

Informe Técnico IT-GR-2010-002

Título: Límites recomendados para la exposición a campos electromagnéticos de alta frecuencia.

Informe realizado por: M. A. Ruiz, Gerencia de Redes

Informe supervisado por: E. M. Rodríguez, Gerente de Redes

Fecha: 05 de febrero del 2010

1. Introducción

El presente informe se desarrolla ante la inquietud planteada por la Dirección de Planeación, por medio de la Gerencia de Evolución del Entorno y Planes, sobre si existe normativa internacional que defina claramente los límites de exposición a la propagación de campos electromagnéticos producidos por equipos de telefonía móvil.

Se realiza una recopilación sobre las generalidades y las recomendaciones emitidas en algunos estudios realizados por los principales entes responsables en materia de radiación no ionizante y propagación de campos electromagnéticos, tales como: la Organización Mundial de la Salud (WHO¹), el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónica (IEEE²), la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU³), entre otras.

Específicamente se revisarán aquellos documentos donde se estudie la exposición a la radiación no ionizante para valores de frecuencia mayores a 1 kHz y hasta valores mayores a los 100 GHz, previendo con esto, la inclusión de las señales de 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz y 1900 MHz, utilizadas para las redes de comunicación GSM y 3G.

2. Consideraciones generales

2.1 Cantidades utilizadas en las bandas de radiofrecuencia

¹ World Health Organization

² Institute of Electrical and Electronical Engineers

³ International Telecommunications Union

Según el documento elaborado por la ICNIPR⁴ titulado: Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences, 100 kHz-300GHz. (2009), los campos electromagnéticos de alta frecuencia son cuantificados en términos de la intensidad de campo eléctrico en V/m y de la intensidad de campo magnético A/m, mientras que el campo electromagnético de alta frecuencia lejos de una antena, se cuantifica en términos de la densidad de potencia S en W·m². Además, en dicho documento se desglosa también el resto de variables involucradas, tal y como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Cantidades y Unidades usadas en las bandas de radiofrecuencia

Cantidad	Símbolo	Unidad
Conductividad	σ	Siemens por metro
Permitividad	ϵ	Farads por metro
Corriente	I	Amperes
Densidad de Corriente	J	Amperes por metro cuadrado
Intensidad de Campo Eléctrico	E	Volts por metro
Densidad de Potencia	S	Watts por metro cuadrado
Frecuencia	F	Hertz
Impedancia	Z	Ohms
Intensidad de Campo Magnético	H	Ampere por metro
Constante de Propagación	K	Radianes entre metros
Absorción Específica	SA	Joule por kilogramo
Tasa de absorción específica	SAR	Watt por kilogramo
Longitud de Onda	λ	metro

Fuente: ICNIRP, Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics Society. 1998.

De las cantidades mostradas en la tabla 1, según la ARPANSA⁵ en su documento Maximum exposure levels to radiofrequency fields 3 kHz to 300 GHz (2002), es importante tomar en cuenta que dependiendo de la frecuencia, las cantidades utilizadas para especificar las restricciones básicas son densidad de corriente (J), tasa de absorción específica (SAR), absorción específica (SA) y densidad de potencia (S).

De estas, la más utilizada es la tasa de absorción específica, la cual se establece como una medida dosimétrica definida como la razón de cambio en el tiempo de la energía incremental δW , que es absorbida o disipada por una masa incremental δm , contenida en volumen V, a una densidad específica ρ , según la ecuación:

⁴ International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

⁵ Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency

$$SAR = \frac{\delta}{\delta t} \cdot \left(\frac{\delta W}{\delta m} \right) = \frac{\delta}{\delta t} \cdot \left(\frac{\delta W}{\rho \delta V} \right) \quad (1)$$

Esta cantidad según lo indicado en el artículo de la ICNIRP, Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields, up to 300 GHz (2009), puede ser calculada o estimada a partir de diferentes mediciones de laboratorio y estos valores dependen de los siguientes factores:

- Los parámetros del campo incidente: frecuencia, intensidad, polarización y fuente.
- Las características del cuerpo expuesto: tamaño, geometría, características dieléctricas.
- Efectos del suelo y efectos reflectores de otros objetos cercanos.

2.2 Medición de campos electromagnéticos

Las directrices para la medición de campos electromagnéticos de alta frecuencia se encuentran documentadas en la recomendación K.61 de la UIT-T (2003), la cual en su sección 7, establece desde los dispositivos a utilizar para la medición, hasta los procedimientos para realizar esta mediciones según sea el caso.

