

# Los Campos Electromagnéticos de las Líneas de 500 KV y la Salud de las Personas

The Electromagnetic Field of 500 Kv Lines and Health of the Persons

Victor Manuel Cruz Ornetta<sup>1</sup>

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

**Resumen—** El objetivo del presente estudio fue la evaluación de los niveles de exposición del público en general a los campos electromagnéticos de líneas de energía de 500 Kv en el Perú. En el se incluyeron los resultados del estudio realizado en el INICTEL-UNI en el cual mediante un software de simulación y bench marking se han obtenido los posibles niveles de exposición y el cumplimiento de las recomendaciones internacionales sobre límites de exposición a campos electromagnéticos irradiada por medio de las líneas de 500 Kv. Los resultados demostraron que la exposición fuera de la faja de servidumbre cumple con los límites de exposición recomendados.

**Abstract—** The objective of this paper was to evaluate the exposure levels of general public to electromagnetic fields from 500 Kv power lines in Peru. In this paper was included the results of the study carried out by INICTEL-UNI staff which by means of prediction software and bench marking there were obtained the possible exposure levels and the compliance of international and national guidelines on exposure limits to electromagnetic fields from 500 Kv power lines. The results showed that exposure outside the rights of way were in compliance with the exposure limits.

**Palabras claves—** Campos electromagnéticos, Líneas de energía, Recomendaciones ICNIRP.

**Key Words—** Electromagnetic fields, Power lines, ICNIRP guidelines.

## I. INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento económico de nuestro país las redes de energía eléctrica en los últimos años

han experimentando un crecimiento sostenido en el Perú y en el mundo. De acuerdo al Ministerio de Energía y Minas (MINEM) [1], en el año 2009 en el parque de generación se registraron 416 centrales eléctricas con una potencia instalada de 7986 Mw y la generación de energía fue de 32,945 Gwh. La transmisión de energía eléctrica se efectuó a través del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) con un total de 15,950 Km y de los Sistemas Aislados (SSAA) con 369 Km. En concordancia con el crecimiento económico del país, para el 2011 [2] se espera un incremento de la demanda de potencia del orden del 7 %. En un escenario optimista la demanda del año 2015 sería de 7,745 MW mientras que en un escenario de demanda media la demanda de potencia sería de 7,082 Mw debido a los grandes requerimientos energéticos de los nuevos proyectos mineros (Memoria Institucional 2006-2011). Con respecto a la oferta en un escenario optimista sería del orden de 9432 Mw al 2015 mientras que en un escenario pesimista sería de 8,355 Mw. Entre los principales proyectos respecto a líneas de transmisión (L.T.) se tienen la línea de transmisión Cajamarca Norte - Cadic - Moyobamba de 220 Kv que tiene como objetivo interconectar al SEIN los sistemas aislados Bagua - Jaen, Cádic - Chachapoyas, y Tarapoto de 439 Km con L.T. de 220 Kv y 94 Km de L.T. de 500 Kv, respectivamente. El monto total de las inversiones en esta actividad ascendió a US\$ 717 millones.

Asimismo, se ha comprometido la inversión privada para la ejecución de 26 líneas con 1,706 Km de nuevas L.T. de 500 Kv y 1,756 Km de 220 Kv, respectivamente, por un monto total de US\$ 846.60 millones, las mismas que entrarán en operación entre los próximos meses de este año y finales del 2013, las cuales incluyen: la L.T. de 500 Kv Chilca - Marcona -

<sup>1</sup> Victor Manuel Cruz Ornetta, e-mail: vcruz@gmail.com  
Recibido: Mayo 2011 /Aceptado: Junio 2011

Montalvo, de 872 Km y US\$ 291 millones, a cargo de Abengoa Transmisión Sur S.A.

La L.T. de 500 Kv de Zapallal - Trujillo, de 530 Km y US\$ 167.5 millones, a cargo del Consorcio Transmántaro S.A.

La L.T. de 500 Kv de Trujillo - Chiclayo, de 304 Km y US\$ 101.4 millones, a cargo de del Consorcio Transmántaro S.A.

