

Norma Técnica Lineamientos para el Desarrollo de los Estudios Teóricos de Radiaciones No Ionizantes

RESOLUCION MINISTERIAL N° 612-2004-MTC-03

Lima, 17 de agosto de 2004

CONSIDERANDO:

Que, mediante Decreto Supremo N° 038-2003-MTC, se establecen los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes en Telecomunicaciones, instrumento de gestión ambiental prioritario para prevenir y controlar la contaminación generada por actividades comprendidas en el subsector telecomunicaciones, sobre la base de una estrategia destinada a proteger la salud, mejorar la competitividad del país y promover el desarrollo sostenible;

Que, la Primera Disposición Complementaria y Transitoria del citado Decreto Supremo dispone que a efectos de complementar lo dispuesto en la citada norma y garantizar su cumplimiento, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones aprobará las normas técnicas y directivas que sean necesarias, entre las que se contempla la norma técnica Lineamientos para el Desarrollo del Estudio Teórico de Radiaciones No Ionizantes;

Que, con fecha 2 de marzo de 2004 se publicó en el Diario Oficial El Peruano, el proyecto de norma técnica Lineamientos para el Desarrollo del Estudio Teórico de Radiaciones No Ionizantes, habiéndose recibido y evaluado los comentarios de los interesados;

Que, en tal sentido, corresponde emitir el acto administrativo respectivo aprobando la norma técnica Lineamientos para el Desarrollo del Estudio Teórico de Radiaciones No Ionizantes;

De conformidad con lo dispuesto en el Texto Único Ordenado de la Ley de Telecomunicaciones aprobado por Decreto Supremo N° 013-93-TCC, el Texto Único Ordenado del Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones aprobado por Decreto Supremo N° 027-2004-MTC y el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones aprobado por Decreto Supremo N° 041-2003-MTC;

SE RESUELVE:

Artículo Único.- Aprobar la norma técnica Lineamientos para el Desarrollo de los Estudios Teóricos de Radiaciones no Ionizantes, la que consta de 8 numerales y 5 anexos, que forman parte integrante de la presente resolución.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

JOSÉ JAVIER ORTIZ RIVERA
Ministro de Transportes y Comunicaciones

LINEAMIENTOS PARA EL DESARROLLO DEL ESTUDIO TEÓRICO DE RADIACIONES NO IONIZANTES

1. FINALIDAD

La presente norma tiene por finalidad aprobar los lineamientos para el desarrollo del estudio teórico de radiaciones no ionizantes, que permita predecir el cumplimiento de los valores aprobados como límites máximos permisibles de radiaciones no ionizantes según el Decreto Supremo N° 038-2003-MTC.

2. ÁMBITO DE APLICACIÓN

La presente norma es de cumplimiento obligatorio por el Estado y las personas naturales y jurídicas, nacionales y extranjeras que instalen estaciones radioeléctricas entre las frecuencias de 9 KHz. a 300 GHz. o efectúen cambio de características técnicas referidas a la ubicación y/o incremento de potencia.

3. ASPECTOS GENERALES

3.1 Los estudios teóricos permiten estimar los valores de intensidad de campo eléctrico, magnético y/o densidad de potencia de los emplazamientos de telecomunicaciones, con respecto al cumplimiento de los límites máximos permisibles de radiaciones no ionizantes.

3.2 Para el uso de los métodos predictivos se tomará en consideración los siguientes criterios:

- Se aplicarán las fórmulas generales mencionadas en la presente norma, salvo disposición en contrario.

- Pueden aplicarse métodos computacionales según se describe en el numeral 5.3.3.

- Para las predicciones en servicios de radiodifusión y radioaficionados, se podrá hacer uso de la guía informativa a que se refiere el anexo IV.

- En los servicios de radiodifusión sonora (onda media y frecuencia modulada) y, los de radioaficionados, se podrá hacer uso de las tablas de referencia incluidas en el anexo V.

3.3 Para el cálculo de los niveles de intensidad de campo eléctrico y/o densidad de potencia resultantes, generados por emplazamientos de transmisiones múltiples se emplearán las fórmulas mencionadas en el numeral 3 del anexo II del Decreto Supremo N° 038-2003-MTC.

4. CONTENIDO DEL ESTUDIO TEÓRICO

4.1 Los estudios teóricos deben incluir como mínimo la siguiente información:

- a. Datos generales de la empresa.
- b. Características técnicas de la estación radioeléctrica en estudio.
- c. Características técnicas de las estaciones radioeléctricas que se encuentran dentro de los 100 mts. de la torre en estudio.
- d. Resultados de la estimación teórica.
- e. Anexo técnico con el detalle del procedimiento de estimación teórica.

Los apartados a, b, c y d se especificarán según lo indicado en el anexo I

4.2 Los estudios teóricos que se realicen para la modificación de características técnicas de una estación existente o la instalación de una nueva estación radioeléctrica en un sistema de transmisiones múltiples, deberán incluir las características técnicas de cada una de las estaciones que conforman el emplazamiento, así como los parámetros técnicos de la modificación propuesta o en su caso, las características de la nueva estación.

5. MÉTODOS PREDICTIVOS

Los métodos predictivos permiten la evaluación teórica de la intensidad de campo o de la densidad de potencia según sea requerido.

El desarrollo de los métodos predictivos comprende:

- Determinación de la longitud eléctrica de la antena.
- Determinación de las regiones de campo electromagnético.
- Estimación de los valores de intensidad de campo eléctrico E y de campo magnético H o de la densidad de potencia.

5.1 DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD ELÉCTRICA DE LA ANTENA

Se considera dos tipos de antenas de acuerdo a sus dimensiones físicas, donde la dimensión máxima de la antena o del arreglo, es comparada con la longitud de onda respecto a la frecuencia de transmisión. Estas antenas son:

- Antenas pequeñas , si $D < \lambda$
- Antenas grandes , si $D \geq \lambda$

Donde:

D = Máxima dimensión lineal de la antena (m); diagonal en el caso de apertura rectangular y diámetro para el caso de apertura circular. En caso de arreglo, es la longitud máxima del arreglo
 λ = Longitud de onda (m)

5.2 DETERMINACIÓN DE LAS REGIONES DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO

En el desarrollo de los estudios teóricos, es necesario conocer la extensión de las regiones del campo electromagnético de una antena. Estas regiones, definidas en el Anexo I del Decreto Supremo N° 038-2003-MTC son:

- Región de Campo Cercano
- Región de Campo Lejano

Para determinar la ubicación del punto en evaluación respecto a las regiones del campo electromagnético de una antena, se debe calcular la distancia donde se encuentra el límite entre ambas regiones; esta distancia varía de acuerdo al tipo de antena, según se especifica a continuación:

- **Antenas pequeñas.** La distancia hasta donde se extiende el campo cercano es calculada

con la fórmula siguiente:

$$R_{cc} = \frac{\lambda}{2\pi} \quad (1)$$

donde:

λ = Longitud de onda (m)

R_{cc} = Extensión lineal del campo cercano e inicio del campo lejano (m)

- **Antenas grandes.** Se subdivide el campo cercano en dos regiones, la región de campo cercano reactivo y la región de campo cercano radiante. Las distancias entre los límites de las regiones de campo cercano reactivo, campo cercano radiante y campo lejano son las siguientes:

Límite entre la región de campo cercano reactivo y la región de campo cercano radiante:

$$R_{CCR} = \frac{0,25D^2}{\lambda} \quad (2)$$

Límite entre la región de campo cercano radiante y la región de campo lejano:

$$R_{cc} = \frac{0,6D^2}{\lambda} \quad (3)$$

En las fórmulas que anteceden tenemos:

D = Máxima dimensión lineal de la antena, diagonal en el caso de apertura rectangular y diámetro para el caso de apertura circular, (m)

R_{CCR} = Extensión lineal del campo cercano reactivo e inicio del campo cercano radiante (m)

R_{cc} = Distancia hasta el inicio del campo lejano (m)

λ = Longitud de Onda (m)

5.3 ESTIMACIÓN DE LOS VALORES DE INTENSIDAD DE CAMPO Y/O DENSIDAD DE POTENCIA

La determinación de los valores de intensidad de campo y/o densidad de potencia se lleva a cabo empleando:

- Fórmulas analíticas genéricas
- Fórmulas específicas para algunos tipos de antena y
- Métodos computacionales.

