

Diagnóstico Nacional Peruano de las Radiaciones No Ionizantes de Redes de Energía Eléctrica 2008

National Peruvian Diagnosis on Non-Ionizing Radiation from Electricity Networks 2008

Víctor Cruz Ornetta^{1,2}, Alicia Varela Hernández²

¹*Instituto Nacional de Investigación y Capacitación en Telecomunicaciones, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú*

²*Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú*

Resumen— En este documento se resumen las más importantes actividades de la investigación realizadas en el INICTEL-UNI en el tema de las radiaciones no ionizantes provenientes de las redes de energía eléctrica en el Perú. El principal objetivo de este documento es presentar una visión panorámica de las principales fuentes de exposición a las radiaciones no ionizantes de las redes de energía eléctrica en el Perú, incluyendo los resultados de las principales evaluaciones que fueron llevadas a cabo entre los años 2002-2008, y el resumen de la revisión de los estudios sobre los efectos en la salud basado en los principales documentos emitidos por importantes entidades internacionales y nacionales, especialmente en los estudios realizados en el marco del Proyecto Internacional Campos Electromagnéticos de la Organización Mundial de la Salud.

Otros objetivos incluyeron la evaluación del cumplimiento de los límites internacionales en el Perú, presentando conclusiones y recomendaciones sobre el tema.

Este trabajo ha sido desarrollado con un alcance nacional totalizando la medición en más de 1300 puntos que incluyen los diferentes componentes de la red como son las centrales de generación, hidroeléctricas y térmicas, las líneas de transmisión y distribución y las subestaciones de transformación. Las mediciones se realizaron utilizando analizadores de campo electromagnético con sondas para campo eléctrico y magnético.

Abstract— In this document it is summarized the most important research activities performed at the INICTEL-UNI on the issue of non-ionizing radiations from electricity networks in Peru. The main objective of this work was to have a broad overview of the main sources for exposure to non ionizing radiation from the electricity network in Peru. It includes the results of the main Peruvian assessments that were carried out from 2002 to 2008 and the summary of the revision of the

studies on health effects, which was based on several important international and national documents specially from the International Electromagnetic Filed project from the World Health Organization (WHO).

Others objectives included were the assessment of the international limits compliance in Peru giving conclusions and recommendations on the subject.

This work was carried out a nationwide basics through representative samples of the sources that includes the measurement at more than 1300 points related to hydroelectric and thermal power plants, transmission and distribution lines and transformation substations. The measurements were done using electromagnetic field analyzers with electric and magnetic probes.

Palabras clave— Campos electromagnéticos, radiaciones no ionizantes, bajas frecuencias, ELF, energía eléctrica

Key words— Electromagnetic fields, non-ionizing radiations, low frequencies, ELF, electric power

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las redes de energía eléctrica en el Perú han expandido grandemente su cobertura.

De acuerdo al Ministerio de Energía y Minas del Perú [1], en el periodo 1995-2007, la potencia instalada ha crecido de 4 492 a 7 059 MW y la producción de energía eléctrica se ha incrementado de 16 680 a 29 857 GWh y los clientes han aumentado de 2 491 835 a 4 354 906. El crecimiento de las redes de energía eléctrica es necesario y representa uno de los indicadores más importantes del progreso de las naciones.

Paralelamente a este vigoroso crecimiento, algunos sectores de la población han expresado una seria

¹ Víctor Cruz Ornetta. E-mail: veruzo@gmail.com

² Alicia Varela Hernández. E-mail: avarela@inictel-uni.edu.pe

preocupación por los posibles efectos de las radiaciones no ionizantes de las redes de energía eléctrica.

Este estudio tiene como objetivo caracterizar las radiaciones no ionizantes de las redes de energía eléctrica en el Perú al 2008 en cuanto a los efectos en la salud de acuerdo a la revisión de literatura realizada en el Perú, su regulación, sus niveles, su evaluación y nivel de cumplimiento de las recomendaciones internacionales y los estándares nacionales.

A. Materiales y métodos

1) Identificación de los efectos en la salud

Para la evaluación de los efectos en la salud, se ha realizado una revisión de los principales documentos publicados por organizaciones internacionales tales como el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) [2], la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) [3], [4], [5], la Organización Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) [6] y la Organización Mundial de la Salud (OMS) [7], [8].

2) Identificación de la regulación nacional e internacional

Para la evaluación de la regulación nacional e internacional se hizo una revisión de las principales recomendaciones [2], [3] y estándares internacionales, así como de la legislación nacional atinente [9], [10].

