

Evaluación del campo magnético al que están expuestos los trabajadores de subestaciones y circuitos energizados de las empresas de energía

Guillermo Aponte, Adolfo Escobar/ Universidad del Valle

Henry Bolaños, Alberto Mora/ EPSA E.S.P.

COLOMBIA

hbolanos@epsa.com.co; amora@epsa.com.co;

gponte@univalle.edu.co; adesor@tutopia.com

III Congreso Internacional sobre Trabajos con Tensión y Seguridad en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica

17 al 20 de abril de 2007

Potrero de los Funes, Argentina

INDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. GENERALIDADES
3. MEDICIONES
4. REGULACIONES
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS
6. CONCLUSIONES
7. RECOMENDACIONES
8. AGRADECIMIENTOS
9. REFERENCIAS

1. Introducción

El problema de la contaminación electromagnética surge de la preocupación de las personas, sobre la posibilidad de que los campos electromagnéticos inducidos al medio por las instalaciones eléctricas, puedan afectar su salud, contribuyendo al desarrollo de enfermedades como el cáncer.

Una de las inquietudes más comunes se presenta por la cercanía de líneas, subestaciones y transformadores de distribución a las zonas residenciales, lo que gene-

Resumen: En este artículo se presentan los resultados de mediciones de campo magnético realizadas en subestaciones eléctricas con niveles de tensión comprendidos entre los 115 kV y 230 kV, así como los que se presentan durante los trabajos que se realizan sobre el sistema energizado en circuitos de 13,2 kV de la Empresa de Energía del Pacífico S.A. EPSA.

Igualmente se hace un análisis de los valores de campo medidos, comparándolos con los niveles que a la presente se consideran como no peligrosos.

ra preocupación en las personas que viven en estos lugares [1].

Igualmente se presentan inquietudes en los operarios de las empresas de energía, que realizan el mantenimiento de las redes de media y alta tensión con el procedimiento llamado de Línea Viva, al estar expuestos durante considerables periodos de tiempo a campos eléctricos y magnéticos considerables y de quienes realizan labores de mantenimiento o permanecen de manera continua en las subestaciones [2]. Para que las empresas prestadoras del servicio puedan atender de manera adecuada estas inquietudes, es necesario que se realice la medición de los niveles de campo eléctrico y

magnético existentes en sus sistemas y que se confronten los valores obtenidos en las mediciones, con los niveles recomendados como seguros por los estudios y bibliografía internacional.

En un proyecto previo se realizó la medición de los campos en líneas de transmisión y subestaciones, para evaluar los niveles que podrían recibir quienes viven en cercanías de estas instalaciones [3]. En una segunda fase se decidió determinar las condiciones de campo magnético a las que están expuestas las personas que trabajan en línea viva y en las subestaciones (ambientes de trabajo), para evaluar si estas implican situaciones especiales de riesgo.

2. Generalidades

Los campos eléctricos y magnéticos a frecuencia industrial (50 Hz o 60 Hz) están presentes dondequiera que la electricidad se genere, transmita o use. Los campos eléctricos están relacionados con el voltaje, mientras que los magnéticos son producidos por la corriente.

Los campos son cantidades vectoriales caracterizadas por una magnitud, una dirección y una frecuencia, siendo esta última igual a la de la fuente, mientras que la magnitud y dirección, pueden variar tanto en el espacio como en el tiempo.

El campo eléctrico no cambia en el tiempo ya que está directamente relacionado con el voltaje y este permanece relativamente constante, varía sólo con la distancia a la fuente y es medido en unidades de volts/metro (V/m) o kilovolts/metro (kV/m).

El campo magnético, al estar asociado a una corriente cambiante, varía tanto en el espacio como en el tiempo; es usualmente expresado en unidades de microtesla (μT) o de miligauss (mG). Cuando se inició el estudio de la exposición a los campos electromagnéticos a frecuencia industrial, el interés se enfocó en los campos eléctricos, debido a que producen efectos distinguibles a corto plazo, como es el caso de las descargas electrostáticas.

Posteriormente el interés se ha centrado en la exposición a los campos magnéticos, ya que estudios de laboratorio y epidemiológicos han sugerido que estos pueden ser la causa de posibles efectos en la salud.

2.1. Subestaciones de Alta Tensión

Las subestaciones son componentes claves para la operación y confiabilidad de los sistemas eléctricos, sirviendo como un punto de conexión y conmutación para las líneas de transmisión, alimentadores de distribución, circuitos de generación y transformadores.

