

ARTÍCULOS ORIGINALES

Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología

Análisis del campo electromagnético en Ciudad de La Habana

Lic. Jesarely Hernández Escrivá¹ y Dr. Carlos Barceló Pérez²

1. Licenciado en Física. Aspirante a Investigador.
2. Doctor en Ciencias Físicas. Investigador Auxiliar. Profesor Auxiliar.

RESUMEN

Con el objetivo de valorar la exposición de la población al campo electromagnético, a cuenta de las transmisiones civiles en Ciudad de La Habana, se efectuaron los cálculos teóricos de propagación de ondas en la gama de frecuencias medias, cortas y ultracortas en modulaciones de amplitud, frecuencia y pulso, y se obtuvieron estimaciones de las zonas de protección sanitaria y límite de construcción a partir de normas europeas para los transmisores instalados que operaban a su máxima capacidad. Con la técnica de reconocimiento de patrones se observó que el riesgo sanitario era de igual modo mayor en los transmisores de televisión del oeste de la ciudad, en los emisores de frecuencia modulada del centro y en una de las frecuencias de radar del este de la ciudad, se hallaron múltiples edificaciones civiles en áreas de presunta restricción. El riesgo sería mínimo en las emisiones de ondas medias. Los valores que resultan de la situación real y los valores medidos indican que en ningún momento llega a transgredirse el nivel permisible de campo para la salud humana. El cálculo teórico de los campos asociados a las líneas de alta tensión que se hallan en zonas aledañas y dentro de la ciudad delimita una extensión de la zona de protección sanitaria del orden hasta de las centenas de metros.

Palabras clave: CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS/efectos adversos; LIMITES PERMISIBLES; RADIO/normas; TELEVISIÓN/normas.

INTRODUCCIÓN

La exposición de los seres vivos a las altas intensidades del campo electromagnético puede traducirse en daños histológicos a los tejidos y órganos así como en alteraciones funcionales de diversos subsistemas fisiológicos, entre ellos el sistema nervioso central, según indican diversos experimentos. En pesquisas epidemiológicas realizadas en poblaciones con exposición continuada se ha encontrado una incidencia más elevada de cáncer.

Los campos electromagnéticos de radiofrecuencia se producen en forma natural, pero en los últimos tiempos ha habido una proliferación de fuentes artificiales que constituyen un factor de riesgo muy reciente dentro de la evolución biológica. La preocupación por este problema comenzó a principios del decenio de 1940-1950 con motivo de la observación de los efectos biológicos causados por las microondas.¹

Estas fuentes se pueden clasificar en emisores deliberados si poseen un elemento radiante o antena diseñado para emitir.² En los emisores no deliberados no se encuentran estas características, la radiación puede producirse en forma de ruido de banda amplia o generarse como armónicos discretos. En algunos casos, es producida por fuentes que emiten radiación no incluida en las gamas de las microondas y la radiofrecuencia.

La exposición de los seres vivos a las altas intensidades del campo electromagnético de los emisores deliberados se puede traducir en daños histológicos a los tejidos y órganos, así como en alteraciones funcionales de diversos subsistemas fisiológicos, entre ellos el sistema nervioso central, según indican diversos experimentos.^{3,4}

Dentro de los emisores no deliberados encontramos las líneas aéreas (LA) de alto voltaje, las cuales pueden producir efectos directos o de corta duración, como la inducción de corrientes sobre el cuerpo, o de larga duración o efectos biológicos los cuales aún se investigan.^{5,6} La exposición continuada a campos magnéticos de estas frecuencias ha sido vinculada, en algunos estudios epidemiológicos, a la mayor incidencia de leucemia, particularmente en niños.⁷