5.3.1 Cálculo mediante fórmulas analíticas genéricas

Estas fórmulas estarán determinadas por la región de campo electromagnético donde se ubique el punto en evaluación.

5.3.1.1 Cálculo en el campo cercano

Para antenas pequeñas o en el caso de bajas frecuencias no hay una fórmula analítica genérica para estimar la intensidad de campo eléctrico o magnético en la región de campo cercano. Por esta razón se han desarrollado diversos métodos computacionales de acuerdo al tipo de antena empleada.

En el caso de antenas grandes, se establecen valores predictivos máximos, para las regiones de campo cercano reactivo y radiante, según se indica a continuación:

5.3.1.1.1 Cálculo en el campo cercano reactivo

La magnitud de la densidad de potencia en la región de campo cercano reactivo dentro del haz principal de una antena de apertura, varía de acuerdo a la ubicación dentro del campo cercano reactivo. El valor máximo está determinado por la fórmula:

$$S_{CCR} = \frac{16\eta P_t}{\pi D^2} \quad (4)$$

donde:

S_{CCR} = Máxima densidad de potencia en la región de campo cercano reactivo (W/m²).

η = Eficiencia de la apertura, típicamente 0,5 - 0,75 (adimensional)

P_t = Potencia de transmisión (W)

D = Máxima dimensión lineal de la antena, diagonal en el caso de apertura rectangular y diámetro para el caso de apertura circular, (m)

La eficiencia de una antena con apertura circular puede estimarse mediante la fórmula siguiente:

$$\eta = \frac{\left(\frac{g_t \lambda^2}{4\pi} \right)}{\left(\frac{\pi D^2}{4} \right)} \quad (5)$$

donde:

g_t = Ganancia máxima de la antena (numérica)

λ = Longitud de onda (m)

D = Diámetro de la apertura circular, (m)

η = Eficiencia para aperturas circulares (adimensional)

Si la ganancia de la antena no es conocida, está se calcula con la siguiente ecuación, utilizando el valor real o estimado para la eficiencia de la apertura de una antena:

$$g_t = \frac{4\pi\eta A}{\lambda^2} \quad (6)$$

donde:

η = Eficiencia de la apertura, típicamente 0,5 - 0,75 (adimensional)
 g_t = Ganancia máxima de la antena (numérica)
 λ = Longitud de onda (m)
 A = Área física de la antena (m²)

5.3.1.1.2 Cálculo en el campo cercano radiante

La magnitud de la densidad de potencia en la región de campo cercano radiante (comprendido entre R_{CCR} y R_{CC}), dentro del haz principal de una antena de apertura, es determinada como sigue:

$$S_t = \frac{S_{CCR}R_{CCR}}{R} \quad (7)$$

donde:

S_{CCR} = Máxima densidad de potencia en la región de campo cercano reactivo (W/m²)
 S_t = Densidad de potencia dentro de la región de campo cercano radiante (W/m²)
 R_{CCR} = Extensión de la región de campo cercano reactivo e inicio del campo cercano radiante (m)
 R = Distancia al punto de interés (m)

5.3.1.2 Cálculo en el campo lejano

En la región de campo lejano debido al comportamiento de onda plana se cumple la siguiente relación entre la intensidad de campo eléctrico, la intensidad de campo magnético y la densidad de potencia:

$$S = E.H = \frac{E^2}{377} = 377H^2 \quad (8)$$

donde:

S = Densidad de potencia (W / m²)
 E = Intensidad de campo eléctrico en valor rms (V / m)
 H = Intensidad de campo magnético en valor rms (A / m)

La intensidad del campo eléctrico en valor rms se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$E = \frac{(30_{pire})^{0,5}}{r} \left[\text{V / m} \right] \quad (9)$$

La densidad de potencia se calcula por la siguiente fórmula:

$$S = \frac{pire}{4\pi r^2} \left[\text{W / m}^2 \right] \quad (10)$$

En las fórmulas mencionadas:

$$pire = p_t \times g_t \quad (11)$$

Donde:

Pire = Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (W)

p_t = Potencia de transmisión (W)

g_t = Ganancia máxima de la antena (numérica)

r = Distancia al centro de radiación de la antena al punto de interés (m)

5.3.1.2.1 Predicción de los campos de radiofrecuencia en el haz principal

La predicción de la densidad en el haz principal se realiza utilizando la siguiente ecuación:

$$S = \frac{p_t g_t}{4\pi r^2} \quad (12)$$

donde:

S = Densidad de Potencia (W/m²)

p_t = Potencia de transmisión (W)

g_t = Ganancia máxima de la antena (numérica)

r = Distancia al centro de radiación de la antena al punto de interés (m)

Que se puede expresar como:

$$S = \frac{pire}{4\pi r^2} \left[\text{W / m}^2 \right] \quad (13)$$

donde:

$$pire = p_t \times g_t$$

La ganancia g_i se expresa en forma de ganancia numérica, por lo tanto si ella viene dada en términos logarítmicos, es decir, dB, debe realizarse la siguiente conversión para ser empleada en la ecuación anterior:

$$g_i = 10^{\frac{db}{10}} \quad (14)$$

En muchos casos, la potencia de operación puede estar expresada en términos de potencia radiada efectiva o “pre” en vez de “pire”. La “pre” se considera con referencia a un dipolo de media onda en lugar de un radiador isotrópico. La conversión se realiza multiplicando la “pre” por un factor igual a 1.64 (2,15 dB). Así tenemos:

$$S = \frac{\text{pire}}{4\pi r^2} = \frac{1,64 \text{ pre}}{4\pi r^2} = \frac{0,41 \text{ pre}}{\pi r^2} \quad (15)$$

Para el caso de la predicción del valor de densidad de potencia cerca de una superficie, como es el caso de estaciones al nivel del piso, la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica (EPA-Environmental Protection Agency) ha desarrollado modelos para predecir los niveles de la intensidad de campo y densidad de potencia cuando se analizan antenas de Televisión y FM. Resultado de ello se puede predecir que la magnitud del campo eléctrico aumenta su valor en 1,6 veces debido a la reflexión y por tanto se tendría que la densidad de potencia aumenta a 2,56 veces ($1,6^2$). En este caso la ecuación para la densidad de potencia quedaría modificada de la siguiente manera:

$$S = \frac{2,56 \text{ pire}}{4\pi r^2} = \frac{0,64 \text{ pire}}{\pi r^2} = \frac{1,05 \text{ pre}}{\pi r^2} \quad (16)$$

5.3.1.2.2 Predicción de los campos de radiofrecuencia fuera del haz principal

Las ecuaciones a que se refiere el numeral 5.3.1.2.1 pueden emplearse para el cálculo de los campos producidos por diversos tipos de antenas de transmisión, pero no considera el patrón de radiación de éstas, es decir, no se toma en cuenta la información correspondiente a la direccionalidad de la radiación por parte de la antena.

Para una antena, la densidad de potencia irradiada en la dirección descrita por los ángulos θ (ángulo de elevación) y ϕ (ángulo de acimut) pueden evaluarse por la expresión siguiente:

$$S_{(r,\theta,\phi)} = k^2 = \frac{\text{Pire}}{4\pi r^2} F_{(\theta,\phi)} \quad (17)$$

donde:

$F_{(\theta,\phi)}$ = Factor de corrección por la directividad vertical y la directividad horizontal de la antena

K = Es el factor de aumento de la intensidad de campo eléctrico debido a reflexión (adimensional)

Para la ecuación (17), se deberá tener en consideración los siguiente valores para k^2 :

$K^2 = 1$; si las ondas reflejadas llegan todas atenuadas al punto de interés.