La L.T. de 220 Kv de Carhuamayo - Paragsha - Conococha - Huallanca - Cajamarca - Cerro Corona - Carhuaquero, de 671 Km y US\$ 106.1 millones, a cargo de Abengoa Transmisión Norte S.A.

La L.T. de 220 Kv de Pomacocha - Carhuamayo, de 110 Km y US\$ 16.4 millones, a cargo del Consorcio Transmántaro S.A.

La L.T. de 220 Kv Piura - Talara, de 102 km y US\$ 14.6 millones, a cargo del Consorcio Transmántaro S.A.

La L.T. de 220 Kv Tintaya - Socabaya, de 207 Km y US\$ 43.6 millones, a cargo de Transmisora Eléctrica del Sur S.A.

La L.T. de 220 Kv Machupicchu - Abancay - Cotaruse, de 204 Km y US\$ 62.5 millones, a cargo del Consorcio Transmántaro S.A.

La L.T. de 220 Kv de Independencia - Ica, de 55 Km y US\$ 9.1 millones, a cargo de Interconexión Eléctrica S.A.

El segundo circuito de la L.T. de 220 Kv de Chiclayo - Piura, de 220 Km, y aumento de su capacidad a 360 MvA, con una inversión de US\$ 21.3 millones, a cargo de Red de Energía del Perú S.A.

Segundo circuito de la L.T. de 220 Kv de Trujillo - Guadalupe - Chiclayo, de 187 Km, y aumento de su capacidad a 360 MvA, con una inversión de US\$ 13.1 millones, a cargo de Red de Energía del Perú S.A.

Como se puede apreciar de estos proyectos las líneas de de 500 Kv desempeñaran un papel central en el transporte hasta los centros de consumo de energía que se planea generar a futuro.

Los proyectos de implementación de líneas de 500 Kv a pesar de la gran importancia para el desarrollo del país señalada en párrafos anteriores actualmente vienen soportando grandes cuestionamientos por los posibles efectos sobre la salud de los campos electromagnéticos emitidos.

Es por eso que el objetivo de este estudio es definir los posibles niveles de exposición producidos sobre la población por las líneas de 500 Kv.

## II. ANTECEDENTES

La elaboración de este estudio toma como antecedentes los estudios realizados desde hace más de

casi 10 años en el INICTEL-UNI que incluyen el diagnóstico actualizado de las radiaciones no ionizantes de las redes de energía eléctrica hasta el 2008 y la evaluación de líneas de transmisión de hasta 220 Kv.

## III. METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN

### A. Identificación de la regulación nacional e internacional

Para la evaluación de la regulación nacional e internacional se hizo una revisión de las principales recomendaciones [3],[4],[5],[6] y los estándares internacionales así como la legislación nacional atinente [7],[8].

### B. Evaluación de los niveles de exposición producidos por las redes de energía eléctrica

Para predecir los niveles de exposición provocados por las líneas de 500 Kv se ha tomado en cuenta como referencia los resultados del Diagnóstico Nacional Peruano de las Radiaciones No Ionizantes de las Redes de Energía Eléctrica 2007, así como los resultados de simulaciones y los resultados de las mediciones y predicciones realizadas para Argentina, Chile y Tailandia para líneas de 500 Kv, realizada por el INICTEL-UNI.

## IV. RESULTADOS

### A. Regulación internacional y nacional sobre campos electromagnéticos

#### 1. Estándares Internacionales- Recomendaciones ICNIRP

Las Recomendaciones ICNIRP 1998 sobre límites máximos permisibles para RNI son las más aceptadas a nivel internacional, siendo aceptadas por la OMS, la OIT y la UIT, sin embargo a raíz de los resultados de los estudios realizados a nivel internacional en los últimos 13 años que fueron publicados en las dos revisiones más importantes de los últimos años por la Comisión Internacional de protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) [9] y la Organización Mundial de la Salud (OMS) [10], recientemente ICNIRP ha publicado nuevas recomendaciones para bajas frecuencias [6].

