

# **Estudio de Campos Electromagnéticos Generados por Equipos Eléctricos**

**Carlos Garrido, Antonio F. Otero, Camilo Carrillo y José Cidrás**

**Dpto. de Ingeniería Eléctrica (E.T.S.I.I.), Universidad de Vigo, Lagoas, Marcosende 9,  
36200-VIGO. Tfno: (34) (986) 81 26 00, Fax: (34) (986) 81 21 73, e-mail:  
garrido@le.uvigo.es**

## **Resumen**

En los últimos años se ha disparado el estudio de los campos electromagnéticos generados por equipos y líneas eléctricas y su relación con la salud de las personas. En este trabajo presentamos resultados de las medidas de los campos magnéticos generados por diferentes equipos y líneas eléctricas en su proximidad, determinando la frecuencia de las intensidades que pueden llegar a inducir.

**Palabras clave:** Campos electromagnéticos, EMF, Equipos Eléctricos, Exposición.

## **1. Introducción**

Los campos electromagnéticos pueden inducir importantes tensiones y corrientes en elementos conductores situados en su proximidad. Estas tensiones y corrientes inducidas pueden ser peligrosas para la integridad de organismos que se pongan en contacto con estos elementos, o perjudicar el buen funcionamiento de otros sistemas. Desde el punto de vista de su interacción con el medio ambiente, los campos magnéticos de los equipos y redes de energía que interesan son aquellos situados en la proximidad del suelo, ya que pueden interactuar con cuerpos conductores (incluyendo en éstos a las personas) induciendo corrientes eléctricas en ellos. Ello ha motivado que numerosas investigaciones [1-8] se hayan enfocado hacia el cálculo y medida de estos campos, principalmente en torno a Líneas Eléctricas de Alta Tensión.

En los últimos años, se está hablando mucho acerca de los efectos que los campos electromagnéticos producen en materiales biológicos, en especial sobre el ser humano. La mayoría de objetos y construcciones no presentan más que un débil o ningún efecto pantalla para los campos magnéticos. Como consecuencia, el campo en el interior de viviendas es el resultado de la contribución de las fuentes externas e internas a las mismas. Debido a ello, se ha incrementado el interés por el estudio de los campos inducidos por las líneas de transporte que cruzan áreas residenciales [9-11], así como los estudios epidemiológicos que buscan una conexión entre los campos electromagnéticos y determinadas enfermedades en las personas [12-14]. Teniendo en

cuenta que el campo electromagnético a que se ven sometidas las personas puede deberse tanto a su proximidad a Líneas Eléctricas como al uso de equipos eléctricos, algunos autores han considerado oportuno caracterizar el campo electromagnético en el interior de residencias [15-16].

Aunque la investigación se ha enfocado principalmente hacia el campo electromagnético producido por Líneas de Alta Tensión, hasta el presente no se conoce el mecanismo por el cual los campos electromagnéticos pueden influir (si es que es así) sobre la salud de las personas. Todavía no se ha podido establecer una "dosis" de radiación electromagnética de baja frecuencia, y como consecuencia unos límites de peligrosidad (aunque determinadas normas si los aconsejan). Parece claro que si los campos electromagnéticos influyen sobre la salud de las personas tal influencia vendrá motivada por el valor del campo magnético ya que a mayor campo mayor son las corrientes inducidas. Un problema añadido de los campos magnéticos a la frecuencia industrial se produce por la aparición de corrientes a frecuencias superiores (armónicos) debido a la no linealidad de determinado tipo de cargas. Estas corrientes dan lugar a la aparición de corrientes inducidas a la misma frecuencia pero amplificadas, ya que las corrientes inducidas son proporcionales a la frecuencia. La amplitud de las corrientes inducidas es proporcional a la intensidad del campo, a su variación en el tiempo (es decir, su frecuencia) y a la superficie del circuito considerado.

Teniendo en cuenta lo anterior, parece necesario acotar el problema de los campos electromagnéticos desde varias vertientes. Así, es necesario conocer cuales son los niveles del campo en la proximidad de equipos y sistemas eléctricos, tener conocimiento de sus niveles a lo largo del tiempo y el tipo de intensidades que pueden llegar a inducir.