$k^2 = 2,56$; si las ondas reflejadas llegan al punto de interés en 60%.

$k^2 = 4$; si las ondas reflejadas llegan al punto de interés en 100% (peor caso)

A continuación se ilustra la configuración geométrica de las distancias y ángulos verticales

Definición de las distancias y ángulos verticales

5.3.2 Casos específicos para Predicciones de antenas típicas

5.3.2.1 Antenas tipo bocinas y reflectoras

La máxima densidad dentro del haz principal, en la región del campo cercano puede ser estimada como:

$$S_m = \frac{4p_t}{A} \quad (18)$$

donde:

S_m = densidad de potencia máxima (W/m²)

p_t = Potencia neta entregada a la antena (W)

A = Área de la apertura física (m²)

La ganancia de la antena es calculada por la ecuación (6) del presente documento.

5.3.2.2 Antenas de exploración

Estas antenas presentan un tipo de radiación de onda pulsante, conforme a la siguiente figura:

El ciclo de trabajo (F) , es calculado como:

$$F = \frac{T}{T_r} \quad (19)$$

donde

T = duración del pulso (s)

T_r = intervalo de tiempo entre el inicio de pulsos consecutivos (s)

La frecuencia de repetición del pulso es igual a:

$$f_p = \frac{1}{T_r} \quad (20)$$

donde:

f_p = frecuencia de repetición del pulso (Hz)
 T_r = intervalo de tiempo entre el inicio de pulsos consecutivos (s)

La potencia promedio P_a para una onda pulsante se calcula como:

$$p_a = p_p F \quad (21)$$

donde:

p_a = Potencia promedio, siendo la potencia neta de transmisión (W)
 p_p = Potencia pico (W)
 F = Ciclo de trabajo

Similarmente la densidad de potencia promedio S_a es como sigue:

$$S_a = S_p F \quad (22)$$

Donde

S_p = Densidad de potencia pico (W/m²)
 F = Ciclo de trabajo

La densidad de potencia efectiva, que se observa desde un punto estacionario para una antena de exploración en movimiento, es estimado de la medida de la densidad de potencia de una antena estacionaria usando la siguiente expresión:

$$S_e = K S_s \quad (23)$$

Donde:

S_e = Densidad de potencia efectiva para una antena en movimiento (W/m²)
 K = Factor de Reducción rotacional de la antena

S_s = Medida de la densidad de potencia en el haz principal de una antena estacionaria a una distancia dada (W/m^2)

El factor de reducción rotacional para una región de campo cercano es igual a:

$$K = \frac{a}{R\alpha} \quad (24)$$

$$R\alpha = \frac{r\alpha\pi}{180} \quad (25)$$

donde:

a = Dimensión de la antena en el plano de barrido (m)

$R\alpha$ = Sector circular de exploración de la antena a una distancia r (m)

α = Angulo de exploración en grados sexagesimales

El factor de reducción rotacional para la región de campo lejano es:

$$K = \text{ancho del haz a 3dB} / \text{ángulo de exploración} \quad (26)$$

5.3.2.3 Antenas de dipolos colineales verticales. Modelo Cilíndrico

En la evaluación de los campos RF cerca de antenas de dipolos colineales verticales, similares a las usadas por sistemas celulares, PCS, sistemas de mensajería (paging) y de comunicaciones por radio, se recomienda la utilización del modelo cilíndrico, que también puede utilizarse en la estimación de exposición de campo cercano adyacentes a antenas de televisión y FM, donde los operarios realizan su tarea.

El modelo cilíndrico es un predictor más exacto de la exposición cerca de una antena, donde las ecuaciones para campo lejano dadas en el numeral 5.3.1.2, pueden sobre estimar en forma significativa el ambiente RF. Sin embargo, conforme se aleja el punto de interés de la fuente de radiación, dichas ecuaciones se vuelven mas exactas.

Para el modelo cilíndrico, las densidades de potencia equivalentes onda-plana, promediadas espacialmente paralelas a la antena, pueden estimarse dividiendo la potencia de entrada neta a la antena por el área superficial de un cilindro imaginario que rodea su longitud. Aun cuando la densidad de potencia real variará a lo largo de la altura de la antena, el valor promedio seguirá la relación dada por la siguiente ecuación:

$$S = \frac{P_t}{2\pi Rh} \quad (27)$$

donde:

S = Densidad de potencia (W/m²)
p_t = Potencia de transmisión (W)
R = Distancia desde la antena
h = Altura de apertura de la antena

Para las antenas tipo sectoriales, como las usadas para estaciones celulares y PCS, las densidades de potencia pueden estimarse dividiendo la potencia neta de entrada a la antena por la porción de área de superficie cilíndrica correspondiente al ancho del haz angular de la antena. Por ejemplo, para el caso de un ancho de haz acimutal de 120°, el área de la superficie correspondería a 1/3 del cilindro completo. Esto incrementará la densidad de potencia cerca de la antena por un factor de 3 para una antena puramente direccional. Matemáticamente, esto puede ser representado por la ecuación (28), donde θ_{BW} puede tomarse como el ángulo de “dispersión de potencia” acimutal apropiado para un reflector dado. Una estimación conservativa puede obtenerse usando el ancho del haz acimutal de 3 dB (potencia media) para una antena sectorizada.

$$S = \frac{180}{\theta_{BW}} \frac{p_t}{\pi R h} \quad (28)$$

donde:

S = Densidad de potencia (W/m²)
p_t = Potencia de transmisión (W)
 θ_{BW} = Ancho del haz de la antena en grados
R = Distancia desde la antena
H = Altura de apertura de la antena

Esta ecuación puede ser utilizada para cualquier antena colineal vertical, incluso si son omnidireccionales en donde θ_{BW} deberá ser 360° y la ecuación (28) se reduce a la ecuación (27) antes mencionada.

5.3.3 Métodos Computacionales

El empleo de los paquetes computacionales es requerido para:

- Analizar antenas
- Determinar diversas magnitudes electromagnéticas
- Determinar condiciones de evaluación de riesgo ante emisión de radiofrecuencia.
- Determinar patrones de radiación de antenas especiales y sus arreglos.
- Determinar emisiones a través de ranuras
- Determinar el campo cercano en dos y tres dimensiones
- Evaluar condiciones de dispersión en la propagación de ondas, entre otros.

Existe una gran variedad de métodos computacionales para la determinación de los patrones de emisión de campos electromagnéticos de radiofrecuencia y otros aspectos relacionados, la selección del método computacional dependerá de:

- Las magnitudes electromagnéticas por determinar y,

- El escenario en el cual se requiere evaluar la emisión radioeléctrica respecto a los límites máximos permisibles de la exposición humana ante los campos electromagnéticos generados por sistemas de telecomunicaciones.

El empleo de estos métodos computacionales, se debe realizar con cautela, en vista de que algunos de ellos emplean modelos electromagnéticos desarrollados para tareas específicas, por lo cual deberá elegirse el paquete computacional adecuado para la evaluación en particular que se está desarrollando.

5.3.3.1 Tipos de métodos Computacionales

5.3.3.1.1 Métodos algebraicos, geométricos y sus algoritmos.

Estos métodos se integran en variados paquetes computacionales comerciales desde aquellos que mecanizan los cálculos algebraicos predictivos de campo lejano y emplean hojas de cálculo de estas ecuaciones y sus algoritmos, hasta métodos de trazado de rayos y multirayos para incluir condiciones de entorno en los cálculos predictivos.