3) Evaluación de los niveles de exposición producidos por las redes de energía eléctrica

a) Distribución geográfica y cantidad de lugares de medición

Desde el año 2002 hasta la actualidad, se han realizado varias y diversas evaluaciones de las radiaciones no ionizantes de los servicios y sistemas de energía eléctrica en el Perú. Entre los años 2002 y 2003, se realizó el diagnóstico nacional preliminar de las radiaciones no ionizantes de las redes de energía eléctrica, incluyendo las principales instalaciones: centrales de generación, subestaciones de transformación, líneas de transmisión y líneas de distribución total de 333 puntos de medición, de los cuales 251 fueron para exposición poblacional y 82 fueron para exposición laboral. En el año 2003 se realizó una evaluación de 779 puntos en la ciudad de Lima y entre el año 2004 y 2005 se realizan mediciones en un total de 241 puntos en el interior del país, por encargo del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía (OSINERG). Paralelamente a estos grandes diagnósticos, se han venido realizando, por encargo, mediciones para diferentes entidades y empresas, las cuales han sido incorporadas a esta evaluación.

b) Equipos

El equipamiento utilizado básicamente estuvo compuesto de:

(a) Dos analizadores de campos electromagnéticos con sondas isotrópicas para campo eléctrico y magnético que trabajan en la banda de frecuencia de 5 Hz a 32 kHz, con filtros pasabanda y rechaza banda sintonizables.

(b) Computadoras personales, GPS, cámara fotográfica digital, brújulas, altímetros, odómetros.

c) Protocolo de medición

El protocolo utilizado está basado en el Protocolo IEEE 644 (1994) "Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines" [11].

- Consideraciones generales

Las mediciones se llevaron a cabo a la altura de 1m sobre el suelo. Podían haberse realizado mediciones a otras alturas cuando se consideraba necesario.

Para evitar interferencias o errores en la medición de campo eléctrico, el operador mantuvo una distancia mínima de 2.5 m del sensor. Durante la medición de campo magnético, el operador podía estar cerca de la sonda, porque los campos magnéticos no son perturbados por el material biológico humano. Para las líneas de energía eléctrica, tomando como referencia el centro de la línea a evaluar, se realizaron al menos dos mediciones del centro de la línea hacia los costados (perfil lateral).

- Procedimiento de medición

Una vez ubicado el lugar de medición, se conectó la sonda de campo magnético a la unidad principal y comenzó automáticamente la calibración y las pruebas de verificación. Luego, se llevaron a cabo las mediciones rms de la densidad de flujo (B) para 60 Hz (en μT), y el campo magnético presente en el rango de 5 Hz a 32 kHz (% de las Recomendaciones ICNIRP para exposición del público en general), tomando nota de los valores máximos.

Después de finalizar las mediciones de campo magnético, se conectó la sonda de campo eléctrico y se repitieron los pasos previamente mencionados. Luego, se realizaron las mediciones de campo eléctrico en 60 Hz (en kV/m) y para la banda de frecuencia de 5 Hz a 32 kHz (% de las Recomendaciones ICNIRP para exposición del público en general).

Durante las mediciones de campo eléctrico y magnético se recolectó la siguiente información adicional:

- Coordenadas geográficas, altitud, fecha y hora.
- Distancias horizontales desde la proyección de la línea a los lugares de medición.
- Alturas de las líneas.

- Diagramas con detalles de los lugares expuestos (bosquejo y vistas de los lugares), usando un odómetro.
- Fotos del sitio de medición y del proceso.
- Otra información importante.

II. RESULTADOS

A. Identificación de los efectos biológicos y en la salud a partir de la revisión de la literatura

La exposición a campos eléctricos en frecuencia de red genera una carga eléctrica superficial que a su vez produce campos eléctricos y corrientes inducidas en el cuerpo humano. Por su parte, los campos magnéticos penetran en el cuerpo humano generando también campos y corrientes inducidos, los cuales serán responsables de respuestas biológicas bien definidas, que van desde la percepción hasta las molestias. Dichas respuestas van en función de la intensidad del campo, las condiciones ambientales y la sensibilidad individual [3],[5],[8].

Los estudios de efectos biológicos y en la salud, debidos a la exposición a los campos electromagnéticos, se iniciaron en los años 50 y actualmente la base de datos del Proyecto Internacional Campos Electromagnéticos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) tiene un total de 247 estudios para frecuencias extremadamente bajas, de los cuales 154 son para frecuencias de redes de energía eléctrica [7].

En ellos se ha demostrado que los efectos en la salud se dan como consecuencia de los campos y corrientes eléctricas inducidos [2], [3], [4], [5], [6], [8].

En la literatura analizada se han encontrado los siguientes efectos sobre la salud:

1) Sobre el neurocomportamiento y trastornos neurodegenerativos

Algunos efectos encontrados son la percepción de electro y magneto fosfenos por estimulación de células de la retina [2], [3], [7], efectos en los tejidos y en las funciones cognitivas, excitación del tejido cardiaco. Para campos muy altos se puede producir fibrilación ventricular extrasístoles cardiacas, tétanos muscular y falla de la respiración [3], [5], [8].

