidad (de sus enlaces tipo punto-zona), sino que asume la coexistencia de sus respectivas señales justo en el puerto de entrada de RF (o “front end”) del receptor que recibe las señales interferida e interferente (enfoque de enlace punto-punto), lo que requiere el conocimiento de las características de la antena receptora (sintonía y ganancia) y de las pérdidas de su alimentador de línea de transmisión (junto con su estado de adaptación), elementos de difícil estimación en la planificación, pues presentan amplia variabilidad según el fabricante y la tecnología de antena/receptor empleada, dificultando el análisis para una propuesta que sea válida para la red nacional a los fines de planificación general. En consecuencia, se abordó la construcción de un modelo dedicado a tal efecto, que evalúe la interferencia de en el aire (campo eléctrico) de las señales de radiodifusión a los fines de independizarse de las particularidades de la antena receptora.

Para el diseño de una matriz de distancias mínimas en AM aplicable en la nación, se consideró la interferencia en Venezuela entre dos estaciones, una preexistente o “interferida” y otra más reciente o “interferente”, coexistiendo en un determinado territorio y separadas por una distancia d (km). Cada estación pertenece a una determinada clase, lo que según la Tabla 1 define su potencia máxima de operación. Se supondrán estaciones AM operando en condiciones diurnas que impliquen potencias que proporcionen el mayor tamaño permitido del área de cobertura, lo que conlleva operar a la potencia máxima diurna.

En el modelado se estimó como marginal el efecto de las reflexiones ionosféricas, considerando sólo la propagación diurna por onda superficial, basada esta decisión en la atenuación de potencia (dB) que exige la reglamentación en la transición día/noche de los operadores (Tabla 1), para evitar el sobrealcance nocturno, y como método de normalización de las condiciones de propagación. También se asumirán patrones de radiación de antena omnidireccionales (sin arreglos multi-mástil), criterio típico en las herramientas de planificación de la red. También se despreció la

componente transhorizonte sobre tierra esférica.

El campo característico E_c requerido en la ecuación (5) depende de la altura del mástil del monopolo y puede determinarse según la curva de la Figura 3, establecida por los entes nacionales reguladores de la radio AM en EE. UU. [3], México [17] y Perú [18], empleando 120 radiales de longitud $\lambda/4$ para el plano de tierra. En Venezuela, el Reglamento en su Artículo 80, establece el rendimiento mínimo del campo característico (denominado allí como “eficiencia de radiación”) asumiendo una conductividad del suelo = 4 mS/m, y que define los valores correspondientes a E_c para diversas alturas de los mástiles, como se indica en la Tabla 2.

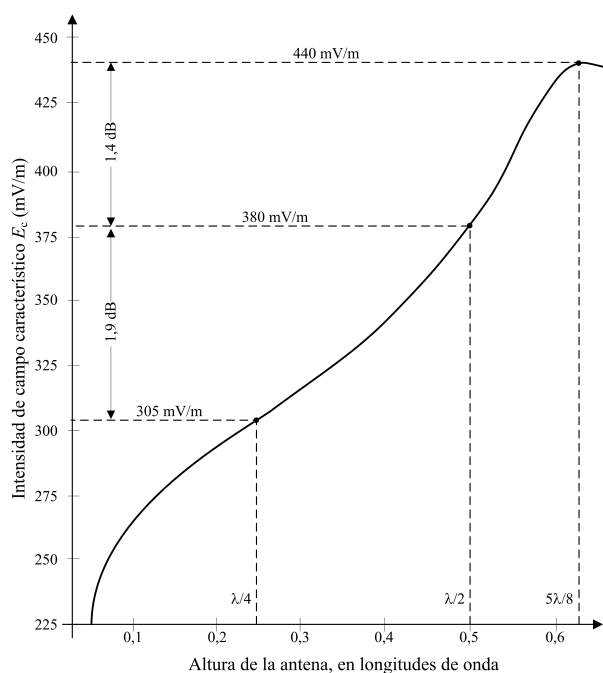


Figura 3: Intensidad de campo característico de una antena monopolo vertical para el servicio AM empleada por las administraciones en EE.UU., México y Perú.

Nótese que lo valores representativos de la altura de mástil de antena referidos en la Tabla 2 son $\lambda/4$, $\lambda/2$ y $5\lambda/8$, y en la Figura 3 se indican sus correspondientes campos característicos E_c , observándose que los valores se encuentran entre los 305 mV/m y 440 mV/m, respectivamente (para un rango de 3,2 dB).

Tabla 2: Eficiencia de radiación mínima de las antenas el servicio de radiodifusión AM en Venezuela, según el Artículo 80 del Reglamento.

f_{op} (kHz)	Longitud del mástil, unidades λ	$E_{mín}$ mV/m
< 950	1/4	270
	1/2	330
	5/8	380
960 – 1300	1/4	260
	1/2	320
> 1300	1/8	210
	1/4	250

f_{op} : Frecuencia de operación
 $E_{mín}$: Intensidad de campo mínima a 1 km

Dado que este último campo eléctrico de 440 mV/m representa el valor máximo absoluto del campo característico según las referencias de la Figura 3 y de la Tabla 2, se consideró el mismo en este estudio para su aplicación en la ecuación (5) correspondiente a los cálculos de radiopropagación de las estaciones interferida e interferente, siendo esta decisión consistente con la consideración de evitar el sobrealcance a efectos de estimar las distancias en procesos de planificación de la red y de validación de factibilidad de coexistencia (un mayor campo eléctrico ocurre más cerca de la estación que lo produce).