Cuantificar el riesgo epidemiológico por la exposición de la población a la contaminación electromagnética (EM) constituye un deber de los servicios preventivos de salud pública. En este sentido y tomando en cuenta que en Ciudad de La Habana se ubica el núcleo urbano más densamente poblado del país, y donde, al mismo tiempo, se concentran importantes emisores deliberados de radiación EM, se plantea el objetivo, en primera instancia, de estimar teóricamente los campos, la dimensión de las zonas de protección sanitaria (ZPS) y las zonas límites de construcción (ZLC) de objetivos radioeléctricos civiles a su máxima capacidad de operación; describir la carga total de la zona más densamente urbanizada, proponer un esquema clasificatorio de patrones según su peligrosidad y reportar la inspección sanitaria de las zonas de acceso limitado por la contaminación electromagnética. Elegir de aquellos emisores que presenten ZPS visibles para realizar mediciones de terreno y recalculer los campos según los datos de emisión de ese momento. Además, adicionar el análisis teórico de las bajas frecuencias. Y en general, obtener una visión de la situación electromagnética en la ciudad. Los emisores deliberados seleccionados emiten en la gama de las microondas (radar meteorológico y de aviación civil), las ondas medias (OM, antenas de radio), ondas cortas y ultracortas (antenas de radio de frecuencia modulada [RFM] y televisión [TV]). Los emisores no deliberados trabajan en las bajas frecuencias (60 Hz, líneas aéreas) (tabla 1).

TABLA 1. *Datos generales de los emisores estudiados*

Emisor	Dirección	Potencia (kW)	Altura (m)
Radares:		250-900	25-50
	Boyeros	Aeropuerto	
	Meteorológico	Casablanca	
	Aviación Civil	Menocal	
OM:		1-160	90-121

	Rebelde	A. Arenas	
	Metropolitana	A. Arenas	
	Musical	A. Arenas	
	Progreso	Guanabacoa	
	Taíno	Guanabacoa	
	Enciclopedia	Guanabacoa	
	Periódico	Regla	
	Reloj	Pastora	
	Cadena Habana 1140	Pastora	
	Cadena Habana	Boyeros	
	Ciudad Habana	Boyeros	
Radio frecuencia modulada:		0,25-1	75-147
	Coco	Plaza	
Ciudad Habana	Plaza		
	Progreso	Plaza	
	Rebelde	Plaza	
	Enciclopedia	Plaza	
	Musical	Plaza	
	Reloj	Centro Habana	
	Metropolitana	Nuevo Vedado	
	Cadena Habana	Marianao	
Televisión:		0,1-25	140-222
	Canal 6	A. Arenas	
	Canal 2	A. Arenas	
	Canales 8 y 10	Plaza	
Líneas	Nombre de la	Tipo de estructura	Voltaje conductor (KV)
Mariel 220- Habana 220	dc220	AC400 / 51	250
			CP: AC 70 / 72
Habana 220- Cotorro 220	dc220	AC400 / 51	250

Cotorro 220- Antillana 220	dc220	AC300 / 39	250	CP: AC 70 / 72
Cotorro 220-CTE Habana	p235	AC400 / 51	250	CP: AC 70 / 72
Mariel 220 - Cujae	dc220	AC400 / 51	250	CP: AC 70 / 72
		benetic		AC240 / 39 121 CP: TK 70

METÓDICA

Se propuso realizar los cálculos teóricos de propagación del campo, se obtienen la intensidad del campo eléctrico (E) o la densidad de flujo de energía (DFE), la ZPS y la ZLC, además de inspeccionar el terreno y realizar mediciones para algunas estaciones con un electrómetro.

Se conocerá como ZPS al área contigua al territorio técnico del emisor cuyos límites externos se determinan a 2 m con respecto al suelo y donde el valor del campo no es inferior al nivel límite permisible. Tendremos como ZLC al territorio donde a más de 2 m con respecto a la superficie de la tierra se exceden los niveles límites permisibles.

Para el fin propuesto se considera a la ciudad como un terreno plano al nivel del mar. Todos los cálculos son válidos para la zona lejana, aquella zona donde la distancia horizontal $r \pm 2 \cdot D^{2\lambda}$, D se corresponde con las dimensiones máximas del emisor y λ es la longitud de onda, ambas en metros.

MÉTODO DE CALCULO DE EMISORES DELIBERADOS

Se adoptan los métodos de cálculo de la antigua URSS⁸⁻¹¹ y del CCIR (Estrada M. Cálculos de radiopropagación en ondas medias. Ministerio de Comunicaciones, La Habana, 1962), los cuales han sido recomendados en la literatura de organismos internacionales competentes. Se eligen como nivel límite permisible (NLP) de radiación, los reglamentados por los documentos normativos de los países del antiguo CAME y aceptados mundialmente.