El presente trabajo se enmarca dentro de un proyecto que tiene por objeto desarrollar modelos y medir el campo electromagnético en líneas y subestaciones. A efectos de futuras comparaciones, en este trabajo preliminar se determina los niveles típicos de los campos magnéticos que pueden aparecer en la proximidad de equipos eléctricos en el interior y en la proximidad de viviendas, así como las frecuencias de las intensidades que pueden llegar a inducir.

## **2. Metodología**

Para caracterizar el campo magnético producido por equipos eléctricos, se ha utilizado un medidor de campo digital con un ancho de banda de 2 KHz. El equipo suministra valores digitales del campo total así como de sus componentes en los tres ejes coordenados. El equipo utilizado dispone también de una salida analógica variable en el tiempo, proporcional al valor del campo medido. La señal analógica suministrada ha sido registrada mediante un osciloscopio digital con objeto de determinar la frecuencia de las intensidades que pueden inducir.

Para los diferentes equipos utilizados se procedió a medir el campo magnético en función de la distancia al equipo. La dirección de medida es la usual en el uso normal del equipo.

Para analizar las componentes armónicas del campo magnético, las señales analógicas registradas por el osciloscopio fueron sometidas a análisis mediante FFT.

De modo similar se ha actuado, midiendo en la proximidad a viviendas el campo magnético creado por los tendidos eléctricos de acometida tanto de tipo aéreo como subterráneo. Las medidas se han realizado en diferentes franjas horarias con objeto de establecer una relación de la magnitud del campo con la demanda de energía eléctrica.

### 3. Resultados

En la Figura 1 y 2 se muestra el valor de la Inducción Magnética (en  $\mu\text{T}$ ) que generan diferentes equipos eléctricos utilizados en el hogar, a la distancia normal de utilización (desde 3 cm. para la depiladora hasta 3 metros para el televisor). El valor que se muestra corresponde a la media de las medidas realizadas sobre tres equipos de distintos fabricantes. El campo magnético de fondo en el lugar de medida fue en todo momento inferior a  $0.005 \mu\text{T}$ . Tal como se observa en las dos figuras citadas, el usuario de los equipos ensayados está sometido a campos magnéticos que varían en más de dos órdenes de magnitud. Por otra parte, bastantes de estos valores son superiores a los encontrados en las proximidades de Líneas Eléctricas (medidas realizadas en Líneas de Alta y Media Tensión que cruzan zonas residenciales muestran valores que oscilan entre  $0.04$  y  $1 \mu\text{T}$ ). Cabe resaltar que, los habitantes de estas zonas residenciales se ven sometidos de forma continua a estos campos (al menos mientras permanezcan en su entorno) mientras que el uso de los equipos eléctricos domésticos suele ser más bien esporádico.

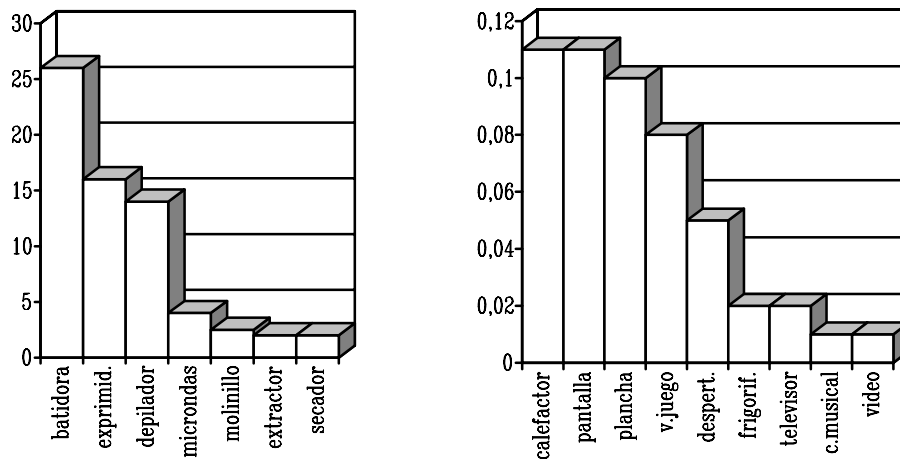


Fig. 1 y 2: Inducción Magnética ( $\mu\text{T}$ ) generada por diferentes equipos eléctricos medida a la distancia normal de utilización.