5.3.3.1.2 Métodos Numéricos

Los métodos numéricos para el modelado electromagnético se integran en paquetes computacionales que permiten la determinación de magnitudes electromagnéticas características, en una, dos y tres dimensiones.

Estos métodos son empleados en el análisis de situaciones de propagación, dispersión y radiación en situaciones complejas; determinación de patrones de campo radiado cercano y/o lejano; determinación de los patrones de radiación de estructuras radiantes variadas.

Entre los principales métodos numéricos empleados, encontramos los siguientes:

- Métodos de las diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD)
- Métodos de los momentos (MOM) y modelos basados en el NEC (Numerical Electromagnetic Code)

5.3.3.1.3 Compendio de algunos métodos computacionales

En el cuadro siguiente, podemos apreciar las propiedades de algunos métodos computacionales utilizados para la evaluación de magnitudes electromagnéticas características

Magnitud en evaluación	Región del campo	Entorno	Método numérico adecuado
Niveles de campo eléctrico	Región de Campo cercano	Campo abierto	FDTD, MOM
SAR	Región de Campo cercano	Campo abierto	FDTD
Niveles de campo eléctrico	Región de Campo cercano	Múltiple fuentes cercana	FDTD, MOM
SAR	Región de Campo cercano	Múltiple fuentes cercana	FDTD

Niveles de campo eléctrico	Región de Campo Lejano	Campo abierto	Trazado de rayos, MOM
Niveles de campo Eléctrico	Región de Campo Lejano	Múltiple fuentes (ambiente Urbanístico complejo)	Trazado de rayos

5.3.3.2 Principales métodos utilizados

5.3.3.2.1 Método de los momentos (MOM: Method of Moments)

Método basado en ecuaciones integrales en el dominio de la frecuencia, que analiza las antenas compuestas por segmentos de conductores. Este método se emplea, para análisis de antenas del tipo lineal. Es riguroso pero requiere de un tiempo considerable para construir el modelo. En el caso en que las antenas sean del tipo de superficie plana conductora se requerirá que tal superficie sea representada por una malla conductora equivalente. Este método es útil para evaluaciones en campo cercano y lejano. Los detalles de la construcción y geometría de la antena así como la geometría de los objetos de dispersión deben ser conocidos.

Este método no es útil para determinar la penetración del campo a través de un cuerpo dieléctrico y por lo tanto no es aplicable para determinar el SAR.

5.3.3.2.2 Método de diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD: Finite-difference time-domain)

El método FDTD es un método de tipo numérico basado en ecuaciones diferenciales en el dominio del tiempo. Se utiliza en la estimación de la exposición en las cercanías de la antena o en lugares confinados con un entorno de dispersión compleja. El método FDTD ofrece gran flexibilidad en el modelado de estructuras no homogéneas como tejidos anatómicos y órganos empleados en la determinación del SAR.

5.3.3.2.3 Método de Trazado de Rayos

Este método es útil para la evaluación de campo en grandes áreas y zonas urbanas que podría involucrar a múltiples fuentes emisoras. El modelo de dos rayos es un ejemplo de este método, y es un modelo adecuado para áreas abiertas no delimitadas sobre una superficie plana. Ambientes más complejos que incluyen reflexiones de edificios, fluctuaciones en la elevación de la superficie terrestre, requiere algoritmos de tipo multirayos. Este método es válido sólo para antenas grandes, es decir el tamaño de la antena es mayor o igual a la longitud de onda.

Es una técnica aplicable en campo lejano y por lo tanto no es aplicable para determinar el SAR.

5.3.3.2.4 Otros Métodos

De acuerdo a la configuración de la antena se pueden elegir métodos distintos a los descritos en el presente documento. Estos métodos deberán de contener información precisa respecto a su procedencia y algoritmos a utilizar de modo que el MTC evalúe su utilización.

5.4 INFORMACIÓN ADICIONAL

Adicionalmente deberá considerarse que:

- Para el Caso de Emplazamiento Compartido, si una antena es utilizada por varios transmisores, se sumarán sus potencias y se elegirá la frecuencia de trabajo que tenga una densidad de potencia máxima permitida más desfavorable.

- En los anexos IV y V, se proporciona información adicional que puede ser utilizada para predicciones de los servicios de radiodifusión sonora (banda de onda media y frecuencia modulada), servicio de radiodifusión por televisión (VHF y UHF) y los teleservicios privados de radioaficionados.

6. TABLAS DE REFERENCIA PARA LA EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA ALGUNOS SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES

En el anexo V, se muestran tablas de referencia que permiten determinar las distancias de cumplimiento de los límites máximos permisibles en telecomunicaciones para algunos sistemas de telecomunicaciones.

7. DE LA OBLIGACIÓN DE PRESENTAR ESTUDIOS TEÓRICOS DE RADIACIONES NO IONIZANTES

Están obligados a presentar Estudio Teórico de Radiaciones No Ionizantes, en la ocasión y plazos que se detallan en el Decreto Supremo N° 038-2003-MTC:

7.1 Los solicitantes de concesión o autorización para prestar servicios de telecomunicaciones que utilicen espectro radioeléctrico, por cada estación radioeléctrica a instalar;

7.2 Los titulares de concesiones vigentes que deseen instalar nuevas estaciones radioeléctricas;

7.3 Los titulares de autorizaciones para prestar el servicio de radiodifusión o servicio privado de telecomunicaciones, que soliciten cambio de ubicación o aumento potencia de sus estaciones radioeléctricas.

8. DEL REGISTRO DE EMPRESAS AUTORIZADAS PARA LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS TEÓRICOS DE RADIACIONES NO IONIZANTES

Los estudios teóricos de radiaciones no ionizantes serán efectuados por personas naturales o jurídicas inscritas en el Registro correspondiente a cargo de la Dirección General de Gestión de Telecomunicaciones y deberán ser suscritos por ingenieros colegiados de la especialidad.

ANEXOS

Anexo I Modelo de informe de estudio teórico de radiaciones no ionizantes.

Anexo II Modelo de informe para emplazamientos de transmisiones múltiples.

Anexo III Cálculos referenciales para la determinación de la exposición del campo electromagnético.

Anexo IV Guía Informativa para las predicciones en algunos servicios de telecomunicaciones.

Anexo V Tablas de referencia para la evaluación del cumplimiento de los límites máximos permisibles para algunos sistemas de telecomunicaciones

ANEXO I

MODELO DE INFORME DE ESTUDIOS TEÓRICOS DE RADIACIONES NO IONIZANTES

DATOS DE LA EMPRESA

Nombre o Razón Social:

Domicilio Legal:

Representante:

DNI:

Teléfono:

E-mail:

Código Postal:

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA ESTACIÓN RADIOELÉCTRICA¹

1. DATOS

Nombre:

Av. / Jr. / Calle / Pasaje:

Urb. / AAHH / Otros:

Distrito:

Provincia:

Departamento:

Coordenadas Geográficas ²	WGS 84	Longitud Oeste	Latitud Sur
	UTM	Zona	Banda
		Ref. Este (m)	Ref. Norte (m)

Altitud (m):

Tipo de Servicio:

2. EQUIPAMIENTO

Equipo o Aparato de Transmisión:

Marca:

Modelo:

Potencia de Salida (Watts/dBm):

Frecuencia(s) de Transmisión:

Tipo de emisión:

Tipo de Modulación:

3. SISTEMA RADIANTE

Tipo de Antena:

Marca:

Modelo:

Ganancia (numérica):

Polarización:

Patrón de Radiación Horizontal (se adjunta diagrama):

Patrón de Radiación Vertical (se adjunta diagrama):

Acimut de máxima radiación (grados):

Apertura horizontal del haz (grados):

Apertura vertical del haz (grados):

Inclinación del haz (grados):

Relleno de Nulos:

Configuración del arreglo:

Dimensiones de la antena o del arreglo (m):

Altura de la Torre (m) :

Altura de la edificación / Altura sobre el suelo (m):

Altura del centro de radiación sobre la altura promedio del terreno (m):

Altura del centro de radiación sobre el nivel del mar (m):

Geográficas

Coordenadas WGS 84	longitud Oeste	Latitud Sur
de la Torre	2 UTM	Zona
	Banda	Ref. Este (m)
		Ref. Norte (m)

Altitud (m):

4. CABLE ALIMENTADOR

Tipo:

Marca:

Modelo:

Atenuación (dB/m):

Longitud (m):

REFRENDADO POR:

ING.:

Reg. CIP:

Registrado en la Dirección General de Gestión con N°.