Onda media:

$E = f(P, r, \sigma, f)$ resuelto mediante los gráficos del CCIR

NLP = 10 V/m

Onda ultracorta:

$$\text{RFM E} = (C \cdot F(t) \cdot F(\Phi)) / K \cdot R \quad \text{NLP} = 2 \text{ V/m}$$

$$\text{HZLC} = h_a - (C \cdot F(t) \cdot F(\Phi) \cdot \sin(t) / K \cdot \text{NLP})$$

$$C = (30 \cdot P \cdot G \cdot N)^{1/2} \cdot K F \cdot K$$

$$\text{TV E} = C \cdot F(t) / R \quad \text{NLP} = 2 \text{ V/m}$$

$$\text{HZLC} = h_a - [(F(t) \cdot C / \text{NLP})^2 - r^2]$$

Microondas:

$$\text{DFE} = C \cdot F^2(t) / R^2 \quad C = 8 \cdot P_m \cdot G \cdot K F$$

$$\text{NLP} = 10 \mu \text{ W/cm}^2 \quad (\lambda = 3 \text{ cm})$$

$$\text{NLP} = 25 \mu \text{ W/cm}^2 \quad (\lambda = 10 \text{ cm})$$

$$\text{NLP} = 5 \mu \text{ W/cm}^2 \quad (\lambda = 23 \text{ cm})$$

$$\text{HZLC} = h_a - r \cdot \text{Tan}[(\ln r^2 \cdot \text{NLP} / C)^{1/2} / -0,69] \cdot t_{0,5-0}$$

CALCULO DE LA ZONA DE PROTECCION SANITARIA

Se realizó por interpolación lineal exceptuando el radar meteorológico de doble canal.

Por interpolación lineal: $d_i = [(d_a - d_b) \cdot (E_i - E_b) / (E_a - E_b)] + d_b$

d_i : distancia incógnita en m, d_a y E_a : distancia y campo eléctrico de mayor valor en m y V/m, d_b y E_b : distancia y campo eléctrico de menor valor en m y V/m.

Para el radar meteorológico de doble canal: $r_{zps} = (C \cdot cte / \text{NLP})^{1/2}$

E: campo eléctrico en V/m, HZLC: altura del perfil de la ZLC en m, N: pérdida en el cable alimentador,

P: potencia nominal en W, P_m : potencia media en W, σ : conductividad del suelo en mS/m, f: frecuencia en Hz, h_a : altura del punto de estudio en m, R: distancia del centro eléctrico de la antena al punto de estudio en m, r: distancia de la base de la antena al punto de estudio en m, G: ganancia, KF: coeficiente de reflectividad, K: coeficiente de irregularidad horizontal, $t_{0,5}$: mitad del ancho del diagrama de la P_m en posición horizontal en grados, e_0 : ángulo del máximo de emisión en grados, F(t): diagrama normado vertical. F(_): diagrama normado horizontal.

CAMPO ELÉCTRICO PARA LAS LÍNEAS AÉREAS DE ALTO VOLTAJE

Para el cálculo del campo eléctrico¹² en puntos distantes de los conductores, tales como cerca de la superficie del suelo, se hacen las siguientes suposiciones adicionales:

- El suelo es una superficie conductora perfecta paralela a los conductores.
- Los conductores son supuestos circulares de longitud infinita y paralelos entre sí.

El campo eléctrico se calcula mediante la Ley de Gauss:

n

$\epsilon_0 \cdot E \cdot dS = \sum_{i=1}^n q_i$ cargas

i=1

E: campo eléctrico resultante sobre cada punto de la superficie gaussiana, dS: vector elemental de la superficie orientado perpendicularmente a ella, S: superficie gaussiana en m², l: longitud de la línea considerada en m.

El cálculo de la zona de protección sanitaria se realizó mediante aproximaciones sucesivas.

En los resultados se tuvieron en cuenta el error relativo y absoluto derivando y logarimando las ecuaciones, se estimó una cota de error relativa no mayor del 10 %.