Con objeto de poder establecer la posible influencia de los equipos en su entorno más inmediato, se procedió a medir el campo magnético en función de la distancia y en la dirección usual de utilización. Las figuras 3 a 6 recogen los resultados encontrados. Por su uso, la afeitadora es la que muestra los valores más elevados para el usuario, aunque el campo disminuye rápidamente con la distancia por lo que su posible efecto sobre otras personas (a distancias superiores a 20 cm) se sitúa a un nivel inferior a la de una

aspiradora o un microondas (para esa distancia, afeitadora:  $7.4 \mu\text{T}$ , aspirador:  $9.8 \mu\text{T}$  y microondas:  $8.2 \mu\text{T}$ ). Tal como se desprende de las figuras anteriores, el campo magnético decrece de forma exponencial con la distancia al equipo, si bien la curva de decrecimiento es distinta para cada equipo.

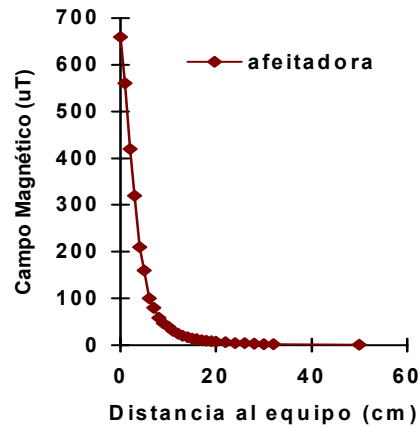
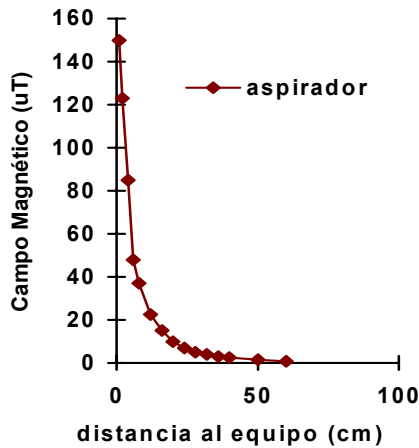


Fig. 3 y 4: Inducción magnética en función de la distancia creada por un aspirador y una afeitadora.

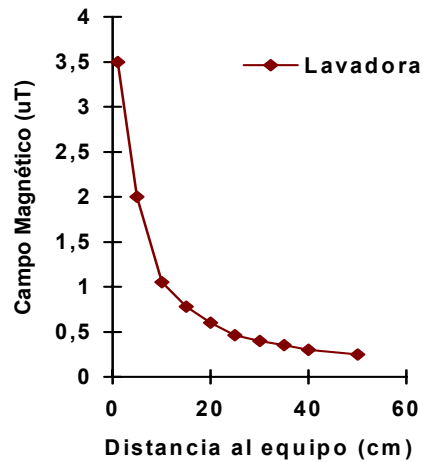
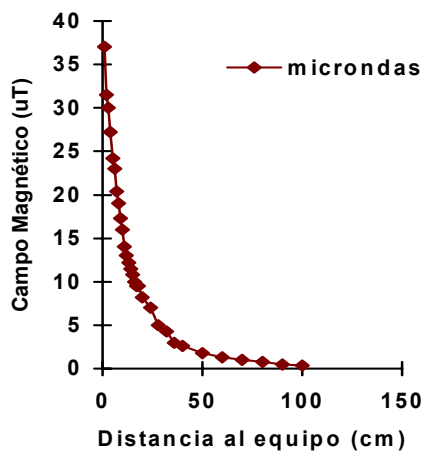


Fig. 5 y 6: Inducción magnética en función de la distancia creada por un microondas y una lavadora.