*Exposición Poblacional*, para este caso, los límites se aplican en situaciones en la cual 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 informados de la potencia de exposición, o no pueden tomar control sobre su propia exposición.

*Exposición Ocupacional*, en esta situación, 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 éste, 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 la exposición. En la Tabla I y II se presentan los límites ICNIRP para bajas frecuencias que fueron publicados en el 2010 [6].

TABLA I  
LÍMITES ICNIRP PARA EXPOSICIÓN POBLACIONAL  
(1Hz a 10MHz)

Rango de Frecuencia	E (Kv/m)	H (A/m)	B (T)
1 - 8 Hz	5	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^{-2} / f^2$
8 - 25 Hz	5	$4 \times 10^3 / f$	$5 \times 10^{-3} / f$
25 - 50 Hz	5	$1.6 \times 10^2$	$2 \times 10^{-4}$
50 - 400 Hz	$2.5 \times 10^2 / f$	$1.6 \times 10^2$	$2 \times 10^{-4}$
400 Hz - 3kHz	$2.5 \times 10^2 / f$	$6.4 \times 10^4 / f$	$8 \times 10^{-2} / f$
3 kHz- 10 MHz	$8.3 \times 10^{-2}$	21	$2.7 \times 10^{-5}$

TABLA II  
LÍMITES ICNIRP PARA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL  
(1Hz a 10MHz)

Rango de Frecuencia	E (Kv/m)	H (A/m)	B (T)
1 - 8 Hz	20	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$0.2 / f^2$
8 - 25 Hz	20	$2 \times 10^4 / f$	$2.5 \times 10^{-2} / f$
25 - 300 Hz	$5 \times 10^2 / f$	$8 \times 10^2$	$1 \times 10^{-3}$
300 Hz - 3 kHz	$5 \times 10^2 / f$	$2.4 \times 10^5 / f$	$0.3 / f$
3 kHz- 10 MHz	$1.7 \times 10^{-1}$	80	$1 \times 10^{-4}$

E: Intensidad de Campo Eléctrico, medida en Kvoltios/metro (Kv/m).

H: Intensidad de Campo Magnético, medido en Amperio/metro (A/m).

B: Inducción Magnética o Densidad de Flujo Magnético ( $\mu T$ ).

f: en Hz.

## 2. Regulación Peruana

Los Estándares de Calidad Ambiental para Radiaciones No Ionizantes (ECAs - RNI), D.S 010-

2005-PCM [7], fueron establecidos por el Consejo Nacional del Ambiente del Perú (CONAM) que adopta las recomendaciones ICNIRP 1998 para el público en general en el rango de 0-300 GHz [4].

El Código Nacional de Electricidad- Utilización, R.M. 037-2006-MEM/DM que fue establecido por el Ministerio de Energía y Minas del Perú para exposición del público en general y ocupacional en la frecuencia de la red (60 Hz) [8] y que también adopta los límites de las recomendaciones ICNIRP 1998 [4] (Ver Tabla III).

A la fecha los límites de campo magnético han cambiado siendo más permisivos (Tabla IV).

TABLA III  
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES ICNIRP 1998 EN 60 Hz

Límites ICNIRP para 60Hz	E(Kv/m)	H(A/m)	B( $\mu T$ )
Exposición ocupacional	8,3	336	416.7
Exposición del público en general (Poblacional)	4,2	66,4	83,3

TABLA IV  
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES ICNIRP 2010 EN 60 Hz

Límites ICNIRP para 60Hz	E(Kv/m)	H(A/m)	B( $\mu T$ )
Exposición ocupacional	8,3	800	1000
Exposición del público en general (Poblacional)	4,2	160	200

## B. Evaluación de los niveles de Radiaciones No Ionizantes (RNI) de líneas de 500 Kv

### 1. Evaluación de los niveles de Radiaciones No Ionizantes (RNI) de líneas de hasta 220 Kv

Se tomó como referencia nacional las mediciones realizadas por INICTEL-UNI hasta el 2007 (Trabajo IRPA) totalizando mediciones en 1,429 lugares: 1,284 para exposición del público en general y 145 para exposición ocupacional. Los límites ICNIRP solo fueron sobrepasados en 22 lugares para exposición del público en general (1.7 % de la muestra) y solo en un lugar (01) para exposición ocupacional (0.7 %) de la

muestra) [11], [14]. En la Tabla V se muestra los cocientes de exposición para el público en general.