No se usaron encuestas. Los datos se verificaron y validaron por cruzamiento de la información de diferentes entidades, consultando diversas fuentes informáticas. No se empleó análisis estadístico.

Se procesaron los datos en programas β Basic, los cuales fueron elaborados por los autores, comprobados contra juego de datos de prueba y puesto a punto para la explotación. Estos programas consisten en llevar la metodología de cálculo de los E, ZPS y ZLC a lenguaje de programación. El cálculo de interpolación lineal consistió también en la aplicación de programas β al algoritmo de cálculo, los que fueron puestos a punto de la misma manera. Para los mismos fines se recalcularon E y los errores, utilizando la hoja de cálculo MATHCAD (Mathsoft Inc). Para determinar el campo eléctrico en extra baja frecuencia (ELF), se empleó el PARLINC elaborado por el ingeniero *Silvio Llamo*. En reconocimiento de patrones no supervisados fue manejado el programa SIRP (ICIMAF).

Los resultados para las máximas capacidades de instalación se sometieron a un esquema clasificatorio de patrones según su peligrosidad utilizando los programas SIRP mediante las técnicas de análisis jerárquico según el método del Centroides aplicado sobre las distancias de Gower y la técnica de Ward (De la Cruz AV. Análisis exploratorio de datos y reconocimiento de patrones [Texto de curso]. Instituto de Matemáticas Cibernética y Física de la ACC, La Habana, 1993). Se incluyó un reporte de inspección sanitaria en las zonas de acceso limitado (ZPS) y una evaluación del aporte de los emisores estudiados en una zona densamente poblada como la comprendida por los municipios Habana Vieja y Centro Habana, trazamos las isopleas sobre el mapa mediante el método de interpolación lineal sobre una red de puntos, para cuyos nodos fue calculado el campo sumario teórico con un paso de retículo de 500 m.

RESULTADOS EMISORES DELIBERADOS

El procesamiento de los datos y su graficación nos llevan a la verificación de la dependencia de E respecto a los parámetros técnicos de la antena.

Emisor de ondas medias: el campo E disminuye al aumentar la distancia r, el campo E aumenta al elevarse la potencia, la altura de la antena no interviene y al aumentar la frecuencia disminuye el campo E excepto dentro de la milla donde no hay dependencia.

Emisor de ondas ultracortas (RFM y TV): el campo E dentro del lóbulo principal disminuye con el aumento de la distancia r, E aumenta con el aumento de la potencia, no hay dependencia con la frecuencia y E disminuye al aumentar la altura de la antena (figura 1).

Fig.1

Emisor de microondas: la DFE disminuye al aumentar la distancia cuadráticamente, aumenta al elevarse la potencia, no se muestra en estos casos dependencia con la altura y mientras más inclinada se halle la antena respecto a tierra el lóbulo principal de irradiación barre más espacio sobre ésta.

Los valores de E para las estaciones medidas coincidirán en la banda de errores absolutos con los valores teóricos recalculados, para una nueva situación de emisión que no es la propuesta para una máxima capacidad de trabajo. Puesto que en esta nueva situación los parámetros técnicos de las estaciones son menores y la consideración de los diagramas verticales y horizontales es menos idealizada, los valores resultantes de E serán más reducidos que en la máxima capacidad de trabajo del transmisor.

Los valores de la ZPS y de la altura de la ZLC se exponen en las tablas 2 y 3, respectivamente.

TABLA 2. Zonas de protección sanitaria

Emisora	Radio de la ZPS(m)
Radio Taíno (OM)	248,8
Radio Progreso, Radio Rebelde (OM)	224,7
Radio Ciudad Habana, Radio Metropolitana (OM)	101,5
Radio Reloj, Radio Cadena Habana, Radio Enciclopedia, Radio Musical (OM)	71,8
Radio Cadena Habana (RFM)	213
Radio Metropolitana, Radio Ciudad Habana (RFM)	173
Canal 6 (TV)	2 094

Canal 2 (TV)	1 542
Radar Casablanca 3 cm (microondas)	160
Radar Casablanca 10 cm (microondas)	38
Radar Boyeros (microondas)	63
Línea Mariel-Cujae	111
Línea Cotorro-CTE	104
Línea Mariel-Habana, Habana- Cotorro	84
Línea Cotorro-Antillana	83