En relación a la conductividad del terreno σ , es necesario definir ésta para el suelo entre las estaciones que interfieren. La conductividad puede experimentar cambios asociados al tipo de suelo y su grado de humedad, y es un parámetro que afecta significativamente el factor de Sommerfeld \hat{A} de la ecuación (4), y en consecuencia al campo unitario E_G . debido a la onda superficial.

En Venezuela, se dificulta ubicar estudios publicados que suministren información de éste parámetro a escala nacional y regional para las estaciones seca y lluviosa, por lo que a efectos de estimación se consideró emplear los valores establecidos por la UIT-R en la Rec. P.832-3 [19] que consiste en un atlas mundial de conductividad del suelo, con curvas iso- σ , señalándose allí textualmente que los valores suministrados son adecuados para obtener las mejores estimaciones posibles a efectos de

planificación en radiocomunicaciones en ondas hectométricas, justamente la aplicación que se trata en la investigación.

Analizando el mapa de América del Sur del señalado ese atlas se determinó por inspección la conductividad en múltiples estados de Venezuela en ondas hectométricas, según se observa en la Tabla 3, advirtiendo que el rango de valores de σ para ese país se encuentra entre 1 mS/m y 25 mS/m, intervalo que respalda la selección de los 4 mS/m para la definición de los contornos presentados la Tabla 2 obtenidos del Reglamento (Artículo 80).

Al analizar el contenido de la mencionada Rec. UIT-R P.368-9 que contiene las curvas de propagación por onda de superficie, se observa que abarca varios tipos suelos, siendo las conductividades las siguientes: Tierra húmeda (10 mS/m), tierra (3 y 30 mS/m), tierra moderadamente seca (1 mS/m), tierra seca (0,3 mS/m), tierra muy seca (1 mS/m); entre otras, con valores de permitividad relativa (constante dieléctrica ϵ) comprendidas entre 3 y 80. Se descarta la consideración de agua de mar debido a que el Reglamento no califica como zonas de servicio a las áreas marítimas, como se refiere en su Artículo 66 [1].

Tabla 3: Conductividad eléctrica del suelo de algunos de los estados y regiones de Venezuela, para ondas hectométricas. Datos obtenidos en la carta de América del Sur del atlas mundial de UIT-R P.832-3.

Estado o región	Conductividad eléctrica, mS/m
Amazonas y parte de Bolívar.	1
Parte de Aragua, parte de Bolívar, Carabobo, Distrito Capital, parte de Lara, parte de Miranda, Nueva Esparta, parte de Mérida, Sucre, parte de Táchira, Trujillo, Yaracuy y parte de Zulia.	4
Parte de Apure, parte de Bolívar, parte de Barinas, Falcón, parte de Lara, parte de Portuguesa, y parte de Zulia.	10
Anzoátegui, Parte de Apure, parte de Barinas, Cojedes, Delta Amacuro, Guárico, parte de Miranda, Monagas y parte de Portuguesa.	25

Considerando que es necesario cruzar el rango de valores de conductividad plausibles para Venezuela referido en la Tabla 3 con el rango que ofrecen las cartas de la Rec. P.368-9, se decidió realizar los cálculos de propagación por onda superficial con dos tipos de terreno ofrecidos en la recomendación: Uno correspondiente al tipo de terreno “Tierra”, con $\sigma = 3$ mS/m y $\epsilon = 40$, y otro con el tipo de terreno “Tierra”, con $\sigma = 30$ mS/m y $\epsilon = 40$. Este espectro de valores de σ cubre la mayor parte del territorio y población nacional, y suministra resultados por exceso en los campos eléctricos, adecuados para disponer de un factor de seguridad de alcance en los resultados, necesario para la planificación de la red para el servicio de AM.

Adicionalmente, los cálculos de propagación de la propuesta se realizaron para frecuencias ubicadas en la parte inferior y superior de la banda AM, compatibles con cartas de propagación disponibles, las cuales fueron 500 kHz y 1500 kHz, situadas relativamente cerca de los límites de la banda comercial de AM en Venezuela.

Al analizar la interferencia entre un par de estaciones AM debe considerarse la relación de protección RP (indicada en dB) que compara el nivel de campo eléctrico producido en un sitio por la estación interferida E_D (dB μ) con el nivel de campo eléctrico en el mismo sitio debido a la estación interferente E_U (dB μ), especificando el criterio para una operación en condiciones de interferencia admisible, según la relación de interferencia (dB):

$$E_D - E_U \geq RP \tag{6}$$

siendo el caso crítico de interferencia admisible el que corresponde a la igualdad en la relación (6), luego del cual habría interferencia perjudicial en el sitio de evaluación. Para el servicio de AM, el Reglamento en su Artículo 71 especifica las relaciones de protección que deben satisfacer las estaciones, dependiendo de la separación de frecuencia entre las portadoras (estaciones cocanales o en canales adyacentes). Los valores administrativos de RP de ese artículo se suministran en la Tabla 4. CONATEL ratifica esos valores en su documentación publicada

vigente en relación a la radiodifusión AM. Sin embargo, en el Reglamento no se especifica el ancho de banda de audiofrecuencia el cual se asume en el orden de los 4,5 kHz debido al sistema de modulación en doble banda lateral con gran portadora y al ancho de banda de RF entre canales reglamentario de 10 kHz. Tampoco se establece allí si las relaciones de protección implican o no empleo de un sistema de compresión de audiofrecuencia, y si esta compresión de audio sería ligera o grande, cuestiones que son importantes para establecer adecuadas relaciones de protección en canales adyacentes según la Recomendación UIT-R BS.560-4 de 1997, titulada Relaciones de protección en radiofrecuencia para la radiodifusión en ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas [20].