TABLA V  
VALORES MÁXIMOS DE LOS CAMPOS ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO Y COCIENTES DE EXPOSICIÓN PARA LAS RECOMENDACIONES ICNIRP PARA EL PÚBLICO EN GENERAL

Voltaje	Campo eléctrico máximo		Campo magnético máximo	
	Kv/m	Límites ICNIRP	μT	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 %

2. Predicción de los niveles de campos eléctricos y magnéticos de líneas de 500 Kv por el INICTEL-UNI

En el INICTEL- UNI se ha desarrollado una aplicación en MATLAB para la predicción numérica y gráfica de los niveles de las radiaciones de líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica.

En el Perú a mediados del 2010 no se tenía implementada ninguna línea de 500 Kv, sin embargo era necesaria la exposición a la población de los estudios de impacto ambiental (EIA) de la línea Chilca-Zapallal entre otras, incluyendo el impacto electromagnético. Para poder contar con una herramienta que permita la evaluación de los campos en cuanto al cumplimiento de la regulación peruana e internacional el INICTEL-UNI ha realizado un software de simulación [16].

Con el objetivo de tener un panorama amplio de los posibles niveles de exposición a campos electromagnéticos de las líneas de 500 Kv, haremos una comparación de los valores obtenidos, por un lado mediante el software desarrollado en el INICTEL-UNI aplicándolo para las características típicas de las líneas Chilca- Zapallal, tal como se puede ver en la Fig. 1.

3. Mediciones realizadas para líneas de 500 Kv en Argentina.

Para la línea de transmisión de 500 Kv a 250 A, con disposición de tipo flat, Santo Tomé-Salto Grande en la zona Rural de Paraná, Patricia de Entre Ríos, Argentina de la Fig. 2, se realizaron mediciones [17], cuyos resultados se presentan en la Fig. 3 y 4.

Estos resultados demuestran el cumplimiento de las recomendaciones ICNIRP para campos magnéticos pero no para campos eléctricos.

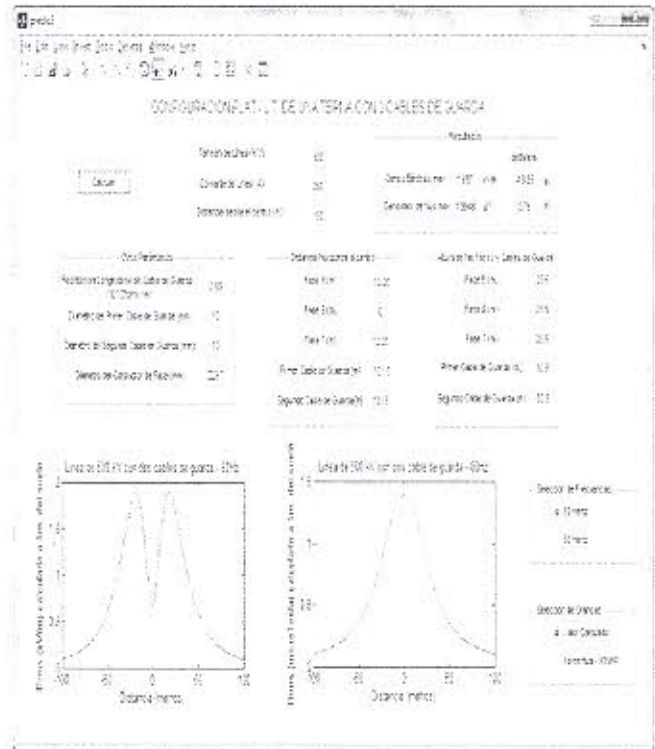


Fig. 1. Pantalla con la salida de los resultados de la simulación para líneas de 500 Kv con el software desarrollado por el INICTEL-UNI.