TABLA 3. *Alturas máximas y mínimas de la zona límite de construcción*

Antena	Clasificación	Hmín(m)	Hmáx(m)
Radar Casablanca	Radar meteorológico	48	49
	(3 cm) (0,3 ⁰)	9,5	50
Radar Casablanca	Radar meteorológico (3 cm) (-1?)		
Canal 2	TV	0	19
Canal 6	TV	0	37
Enciclopedia y Musical	FM	16	108
Cadena Habana	FM	0	69,5
Metropolitana	FM	0	91
Ciudad Habana	FM	0	87
Reloj	FM	33	80,5
Rebelde	FM	47	137
Radar Boyeros	Radar meteorológico (3 cm)		

Hmín: altura mínima de la edificación.

Hmáx: altura máxima de la edificación.

EMISORES NO DELIBERADOS. LINEAS AEREAS DE ALTO VOLTAJE

El campo E disminuye con el aumento de la distancia, también E depende del tipo de conductor y del tipo de estructura de la armadura; por ejemplo, mientras mayor sea el número de conductores y/o mayor el número de conductores por haz, o sea, más grande el diámetro, mayor será la radiación del campo eléctrico. Si adicionamos nuevas estructuras en paralelo aparecerá más de un máximo en la curva para las distintas alturas.

Para las 4 líneas estudiadas resultó que la ZPS no sobrepasaría las centenas de metros, 57 m fue el valor mayor con un NLP de 5 KV/m y 111 m en 1 KV/m.

A cuenta del análisis de clasificación de patrones no supervisados de los emisores, trabajando éstos a su máxima capacidad, quedaron entonces agrupados en los subconjuntos siguientes:

- Subconjunto de menor peligrosidad: en las OM, Radio Musical, Radio Enciclopedia, Radio Ciudad de La Habana en sus 2 frecuencias, Radio Progreso, Radio Taíno, Radio Periódico y Radio Rebelde.
- Subconjunto de peligrosidad moderada: radar de 10 cm de Casablanca.
- Subconjunto de mayor peligrosidad: en la FM, Radio Ciudad de La Habana, Cadena Habana, Metropolitana; el radar de 3 cm de Casablanca y los canales 2 y 6 de televisión.

Si se analiza, además, el efecto del campo eléctrico conjunto de los emisores de la radiofrecuencia y la televisión en los municipios densamente poblados de Centro Habana y Habana Vieja, se constata que el campo tiende a disminuir hacia el puerto. En la dirección norte-sur hacia los alrededores de la Academia de Ciencias se presenta una irregularidad, posiblemente por su cercanía a un conjunto de estos irradiadores. Las zonas de campo más elevadas se ubican en la proximidad de los emisores de 23 y L (en el Vedado). Se observan campos del orden de 2 V/m con pendientes decrecientes ciudad adentro, con un aumento hacia la calle San Joaquín. En general, los gradientes no son pronunciados y recorren valores entre 0,7 V/m y 2,6 V/m (figura 2).

Fig.2

DISCUSIÓN EMISORES DELIBERADOS

Como resultado del análisis para máximas capacidades instaladas, pudieron observarse ciertas tipologías de riesgo que se ordenan según la frecuencia y modo de transmisión, y en las cuales se incluye la posición del emisor con respecto al perfil urbano adyacente. Las emisiones de más corta longitud de onda con modulación de pulso y frecuencia resultaron de mayor riesgo para la población de la ciudad que las emisiones de más larga longitud de onda con modulaciones de amplitud. Por tanto, se obtuvo que en Ciudad de La Habana existen territorios donde se transgredirían las normas sanitarias y que el riesgo sanitario sería de igual modo mayor en los transmisores de TV del oeste de la ciudad, en los emisores de FM del centro y en una de las frecuencias del radar del este de la ciudad, hallándose múltiples edificaciones civiles en áreas de presunta restricción. El riesgo sería mínimo en las emisiones de OM. La acción conjunta de los

emisores de TV, FM y onda media afectan más aquellas zonas que se encuentran más cerca de su acción por lo que aquellos barrios de Centro Habana y Habana Vieja más cercanos al Vedado y Cerro sufrirán más el efecto de la radiación.