Las subestaciones contienen equipo importante que periódicamente requiere de inspección y mantenimiento (figura 1), estas labores pueden ocasionar que los operarios estén expuestos a campos eléctricos y magnéticos significativos [4].

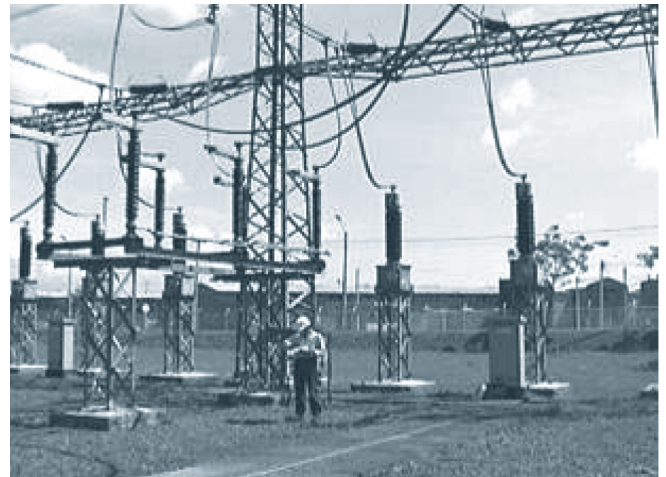


Figura 1. Inspección de equipos en una subestación.

Las fuentes más significativas de campo magnético en las subestaciones son [5]:

- Los barrajes
- Las líneas aéreas o subterráneas, entrantes y salientes
- Los transformadores de potencia
- Los equipos de patio

Es importante notar que la carga y por lo tanto el campo magnético en una subestación, varía continuamente, siendo sus promedios típicamente inferiores al 50% de los valores máximos.

2.2. Trabajo en Línea Energizada

Para mejorar la calidad del servicio a sus clientes, las empresas de energía deben reducir la cantidad y duración de interrupciones. Por ser los trabajos de mantenimiento una de las principales causas de las interrupciones del servicio, cada día se emplea más la técnica de Línea Viva que permite su ejecución con el sistema energizado (figura 2).



Figura 2. Mantenimiento en líneas energizadas.

Considerando su cercanía a la línea energizada, es razonable pensar que quienes trabajan en Línea Viva puedan estar expuestos a campos eléctricos y magnéticos relativamente altos.

La exposición de los trabajadores de línea viva a los campos eléctricos es difícil de establecer, ya que los operarios mismos y los equipos que se utilizan en ese procedimiento, como es el caso de las canastillas, alteran y distorsionan el campo eléctrico, por esta razón no se midió.

3. Mediciones

Siguiendo las recomendaciones y estándares internacionales, se desarrollaron protocolos para la medición de campo magnético en cada uno de los ambientes descritos, con los procedimientos a seguir antes, durante y después de las mediciones.

Todas las mediciones se hicieron a una altura de 1 metro sobre el nivel del suelo, utilizando el medidor EMDEX II y la rueda para mapeo LINDA, elementos comúnmente usados en muchos estudios internacionales (figura 3).

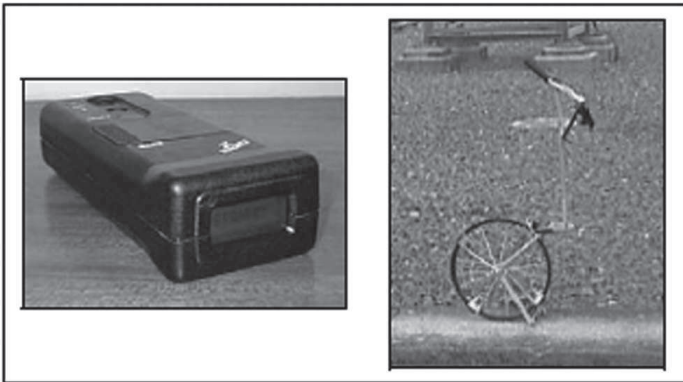


Figura 3. Medidor de campo magnético EMDEX II y rueda de medición LINDA.

Antes de realizar la medición de campo magnético en cualquier ambiente, se caracterizó el sitio mediante fotos, una vista de planta donde se ubicaban los perfiles a medir y un corte transversal donde se indicaban las conexiones de los diferentes equipos.

Igualmente se registraron las condiciones ambientales en el momento de la medición (temperatura y humedad), la hora de inicio y finalización de las mediciones.