3. Límites de seguridad

A continuación, la tabla 2 reproduce las directrices para limitar la exposición a los campos electromagnéticos variables (hasta 300 GHz) publicadas por la ICNIRP en el documento Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields, up to 300 GHz (2009), dicha tabla presenta los límites básicos para la tasa de absorción específica (SAR) y densidad de corriente (J) y los niveles de referencia de los campos. Mientras que la tabla 3 reproduce los niveles de referencia para la exposición a campos eléctricos y magnéticos para el público en general y el sector ocupacional⁶

⁶ La población ocupacionalmente expuesta consiste en los adultos que se exponen bajo condiciones conocidas y han sido preparados para tener precaución de los riesgos potenciales y para tomar medidas apropiadas [2].

Tabla 2. Límites básicos para campos eléctricos y magnéticos variantes en el tiempo para frecuencias hasta 10 GHz*

Tipo de exposición	Gama de frecuencias	Densidad de corriente en la cabeza y el tronco (mA/m ²) (rms)	SAR promedio en todo el cuerpo (W/kg)	SAR Localizada (cabeza y tronco) (W/kg)	SAR Localizada (extremidades) (W/kg)
Ocupacional	Hasta 1 Hz	40			
	1-4 Hz	40/f			
	4 Hz- 1 kHz	10			
	1-100 kHz	f/100			
	100 kHz-10 MHz	f/100	0.4	10	20
	10 MHz-10 GHz		0.4	10	20
Público en general	Hasta 1 Hz	8			
	1-4 Hz	8/f			
	4 Hz-1 kHz	2			
	1-100 kHz	f/500			
	100 kHz-10 MHz	f/500	0.08	2	4
	10 MHz-10 GHz		0.08	2	4

*Notas:

1. f es la frecuencia en hertz
2. Debido a la inhomogeneidad eléctrica del cuerpo, las densidades de corriente deben promediarse en una sección de corte de 1 cm² perpendicular a la dirección de la corriente.
3. Todos los valores de SAR han de promediarse en cualquier periodo de 6 minutos.
4. La masa de promediación de la SAR localizada es cualesquiera 10 g de tejido contiguo; la máxima SAR así obtenida debe ser el valor utilizado para estimación de la exposición.
5. Todos los valores de SAR deben ser promediados en periodos de 6 minutos.
6. El SAR localizado se promedia en cada 10 g de tejido continuo: el valor máximo de SAR obtenido debe ser utilizado para la estimación de la exposición.

Fuente: Recomendación UIT-T K.52, Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos, Unión Internacional de las telecomunicaciones. 2000.

Tabla 3. Niveles de referencia para la exposición a campos eléctricos y magnéticos para el público en general y el sector ocupacional

Tipo de exposición	Gama de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Intensidad de campo magnético (V/m)	Densidad de potencia de onda plana Seq (W/m ²)
Ocupacional	Hasta 1 Hz	-	2×10^5	-
	1-8 Hz	20000	$2 \times 10^5 / f^2$	-
	8-25 Hz	20000	$2 \times 10^4 / f$	-
	0.025-0.82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	-
	0.82-65 kHz	610	24.4	-
	0.065-1 MHz	610	$1.6 / f$	-
	1-10 MHz	$610 / f$	$1.6 / f$	-
	10-400 MHz	61	0.16	10
	400-2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$f/40$
	2-300 GHz	137	0.36	50
Público en general	Hasta 1 Hz	-	2×10^4	-
	1-8 Hz	10000	$2 \times 10^4 / f^2$	-
	8-25 Hz	10000	$5000 / f$	-
	0.025-0.8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	-
	0.8-3 kHz	$250 / f$	5	-
	3-150 kHz	87	5	-
	0.15-1 MHz	87	$0.73 / f$	-
	1-10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0.73 / f$	-
	10-400 MHz	28	0.073	2
	400-2000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0.16	10	

*Notas:
1. f es la indicada en la columna gama de frecuencias.
2. Para frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz, el tiempo de promediación es de 6 minutos.
3. Para frecuencias hasta 100 kHz, los valores de cresta pueden obtenerse multiplicando el valor eficaz por $\sqrt{2}$ ($\approx 1,414$). Para impulsos de duración tp, la frec. Equiv. aplicable debe calcularse como $f = 1/(2tp)$.
4. Entre 100 kHz y 10 MHz, los valores de cresta de las intensidades de campo se obtienen por interpolación desde 1,5 veces la cresta a 100 MHz hasta 32 veces la cresta a 10 MHz. Para valores que sobrepasen 10 MHz, se sugiere que la densidad de potencia de onda plana equivalente de cresta, promediada a lo largo de la anchura del impulso, no sobrepase 1000 veces el límite Seq, o que la intensidad no sobrepase los niveles de exposición de intensidad de campo indicados en el cuadro.

5. Para frecuencias superiores a 10 GHz, el tiempo para promediar es de $68/f$ 1,05 minutos (f en GHz).

Fuente: Recomendación UIT-T K.52, Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos, Unión Internacional de las telecomunicaciones. 2000.