La evidencia de otros efectos neurocomportamentales en estudios con voluntarios, tales como los efectos en la actividad eléctrica del cerebro, la cognición, el sueño, la hipersensibilidad y el humor, son menos claras. Asimismo, no se ha establecido la asociación entre la exposición a campos de frecuencias de red y la enfermedad de Parkinson o la esclerosis múltiple. En el caso de la enfermedad de Alzheimer y la esclerosis lateral amiotrófica (ELA), la evidencia es muy débil e inadecuada [3], [5], [8].

2) Sobre el Sistema neuroendocrino

En general los estudios en voluntarios, los estudios epidemiológicos residenciales y ocupacionales y los estudios in vitro no muestran que los niveles circulantes de melatonina liberada por la glándula pineal (epífisis), niveles nocturnos, niveles del suero y de varias hormonas liberadas por la pituitaria (hipófisis) sean afectados adversamente por la exposición a campos eléctricos y magnéticos ELF [3], [5], [8].

3) Sobre el Sistema cardiovascular

Los estudios experimentales de exposición, tanto de corta como de larga duración, indican que, si bien el choque eléctrico representa un peligro evidente para la salud, no existen efectos cardiovasculares peligrosos asociados con los campos de ELF a los niveles de exposición ambiental u ocupacional comúnmente encontrados [3], [5], [8].

4) Inmunología y hematología

De manera global, las evidencias de los efectos de los campos eléctricos o magnéticos de ELF en las poblaciones celulares y los marcadores funcionales del sistema hematopoyético y sistema inmunológico se consideran insuficientes [3], [5], [8].

5) Reproducción y desarrollo

En conjunto, las pruebas de efectos en el desarrollo y la reproducción debido a la exposición materna o paterna a campos de ELF son insuficientes [3], [5], [8].

6) Cáncer

Respecto al cáncer de mama en mujeres adultas asociado con la exposición a campos magnéticos de ELF, los estudios en conjunto son negativos [3], [5], [8].

La evidencia global de una asociación entre los campos magnéticos de ELF y el cáncer cerebral y la leucemia en adultos es insuficiente [3], [5], [8]. Para otras enfermedades y todos los demás tipos de cáncer, las pruebas permanecen insuficientes [3], [5], [8].

En la actualidad no hay ningún modelo animal adecuado para la forma más frecuente de leucemia infantil, la leucemia linfoblástica aguda, y ningún tipo de cáncer, incluyendo tumores hematopoyéticos, de mama, cerebrales y de piel [2].

En conjunto, no hay ninguna prueba que la exposición a campos magnéticos de ELF provoque por sí sola la aparición de tumores. La evidencia de que la exposición a campos magnéticos de ELF puede potenciar el desarrollo de tumores en combinación con carcinógenos es inadecuada (insuficiente) [8].

En general, los estudios de los efectos de la exposición de célula a campos de ELF no han

mostrado ninguna inducción de genotoxicidad para campos por debajo de 50 mT.

Los estudios sobre proliferación celular, apoptosis, señalización del calcio y transformación maligna han dado resultados inconsistentes o no concluyentes [3], [5], [8].

De acuerdo a lo expresado, la clasificación de la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) de los campos magnéticos de ELF como "posiblemente carcinogénicos para los seres humanos" (IARC, 2002) permanece vigente a la fecha, ya que los estudios posteriores al 2001 no han podido demostrar la relación causa-efecto [5], [6], [8].

B. Regulación internacional y nacional sobre campos electromagnéticos

1) Estándares Internacionales-Recommendaciones ICNIRP

Las Recomendaciones ICNIRP sobre límites máximos permisibles para RNI son las más aceptadas a nivel internacional, siendo aceptadas por la OMS, la OIT y la UIT.

Exposición poblacional. Los límites se aplican en situaciones en las cuales el público en general puede estar expuesto a radiaciones, incluyendo niños, ancianos, personas enfermas entre otros, o en el caso en que las personas estén siendo expuestas como consecuencia de su trabajo, y no pueden ser informadas de la potencia de exposición, o no pueden tomar control sobre su propia exposición.

Exposición ocupacional. Los límites son más permisivos y se aplican en situaciones en las cuales las personas se encuentran expuestas a radiaciones como consecuencia de su trabajo y que están enteradas de la potencia de exposición, y pueden tomar control sobre esta, o en situaciones cuando una persona se encuentra transitoriamente en un lugar donde dichos límites son aplicados y esta persona es informada sobre la potencia de exposición.