Dirección:

Teléfono / fax : E-mail:

.....
Firma del Ing. responsable

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN TEÓRICA PREDICTIVA

Niveles de Emisión Calculados

Localización del punto de evaluación respecto al soporte de antenas			Nivel de Emisión calculado		Límite Máximo Permisible		% Del Nivel de Emisión Calculado respecto al LMP
Acimut	Distancia (m)	Puntos de Cálculos	Valor	Unidad	Valor	Unidad	
Ángulo de	2	1					

Acimut°	10	2
	20	3
	50	4
	100	5
Ángulo de	2	6
Acimut....°	10	7
	20	8
	50	9
	100	10
Ángulo de	2	11
Acimut....°	10	12
	20	13
	50	14
	100	15
Ángulo de	2	16
Acimut°	10	17
	20	18
	50	19
	100	20

Máximo Nivel de Exposición

Angulo de acimut:°

Distancia:m

Nota 1: Los cálculos de la estación radioeléctrica se efectuarán sobre cuatro direcciones ortogonales a partir de la base de la antena. Una de las direcciones de evaluación deberá coincidir con el máximo lóbulo de radiación de la antena.

Nota 2: Las estimaciones de los niveles de emisión se efectuarán a 2 mts. de altura sobre el área por evaluar.

Nota 3: Debe de adjuntarse un anexo técnico que incluya los procedimientos de estimación predictiva empleados, en concordancia con los lineamientos para el desarrollo del estudio teórico de radiaciones no ionizantes, en forma detallada para cada uno de los puntos evaluados.

Nota 4: Deberá evaluarse la contribución de las estaciones vecinas que se consideren relevantes, en los puntos empleados para los cálculos de la estación radioeléctrica. (Ver el Anexo II).

Nota 5: Se adjuntarán planos a escala 1: 5000 , esquemas, fotografías, etc.

ANEXO II

MODELO DE INFORME PARA EMPLAZAMIENTOS DE TRANSMISIONES MULTIPLES

Se presenta este modelo de informe cuando la estación radioeléctrica integra un emplazamiento de transmisión múltiple.

El informe será presentado junto al modelo de informe de estudios teóricos de radiaciones no ionizantes (Anexo I).

Se presentará un informe según anexo I por cada estación integrante del emplazamiento de transmisión múltiple.

Contribución fraccional en sistemas radiantes múltiples

Contribución Fraccional	Puntos de Evaluación																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Fuente 1																				
Fuente 2																				
Fuente 3																				
Fuente 4																				
Fuente 5																				
Sumatoria total de las contribuciones																				

Nota.

- Los cálculos y el análisis del cumplimiento de los límites máximos permisibles se realizarán de acuerdo al numeral 3 del anexo II del decreto supremo N° 038-2003-MTC y a lo estipulado en el numeral 3.3 del artículo 3 de los Lineamientos para el desarrollo del Estudio Teórico de Radiaciones No Ionizantes.

- Los puntos de evaluación desde el 1 hasta el 20 son definidos por la estación radio eléctrica propuesta (según Nota 4 del Anexo I)

- El número de filas correspondientes a las fuentes emisoras cercanas debe ser igual al número de fuentes consideradas para los cálculos.

ANEXO III

CÁLCULOS REFERENCIALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EXPOSICIÓN DEL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO

Se muestra como referencia dos situaciones de cálculo, que establecen los criterios para seleccionar las fórmulas establecidas en el numeral 5.3.1.2 de los lineamientos para el desarrollo del estudio teórico de radiaciones no ionizantes.

1 EXPOSICIÓN AL NIVEL DEL SUELO EN EL CAMPO LEJANO

La geometría para calcular la exposición al nivel del suelo debida a una antena elevada se muestra en la siguiente figura:

Ejemplo de configuración para calcular la exposición al nivel del suelo.

Se instala una antena de manera que el centro de radiación se halle a una altura h sobre el suelo. El objetivo del cálculo es evaluar la densidad de potencia en un punto a 2 metros por encima del suelo (aproximadamente a nivel de la cabeza), a una distancia x de la torre. En este ejemplo el haz principal es paralelo al suelo y la ganancia de antena es axialmente simétrica (omnidireccional).

Definimos que : $h' = h - 2$ (m)

Por tanto : $r^2 = h'^2 + x^2$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{h'}{x}$$

Tomando en cuenta las reflexiones en el suelo, donde K^2 es igual a 2,56, la densidad de potencia resultante de aplicar la ecuación (17), es como sigue:

$$S = \frac{2,56}{4\pi} \frac{\text{pire}}{x^2 + h'^2} F_{(\theta)}$$

Nota: Como se indicó anteriormente el factor 2.56 podría ser sustituido por 4 si fuera necesario asumir la condición del "peor caso".

Si la antena es un dipolo de media onda, la ganancia numérica relativa obedece la ecuación siguiente:

$$F(\theta, \phi) = \frac{\cos^2 \frac{\pi}{2} \sin \theta}{\cos^2 \theta}$$

Para una fuente con pire de 1000 W, la densidad potencia en función de x se muestra en la siguiente figura, para tres alturas diferentes.

Densidad de potencia a nivel del suelo en función de la distancia a la torre

2 EXPOSICION EN UN EDIFICIO ADYACENTE EN EL CAMPO LEJANO

La geometría para calcular la exposición en un edificio adyacente a una torre de antena se muestra en la siguiente figura.

Ejemplo de configuración para calcular la exposición en un edificio adyacente

Se instala una antena de manera que el centro de radiación se halle a una altura h sobre el

suelo. El objetivo del calculo es evaluar la densidad de potencia en un punto de 2 metros sobre la azotea (aproximadamente al nivel de la cabeza) de un edificio adyacente. El edificio tiene una altura h_2 y esta situado a una distancia x de la torre. La exposición mas grave se prevé en el borde de la azotea mas próxima a la antena. Se supone que el haz principal es paralelo al suelo y que la ganancia de la antena es axialmente simétrica (omnidireccional).

Definimos que : $h' = h - h_2 - 2$

Por tanto : $r^2 = h'^2 + x^2$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{h'}{x}$$

En esta situación, puede despreciarse las reflexiones del suelo, ya que la onda reflejada probablemente sea atenuada por el edificio, por lo que el valor de k^2 es reemplazado por 1, en donde la densidad de potencia resulta de la ecuación (17), como sigue:

$$S = \frac{F_{(\theta)} \text{ pire}}{4\pi x^2 + h'^2}$$

Si la antena es un dipolo de media onda, la ganancia numérica relativa obedece la ecuación siguiente:

$$F(\theta, \phi) = \frac{\cos^2 \frac{\pi}{2} \sin^2 \theta}{\cos^2 \theta}$$

Para una fuente con pire de 1000 W, la densidad potencia en función de x se muestra en la siguiente figura, para tres alturas diferentes $Dh=(h-h_2)$

Densidad de potencia a nivel del suelo en función de la distancia a la torre calculada para el ejemplo

ANEXO IV

GUIA INFORMATIVA PARA LAS PREDICCIONES EN SERVICIOS DE RADIODIFUSIÓN Y RADIOAFICIONADOS

1 PREDICCIONES EN EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN SONORA EN AMPLITUD MODULADA, ONDA MEDIA

Rango de Frecuencia: 535 KHz a 1705 KHz.