En la fig. 7 se muestra el campo magnético creado por una acometida trifásica de un edificio (44 viviendas) en función de la distancia a la situación de la acometida (verticalmente pegada al edificio y en la acera). Los valores mostrados se midieron en un horario de carga elevada (entre 8 y 9 de la mañana). No obstante, a lo largo del día se registraron valores máximos superiores a  $100 \mu\text{T}$  (23 horas) a una distancia de 3 centímetros de la acometida. En la zona de paso próxima a la acometida y usuales de los viandantes (entre 50 y 200  $\text{cm}$ ) el campo se reduce notablemente a valores que no sobrepasan los  $0.5 \mu\text{T}$ . La Figura 8 representa el campo magnético medido en la

proximidad de un local de contadores situado en el borde de una zona de paso de acceso a las escaleras y que corresponde al mismo edificio. En este caso los valores máximos a los que puede estar expuesta una persona no superan los  $4.5 \mu\text{T}$  y los valores habituales de exposición (debido a la situación de paso) se sitúan por debajo de  $0.5 \mu\text{T}$ .

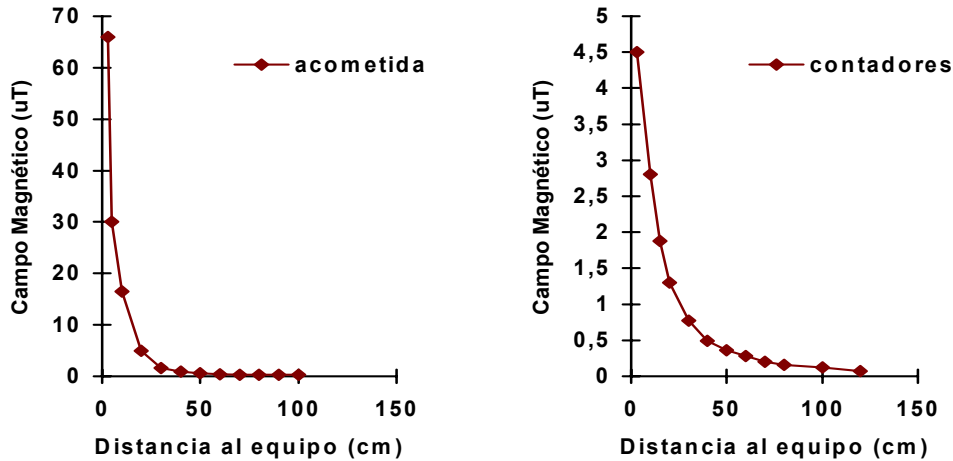


Fig. 7 y 8: Inducción magnética en función de la distancia creada por una acometida y un local de contadores.

El simple valor del campo magnético creado por un equipo eléctrico, no debe ser el único parámetro a tener en cuenta para poder considerar su posible efecto sobre la salud de las personas. El valor de las intensidades inducidas por campos magnéticos variables en el tiempo es directamente proporcional a la frecuencia de variación del campo. Cada vez es mayor el uso de equipos domésticos que funcionan mediante rectificadores por lo que la característica tensión-corriente deja de ser lineal. Ello da lugar a que la corriente de alimentación de estos equipos no sea puramente senoidal, por lo que la señal puede descomponerse en una de la frecuencia fundamental y a la que se suman armónicos de orden creciente.

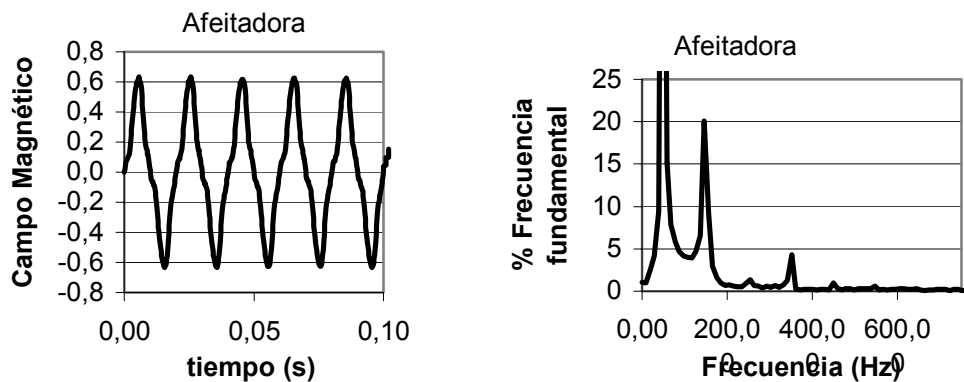


Fig. 9 y 10: Campo Magnético en función del tiempo creado por una afeitadora, y descomposición espectral del campo.