3.1. Subestaciones de Alta Tensión

Se realizaron mediciones de campo magnético dentro de 11 subestaciones típicas del sistema de EPSA, con voltajes comprendidos entre 115 kV y 230 kV.

3.1.1. Metodología

Por ser la subestación un lugar donde se encuentran una gran cantidad de equipos eléctricos, la variación espacial del campo magnético es una de las características más importantes a determinar:

Para conocer su variación en el espacio se emplea el método del mapeo, que consiste en realizar un recorrido a lo largo y ancho del sitio, identificando las zonas con iguales valores de campo, para luego representarlas en un mapa de contorno.

En cada una de las subestaciones se realizaron las siguientes mediciones de campo magnético:

- Mapeo en dos dimensiones basado en los valores rms de las componentes X, Y y Z del campo magnético, los cuales fueron registrados cada metro.
- Al menos dos perfiles pecubriendo la totalidad de la subestación [6]; estos perfiles se escogieron teniendo en cuenta los puntos de conexión entre los elementos más bajos de la subestación y los que tenían una mayor carga de corriente.

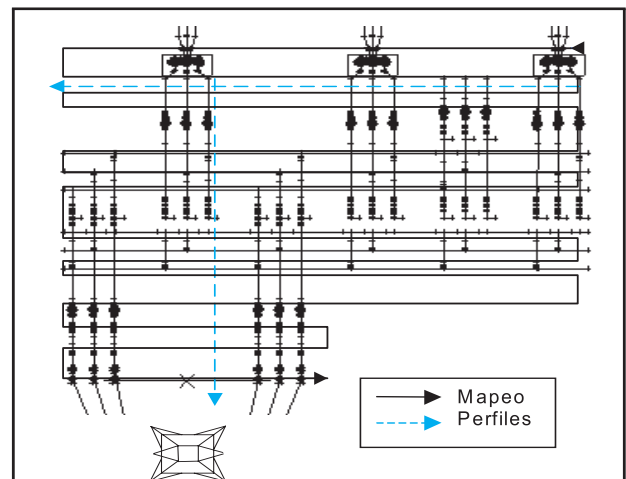


Figura 4. Recorridos efectuados en una subestación.

La figura 4 muestra los recorridos efectuados en una subestación para el desarrollo del mapeo y los perfiles de campo. La rueda LINDA se programa para realizar mediciones de campo magnético y distancia, de forma continua y automática.

3.1.2. Resultados

En las figuras 5 y 6 se muestran respectivamente, un mapa de contorno y un perfil del campo magnético, medidos en una de las subestaciones.

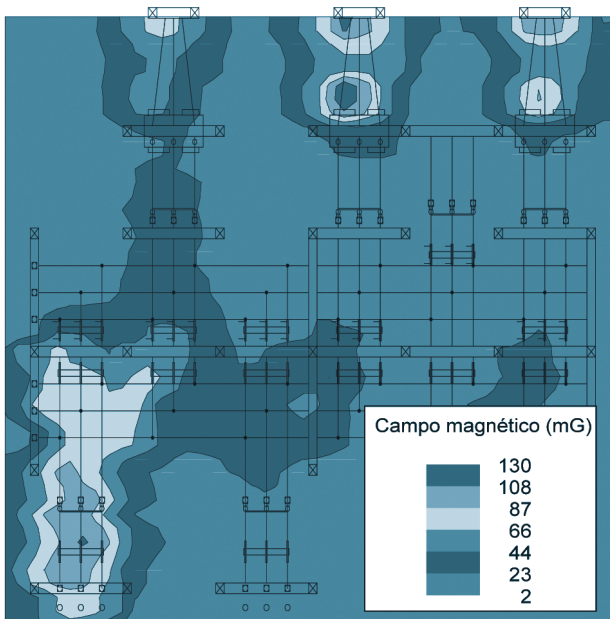


Figura 5. Mapa de contorno en 2D del campo magnético medido en una subestación.

Los mapas de campo magnético dentro de las subestaciones dan información sobre los niveles de éste y son una herramienta en la toma de decisiones, como por ejemplo tiempos de exposición cuando se realizan trabajos en algunas zonas.