Tabla 4: Relaciones de protección entre estaciones AM establecidas por el Reglamento (Artículo 71) y CONATEL, según la separación de frecuencias.

Canal	Δf kHz	Relación de protección, RP	
		E_{rel}	dB
Cocanal	0	20:1	26
1 ^{er} Canal adyacente	10	1:1	0
2 ^{do} Canal adyacente	20	1:32	-30
3 ^{er} Canal adyacente	30	1:90	-39

Δf : Separación de frecuencia.

E_{rel} : Campo eléctrico relativo.

Es oportuno comparar las relaciones de protección reglamentarias en Venezuela de la Tabla 4 con las indicadas en la mencionada Rec. UIT-R BS.560-5, la cual recomienda el aplicar determinados valores de las relaciones de protección en radiofrecuencia para la radiodifusión sonora en ondas hectométricas (Banda 6: 300 kHz – 3 MHz). Según ese documento, para emisiones cocanal la relación de protección en radiofrecuencia es de 40 dB en el caso de señales estables (onda de superficie). Sin embargo en la Nota 2 de la misma referencia se señala que en 1981 la Conferencia Administrativa Regional de Radiodifusión por ondas hectométricas (Región 2, donde se ubica Venezuela) utiliza una relación de protección

cocanal significativamente inferior, de 26 dB, para los servicios establecidos por onda de superficie, siendo este valor idéntico al indicado en la Tabla 4 para condición cocanal en Venezuela.

La recomendación BS.560-5 establece también que las relaciones de protección para los canales adyacentes para un ancho de banda de audio de 4,5 kHz y una compresión ligera de la señal de audio, serían de -6 dB para 10 kHz de separación de portadoras, y de -29 dB para 20 kHz de separación, y que en el caso de que se empleara una gran compresión de audio (típico en el servicio AM comercial) las relaciones de protección requeridas serían de -10 dB y -29 dB, respectivamente. Estos valores difieren de los que se indican en la Tabla 4. La recomendación no señala el valor de la relación de protección para 30 kHz entre portadoras. De lo anterior se estima recomendable la revisión y posible actualización de los valores reglamentarios de las relaciones de protección en Venezuela para el servicio AM. No obstante, para el estudio se consideraron las relaciones reglamentarias vigentes de la Tabla 4.

El análisis de interferencia implica validar el cumplimiento de la relación (6) para el caso crítico, y dado que la Tabla 1 establece el contorno límite de la zona de servicio primaria ($\text{dB}\mu$), se consideró el valor diurno allí indicado como el nivel de campo de la estación interferida E_D , ($\text{dB}\mu$), con lo que inmediatamente queda establecido el nivel de campo límite que puede producir la estación interferente E_U para satisfacer la RP (dB) obteniéndose:

$$E_U = E_D - RP \quad (7)$$

La selección del valor del campo diurno en lugar del nocturno de la Tabla 1 se efectuó debido a que se trata del valor mínimo de campo eléctrico, el cual maximizará la cobertura, una premisa del diseño para las distancias mínimas entre estaciones a satisfacer a los fines de planificación de la red. Se supone también que la mitigación exigida del campo nocturno en el Reglamento, con respecto al campo diurno en la Tabla 1 (lo cual implica la reducción de la potencia de emisión nocturna al anochecer) se debe a la contribución nocturna adicional del modo de propagación de

la onda ionosférica, y que la relación en dB entre esos dos niveles de campo eléctrico debiera haber sido calculada por el diseñador (el ente regulador) tomando en cuenta un alcance similar para la superposición (coherente) de la onda ionosférica más la onda superficial, de manera que la cobertura efectiva no varíe significativamente con la transición día-noche. Esto facilita que la estimación de la matriz de distancias mínimas de la presente investigación se efectúe considerando únicamente el modo diurno, sin componente de reflexión ionosférica, al ser equivalente a la suma del modo nocturno que incluye a la onda ionosférica mitigada por reducción de potencia, más la onda superficial.

Sobre la base de los argumentos expuestos y resumiendo la metodología, el modelo propuesto para la determinación de la distancia mínima entre dos estaciones AM de clases dadas se basa en el empleo de las curvas de propagación UIT-R P.368-9 señaladas en la sección 2, e implica que se calcule para la estación interferida la distancia d_1 (km) desde su sitio de transmisión hasta su contorno de servicio primario diurno E_D (dB μ), para la potencia de operación máxima de su clase, P_{TD} (dBk) y un campo característico máximo de 440 mV/m, o bien $E_C \approx 113$ dB μ . Sustituyendo estos datos en la ecuación (5) se calcula el campo eléctrico unitario de la estación interferida, E_{GD} (dB μ):

$$E_{GD} = E_D - 20 \log_{10} \left(\frac{440}{300} \right) - P_{TD} \quad (8)$$

y con el valor unitario obtenido de E_{GD} (dB μ), se entra en la curva de propagación seleccionada de la Rec. UIT-R P.368-9 correspondiente a la conductividad del terreno y a la frecuencia de operación, pudiéndose entonces determinar la distancia d_1 (km).