TABLA I
Límites de referencia para exposición poblacional

Rango de Frecuencia	E (V/m)	H (A/m)	B (μ T)	Seg (W/m)
Hasta 1 Hz	-----	1.63×10^5	2×10^5	-----
1-8 Hz	20.000	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	-----
8-25 Hz	20.000	$2 \times 10^4 / f$	$2.5 \times 10^4 / f$	-----
0.025-0.82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	-----
0.82-65 kHz	610	24.4	30.7	-----
0.065-1MHz	610	$1.6 / f$	$2.0 / f$	-----
1-10 MHz	$610 / f$	$1.6 / f$	$2.0 / f$	-----
10-400 MHz	61	0,16	0.2	10

400-2000 MHz	$3 f^{0.5}$	$0.008 f^{0.5}$	$0.01 f^{0.5}$	$f/40$
2-300 GHz	137	0.36	0.45	50

f en las unidades que se indican en la columna de rango de frecuencia

E: Intensidad de campo Eléctrico

H: Intensidad de campo Magnético

B: Densidad de campo Magnético

S_{eq} : Densidad de Potencia (Onda Plana Equivalente)

2) Regulación peruana

Los Estándares de Calidad Ambiental para Radiaciones No Ionizantes (ECAs- RNI), D.S 010-2005-PCM, fueron establecidos por el Consejo Nacional del Ambiente del Perú (CONAM), que adopta las recomendaciones ICNIRP para el público en general en el rango de 0-300 GHz [9].

El Código Nacional de Electricidad- Utilización, R.M. 037-2006-MEM/DM que fue establecido por el Ministerio de Energía y Minas del Peru para exposición del público en general y ocupacional en la frecuencia de la red (60 Hz) [10].

C. Evaluación de la exposición

1) Exposición poblacional

Se realizaron mediciones en 1429 puntos de medición: 1284 para exposición del público en general y 145 exposición ocupacional. Los límites ICNIRP solamente fueron sobrepasados para el campo eléctrico en 22 lugares de exposición del público en general cercanos a líneas de 220 kV (1.7 % de la muestra) y 01 lugar de exposición ocupacional (0.7 % de la muestra) [12], [13], [14], [15]. En la Tabla II se muestran los cocientes para exposición del público en general en función del voltaje de la línea.

TABLA II

Valores máximos de los campos y los cocientes de exposición para el público en general de acuerdo a las Recomendaciones ICNIRP (INICTEL-UNI)

Voltaje línea (kV)	Máximo campo eléctrico		Máximo campo magnético	
	kV/m	Límites ICNIRP	μ T	Límites ICNIRP
10 kV	0.15	3.60 %	6.41	7.69 %
33 kV	0.80	19.23 %	1.62	1.94 %
60 kV	3.57	85.61 %	5.14	6.17 %
138 Kv	0.80	19.23 %	2.06	2.47 %
220 kV	13.42	322.60 %	8.81	10.57 %

En las Figuras n.º 1 - n.º 8 se muestran las curvas que representa la variación del campo eléctrico en función de la distancia a las líneas de transmisión de 10, 33, 60 y 220 kV. En ella se aprecia que los campos eléctricos y magnéticos decrecen rápidamente con la distancia a la línea y que su alcance dependerá básicamente del voltaje de la línea.

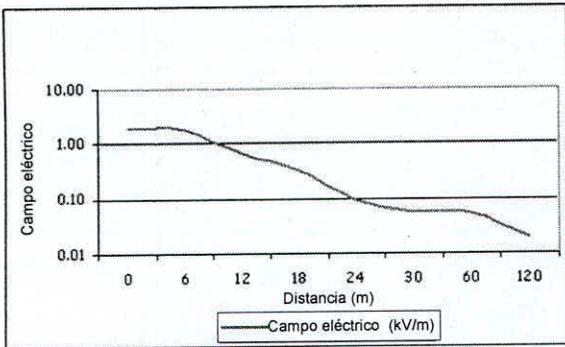


Fig. n.º 1. Variación del campo eléctrico para líneas de 220 kV (INICTEL-UNI, 2009)

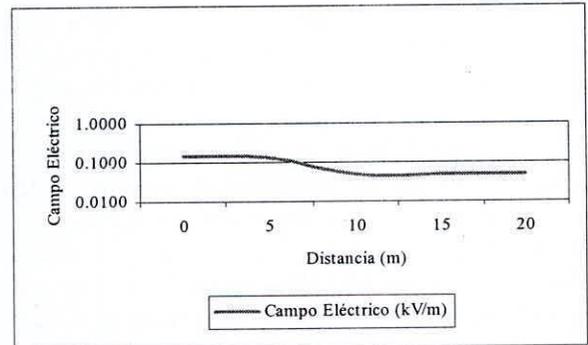


Fig. n.º 5. Variación del campo eléctrico para líneas de 33 kV (INICTEL-UNI, 2009)

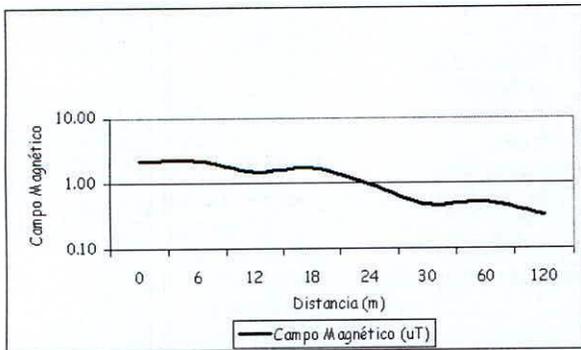


Fig. n.º 2. Variación del campo magnético para líneas de 220 kV (INICTEL-UNI, 2009)