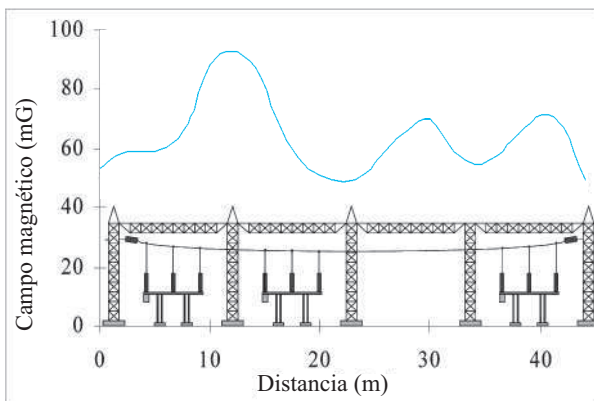


Figura 6. Perfil de campo magnético medido.

En la tabla 1 se muestran los valores máximos y promedio de campo magnético, obtenidos durante el mapeo en las subestaciones.

Tabla 1. Valores de campo magnético medidos en subestaciones de EPSA.

Subestación	Máximo (mG)	Promedio (mG)
1- Chipichape 115 kV	217,3	25,1
2- Ckodazzi 115 kV	81,3	14,1
3- Juanchito 115 kV	192,3	28,7
4- Juanchito 230 kV	166,1	21,3
5- Juanchito 230/115 kV	159,1	43,2
6- Meléndez 115 kV	133,7	25,2
7- Pance 115 kV	164,5	34,4
8- Pance 230 kV	184,1	36,9
9- Salvajina 115 kV	152,7	29,0
10- San Marcos 115 kV	388,8	32,7
11-Santa Bárbara 115 kV	440,0	25,0

3.1.3. Condiciones de carga

Con el fin de evaluar las condiciones de carga presentes en el momento de la medición, se obtuvieron datos de voltaje y potencias (activa y reactiva) cada 15 minutos en los siguientes sitios:

Voltajes:

- En los barrajes

Potencias:

- En las líneas de transmisión entrantes o salientes.
- En los lados de alta y baja tensión de los transformadores y en los alimentadores de circuitos de distribución.

3.2. Trabajo en Línea Energizada

Se realizaron mediciones en diez (10) condiciones de trabajo en línea energizada, en circuitos de distribución a 13,2 kV, pertenecientes al sistema EPSA.

3.2.1. Metodología

Las mediciones de exposición a campo magnético se hicieron con el propósito de conocer los niveles típicos a los cuales se encuentra expuesto el personal, mientras realiza actividades de mantenimiento de las redes de media tensión con el procedimiento llamado Línea Viva.

Para las mediciones se colocó el medidor con la ayuda de un pequeño maletín, en el pecho de la persona encargada de hacer el trabajo en línea viva (ver figura 7).

El medidor se programó de manera que almacenara los valores de campo magnético cada 3 segundos, durante el período de duración del trabajo.



Figura 7. Ubicación del medidor de campo magnético en el liniero.

3.2.2. Resultados

La figura 8 muestra el campo magnético en función del tiempo para una condición típica de trabajo en línea energizada.

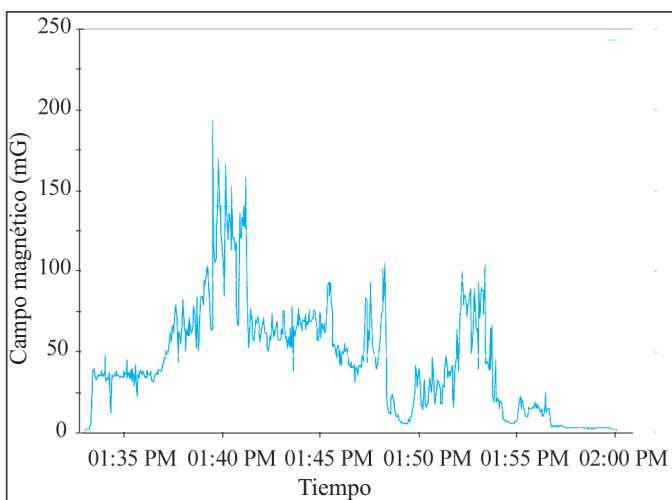


Figura 8. Campo magnético contra tiempo en una medición en trabajo en línea energizada.

En la tabla 2 se muestran los valores máximos y promedio de campo magnético obtenidos durante las diez mediciones.

Tabla 2. Valores de campo magnético medidos en los trabajadores de línea energizada.