A continuación, y de acuerdo a la relación de protección RP (dB) exigida por la separación de frecuencia entre estaciones (Tabla 4), empleando la ecuación (7) se obtiene el nivel de campo eléctrico de la estación interferente, E_U (dB μ), correspondiente a la estación interferente justo el sitio que subtiende la distancia d_1 previamente calculada desde la estación interferida, de manera

que se cumpla exactamente la relación de protección exigida. Esto permite determinar el nivel campo unitario de la estación interferente, E_{GU} (dB μ) en ese punto, luego de lo cual, utilizando nuevamente a la ecuación (5), esta vez para la estación interferente la cual opera con su potencia P_{TU} (dBk) implicará, para su nivel de campo unitario, la relación:

$$E_{GU} = E_U - 20 \log_{10} \left(\frac{440}{300} \right) - P_{TU} \quad (9)$$

Seguidamente, con el valor unitario del campo E_{GU} de la ecuación (9), se entra en la curva de propagación seleccionada de la Rec. UIT-R P.368-9 para la conductividad del terreno y la frecuencia de operación, resultando entonces la distancia d_2 (km) medida desde el sitio de ubicación de la estación interferente hasta el punto de evaluación de la interferencia, que coincide con la ubicación del contorno subtendido por d_1 (km) desde la estación interferida, donde los campos están en una relación de interferencia dada exactamente por la RP (dB).

La estimación de d_1 y d_2 puede realizarse ya sea manualmente en las curvas o bien por medio del software GRWAVE de la ITU [7], teniendo en cuenta el requerimiento de emulador x86.

La condición crítica para establecer el límite de distancia entre estaciones AM para una interferencia admisible será la que exige que las circunferencias de los contornos de servicio centrados en las estaciones (de radio d_1 para la interferida, y de radio d_2 para la interferente) sean tangentes justo en la frontera donde se satisfacen las ecuaciones (7), (8) y (9). De esta manera la distancia mínima requerida entre las dos estaciones en estudio, denotada como d (km) será:

$$d = d_1 + d_2 \quad (10)$$

En la Figura 4 se suministra un gráfico ilustrativo que complementa la metodología diseñada en esta sección para obtener la distancia mínima d de la ecuación (10) entre un par de estaciones AM en condiciones de interferencia. Se reutiliza la metodología conceptual señalada por Robledo y Castañeda [8], pero adaptada en este caso para estaciones en la banda AM en lugar de FM. En

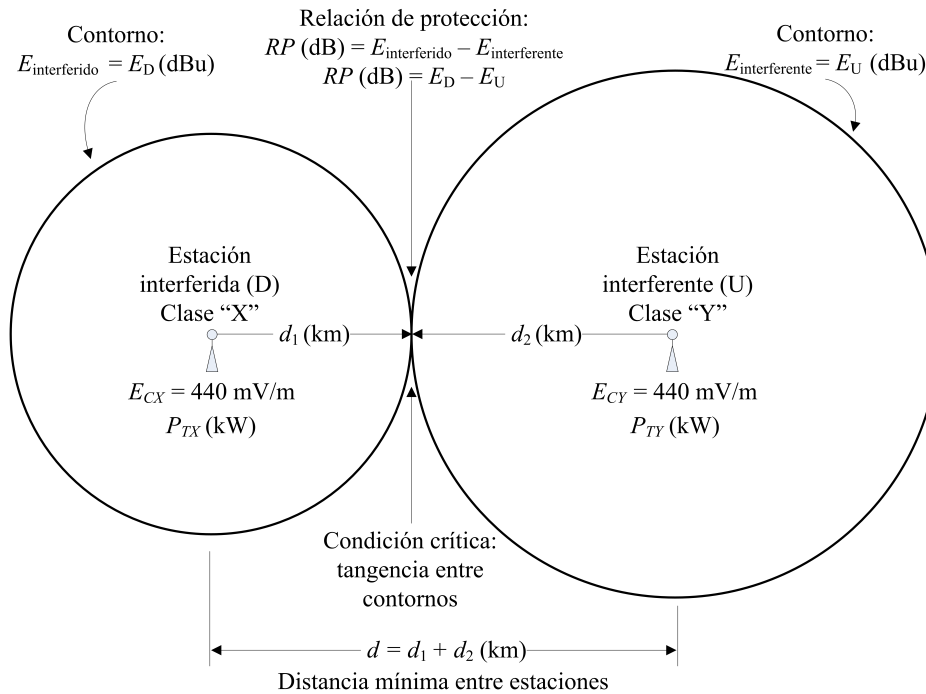


Figura 4: Gráfico ilustrativo de la metodología diseñada para estimación de la distancia mínima entre estaciones AM.

la Figura 4, a la izquierda está el contorno de servicio circular de la estación interferida "X", el cual se tiene para la distancia d_1 con respecto a esa estación, y a la derecha el contorno de servicio del campo de la estación interferente "Y", que se presenta a la distancia d_2 de esa estación.

La ubicación de los dos contornos se calcula para la potencia máxima de operación de las estaciones según su clase, y con el campo característico máximo de 440 mV/m que corresponde a un mástil de $\lambda 5/8$ con 120 radiales de $\lambda/4$ para el plano de tierra, considerando las frecuencias y la conductividad del terreno, supuesto homogéneo. La condición límite de interferencia admisible se impone mediante la tangencia de los dos contornos, resultando en la suma $d = d_1 + d_2$ para la separación mínima entre estaciones. Esta es la distancia mínima requerida de separación.