Cuanto mayor sea el valor de los armónicos y de sus frecuencias, mayor es el campo magnético creado por estos armónicos y, por tanto crecerán de forma lineal con la frecuencia las intensidades que pueden inducir en los objetos o personas situados en su entorno. Para caracterizar los equipos eléctricos ensayados, se ha llevado a cabo un análisis mediante FFT de la señal analógica suministrada por el medidor del campo magnético. Algunos de los resultados obtenidos se muestran en las figuras que siguen.

La figura 9 muestra la señal correspondiente al campo magnético (en unidades arbitrarias) creado por una afeitadora y registrado mediante un osciloscopio digital. Tal como se observa, el campo presenta una forma no senoidal debido a la presencia de armónicos de la frecuencia fundamental. Esto puede observarse en la descomposición efectuada por la aplicación de la FFT y que se muestra en la fig.10, en la que se representa el porcentaje con respecto a la frecuencia fundamental (suponiendo para ésta un valor del 100%) del espectro en función de la frecuencia. En este caso a la frecuencia fundamental se superpone el tercer armónico (150 Hz) con un valor del 21% con respecto al fundamental. También el 7º armónico contribuye con un valor del 4%. Teniendo en cuenta la proporcionalidad de las corrientes inducidas con la frecuencia del campo magnético que las origina, las intensidades producidas por el tercer armónico tiene una valor de un 63% con respecto a las del campo fundamental.

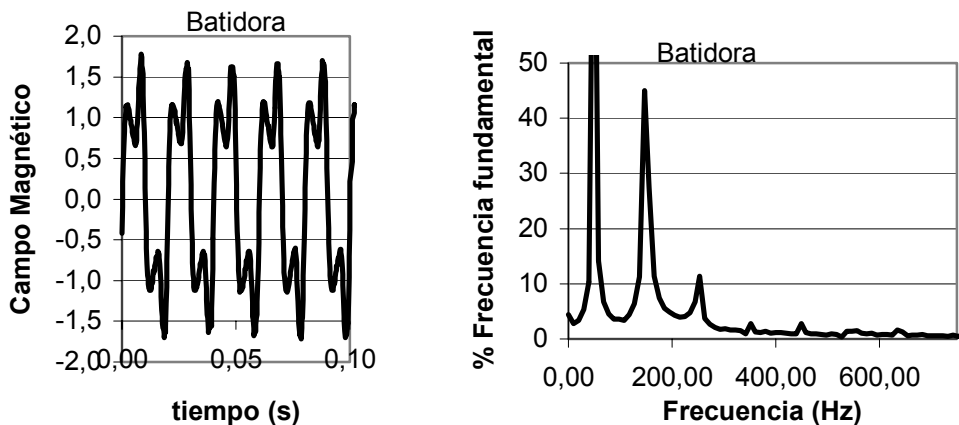


Fig. 11 y 12: Campo Magnético en función del tiempo creado por una batidora y descomposición espectral del campo.

En la fig.11 se muestra la señal correspondiente al campo magnético creado por una batidora (en unidades arbitrarias), mientras que en la figura 12 se muestra el espectro de frecuencias correspondientes de la fig.11 al aplicar a la misma la FFT. En este caso, el tercer armónico alcanza un valor del 45% con respecto al valor de la señal a la frecuencia fundamental, mientras que el quinto armónico presenta un valor del 10%. Esto significa que el valor de las intensidades inducidas a la frecuencia de 150 Hz son 1.35 veces el valor de las inducidas por el campo a la frecuencia de 50 Hz mientras que las inducidas por el quinto armónico son 0.5 veces.