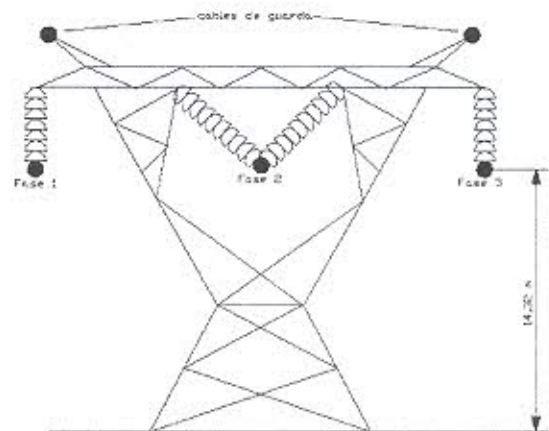


Fig. 2. Torres utilizadas por la línea Santo Tomé-Salto Grande.

4. Predicciones realizadas para líneas de 500 Kv en Chile

De acuerdo a la Universidad de Santiago de Chile la subestación Polpaico de Transelec S. A., el cálculo del campo eléctrico, magnético, interferencias de radio,

televisión y ruido audible, se realizaron a 1m del suelo. Estos cálculos se realizaron dentro del patio de la subestación y fuera del patio.

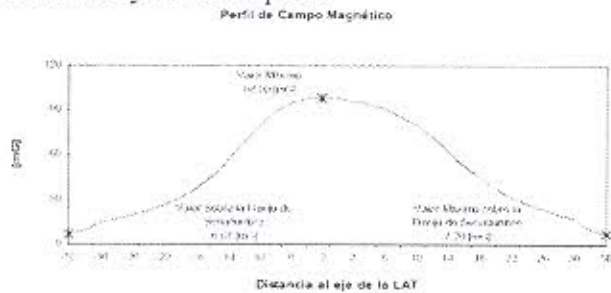


Fig. 3. Campo eléctrico medido.

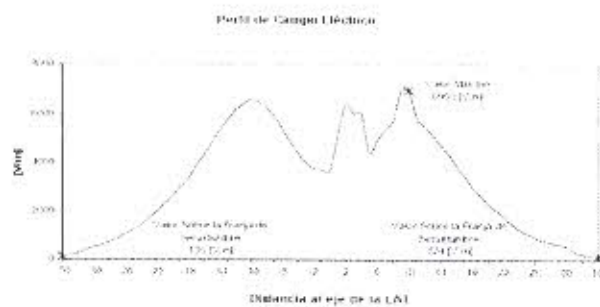


Fig. 4. Campo magnético medido.

Los cables de guardia no fueron considerados, ya que éstos no modifican más allá del 1% los valores de campo eléctrico y magnético, así como las interferencias de radio, televisión y ruido audible. Los resultados muestran el cumplimiento de las recomendaciones internacionales por parte de los campos eléctricos y magnéticos [18].

En las Figs. 4 y 5 se presentan los campos eléctricos simulados.

5. Predicciones realizadas para líneas de 500 Kv en Tailandia.

Para este caso, tomamos en cuenta las simulaciones de la distribución de campos eléctrico y magnético implementadas en MATLAB utilizando el Método de los Elementos Finitos (FEM) de las líneas de transmisión de 500 Kv, doble circuito y de 04 conductores por fase con seis esquemas de distribución de transposición a grandes distancias realizada por Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT). Los resultados [19] indican que los seis esquemas de transposición no afectaron la distribución de los campos eléctricos y magnéticos que rodean a las líneas de transmisión.

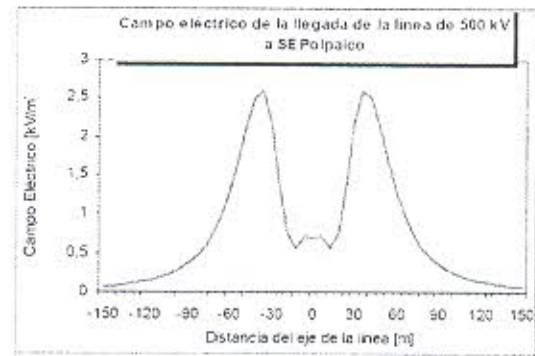


Fig. 4. Campo eléctrico simulado.