3.1 conformidad con los límites de seguridad

Según la recomendación K.52 de la ITU-T, para que exista conformidad deben adoptarse las siguientes medidas:

- Identificar los límites de conformidad adecuados.
- Determinar si es necesaria la evaluación de la exposición a los campos electromagnéticos para la instalación o el equipo en cuestión.
- Si es necesaria la evaluación de la exposición a los campos electromagnéticos, puede realizarse mediante cálculos o medición. Esta Recomendación presenta un método de evaluación de riesgos para ayudar al usuario a determinar la posibilidad de que se sobrepasen los límites de exposición a los campos electromagnéticos y para ayudar al usuario a seleccionar un método apropiado para efectuar la evaluación.
- Si la evaluación de la exposición a los campos electromagnéticos indica que pueden sobrepasarse los límites de exposición pertinentes en zonas en las que puede haber presentes personas, deben aplicarse medidas de reducción o de evitación.

4. Medidas de protección

Tal y como lo muestran la tabla 2 y la tabla 3, la ICNIRP divide la exposición a las señales de radiofrecuencia en dos grupos: el público en general y el sector ocupacional. Además señala entre sus medidas de protección que todas las industrias y sectores que provocan exposición a los campos eléctricos y magnéticos deben hacerse responsables por garantizar el cumplimiento de todos los aspectos mencionados en el documento Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields, up to 300 GHz (2009), y señala que según la Organización Internacional del Trabajo (ILO) en su publicación Protection of workers from power frequency electric and magnetic fields (1994), las medidas a tomar para la protección de los trabajadores debe

incluir controles administrativos, controles de ingeniería, programas de protección personal y vigilancia médica.

Los controles de ingeniería deben ser aplicados en todos los dispositivos en los que sea posible, con el fin de reducir las emisiones de estos hasta niveles aceptables. Dichos controles incluyen un diseño seguro y donde sea necesario el uso de mecanismos particulares para la protección a la salud.

Los controles administrativos, tales como: restricciones de acceso y el uso de advertencias audibles y/o visibles, pueden ser usados en conjunto con los controles de ingeniería diseñados.

Algunas otras medidas de protección personal como por ejemplo la ropa protectora, es útil en algunas circunstancias, pero deben ser tomados en cuenta como la última salida para garantizar la seguridad del trabajador, por lo que la prioridad recae siempre que sea posible en los controles administrativos y de ingeniería diseñados para mantener la exposición por debajo de los límites establecidos.

A la vez se indica que las mismas medidas y los mismos controles pueden ser aplicados al público en general siempre y cuando exista la posibilidad de que los niveles de referencia puedan ser excedidos.

Finalmente la ICNIRP indica que es esencial establecer e implementar reglas que prevengan: la interferencia con equipo médico electrónico y dispositivos tales como marcapasos, la interferencia con dispositivos electrónicos para detonaciones, y la probabilidad de incendios y explosiones de materiales inflamables por corrientes de contacto, campos inducidos o descargas.

5. Conclusiones

- Los límites que determinen el nivel máximo aceptable para garantizar que la salud humana no se ve afectada por la exposición a señales electromagnéticas de alta frecuencia, están claramente determinados por la ICNIRP [2].
- La medición de estos límites, el equipo a utilizar y los procedimientos para realizarlas están indicadas en la recomendación UIT-T K.61 [6].
- Las normativas de otros países siguen los lineamientos internacionales sin importar las diferencias de tecnologías, bandas de frecuencia, infraestructura, etc., un ejemplo de esto es Australia [1].

- Cuando existan leyes, normas o directrices nacionales sobre límites de exposición estas tendrán precedencia sobre los procedimientos presentados en la recomendación UIT-T K.52 [5].
- Las técnicas y procedimientos para evaluar la gravedad de la exposición a los campos de alta frecuencia y limitar la exposición a estos se indican en la recomendación UIT-T K.52 [5].

6. Bibliografía

[1] ARPANSA, Radiation Protection Standard for Maximum Exposure Levels to Radiofrequency Fields — 3 kHz to 300 GHz, Radiation Protection Standard. 2002.

[2] ICNIRP, Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics Society. 1998.

[3] ICNIRP, Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences, 100 kHz-300GHz. Standing Committee III and Task Group. 2009.

[4] ILO, International Labour Organization. Protection of workers from power frequency electric and magnetic fields. Occupational Safety and Health Series. 1994.

[5] Recomendación UIT-T K.52, Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos, Unión Internacional de las telecomunicaciones. 2000.

[6] Recomendación UIT-T K.61, Directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen los límites de exposición de las personas, Unión Internacional de las telecomunicaciones. 2003.