Las figuras 13 y 14 recogen los datos obtenidos para la señal del campo magnético generado por un extractor. La señal es muy similar a la de la batidora si bien los valores del 3º y 5º armónicos presentan valores superiores (58% para el 3º y 16% para el 5º armónico). Como consecuencia, el valor de las intensidades inducidas a 150 Hz son 1.74

veces el valor de las inducidas a la frecuencia fundamental mientras que a 250 Hz presentan un valor de 0.9 veces el valor de las fundamentales.

La forma de la señal del campo creado por un televisor así como su espectro de frecuencias se muestran en las figuras 15 y 16. En este caso aparecen todos los armónicos con valores apreciables hasta el décimo-quinto. A pesar de la presencia de numerosos armónicos, su valor absoluto es reducido al serlo el campo total creado por un televisor, de acuerdo con los datos mostrados en la figura 2.

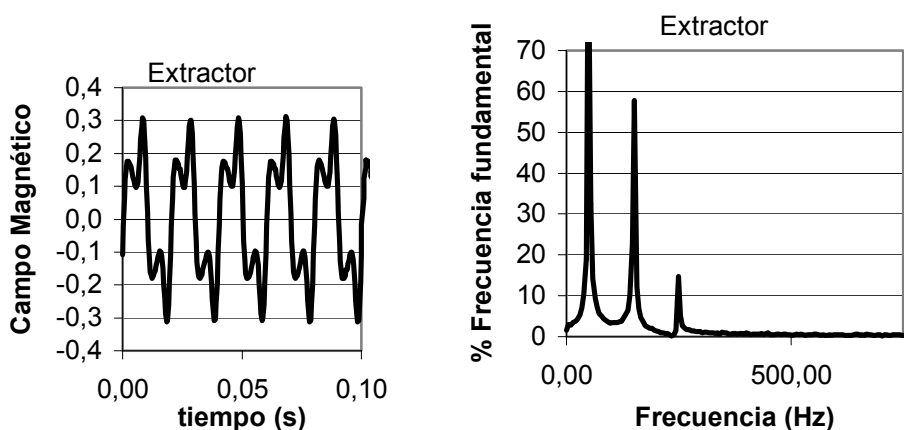


Fig. 13 y 14: Campo Magnético en función del tiempo creado por un extractor y descomposición espectral del campo.

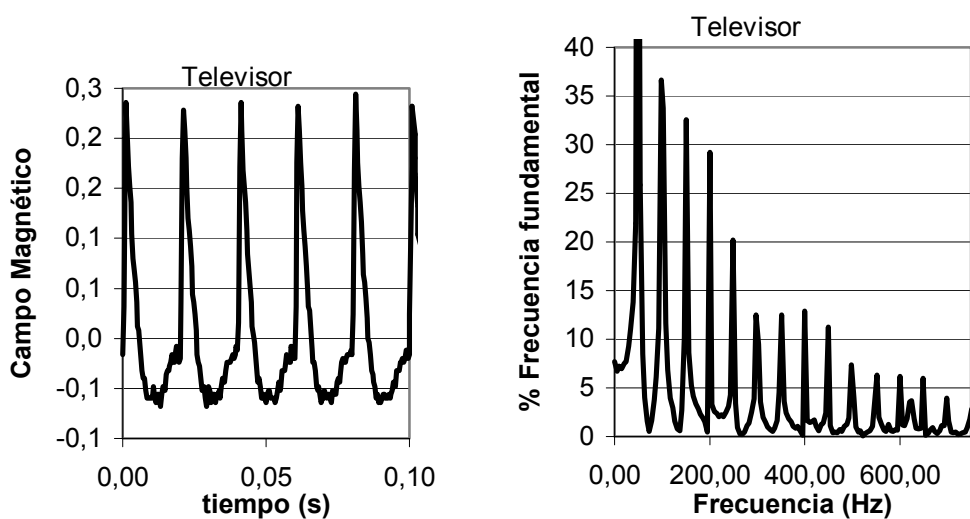


Fig. 15 y 16: Campo Magnético en función del tiempo creado por un televisor y descomposición espectral del campo.