El procedimiento y sus cálculos descritos se repiten posteriormente para todas y cada una de las combinaciones administrativas posibles de estaciones AM según sus diversos tipos de clases, hasta obtener los valores para todas las celdas de la nueva matriz de distancias mínimas

requeridas objeto de la investigación, válida para los tipos de terreno seleccionados y las subbandas de frecuencia en consideración, situados convenientemente en los límites de la banda AM. (partes baja y alta de la banda).

4. Análisis y discusión de resultados

Una vez diseñada la metodología descrita en la sección 3, empleando una hoja de cálculo Excel se realizaron los cálculos que permitieron determinar todas las distancias mínimas d entre dos estaciones AM de clases arbitrarias, definidas según la ecuación (10), cuyos resultados se presentan en la Tabla 5. Allí se emplean los acrónimos de las clases de las estaciones señalados en la Tabla 1. La Tabla 5 suministra las distancias mínimas requeridas para las frecuencias seleccionadas en los extremos aproximados de la banda AM de 500 y 1500 kHz, con conductividades estimadas de 3 y 30 mS/m, correspondientes ambas a tierra con dos grados diferentes de humedad, selección adecuada para caracterizar a las temporadas nacionales seca y lluviosa, y separación de frecuencias Δf (kHz) dada entre las

Tabla 5: Matriz de distancias mínimas de separación entre estaciones AM propuesta para Venezuela (km), calculadas para la onda superficial en modo diurno, obtenidas a partir de la Rec.UIT-R P.368-9, determinadas a frecuencias de 500 kHz y 1500 kHz, en cocanal y canales adyacentes, sobre tierra con conductividades de 3 y 30 mS/m.

Clase		EDCD _D (Interferida)															
<i>f_{req}</i> (kHz)		500				1500				1500							
<i>σ</i> (mS/m)		3		30		3		30		3		30					
$ \Delta f $ (kHz)		0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30
<i>RP</i> (dB)		26	0	-30	-39	26	0	-30	-39	26	0	-30	-39	26	0	-30	-39
EDCD _U		730	420	265	238	1850	1300	790	705	323	166	100	93	690	460	285	262
ER _U		690	415	255	233	1790	1225	743	690	298	156	98	92	670	435	276	256
EL _U		610	355	237	224	1610	1070	698	671	253	131	93	89	590	380	260	245
ELR _U		610	355	237	224	1610	1070	698	671	253	131	93	89	590	380	260	245

Clase		ER _D (Interferida)															
<i>f_{req}</i> (kHz)		500				1500				1500							
<i>σ</i> (mS/m)		3		30		3		30		3		30					
$ \Delta f $ (kHz)		0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30
<i>RP</i> (dB)		26	0	-30	-39	26	0	-30	-39	26	0	-30	-39	26	0	-30	-39
EDCD _U		635	345	209	186	1580	1020	563	512	266	121	70	64	590	360	212	192
ER _U		595	330	199	182	1520	960	555	506	246	112	68	63	555	340	208	189
EL _U		505	290	184	173	1360	830	508	492	196	96	63	60	490	295	190	180
ELR _U		505	290	184	173	1360	830	508	492	196	96	63	60	490	295	190	180

Clase		EL _D (Interferida)															
<i>f_{req}</i> (kHz)		500				1500				1500							
<i>σ</i> (mS/m)		3		30		3		30		3		30					
$ \Delta f $ (kHz)		0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30
<i>RP</i> (dB)		26	0	-30	-39	26	0	-30	-39	26	0	-30	-39	26	0	-30	-39
EDCD _U		595	305	169	146	1450	890	433	382	250	105	54	48	545	315	167	147
ER _U		555	290	159	142	1390	830	425	379	230	96	52	47	510	295	163	144
EL _U		465	250	144	133	1230	700	378	362	180	80	47	44	445	250	145	135
ELR _U		465	250	144	133	1230	700	378	362	180	80	47	44	445	250	145	135

Clase		ELR _D (Interferida)															
<i>f_{req}</i> (kHz)		500				1500				1500							
<i>σ</i> (mS/m)		3		30		3		30		3		30					
$ \Delta f $ (kHz)		0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30
<i>RP</i> (dB)		26	0	-30	-39	26	0	-30	-39	26	0	-30	-39	26	0	-30	-39
EDCD _U		595	305	169	146	1450	890	433	382	250	105	54	48	545	315	167	147
ER _U		555	290	159	142	1390	830	425	376	230	96	52	47	510	295	163	144
EL _U		465	250	144	133	1230	700	378	362	180	80	47	44	445	250	145	135
ELR _U		465	250	144	133	1230	700	378	362	180	80	47	44	445	250	145	135

EDCD: Estación de canal despejado.

EL: Estación local.

U: Subíndice (Interferente).

D: Subíndice (Interferida).

ER: Estación regional.

ELR: Estación local restringida.

f_{req}: frecuencia.

estaciones interferida e interferente, transmitiendo éstas ya sea en condición cocanal ($\Delta f = 0$ kHz) o en canales adyacentes (primero, segundo o tercero, con valores de Δf de ± 10 kHz, ± 20 kHz y ± 30 kHz, respectivamente), y sus correspondientes relaciones de protección RP (dB) reglamentarias, definidas de acuerdo a la Tabla 4.