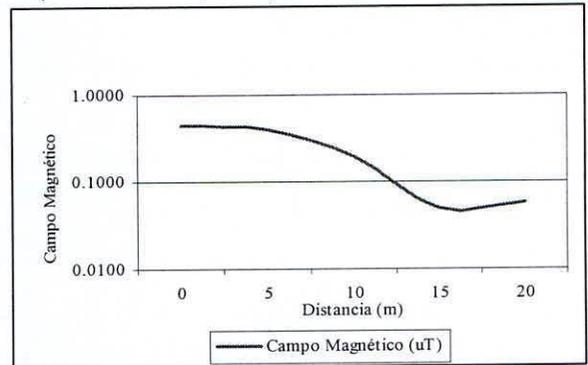


Fig. n.º 6. Variación del campo magnético para líneas de 33 kV (INICTEL-UNI, 2009)

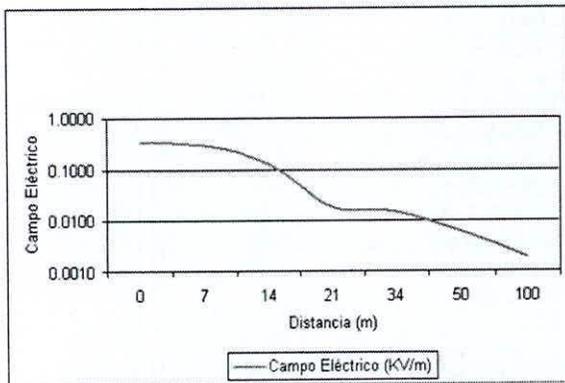


Fig. n.º 3. Variación del campo eléctrico para líneas de 60 kV (INICTEL-UNI, 2009)

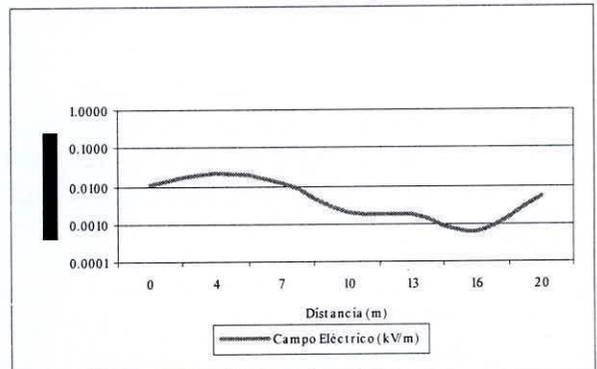


Fig. n.º 7. Variación del campo eléctrico para líneas de 10 kV (INICTEL-UNI, 2009)

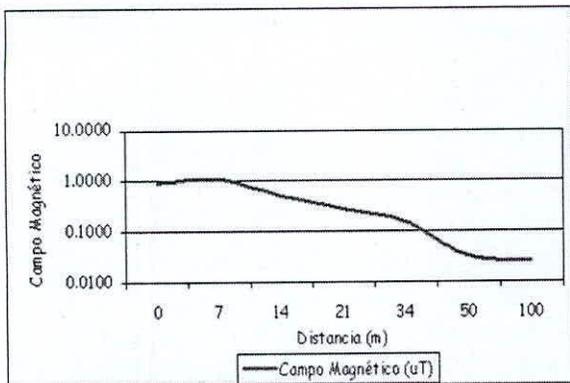


Fig. n.º 4. Variación del campo magnético para líneas de 60 kV (INICTEL-UNI, 2009)

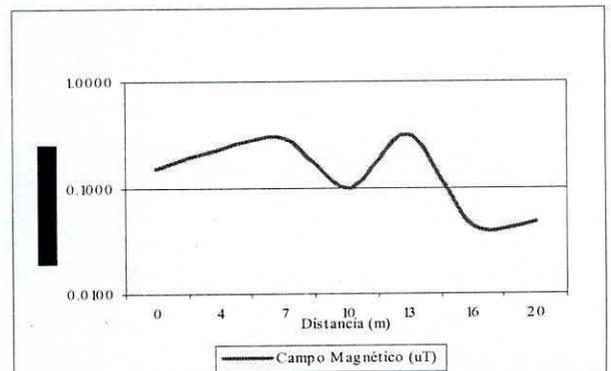


Fig. n.º 8. Variación del campo magnético para líneas de 10 kV (INICTEL-UNI, 2009)

2) Exposición residencial

La mayoría de las evaluaciones de la exposición realizadas en el Perú, en términos generales, han sido para exposición poblacional en exteriores; sin embargo, se tienen algunas mediciones realizadas en el interior de viviendas, como en el caso de Huaraz, Iquitos, Lima y Pucallpa. De acuerdo a las mediciones realizadas, si se trabaja con una línea definida, el campo eléctrico en interiores generalmente es menor que el campo en exteriores; sin embargo, el campo magnético no experimenta atenuación significativa, además existe una fuerte dependencia en la distancia a la línea [12], [13], [14], [15].