En este tipo de sistemas las antenas generalmente tienen una longitud física, menor a la longitud de onda, por tanto la distancia hasta la cual se extiende la región de campo cercano esta determinada por la ecuación 1 del artículo 5 de los Lineamientos para el Desarrollo del Estudio Teórico de Radiaciones No Ionizantes.

Para los cálculos en el campo lejano se pueden utilizar las ecuaciones apreciadas en el numeral 5.3.1.2. En lo que respecta al campo cercano, se recomienda emplear programas de simulación que estén basados en alguno de los métodos computacionales, tal como el NEC (Numerical Electromagnetic Code).

2 PREDICCIONES EN EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN FM

Rango de Frecuencia: 88 MHz a 108 MHz.

En este tipo de sistemas radiantes, existe una radiación importante en los lóbulos secundarios que conforman el patrón de radiación vertical de la antena. Estos son calculados por programas computacionales basados en algunos de los métodos numéricos descritos en el numeral 5.3.3 de los Lineamientos para el Desarrollo del Estudio Teórico de Radiaciones No Ionizantes.

3 PREDICCIONES EN EL SERVICIO DE TELEVISIÓN

Las antenas de televisión están conformadas por un arreglo de elementos radiantes montados sobre una torre. En comparación de los elementos usados en FM, los de televisión son generalmente de un diseño más complejo e irradian menor cantidad de energía hacia abajo (en los lóbulos secundarios).

Se considera una buena aproximación considerar un factor de 0,2 (20%) para VHF, como corrección al calcular el campo fuera del haz principal en este tipo de antena. Para el caso de UHF este factor disminuye a 0,1 (10%).

Se puede establecer la siguiente relación para el cálculo de densidad de potencia que es una variación de la formula general de la densidad de potencia para la región de campo lejano:

$$S = \frac{(2,56)(1,64)(F)(0,4 pre_v + pre_A)}{4\pi^2} \quad (1)$$

donde:

- S = Densidad de Potencia (W/m²)
- pre_v = Potencia Radiada Efectiva de video (valor pico en W)
- pre_A = Potencia Radiada Efectiva de audio (valor pico en W)
- r = Distancia desde el centro de radiación al punto de interés
- F = Factor de corrección por la directividad vertical y la directividad horizontal de la antena

El factor de 2,56 corresponde a la reflexión del piso (1,6²), y el factor de 1,64 convierte el valor de PRE a PIRE.

La formula anterior es útil puesto que permite calcular la altura mínima del centro de radiación respecto a la superficie, de modo que los límites de densidad de potencia establecidos en el Decreto Supremo 038-2003-MTC no sean excedidos.

La formula para este caso es

donde:

AMC = Altura Mínima del Centro de Radiación

4 PREDICCIONES EN EL SERVICIO DE RADIOAFICIONADO

Los cálculos de densidad de potencia serán realizados de acuerdo a lo mencionado en el numeral 5.3.1.2.1 de los lineamientos para el desarrollo del estudio teórico, mediante las ecuaciones 12, 13, 14, y 15.

La distancia mínima para el cumplimiento de los límites máximos permisibles es :

donde:

D_{min} = Distancia mínima a partir de la base de la antena
 S_L = Densidad de potencia límite de exposición (W/m^2)
 p_t = Potencia de transmisión (W)
 g_t = Ganancia máxima de la antena (numérica)

El valor de la Densidad de Potencia “ S_L ” empleado, es el valor establecido en los Límites Máximos Permisibles de Radiaciones No Ionizantes para el caso de exposición poblacional indicados en el D.S. N° 038-2003-MTC, para la frecuencia en evaluación.

Una tabla para convertir la ganancia en dBi a ganancia adimensional se muestra a continuación.

Tabla con Conversión de Ganancia

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	20
Ganancia																		
(dBi)																		
Ganancia Numérica	1.3	1.6	2.0	2.5	3.2	4.0	5.0	6.3	7.9	10.0	12.6	15.9	20.0	25.1	31.6	39.8	63.1	100

La determinación de niveles a exposición poblacional, y consecuentemente, la distancia de separación mínima, están basadas en la Potencia Promedio. De acuerdo a ello, si solo se conoce la PEP (Peak Envelope Power, potencia de pico de la envolvente), el valor deberá ser multiplicado por el factor de conversión (Factor de Forma) de acuerdo al modo de operación. La tabla siguiente indica Factores de Forma para modos de transmisión comúnmente usados en servicios de radioaficionados.

Factores de Forma de modos comúnmente usados por Estaciones de Radio aficionados:

<u>Modos de Transmisión</u>	<u>Factor de Forma</u>
SSB (sin procesamiento de voz)	0.2

SSB (con procesamiento de voz)	0.5
Voz FM	1
Voz AM, 50% modulación	0.5
Voz AM, 100% modulación	0.3
Modulación Digitales (PSK, FSK, AFSK SSB)	1
Onda Continua Conversacional	0.4
Onda Continua (Portadora)	1
Televisión Analógica	0.6

Estimación fuera del haz principal

La ganancia de una antena varía con la dirección. Como resultado, diferentes distancias de separación mínimas pueden necesitar ser mantenidas en diferentes direcciones de la antena.

Un modelo muy simple para un patrón de antena es hacer una distinción entre 'lóbulo principal' y los lóbulos secundarios. Al referirse a exposición a lóbulo principal se asume que el lóbulo principal se extiende a ángulos de $\pm 45^\circ$ al eje principal de radiación. La ganancia máxima de la antena es usada para el cumplimiento de la estimación. El ángulo a -3 dB puede ser tomado como el límite del lóbulo principal para el propósito de determinar el cumplimiento. Fuera del lóbulo principal una ganancia de 0 dBi se usa para estimar el cumplimiento. Esta es la forma más simple de cálculo para antenas directivas.

Si el patrón de radiación de la antena es conocido, este debería ser usado para estimar el cumplimiento. Este puede ser un patrón suministrado por el fabricante de la antena o uno calculado, por ejemplo usando MININEC o algún software similar.

Nota :

Para el caso de transmisión intermitente deberá tomarse en consideración el ciclo de trabajo en periodos de promediación temporal de 6 minutos, de tal manera que la potencia de transmisión para fines de evaluación del cumplimiento de los límites máximos permisibles estará multiplicada por el ciclo de trabajo. Las distancias en las tablas para radioaficionados que se muestran en el anexo V no consideran este factor, para considerarlo se debe multiplicar por la raíz cuadrada del ciclo de trabajo a dichas distancias.

ANEXO V

TABLAS DE REFERENCIA PARA LA EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA ALGUNOS SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES

Para el caso de los siguientes servicios, se podrán utilizar para la evaluación del cumplimiento de los límites máximos permisibles, las siguientes tablas. Para servicios no incluidos en el presente anexo se emplearán los criterios predictivos establecidos en el artículo 5.

TABLAS DE REFERENCIA PARA RADIODIFUSIÓN SONORA AM ONDA MEDIA

Las curvas presentadas en las figuras 1, 2 y 3 se han obtenido empleando el software MININEC, los resultados se resumen en tablas de distancia respecto a la base de la antena, en función de la potencia de transmisión, para el cumplimiento de los límites máximos permisibles en el caso de antenas de AM con alturas eléctricas de 0.1, 0.25 y 0.5 longitudes de onda.

Las figuras del 1 al 3 predicen los valores de intensidad de campo para estaciones que

transmiten con una potencia de 1 KW . Por tanto para estaciones con otro nivel de potencia, los valores que se obtengan de estas figuras deberán ser multiplicadas por la raíz cuadrada de la potencia de las estaciones, expresada en KW.