Al analizar la matriz de la Tabla 5 se observa que la distancia entre estaciones aumenta a medida

que se incrementa la conductividad del suelo, y también que disminuye en el caso en que se incremente la frecuencia de las estaciones (porción de la banda donde operan), resultados de acuerdo con el modelo de la onda superficial. Además, la distancia mínima *d* aumenta conforme disminuye la separación de frecuencia Δf de las portadoras, siendo máxima en la operación cocanal (la condición más perjudicial).

El rango de valores calculados de las distancias mínimas de la matriz de la Tabla 5 se encuentra entre un mínimo los 44 km para un escenario de baja conductividad, alta frecuencia en la banda AM, considerando ambas estaciones de la clase Local Restringida ELR, operando con una separación de tercer canal adyacente; y un máximo de 1850 km para un escenario de alta conductividad, baja frecuencia en la banda AM, considerando ambas estaciones en la clase de Canal Despejado EDCD, operando en frecuencia cocanal (en el caso hipotético en que tal explotación fuera permitida administrativamente).

Este intervalo de distancias mínimas comprendido entre 44 y 1850 km posee casi dos órdenes de magnitud de separación. Se puede comparar este rango de distancias con el establecido en la normativa del MINTIC de Colombia [4] (señalada en la sección 1) situado entre un mínimo de 54 km y un máximo de 670 km para estaciones AM en la banda entre 500 kHz y 1500 kHz, si bien se desconoce cuál fue la conductividad asumida del terreno en ese estudio, y las relaciones de protección empleadas por esa nación, de ahí la diferencia de resultados con la propuesta, justificada además por los diferentes valores de potencias de operación con respecto a las de Venezuela, dado que las clases administrativas son diferentes entre ambos países.

Se advirtió que algunos de los valores de distancia mínima de la Tabla 5 son lo suficientemente altos para impedir la asignación de ciertas combinaciones de estaciones AM dentro del territorio de Venezuela, debido a las dimensiones físicas del país, con 916445 km² de superficie, lo que corresponde a un diámetro equivalente de 1080 km, aproximadamente. Esto se encuentra de acuerdo con la denominación de ciertas estaciones como de “Canal Despejado” en la normativa, situación interpretada como libre de interferencias en cocanal al ser reservada la frecuencia para su uso exclusivo por parte de una estación de esta clase, a nivel nacional, cuando el ente regulador lo considera pertinente.

Se observó que la matriz de la Tabla 5 no es simétrica, por ejemplo si se tiene una estación de clase ER (regional) y otra de clase EL (local),

operando con $\Delta f = 20$ kHz en frecuencias cercanas a la parte baja de la banda baja (500 kHz) y terreno de alta conductividad (30 mS/m), y si se considera a la ER como interferida y a la EL como interferente, la distancia mínima requerida entre las dos estaciones será de 508 km, pero si se invierten las condiciones, tratándose a la estación EL como la interferida y a la estación ER como interferente, la distancia mínima se reduce a 425 km (un 16 % de disminución, aproximadamente). Esta asimetría se debe principalmente a la no linealidad de las curvas de propagación de la onda superficial.

Dadas las coordenadas geográficas de ubicación de las dos estaciones AM, la distancia entre ellas, estimada por ejemplo sobre tierra esférica, puede calcularse mediante el algoritmo de círculo máximo o bien, para distancias cortas, por el método de tierra plana establecido por la FCC. Ambos métodos están referidos en el manual de la National Association of Broadcasters (NAB) [21], siendo válido según esa referencia el método de tierra plana siempre que la distancia entre estaciones no exceda los 475 km, cuestión ratificada además por la sección 73.208 de las Rules and Regulations de la FCC [3]. La distancia obtenida entre las dos estaciones se compara entonces con la que ofrece la matriz propuesta de la Tabla 5 a fines de planificación o de validación técnica, resultando la información sobre si la coexistencia sería bajo interferencia admisible o perjudicial. En caso de que el sector de la frecuencia de operación de las estaciones y la conductividad no sean exactamente las de la Tabla 5, se puede aplicar un mecanismo de interpolación, ya sea lineal o con “splines” del grado polinómico adecuado, dependiendo de la precisión requerida.

Como ejemplo ilustrativo para Venezuela, considérese una hipotética estación “X” interferida, clase ER (Estación regional, potencia de operación máxima diurna de 50 kW), transmitiendo a 820 kHz, con antena omnidireccional ubicada en el estado Aragua, en las coordenadas geográficas N 10° 13’ 14”, O 67° 17’ 22” cerca de la ciudad de La Victoria, y una estación “Y” interferente, clase EL (Estación Local, potencia de operación máxima diurna de 10 kW), transmitiendo a 850 kHz, con antena omnidireccional ubicada en el

estado Carabobo, en las coordenadas geográficas N 10° 01' 47", O 68° 08' 07", cercana a la localidad conocida como Campo de Carabobo. La distancia entre estas dos estaciones es de 95 km según el algoritmo de círculo máximo. Para los estados Aragua y Carabobo, de la Tabla 3 resulta una conductividad $\sigma = 4$ mS/m (muy cercana al valor de 3 mS/m incluido en la Tabla 5), y la separación de frecuencias entre estaciones es $\Delta f = 30$ kHz.