CONDICIÓN DE TRABAJO	Máximo (mG)	Promedio (mG)
1- Retiro de protecciones	24,5	11,1
2- Cambio de puentes	929,6	327,0
3- Cambio de pararrayos	945,6	196,4
4- Cambio de pararrayos	36,9	13,8
5- Cambio de alimentador	73,3	33,0
6- Cambio de alimentador	207,3	46,6
7- Cambio cortacircuitos	52,7	8,4
8- Reubicación recloser	62,1	20,2
9- Reubicación recloser	56,1	23,8
10- Reubicación recloser	78,1	29,3

4. Regulaciones

De acuerdo a la literatura científica, no hay hasta el momento estudios que permitan tener completa certeza sobre si los campos electromagnéticos a 50 Hz o 60 Hz, tienen o no efectos sobre la salud humana, sin embargo existen recomendaciones internacionales acerca de los límites de exposición a estos campos para las personas.

En la tabla 3 se presentan las normas y regulaciones más reconocidas, sobre los niveles de máxima exposición a campos magnéticos a frecuencia industrial (60 Hz), recomendados para ambientes ocupacionales y para el público en general.

Tabla 3. Valores de máxima exposición a frecuencia industrial (60 Hz).

Estándar	Campo (mG)	Comentario
International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 1998 [5]	4167,7	Ocupacional
	833,3	Público
European Prestandard ENV 50166-1 (1995) [6]	1333,33	Ocupacional
	5333,33	Público
International Radiation Protection Association (IRPA)	5000	Ocupacional
	1000	Público
(National Resources Planning Board) NRPB, Reino Unido [7]	16000	Ocupacional
	16000	Público
American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) [8]	10000	Ocupacional

Recientemente, el gobierno Colombiano expidió el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE [9], en el que se definen los valores límites de campos eléctricos y magnéticos para baja frecuencia:

- Campo Eléctrico 10 kV/m
- Campo Magnético 0,5 mT (5000 mG)

5. Análisis de resultados

Para el análisis de los resultados se decidió tomar como referencia las recomendaciones del ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), por ser esta una organización científica independiente reconocida en el ámbito mundial y porque los valores establecidos son los menores. En la figura 9 se presentan los valores máximos y promedio de campo magnético, medidos en las subestaciones de alta tensión del sistema EPSA.

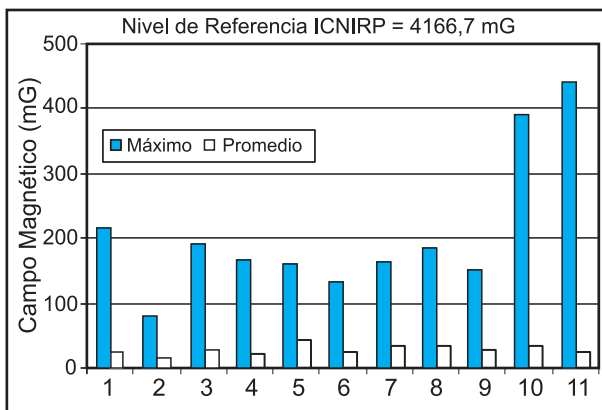


Figura 9. Niveles de campo magnético medidos en las subestaciones.

En la figura 10 se presentan los valores máximos y promedio de campo magnético a los cuales estuvieron expuestos los linieros de EPSA, durante los trabajos en líneas energizadas.

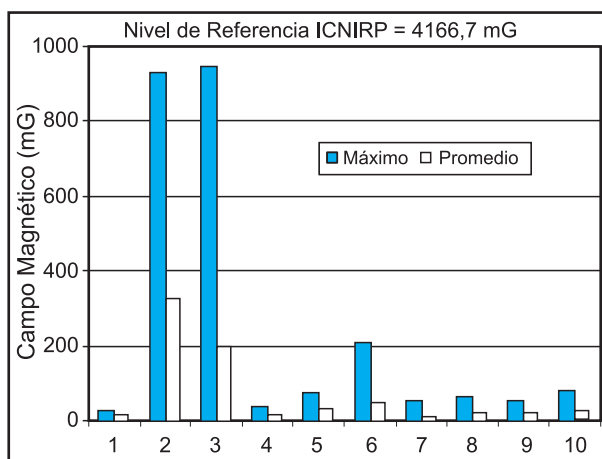


Figura 10. Niveles de exposición a campo magnético medidos en los linieros.

6. Conclusiones

Se diseñó e implementó un procedimiento de medición de campos magnéticos en subestaciones y trabajo en línea energizada), describiendo los pasos a seguir antes, durante y después de dichas mediciones, con base en normas y recomendaciones internacionales. Este se adoptará como procedimiento interno por parte de la Empresa de Energía del Pacífico EPSA.