#### 4. Conclusiones

En este trabajo hemos presentado una recopilación de datos sobre campos magnéticos creados por equipos eléctricos de tipo doméstico así como el espectro de frecuencias de estos campos. De los resultados obtenidos cabe señalar que algunos equipos presentan

valores del campo muy superiores a los que habitualmente se pueden encontrar en la vecindad de líneas eléctricas. Por otra parte, los armónicos generados por algunos de estos equipos pueden dar lugar a intensidades inducidas de valor superior a las generadas por el campo de frecuencia fundamental. Con objeto de poder en un futuro establecer valores dosimétricos de exposición a los campos magnéticos, es necesario seguir indagando en diferentes aspectos de los mismos, tales como tiempos de exposición, valores medios y máximos, etc.

## Referencias

- [1] M Frazier, H Robertson, J. Dunlap, T Morgan y P. Thomas, *Transmission Line, Railroad and pipeline common corridor study*; IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-1, nº3, julio 1986.
- [2] IEEE Magnetic Fields Task Force, *Magnetic fields from electric power lines theory and comparison to measurements*, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 3(4), Octubre 1988.
- [3] T. Vinh, T.L. Jones y C.H. Shih, *Magnetic Fields near Overhead Distribution Lines - Measurements and Estimating Technique*, IEEE Trans. on Power Delivery, 6(2), April 1991.
- [4] R.G. Olsen y P.S. Wong, *Characteristics of Low Frequency Electric and Magnetic Fields in the vicinity of Electric Power Lines*, IEEE Trans. on Power Delivery, 7(4), Octubre 1992.
- [5] F. Dawalibi, A. Selby, *Electromagnetic Fields of Energized Conductors*, IEEE Transactions on Power Delivery, 8(3), julio 1993.
- [6] P.S. Wong, M.A. Janoska, C. Light y R.W. McCourt, *Long Term Magnetic Field Monitoring Near Power Lines*, IEEE Trans. on Power Delivery, 12(2), April 1997.
- [7] B.Y. Lee, J.K. Park, S.H. Myung, S.W. Min y E.S. Kim, *An Effective Modelling Method to Analyze Electric Fields around Transmission Lines and Substations Using a Generalized Finite Line Charge*, IEEE Trans. on Power Delivery, 12(3), July 1997.
- [8] X.-B. Xu y X.-M. Yang, *A Simple Computational Method for Predicting Magnetic Fields in the vicinity of a three-phase underground cable with a fluid-filled steel-pipe enclosure*, IEEE Trans. on Power Delivery, 10(1), January 1995.
- [9] F.P. Dawalibi, *Computation of electromagnetic fields produced by electric power lines and residential electrical wiring*, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8(3), Julio 1993.
- [10] P Sarma Maruvada, A. Turgeon, D.L. Guolet y C.U. Cardinal, *A Statistical Model to Evaluate the Influence of Proximity to Transmission Lines on Residential Magnetic Fields*, IEEE Trans. on Power Delivery, 13(4), Octubre 1998.
- [11] M. Silva, N. Hummon, D. Rutter, C. Hooper, *Power frequency magnetic fields in the home*, IEEE Transactions on Power Delivery, 7(4), Octubre 1992.
- [12] M. Feychting, *Occupational exposure to electromagnetic fields and adult leukemia: A review of the epidemiological evidence*, Rad. Environ. Biophys., 35, 1996 pag.237-42.
- [13] MS. Linet et al., *Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children*, N. Engl. J. of Medicine, 337, 1997 pag. 1-7.
- [14] L.I. Kheifets et al., *Occupational electric and magnetic field exposure and brain cancer. A meta analysis*, J. Occup. Environ. Medicine, 37, 1995 pag.1327-41.
- [15] M. Silva, N. Hummon, D. Rutter y C. Hooper, *Power Frequency Magnetic Fields in the Home*, IEEE Trans. on Power Delivery, 4(1), Enero 1989.
- [16] L.E. Zaffanella, T.P. Sullivan e I. Visintainer, *Magnetic Field characterization of Electrical Appliances as point sources through in situ measurements*, IEEE Trans. on Power Delivery, 12(1), Enero 1997.