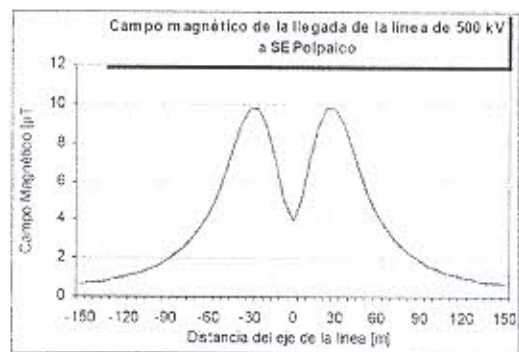


Fig. 5 Campo magnético simulado.

Las alturas de los conductores de fase más bajos son de 13 m, las de los conductores centrales 24m, de los más altos 35m y de los conductores de guarda 48.51m. Cada conductor de fase es del tipo Aluminum Conductor Steel Reinforced (ACSR) de 795 MCM (0.02772 m de-diámetro) y los conductores de guarda de 3/8 de pulgada de diámetro. La carga máxima considerada fue de 3.15 kA/fase y el sistema operando en 50 Hz. Los resultados se muestran en las Figs. 6, 7, 8, 9, y 10.

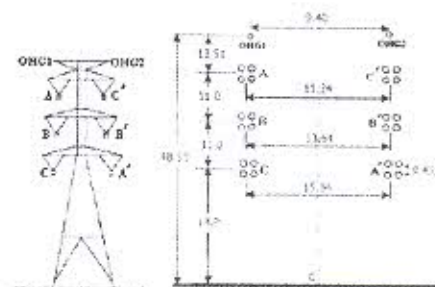


Fig. 6. Líneas de transmisión de 500 Kv, doble circuito y de 04 conductores por fase con seis esquemas de distribución de transposición de EGAT.

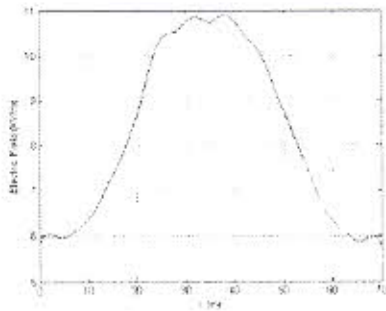


Fig. 7. Campo eléctrico a 1m del suelo para todos los tipos de línea.

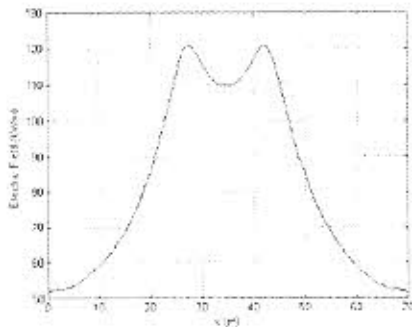


Fig. 8. Campo eléctrico a 10 m del suelo para todos los tipos de línea.

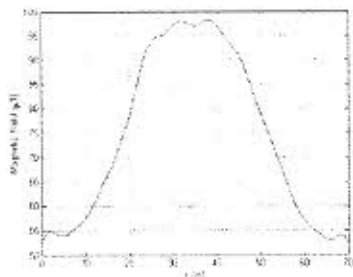


Fig. 9. Campo magnético a 1m del suelo para todos los tipos de línea.

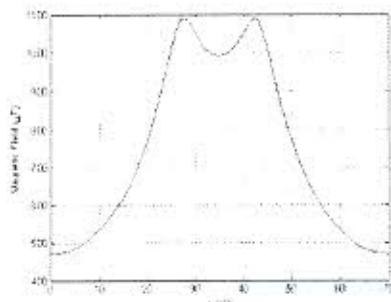


Fig. 10. Campo magnético a 10m del suelo para todos los tipos de línea.