Se verificó que los valores máximos de campo magnético encontrados durante las mediciones en las subestaciones de alta tensión y en los trabajos de línea viva del sistema EPSA, están muy por debajo de los límites ocupacionales propuestos por los estándares internacionales.

7. Recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede establecer que los operarios que realizan el mantenimiento de las redes de media y alta tensión con el procedimiento llamado de Línea Viva y de los que permanecen de manera continua o temporal en las subestaciones, no están expuestos a niveles de campo magnético por encima de los recomendados internacionalmente.

Sin embargo, mientras continúen las investigaciones acerca de los posibles efectos en la salud de los campos electromagnéticos, los trabajadores y empresas interesados en el tema pueden considerar medidas sencillas para reducir las exposiciones a estos campos tales como:

- Informar a los trabajadores y las empresas sobre los posibles peligros de los campos magnéticos.
- Aumentar la distancia del trabajador a la fuente de campo eléctrico o magnético, ya que los campos disminuyen dramáticamente con la distancia.
- Usar diseños de bajo campo cuando sea posible (por ejemplo, para la distribución del suministro de energía eléctrica en oficinas).
- Reducir el tiempo de la exposición a los campos eléctricos y magnéticos.

Sin embargo, no debe tomarse alguna acción para reducir la exposición a los campos si esto significa aumentar el riesgo de un peligro ya demostrado, como es el caso de la electrocución.

Las mediciones reflejan los campos magnéticos en el momento del registro y no necesariamente expresan las condiciones máximas o mínimas. Por lo tanto es útil el poder simular los niveles de campo magnético dentro y alrededor de una subestación, para diferentes condiciones de carga.

La simulación también es útil para desarrollar diseños alternativos y evaluar técnicas de mitigación con el objetivo de reducir estos campos.

En un trabajo posterior a este, se están desarrollando los modelos para la simulación de campos magnéticos en subestaciones y la evaluación de técnicas de mitigación en estos ambientes.

8. Agradecimientos

Los autores agradecen a COLCIENCIAS por la cofinanciación del proyecto, así como a EPSA E.S.P. por su aporte económico y logístico.

9. Referencias

- [1] Korpinen, L.; Isokorpi, J.; Keikko, T.; "Electric and Magnetic Fields from Electric Power Systems in Living and Work Environment", Eleventh International Symposium on High Voltage Engineering. Volume: 2, 23-27 Aug. 1999 Page(s): 99 -102 vol.2.
- [2] Miller, Ch.; "The Measurement of Electric Fields in Live Line Working", Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on, Volume: 86, Issue: 4, April 1967, Page(s): 493-498.
- [3] Proyecto "Análisis y Evaluación de los Campos Eléctricos y Magnéticos en Líneas y Subestaciones de 115 y 230 kV". Informe final del Proyecto EPSA – COLCIENCIAS – UNIVALLE No. 1106-06-10898. Junio de 2002.
- [4] Feero, W.E.; Yontz, J.; Dunlap, J.H.; "Magnetic Fields Remote from Substations", Power Delivery, IEEE Transactions on, Volume: 4 Issue: 3, July 1989 Page(s): 1862 –1868.
- [5] Qin Yu; Sebo, S.A.; "Accurate Evaluation of the Magnetic Field Strength of Large Substation Air-core Reactor Coils", Power Delivery, IEEE Transactions on, Vol: 13 Issue: 4, Oct. 1998 Page(s): 1114-1119.
- [6] Aponte, G.; Cadavid, H.; Escobar, A.; Pérez, R.; Mora, A.; and Bolaños, H.; "Electric and Magnetic Fields Measured in Colombian Lines and Substations". Symposium on Electromagnetic Compatibility. Estambul, Turquía, Mayo 2003.
- [7] IRPA/INIRC (International Nonionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association). 1990. "Interim Guidelines on Limits of Exposure to 50/60 Hz Electric and Magnetic Fields", Health Physics 58: 113-122.
- [8] "Exposition Humaine aux Champs Électromagnétiques Basses Fréquences (0 Hz à 10 kHz)", European Prestandard ENV 50166-1. European Committee for Electrotechnical Standardisation, CENELEC, 1995.
- [9] National Radiological Protection Board. Restriction on Human Exposures to Static and Time Varying EM Fields and Radiation. Documentes of the NRPB, 1993.
- [10] ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). 1994. 1994-1995 Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. Cincinnati.
- [11] Ministerio de Minas y Energía de Colombia. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, RETIE. Resolución 18 0398 de 2004