Límites para una antena de 0.1λ de longitud física

Distancia (Metros)

Figura 1. Curva obtenida mediante MININEC para una antena de 0.1λ de longitud física y con una potencia de transmisión de 1 KW

Tabla 1. Distancia para el cumplimiento de límites máximos permisibles, para una antena de 0.1λ de longitud física

Frecuencia (KHz)	Potencia de Transmisor (kW)			
	50	10	5	1
Predicción de Distancia para cumplir con normas MTC (m)				
535 - 740	28	19	16	11
750 - 940	28	19	16	11
950 - 1140	28	19	16	11
1150 - 1340	29	20	18	12
1350 - 1540	31	21	19	13
1550 - 1705	32	22	23	24

Límites para una antena de 0.25λ de longitud física

Distancia (Metros)

Figura 2. Curva obtenida mediante MININEC para una antena de 0.25λ de longitud física y con una potencia de transmisión de 1 KW

Tabla 2. Distancia para el cumplimiento de límites máximos permisibles, para una antena de 0.25λ de longitud física

Frecuencia (KHz)	Potencia de Transmisor (kW)			
	50	10	5	1
Predicción de Distancia para cumplir con normas MTC (m)				
535 - 740	6	3	2	2
750 - 940	6	3	3	2
950 - 1140	7	4	3	2
1150 - 1340	9	5	3	2
1350 - 1540	10	5	4	2
1550 - 1705	13	6	5	3

Límites para una antena de 0.5λ de longitud física

Distancia (Metros)

Figura 3. Curva obtenida mediante MININEC para una antena de 0.5λ de longitud física y con

una potencia de transmisión de 1 KW

Tabla 3. Distancia para el cumplimiento de límites máximos permisibles, para una antena de 0.5λ de longitud física

Frecuencia (KHz)	Potencia de Transmisor (kW)			
	50	10	5	1
Predicción de Distancia para cumplir con normas MTC (m)				
535 - 740	15	9	7	4
750 - 940	15	9	7	4
950 - 1140	15	9	7	4
1150 - 1340	17	11	8	4
1350 - 1540	17	11	9	5
1550 - 1705	17	12	9	5

TABLAS DE REFERENCIA PARA RADIODIFUSIÓN SONORA FM

A continuación se muestran tablas de valores para las alturas mínimas del centro de radiación respecto del nivel del suelo, para que la densidad de potencia a 2 metros de altura del nivel del suelo, no exceda los límites máximos permisibles (2 W/m^2).

Se ha empleado el software desarrollado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica (EPA - Environmental Protection Agency) y empleado por el FCC, para estos casos.

Tabla 4. Límites para una separación de 0.5λ entre elementos radiantes.

PRE Total H+V(kW)	Numero de Elementos					
	2	4	6	8	10	12
Metros desde el nivel del piso al Centro de Radiación						
0,5	5.2	5.6	7.3	9	10.7	12.4
3	9.7	6.1	7.3	9	10.7	12.4
10	16.1	9.4	7.3	9	10.7	12.4
25	24.3	13.7	10.2	9	10.7	12.4
50	33.5	18.5	13.6	10.8	10.7	12.4
75	40.5	22.3	16.2	12.7	10.7	12.4
100	46.5	25.4	18.4	14.5	12.1	12.4
125	51.7	28.1	20.3	15.9	13.2	12.4
150	56.5	30.7	22	17.2	14.3	12.4
175	61	33	23.7	18.4	15.3	13.1
200	65	35	25.2	19.6	16.2	13.9

Tabla 5. Límites para una separación de 1λ entre elementos radiantes.

PRE Total H +V (kW)	Numero de Elementos					
	2	4	6	8	10	12
Metros desde el nivel del piso al Centro de Radiación						
0,5	9,1	9,0	11,5	14,9	18,3	21,7
3	19,3	19,2	19,0	18,8	18,7	21,7

10	33,6	33,3	33,1	32,7	32,4	32,1
25	51,9	51,5	51,1	50,6	50	49,6
50	72,6	71,9	71,4	70,7	69,9	69,3
75	88,4	87,7	87	86,1	85,1	84,4
100	101,8	100,9	100,1	99,1	98,0	97,1
125	113,6	112,6	111,7	110,5	109,3	108,4
150	124,2	123,1	122,2	120,9	119,6	118,5
175	133,4	132,8	131,8	130,4	129,0	127,9
200	143,1	141,8	140,8	139,3	137,7	136,5

TABLAS DE REFERENCIA PARA RADIOAFICIONADOS

Se muestran tablas con distancias, desde la base de la antena, para el cumplimiento de los límites máximos permisibles, en función de la potencia, bandas de frecuencias y tipo de antena.

Tabla 6. Bandas HF y VHF/UHF

Distancias desde la base de la antena para el cumplimiento de los límites máximos permisibles en las bandas de HF y VHF/UHF.

Frecuencia (MHz /Banda)	Ganancia de Antena (dBi)	Potencia 10 watts	Potencia 25 watts	Potencia 50 watts	Potencia 120 watts	Potencia 200 watts
Distancia (m)						
2(160m)	0	0.28	0.45	0.63	0.98	1.26
2(160m)	3	0.40	0.63	0.89	1.38	1.78
4(80m)	0	0.40	0.63	0.89	1.38	1.78
4(80m)	3	0.56	0.89	1.26	1.95	2.52
7(40m)	0	0.54	0.85	1.20	1.86	2.41
7(40m)	3	0.76	1.20	1.70	2.64	3.40
7(40m)	6	1.08	1.70	2.41	3.73	4.82
10(30m)	0	0.63	1.00	1.41	2.19	2.83
10(30m)	3	0.89	1.40	1.98	3.07	3.96
10(30m)	6	1.26	2.00	2.83	4.38	5.65
14(20m)	0	0.63	1.00	1.41	2.19	2.83
14(20m)	3	0.89	1.40	1.98	3.07	3.96
14(20m)	6	1.26	2.00	2.83	4.38	5.65
14(20m)	9	1.77	2.80	3.96	6.13	7.91
18(17m)	0	0.63	1.00	1.41	2.19	2.83
18(17m)	3	0.89	1.40	1.98	3.07	3.96
18(17m)	6	1.26	2.00	2.83	4.38	5.65
18(17m)	9	1.77	2.80	3.96	6.13	7.91
21(15m)	0	0.63	1.00	1.41	2.19	2.83