Con estos datos, al entrar en la Tabla 5 resultaría una distancia mínima requerida d de 173 km si se selecciona la parte baja de la banda (500 kHz) y de 60 km si se selecciona la parte alta de la banda (1500 KHz). Dado que la frecuencia promedio de las estaciones en estudio es de 835 kHz, la interpolación lineal en la Tabla 5 implicaría una distancia mínima requerida de aproximadamente 135 km, la cual excede en 40 km a la distancia entre estaciones de 95 km, lo cual empeoraría durante la estación lluviosa al aumentar la conductividad, por lo que se concluye que en esas condiciones la coexistencia de esas dos estaciones no sería factible y habría interferencia perjudicial. Esta herramienta de detección temprana del problema de interferencias antes de la permisología e implementación de una nueva emisora se estima de utilidad para el ente regulador que gestiona las habilitaciones administrativas de radiodifusión.

Una solución al problema del ejemplo podría ser el aumentar la separación de frecuencia entre estaciones, emplear un arreglo direccional de antena, o disminuir la potencia de operación de la estación interferente, de manera que la interferencia pase de ser perjudicial a admisible según la relación de protección que se requiere.

5. Conclusiones

El análisis de los resultados de la sección 4 permite concluir que la matriz propuesta de distancias mínimas de la Tabla 5 proporciona una guía de referencia para la planificación y actualización de la red (grilla) de las estaciones de radiodifusión AM, adaptada específicamente a las clases de estaciones y a las relaciones de protección establecidas por la normativa vigente en Venezuela.

Se trata de una matriz diseñada en base a la radiopropagación de la onda superficial en modo diurno de las emisiones de los mástiles de las antenas (supuestas omnidireccionales) de las estaciones interferida e interferente y está disponible para dos conductividades del terreno dentro de las cuales se incluyen grandes y pobladas áreas de territorio nacional (por ejemplo en la región capital y central), resultando la matriz calculada en los sectores inferior y superior de la banda AM reglamentaria en ondas hectométricas, siendo viable la interpolación para otras conductividades o rango de frecuencias.

Ante la ausencia actual en la normativa venezolana de un instrumento similar matricial (u otro equivalente) que especifique distancias mínimas que deben cumplir las estaciones en AM, adecuado a las clases de las estaciones del país y acorde con las particulares relaciones de protección establecidas, la matriz de la Tabla 5 podría ser empleada como elemento de planificación de red por el ente regulador (previa auditoría técnica y pruebas contra la base de datos de estaciones AM) y por los operadores de las estaciones e ingenieros de proyecto que acometen el diseño de nuevas estaciones AM, que deben ser compatibles con la presencia del conjunto de estaciones previamente habilitadas y en operación, y en donde se debe demostrar la factibilidad de coexistencia con interferencia admisible de las nuevas plantas transmisoras con las estaciones previamente habilitadas.

El escenario adquiere importancia considerando que las habilitaciones de radiodifusión sonora otorgadas tienen un tiempo de vencimiento medido en pocos años (por ejemplo de 2, 5 o 10 años), lo que propicia la renovación gradual del uso del espectro radioeléctrico a medida que vencen y se reasignan las concesiones del espectro y las habilitaciones administrativas con sus atributos en AM, implicando la necesidad del mantenimiento continuo de la grilla de asignaciones de la red, validando que se garanticen las distancias admisibles para propiciar el crecimiento racional del servicio.

Dada la iniciativa observada en otras naciones de proponer matrices comparables de distancias

mínimas entre estaciones AM (como la referida en la sección 1 del MINTIC en Colombia), es pertinente este tipo de análisis a nivel nacional bajo un esquema de modelado físico con base empírica soportada en recomendaciones y datos reconocidos internacionales (ante la ausencia actual de modelos locales o regionales), tales como los establecidos por la ITU, tanto para las curvas de propagación como para la conductividad eléctrica del terreno, y donde realizar mediciones a nivel nacional por medios geofísicos de este parámetro de los suelos sería útil a los fines de lograr una mayor precisión. Estas mediciones permitirían su reutilización para el diseño de sistemas de puesta a tierra de los mástiles AM (radiales).

La matriz de la Tabla 5 podría mejorarse añadiendo otros valores de conductividad (o tipos de terreno), implementarse computacionalmente con una mayor cantidad de datos, o bien por el contrario podría simplificarse tomando en cuenta el caso de las mayores distancias posibles, que corresponderían a las más altas conductividades (en período de lluvias, con significancia estadística) y las frecuencias más bajas de la banda AM, de manera que el exceso de distancia actuaría como factor de seguridad o banda de guarda espacial adicional para especificar las distancias mínimas, en cuyo caso podría establecerse la versión simétrica de la matriz con el objeto de reducir el tamaño de la Tabla 5, con miras a su incorporación en una futura normativa. En este sentido tómesese en consideración también que los cálculos realizados para obtener la matriz se efectuaron para la longitud de mástil que produce la mayor eficiencia de radiación ($\lambda/8$), también con la intención de disponer de un factor de seguridad adicional en las distancias mínimas.

Considerando que Venezuela posee una superficie de 916445 km² (sin incluir los 159542 km² en disputa territorial con Guyana) se tendría un radio equivalente bajo una aproximación circular de aproximadamente 540 km, y dado que el rango de distancias obtenido en la Tabla 5 se encuentra entre 44 km y 1850 km, este resultado justifica que para determinadas clases y frecuencias en efecto no se deban reasignar dentro del territorio a estaciones en cocanal y aun en cercanos canales adyacentes, a los

fines de evitar la interferencia perjudicial, siendo además necesario analizar lo relativo a la posible mitigación de emisiones cuando las estaciones sean fronterizas, en procesos coordinados de gestión de interferencia con los países vecinos.