En la Tabla III se muestran los valores máximos de los campos y los cocientes de exposición en subestaciones de transformación eléctrica.

TABLA III
Valores máximos de los campos y los cocientes de exposición residencial (INICTEL-UNI, 2009)

	kV/m	Límites ICNIRP	Máximo campo magnético	
			μT	Límites ICNIRP
Promedio	0.0152	14.32%	0.6273	1.79%
Máximo	0.1708	16.75%	6.7200	18.73%
Mínimo	0.0002	13.32%	0.0083	0.48%

c) Exposición ocupacional

- Líneas de transmisión y distribución

De acuerdo a las mediciones realizadas por el INICTEL-UNI, se encontró que debajo de las líneas de 220 kV, en algunos casos, se superan los límites máximos permisibles de campo eléctrico [12], [13], [14], [15].

- Subestaciones

Las subestaciones raramente producen campos eléctricos significativos fuera de sus perímetros. En el caso de subestaciones de distribución finales montadas sobre el suelo se debe a que todas las busbars y otros equipos están contenidos en gabinetes metálicos, sobre pilares o dentro de edificaciones, los cuales tienen la capacidad de blindar los campos eléctricos.

Las subestaciones de alto voltaje no están rigurosamente encerradas dentro de gabinetes metálicos pero usualmente están rodeadas de una cerca de seguridad que también va a funcionar como un blindaje.

En la Tabla IV se muestran los valores de los campos medidos en las cercanías a subestaciones eléctricas.

TABLA IV

Valores de campos eléctricos y magnéticos 60 Hz medidos en las cercanías de subestaciones de transformación en el Perú

	Campo eléctrico (kV/m)	Campo magnético (μT)
Subestación elevadora e 13.8/220 kV (Central Hidroeléctrica SAM – Huancavelica)	0,9404 a 1,955	1,575 a 5,266
Subestación de 10/60 kV 14 – 15 MVA (Iquitos y Pucallpa)	0,5943 a 2,035 (lado de AT) 0,0556 a 1,637 (lado de MT)	1,312 a 2,964 (lado de AT) 1,181 a 28,04 (lado de MT)
Subestación de 33/10/0.405 kV Subestación Campo Armiño – Huancavelica	1.436	3.333
Subestación de 10/22..9 kV 3 – 4 MVA (Iquitos y Cajamarca)	0.006479 a 0.0279 (lado de 22.9 kV) 0.2546 (lado de 10 kV)	0.07661 a 0.3402 (lado de 22.9 kV) 0.1168 (lado de 10 kV)
Subestación aérea monoposte de 10/0.38 kV (Junto a INICTEL - Lima)	0.01402	0.1986
Subestación aérea biposte de 10/0.38 kV (Pucallpa, Cajamarca, Chimbote y Trujillo)	0.005262 – 0.01252	0.238 – 0.6983
Subestación de 16000 V +90/-45 MVAR Subestación Vizcarra – Huallanca - Huaraz	0.0095 – 5.4820	0.07606 – 3.6220
Subestación de 22.9/33 kV 5MVA Subestación AYAVIRI - Juliaca	0.3735 – 0.8302	1.0270 – 1.5100
Subestación 33/10/2.3kV 5/3.5/2.5 MVA Subestación ARASI Juliaca	0.0031 – 0.2628	0.4405 – 4.0120

AT: Alta Tensión

MT: Media Tensión

- Centrales

Se evaluaron las principales centrales hidroeléctricas y térmicas en el Perú. En la Tabla V se muestran los valores medidos y la evaluación de acuerdo a los límites ICNIRP ocupacionales [12], [13], [14], [15].

Como se puede apreciar, en la mayoría de los casos se cumple con los límites máximos de exposición ocupacional ICNIRP para el campo eléctrico y en la totalidad de casos para el campo

magnético. En general, cuanto más alta la potencia de la estación, más altos los niveles de los campos.