21(15m)	3	0.89	1.40	1.98	3.07	3.96
21(15m)	6	1.26	2.0	2.83	4.38	5.65
21(15m)	9	1.77	2.80	3.96	6.13	7.91
25(12m)	0	0.63	1.00	1.41	2.19	2.83
25(12m)	3	0.89	1.40	1.98	3.07	3.96
25(12m)	6	1.26	2.00	2.83	4.38	5.65
25(12m)	9	1.77	2.80	3.96	6.13	7.91
30(10m)	0	0.63	1.00	1.41	2.19	2.83
30(10m)	3	0.89	1.40	1.98	3.07	3.96
30(10m)	6	1.26	2.00	2.83	4.38	5.65
30(10m)	9	1.77	2.80	3.96	6.13	7.91
50 (6m)	0	0.63	1.00	1.40	2.19	2.83
50 (6m)	3	0.89	1.40	2.00	3.07	3.96
50 (6m)	6	1.26	2.00	2.80	4.38	5.65
50 (6m)	9	1.77	2.80	4.00	6.13	7.91
50 (6m)	12	2.51	3.95	5.60	8.65	11.17
50 (6m)	15	3.54	5.60	7.90	12.27	15.84
144(2m)	0	0.63	1.00	1.4	2.19	2.83
144(2m)	3	0.89	1.40	2.0	3.07	3.96
144(2m)	6	1.26	2.00	2.8	4.38	5.65
144(2m)	9	1.77	2.80	4.0	6.13	7.91
144(2m)	12	2.51	3.95	5.6	8.65	11.17
144(2m)	15	3.54	5.60	7.9	12.27	15.84
144(2m)	20	6.31	9.95	14.1	21.80	28.14
220(1.25m)	0	0.63	1.00	1.4	2.19	2.83
220(1.25m)	3	0.89	1.40	2.0	3.07	3.96
220(1.25m)	6	1.26	2.00	2.8	4.38	5.65
220(1.25m)	9	1.77	2.80	4.0	6.13	7.91
220(125m)	12	2.51	3.95	5.6	8.65	11.17
220(1.25m)	15	3.54	5.60	7.9	12.27	15.84
220(1.25m)	20	6.31	9.95	14.1	21.80	28.14
450(70cm)	0	0.60	0.94	1.33	2.06	2.66
450(70cm)	3	0.84	1.33	1.88	2.91	3.16
450(70cm)	6	1.19	1.88	2.66	4.12	5.32
450(70cm)	9	1.67	2.64	3.74	5.79	7.48
450(70cm)	12	2.37	3.75	5.30	8.21	10.61
450(70cm)	15	3.34	5.29	7.48	11.58	14.95
450(70cm)	20	5.95	9.40	13.30	20.60	26.60
900(33cm)	0	0.42	0.65	0.94	1.46	1.88
900(33cm)	3	0.60	0.94	1.33	2.06	2.66
900(33cm)	6	0.84	1.33	1.88	2.91	3.76

900(33cm)	9	1.18	1.87	2.64	4.09	5.29
900(33cm)	12	1.68	2.65	3.75	5.81	7.50
900(33cm)	15	2.36	3.74	5.29	8.19	10.57
900(33cm)	20	4.21	6.65	9.40	14.57	18.81
1240(23cm)	0	0.36	0.57	0.80	1.24	1.60
1240(23cm)	3	0.51	0.80	1.13	1.76	2.27
1240(23cm)	6	0.72	1.13	1.60	2.48	3.20
1240(23cm)	9	1.00	1.59	2.25	3.49	4.50
1240(23cm)	12	1.43	2.26	3.19	4.95	6.39
1240(23cm)	15	2.01	3.18	4.50	6.98	9.01
1240(23cm)	20	3.58	5.66	8.01	12.41	16.02

Nota:

Estas distancias de separación se aplican solamente en la dirección del lóbulo principal de la antena. Se puede emplear un valor de ganancia de 0 dBi fuera del lóbulo principal, el cual puede estimarse a +/- 45 grados fuera del eje de soporte central de la antena para el propósito de cumplimiento de los límites máximos permisibles.

Si el patrón de radiación actual es conocido (mediante cálculos o especificaciones del fabricante) entonces este debería ser empleado.

En el caso de antenas Yagui, se deberá emplear el ángulo apropiado mostrado en la tabla 16 el mismo que determina el límite del lóbulo principal.

Tabla 7. Yagui de tres elementos "tri-banda"

Distancia desde la base de la antena para el cumplimiento de los límites máximos permisibles.

Potencia (watts)	14 MHz, 6.5 dBi	21 MHz, 7 dBi	28 MHz, 8dBi
Distancia (m)			
10	1.33	1.41	1.58
25	2.11	2.23	2.5
50	2.98	3.16	3.54
120	4.62	4.89	5.49
200	5.96	6.32	7.09

Tabla 8. Antena Omnidireccional HF de cuarto de onda vertical con plano de tierra (ganancia estimada 1 dBi)

Distancia (metros) desde la base de la antena para el cumplimiento de los límites máximos permisibles.

Potencia (watts)	3.5 MHz	7 MHz	14 MHz	21 MHz	28 MHz
Distancia (m)					
10	0.32	0.54	0.71	0.71	0.71
25	0.51	0.85	1.12	1.12	1.12

50	0.71	1.21	1.58	1.58	1.58
120	1.11	1.87	2.45	2.45	2.45
200	1.44	2.42	3.17	3.17	3.17

Tabla 9. Antena Dipolo de media onda horizontal (ganancia estimada 2 dBi)

Distancia (metros) desde la base de la antena para el cumplimiento de los límites máximos permisibles.

Potencia (watts)	3.5 MHz	7 MHz	14 MHz	21 MHz	28 MHz
Distancia (m)					
10	0.36	0.61	0.79	0.79	0.79
25	0.57	0.96	1.25	1.25	1.25
50	0.81	1.35	1.77	1.77	1.77
120	1.25	2.10	2.75	2.75	2.75
200	1.61	2.71	3.54	3.54	3.54

Tabla 10. Antena de 1/4 de onda con plano de tierra o látigo móvil en VHF, a 146 MHz (ganancia estimada 1 dBi)

Distancia desde la base de la antena para el cumplimiento de los límites máximos permisibles.

Potencia de Transmisor (watts)	Distancia (metros)
10	0.71
25	1.12
50	1.58
120	2.45
200	3.17

Tabla 11. Antena de 5/8 de onda con plano de tierra o látigo móvil en UHF a 446 MHz (ganancia estimada 4 dBi) exposición a lóbulo principal

Distancia (metros) desde la base de la antena para el cumplimiento de los límites máximos permisibles.

Potencia de Transmisor (watts)	Distancia (metros)
10	0.95
25	1.50
50	2.12
120	3.28
200	4.23

Tabla 12. Yagui de 17 elementos, soporte central de cinco longitudes de onda (ganancia estimada 16.8 dBi); exposición a lóbulo principal

Distancia (metros) desde la base de la antena para el cumplimiento de los límites máximos permisibles.

Potencia de Transmisor (watts)	Distancia (metros)
10	4.36
25	6.90
50	9.76
120	15.12
200	19.52

Tabla 13. Antena Discono HF (ganancia estimada 2 dBi); exposición a lóbulo principal

Distancia (metros) desde la base de la antena para el cumplimiento de los límites máximos permisibles.

Potencia (watts)	3.5 MHz	7 MHz	14 MHz	28 MHz
	Distancia (metros)			
10	0.36	0.61	0.79	0.79
25	0.57	0.96	1.25	1.25
50	0.81	1.35	1.77	1.77
120	1.25	2.10	2.75	2.75
200	1.61	2.71	3.54	3.54

Tabla 14. Antena Discono VHF/UHF (ganancia estimada 2 dBi); exposición a lóbulo principal

Distancia (metros) desde la base de la antena para el cumplimiento de los límites máximos permisibles.

Potencia (watts)	50 MHz	144 MHz	440 MHz
	Distancia (metros)		
10	0.79	0.79	0.76
25	1.25	1.25	1.20
50	1.77	1.77	1.69
120	2.75	2.75	2.62
200	3.54	3.54	3.38

Tabla 15. Antena de Cuarto de Onda inclinada o "half sloper" (ganancia promedio estimada 6.7 dBi); exposición a lóbulo principal

Distancia (metros) desde la base de la antena para el cumplimiento de los límites máximos permisibles.

Potencia (watts)	7 MHz	14 MHz	21 MHz	28 MHz
	Distancia (metros)			
10	1.04	1.36	1.36	1.36
25	1.65	2.16	2.16	2.16
50	2.33	3.05	3.05	3.05
120	3.61	4.72	4.72	4.72
200	4.66	6.10	6.10	6.10

Tabla 16. Ángulos de 3 dB para antenas Yagui

Tamaño del soporte central o longitud del "boom"(en longitudes de onda)	Ángulos de 3 dB (grados)
< 1	50
1-2	31
2-3	22
3-4	18
4-6	16
6-8	14
8-10	11
> 10	10

Nota: En cada rango de tamaño del soporte central, el valor más bajo es inclusivo y el más alto es excluyente. Esta tabla es aplicada para antenas Yagui solas y no para arreglos de antenas Yagui.