Si se realiza una evaluación para condiciones nuevas de menos potencia de transmisión y ganancia y se comprueba con mediciones realizadas en el terreno, se llega a la conclusión de que no se transgreden los límites permisibles en las zonas de mayor afectación.

EMISORES NO DELIBERADOS

Para el caso de Cuba, las líneas que ofrecen mayor peligrosidad por sus efectos presentan ZPS que no sobrepasan los 100 m.

En suma, estas proposiciones de cálculo tienen diversos grados de acercamiento a la realidad. Permiten un criterio del comportamiento del campo y HZLC y cumplimiento de la ZPS de estos emisores antes de realizar una medición en el lugar de asentamiento de ellos, lo que nos facilita las posibles mediciones, así como la posibilidad del análisis de ellos cuando se necesite instalar uno nuevo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración del ingeniero Jorge Inclán, del licenciado José León Palou (Ministerio de Comunicaciones) y del doctor Silvio Llamo Laborí (Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas) por sus valiosos aportes a este trabajo.

SUMMARY

Theoretical calculations of the propagation of waves in the range of medium, short and ultrashort frequencies in modulation of amplitude, frequency and pulse were made aimed at assessing the population's exposure to the electromagnetic field as a result of civil broadcastings in Havana City. Estimations of the sanitary protection zones and construction limits were obtained from European standards for installed transmitters operating at their maximum capacity. By using the patterns recognition technique it was observed that the sanitary risk was greater in the television transmitters from the western part of the city, in the broadcastings of modulated frequency from the center, and in one of the radar frequencies from the eastern part of the city. Multiple civil buildings were found in the alleged restriction areas. The risk was minimum in the medium wave broadcastings. The values resulting from the real situation, as well measured values show that the permissible level for human health is never transgressed. The theoretical calculation of the fields associated to the high voltage lines located at the pearly zones and in the city delimits an extension of the sanitary protection zone of hundreds of meters.

Key words: ELECTROMAGNETIC FIELDS/adverse effects; MAXIMUM PERMISSIBLE EXPOSURE LEVEL; RADIO/standards; TELEVISION/standards.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Levich BG. Procesos electromagnéticos en la materia. En: Electromagnetismo. París: Editorial Reverté, 1976;t.2:387-90.
2. OPS. Criterios de salud ambiental. Ginebra, 1993:290. (Publicación científica; No. 137).
3. OPS. Criterios de salud ambiental. Ginebra, 1984:106. (Publicación científica; No. 468).
4. Lamparelli CE. Radiaciones de microondas e radiofrecuencia efectos biológicos. Rev Ambiente 1988;2:23-6.
5. Ortiz NL. Efectos electrostáticos y electromagnéticos de las líneas de transmisión de corriente alterna. Santiago de Cuba: Editorial Oriente, 1983.
6. Markov. Antenas. Moscú: Editorial MIR, 1989.
7. National Institute of Environmental Health Sciences. Campos eléctricos y magnéticos asociados con el uso de la energía eléctrica. Washington, 1995:71.
8. URSS. Instituto Nacional de Higiene y Epidemiología. Indicaciones metodológicas para la normalización de la situación electromagnética de la TV. Moscú, 1988.
9. _____. Indicaciones metodológicas para la normalización de la situación electromagnética de los radares de la aviación civil. Moscú, 1989.
10. _____. Indicaciones metodológicas para la normalización de la situación electromagnética de los radares meteorológicos de doble canal. Moscú, 1989.
11. _____. Indicaciones metodológicas para la normalización de la situación electromagnética de los radares meteorológicos. Moscú, 1989.
12. _____. Indicaciones metodológicas para las líneas aéreas de alta tensión. Moscú, 1988.

Recibido: 9 de septiembre de 1996. Aprobado: 16 de septiembre de 1996.

Lic. *Jesarely Hernández Escrivá*. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. Infanta No. 1158, entre Llinás y Clavel, Centro Habana, Ciudad de La Habana 10 300, Cuba.