También en este caso estos resultados demuestran el cumplimiento de las recomendaciones ICNIRP para campos magnéticos pero no para campos eléctricos.

### V. CONCLUSIONES

En términos generales para los campos de las líneas de 500 Kv, dentro de la zona de servidumbre se pueden superar los límites recomendados para el campo eléctrico, pero no para los campos magnéticos. Fuera de la zona de servidumbre se cumplen con los límites recomendados tanto para campos eléctricos y magnéticos.

### REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Energía y Minas del Perú. Anuario. Estadístico de Electricidad 2009. Disponible en: [http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Electricidad/promocion%20electrica/anuarios%20estadistico/s/Anuario\\_Estad%3%83%C2%ADstico2009.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Electricidad/promocion%20electrica/anuarios%20estadistico/s/Anuario_Estad%3%83%C2%ADstico2009.pdf)
- [2] Ministerio de Energía y Minas del Perú. Memoria Institucional 2006-2011 Anuario. Estadístico de Electricidad 2009. Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/institucional/publicaciones/MEMORIA-ENERGIA-MINAS.pdf>
- [3] 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.
- [4] 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° 4, 494-522. 1998.
- [5] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP, Response to questions and comments on ICNIRP guidelines. Health Phys., 75, N°4, 438-9. 1998.
- [6] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for Limiting Exposure to Time Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz to 100 kHz). Health Phys 99, N° 6, 818-836 (2010).
- [7] 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\\_LMP](http://www.conam.gob.pe/documentos/N_ECAs_LMP)

- s/Aprueban%20Estándares%20de%20Calidad%20Ambiental.pdf
- [8] Ministerio de Energía y Minas. Código Nacional de Electricidad- Utilización, R.M. 037-2006-MEM/DM. 2006.  
<http://www.minem.gob.pe/archivos/dge/publicaciones/compendio/rm037-2006.pdf>
- [9] 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.
- [10] Organización Mundial de la Salud. Environmental Health Criteria N° 238 Extremely Low Frequency Fields, WHO, Madrid. 2007.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Cruz V., Varela A. Diagnóstico Nacional Peruano de las Radiaciones No Ionizantes de Redes de Energía Eléctrica 2008. ELECTRÓNICA-UNMSM, N° 25. 2010.
- [16] Cruz V., Cachay C., Gallegos F. Predicción de Campos Electromagnéticos de las Líneas de Transmisión y Distribución Eléctrica y el Cumplimiento de Límites de Exposición – Aplicación a Redes del Perú. XIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Ramas Afines; Conferencia 28 Set-01 Oct 2009; Lima-Perú.2009.
- [17] Laboratorio Ambulante de Mediciones de Campos Electromagnéticos y Ruido. Informe de Mediciones de Campos Electromagnéticos de Baja Frecuencia en Líneas Eléctricas. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Santa Fe. Argentina. 2007.  
<http://www.enersa.com.ar/exc/pdfs/06.04.3.pdf>
- [18] Navarrete L. Estudio de campos electromagnéticos y ruido audible de la Subestación Polpaico de Transelec S.A., Chile. Mayo 2009.  
[https://www.e-seia.cl/archivos/ANEXO\\_N\\_5.A\\_ESTUDIO\\_DE\\_LOS\\_CAMPOS\\_ELECTROMAGNETICOS.pdf](https://www.e-seia.cl/archivos/ANEXO_N_5.A_ESTUDIO_DE_LOS_CAMPOS_ELECTROMAGNETICOS.pdf)
- [19] Pao-la-or P., Isaramongkolrak A., y Kulworawanichpong T. Finite Element Analysis of Magnetic Field Distribution for 500-Kv Power Transmission Systems. Engineering Letters. 2001.  
[http://www.engineeringletters.com/issues\\_v18/issue\\_1/EL\\_18\\_1\\_01.pdf](http://www.engineeringletters.com/issues_v18/issue_1/EL_18_1_01.pdf)