TABLA V

Valores de los campos eléctricos y magnéticos medidos cerca de centrales de generación eléctrica de acuerdo a las evaluaciones (INICTEL-UNI)

		Campo Eléctrico		Campo Magnético	
		kV/m	%	(μ T)	%
Central Electro-Oriente -Iquitos (33.4 MW/10.2 kV)	M. áx.	2.035	24.518	41.140	8.876
	Prom.	0.806	9.673	15.450	2.115
Central Electro-Ucayali - Pucallpa (25.4 MW Kw /10 kV)	Max.	3.259	39.060	13.620	3.411
	Prom.	0.491	9.347	5.057	1.450
Central Restitución (210 MW/ 13.8 kV)	Max.	0.277	2.902	382.000	82.238
	Prom.	0.238	0.220	39.640	8.590
Central Santiago Antúnez de Manolo (798 MW/13.8 kV)	Max	9.003	107.566	162.300	39.643
	Prom.	1.234	14.7460	16.750	4.010
Central Santa Rosa (281.3 MW/	Max	0.402		0.438	

%; porcentaje respecto de los límites ICNIRP ocupacionales

III. DISCUSIÓN

A. Efectos en la salud

En cuanto a la revisión de los efectos en la salud, se encuentra que existen efectos establecidos de los campos electromagnéticos de las redes de energía eléctrica debido a la exposición aguda que derivan de la inducción de campos eléctricos y corrientes, como la percepción, los micro choques, los fosfenos visuales, la fibrilación ventricular y extrasístoles. Para la protección contra estos efectos se deben cumplir con los límites de exposición recomendados internacionalmente.

Por otro lado, como probable efecto de la exposición crónica para campos magnéticos mayores 0.4μ T, se tiene el incremento de la incidencia de leucemia en niños, para el cual los estándares actuales no proveen protección pues no es un efecto establecido por lo cual en todo caso es conveniente aplicar políticas de precaución.

B. Exposición poblacional

Cerca de líneas de alto voltaje de 220 kV, el campo eléctrico máximo encontrado es de 13.42 kV (322.6 %

de los límites ICNIRP poblacionales); es decir, se supera el límite ICNIRP de campo eléctrico para exposición poblacional, pero estos valores corresponden al 1.7 % de la muestra que básicamente consistió en zonas de alto riesgo eléctrico y en el caso de las líneas de 10 kV, las que mayoritariamente estarán cerca de los hogares, ninguna medición supera el límites de campo eléctrico. El máximo del campo magnético es de 8.81μ T (10.57 % de los límites ICNIRP poblacionales); es decir, no se superan los límites ICNIRP. Extrapolando estos datos podemos decir que mucho menos del 1.7 % de la población peruana está expuesta a campos eléctricos que superan los límites ICNIRP y básicamente 0% de la población peruana estaría expuesta a valores de campos magnéticos que superan los límites ICNIRP.

C. Exposición residencial

De acuerdo a los pocos valores medidos para exposición residencial en el Perú, se puede extrapolar que se cumplen con los límites ICNIRP. Por otro lado, tomando en cuenta la medición poblacional, y dado que los campos magnéticos generalmente no sufren mayor atenuación cuando entran al interior de una vivienda, y asumiendo que el valor medido de la exposición debido a las líneas es relativamente constante en el tiempo es posible que el promedio de niños expuestos a valores promedio de campo magnético mayores a 0.4μ T sean más que el promedio proporcionado por OMS [8] que es de 0.5 a 7%. En concordancia a las mediciones realizadas en el Perú para las líneas de 220 kV, los campos magnéticos mayores a 0.4μ T pueden encontrarse a distancias entre 80 a 120 m del centro de la línea y para líneas de 60 kV a distancias entre 15 a 20 m.

D. Exposición ocupacional

La exposición ocupacional producida por las redes de energía eléctrica predominantemente es en las frecuencias de red y sus armónicos. La exposición a campos electromagnéticos en el lugar de trabajo en el Perú va hasta un máximo de 9 kV para el campo eléctrico, lo que induce campos eléctricos en el cuerpo del trabajador, llevando a un incremento de la ocurrencia de corrientes de contacto y micro choques eléctricos. En el caso de trabajadores que trabajen con líneas de 220 kV en caliente, estarán sujetos a campos mayores a los límites ICNIRP ocupacionales. Para los campos magnéticos, el máximo valor medido en ambientes ocupacionales es 382μ T, que está asociado a la presencia de conductores, transportando altas corrientes. Es decir, para exposición ocupacional se superan los límites ICNIRP de campo eléctrico, y en el caso de los campos magnéticos, si bien no se superan los límites ICNIRP, los valores de exposición pueden ser mucho mayores que los encontrados para exposición poblacional.

Los valores encontrados son coherentes con los valores de exposición medidos en Australia y Bélgica [16], [17].

IV. CONCLUSIONES

Los efectos en la salud establecidos de los campos electromagnéticos de las redes de energía eléctrica debido a la exposición aguda derivan de la inducción de campos eléctricos y corrientes como la percepción, los micro choques, los fosfenos visuales, la fibrilación ventricular y extrasístoles. Para la protección contra estos efectos se deben cumplir con los límites de exposición recomendados internacionalmente.

Por otro lado, como probable efecto de la exposición crónica para campos magnéticos mayores 0.4 μ T, se tiene el incremento de la incidencia de leucemia en niños, para el cual los estándares actuales no proveen protección, puesto que no es un efecto establecido, por lo tanto, en todo caso, es conveniente aplicar políticas de precaución.