El hecho de que la Tabla 5 no incluya la componente de campo debido a la onda ionosférica no tiene efecto perjudicial, debido a que la normativa actual mitiga el efecto nocturno de esta onda al ajustar en el Reglamento los valores de los contornos de servicio de las estaciones. Se presume que ese ajuste se efectúa sobre la base de la equivalencia en AM entre el campo de la onda superficial (diurna) y la suma del campo de la onda ionosférica más la onda superficial (nocturna), cuestión que podría analizarse detalladamente en una futura investigación para calibrar adecuadamente la atenuación nocturna de potencia requerida, dado que la fenomenología de la onda celeste o ionosférica es muy diferente a la de la onda de superficie al tratarse de un medio ionizado con grandes fluctuaciones.

Finalmente, se estima conveniente revisar los valores reglamentarios de las relaciones de protección en Venezuela (dB), comparándolos con los estándares actuales señalados, recomendados por la UIT, dadas las mejoras recientes en la selectividad de los receptores y en lo relativo a la compresión de audio.

6. Referencias

- [1] República de Venezuela. Decreto N° 2.771. Reglamento sobre la operación de las estaciones de radiodifusión sonora. *Gaceta Oficial de la República de Venezuela*, 1(4.530 Extraordinario):1–35, 1993.
- [2] República de Venezuela. Reglamento de radiocomunicaciones. *Gaceta Oficial de la República de Venezuela*, (3.336 Extraordinario), 1984.
- [3] PART 73-Radio broadcast services, subpart A-AM broadcast stations, 2012. Federal Communications Commission, U.S. Government Publishing Office.
- [4] MTIC. Plan técnico nacional de radiodifusión sonora en amplitud modulada, Julio 2013. Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, República de Colombia.
- [5] José María Hernando Rabanos, J. M. Riera, and L. M. Tomás. *Transmisión por radio*. Editorial Universitaria Ramón Areces, Madrid, 7^{ma} edición, 2013.

- [6] Z. Barboza de Vielma. *Antenas y propagación*. Universidad de Los Andes, Merida, Venezuela, 1991.
- [7] UIT-R. Recomendación UIT-R P.368-9. curvas de propagación por onda de superficie para frecuencias comprendidas entre 10 kHz y 30 MHz, 2010.
- [8] Fabián Robledo Upegui and Idelmaro Castaneda Brito. Tech note; Proposal for a matrix of minimum distances between FM broadcasting stations based on the FCC and ITU-RF (50, 50)-F (50, 10) charts. *Revista Ingenieria UC*, 22(1):110–119, 2015.
- [9] Anabel Carolina Torres Andrade and Jhoana Paola Oleas García. Estudio técnico y diseño para la implementación de una estación radial AM para brindar el servicio radial con cobertura para la zona centro del Ecuador con las estaciones base en el cantón Guano. Trabajo Especial de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2014.
- [10] Marcelo Javier López Sanmartín, Villarruel Amendaño, and Carlos Eduardo. Diagnóstico de la situación actual de los servicios de radio y televisión en el sur del país mediante el análisis de información del sistema automático de control del espectro radioeléctrico (SACER) de la superintendencia de telecomunicaciones (SUPERTEL) y planteamiento de soluciones técnicas para las irregularidades de mayor incidencia. Trabajo Especial de Grado, Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Cuenca, Ecuador, 2013.
- [11] Yasuhiro Nishioka, Yoshio Inasawa, and Yoshihiko Konishi. Coparison of measured and theoretically predicted results of ground-wave propagation characteristic at mf-band. In *Electromagnetic Theory (EMTS), Proceedings of 2013 URSI International Symposium on*, pages 302–305. IEEE, 2013.
- [12] Gokhan Apaydin and Levent Sevgi. Groundwave propagation at short ranges and accurate source modeling [testing ourselves]. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 55(3):244–262, 2013.
- [13] Gökhan Apaydin, Ozlem Ozgun, Mustafa Kuzuoglu, and Levent Sevgi. A novel two-way finite-element parabolic equation groundwave propagation tool: Tests with canonical structures and calibration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(8):2887–2899, 2011.
- [14] Javier Héctor Erazo Chulde. 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. Trabajo Especial de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2009.
- [15] Jefferson Angelo Bravo Gómez and Carlos Alfredo Cely León. Medición, caracterización y modelamiento del rango de frecuencias asignado a radiodifusión AM (525-1705 kHz) de la banda MF del espectro electromagnético en la FIEC, Campus Prosperina. Trabajo Especial de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2015.
- [16] UIT-R. Recomendación UIT-R SM.337-8 . separaciones en frecuencia y en distancia, 2008.
- [17] Secretaria de Comunicaciones y Transportes. Modificación a la norma oficial mexicana NOM-03-SCT1-93, especificaciones y requerimientos para la instalación y operación de estaciones de radiodifusión de televisión monocroma y a color (bandas VHF y UHF). *Diario Oficial*, Primera Sección, Mayo 2004.
- [18] Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Resolución Ministerial N° 358-2003-MTC-03. Normas técnicas del servicio de radiodifusión. *El Peruano*, page 244172, 2003.
- [19] UIT-R. Recomendación UIT-R P.832-3. Atlas mundial de la conductividad del suelo, 2012.
- [20] UIT-R. Recomendación UIT-R BS.560-5. Relaciones de protección en radiofrecuencia para la radiodifusión en ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas, 1997.
- [21] Graham A. Jones, David H. Layer, and Thomas G. Osenkowsky. *National Association of Broadcasters Engineering Handbook: NAB Engineering Handbook*. Taylor & Francis, 2013.