Los valores de la evaluación de la exposición poblacional realizados en Perú son tal que solo en el caso de viviendas edificadas debajo de las líneas de servidumbre se podrían superar los límites de exposición ICNIRP poblacionales.

La evaluación de los campos electromagnéticos de los servicios de energía eléctrica en el Perú demuestra que el nivel de riesgo de salud debido a la exposición poblacional es no significativo. Sin embargo, es necesario hacer una evaluación residencial detallada con mediciones spot y de largo plazo, así como mediciones personales que nos den una idea más completa de la exposición.

El nivel de riesgo por exposición ocupacional puede tener valores significativos dentro de las instalaciones de centrales de generación y subestaciones de transformación eléctrica en las cercanías de las cuales en algunos casos se pueden superar los límites de exposición ocupacionales. Asimismo, los trabajadores que trabajen con líneas de 220 kV en caliente estarán sujetos a campos que superan los límites ICNIRP poblacionales. Para el caso de los campos magnéticos, los niveles en algunos casos pueden estar cerca a los límites ocupacionales ICNIRP.

El nivel de cumplimiento de las recomendaciones internacionales ICNIRP para radiaciones no ionizantes aplicables a las redes de energía eléctrica en el Perú es de casi el 100%, tanto para exposición poblacional como para exposición ocupacional.

En términos generales:

- Se recomienda la evaluación de la exposición ocupacional caso por caso.

- Se recomienda mantener actualizada la evaluación de riesgo, tomando en cuenta el crecimiento de las redes instaladas y los resultados de la evaluación de salud realizada en el ámbito internacional.

- Los datos medidos y la evaluación son coherentes con datos de evaluaciones internacionales.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Energía y Minas del Perú, "Indicadores de la Evolución del Mercado de la Electricidad 1995-2007", disponible en http://www.minem.gob.pe/archivos/dge/estadisticas/evoluciones_2006_2007.pdf
- [2] Institute of Electrical and Electronics Engineers, "Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure Levels to Electromagnetic Fields, 0-3 kHz, IEEE Standard C95.6", IEEE, New York, 2002.
- [3] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz)", Health Phys 74, N.º 4, 494-522, 1998.
- [4] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, "Response to Questions and Comments on ICNIRP Guidelines", Health Phys., 75, N.º 4, 438-9, 1998.
- [5] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, "Exposure to Static and Low Frequency Electromagnetic Fields, Biological Effects and Health Consequences (0-100 kHz)", ICNIRP, Munich, 2003.
- [6] International Agency for Research on Cancer. "Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans", Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Field, Volume 80", IARC, Lyon, 2002.
- [7] World Health Organization, "Electromagnetic Fields (EMF)", disponible en <http://www.who.int/peh-emf/en/>
- [8] World Health Organization, "Environmental Health Criteria N.º 238 Extremely Low Frequency Fields", WHO, Madrid, 2007.
- [9] Consejo Nacional del Ambiente, "Estándares de Calidad Ambiental para Radiaciones No Ionizantes (ECA- RNI), D.S. 010-2005-PCM", 2005, http://www.conam.gob.pe/documentos/N_ECAs_LMPs/Aprueban%20Estándares%20de%20Calidad%20Ambiental.pdf
- [10] Ministerio de Energía y Minas, Código Nacional de Electricidad- Utilización, R.M. 037-2006-MEM/DM, 2006, disponible en <http://www.minem.gob.pe/archivos/dge/publicaciones/compendio/rm037-2006.pdf>
- [11] Institute of Electrical and Electronics Engineers, "IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines, IEEE Std 644-1994", IEEE, New York, 1995.

- [12] Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones, “Evaluación de las Radiaciones Electromagnéticas No Ionizantes Producidas por los Servicios de Energía Eléctrica”, INICTEL, Lima, 2002.
- [13] Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones, “Mediciones de Campos Eléctricos y Magnéticos en S.A.M., R.O.N. S.E.C.A. y Villa Azul, ELECTROPERU S.A.”, INICTEL, Lima, 2002.
- [14] Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones, “Mediciones de Radiaciones Electromagnéticas en Zonas Pobladas Cercanas a Líneas de Transmisión Eléctrica en la Ciudad de Lima”, INICTEL, Lima, 2003.
- [15] Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones (INICTEL), “Evaluación de los Efectos de las Radiaciones Electromagnéticas sobre la Calidad de Vida de los Trabajadores y las Poblaciones Cercanas a Líneas de Transmisión y Distribución Eléctrica”, INICTEL, Lima, 2005.
- [16] Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, “Magnetic & Electric Fields From Power Lines”, disponible en http://www.arpana.gov.au/radiationprotection/factsheets/is_emf.cfm
- [17] Belgian BioElectroMagnetic Group, “Valeurs des champs à la maison”, disponible en <http://www.bbemg.ulg.ac.be/FR/cecmmaison.html>