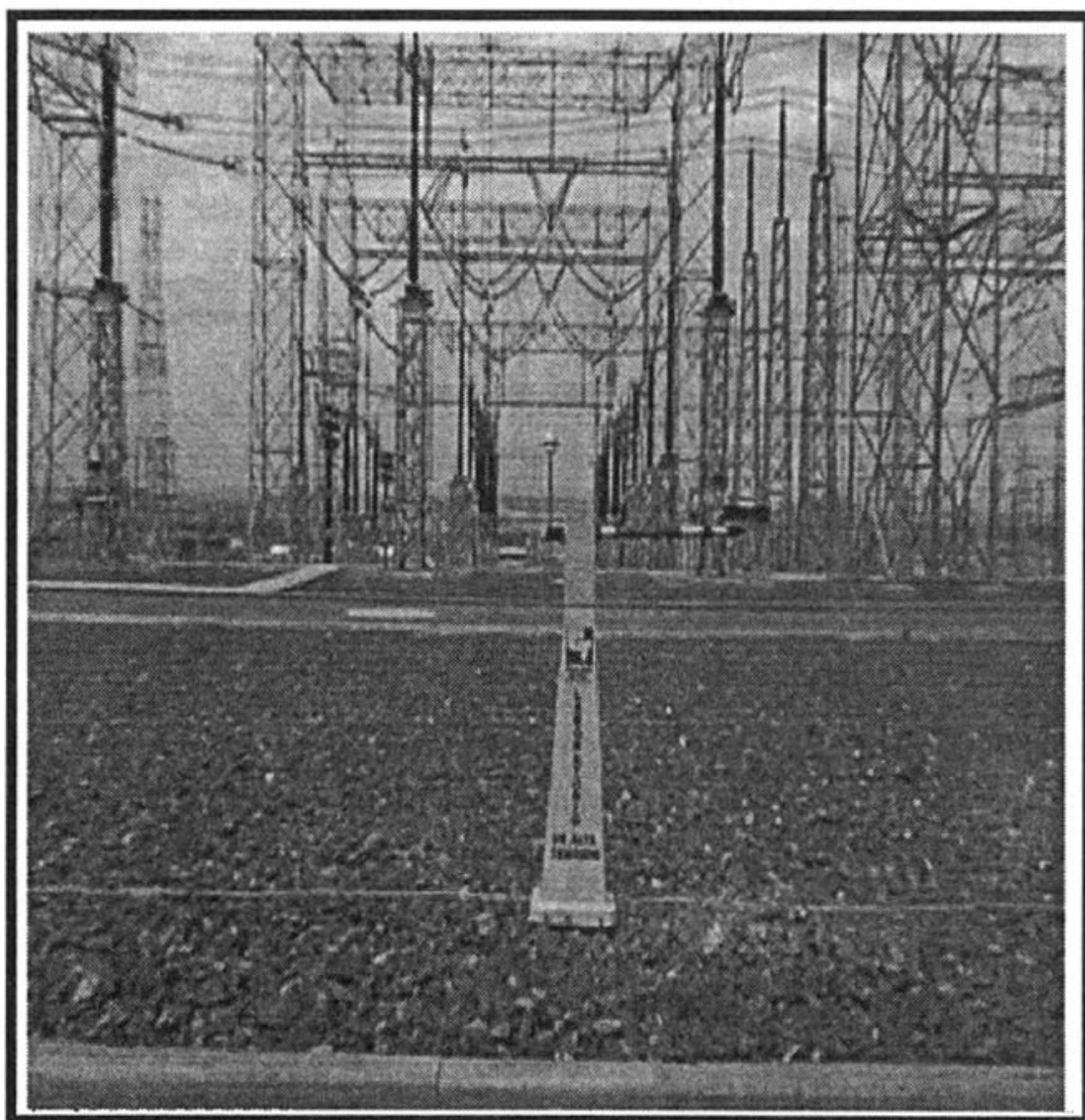


Medición y Simulación de Campos Eléctricos y Magnéticos de Baja Frecuencia en Líneas y Subestaciones



□ **Héctor Cadavid R., Ph.D.**
Profesor Titular
Universidad del Valle.
Colombia.

□ **Guillermo Aponte, M.Sc.**
Profesor Titular
Universidad del Valle.
Colombia.

□ **Alberto Mora, M.Sc.**
Cordinador EPSA E.S.P.
Colombia.

□ **Henry Bolaños, M.Sc.**
Ingeniero Electricista
Cordinador EPSA E.S.P.
Colombia.

□ **Rodrigo Pérez, Ing.**
Investigador GRALTA.
Universidad del Valle.
Colombia.

□ **Adolfo Escobar O, Ing.**
Investigador GRALTA.
Universidad del Valle.
Colombia.

*Grupo de investigación en Alta Tension-
GRALTA Univalle.*

RESUMEN

En este artículo se presentan los resultados de mediciones de campos electromagnéticos de baja frecuencia obtenidos en líneas de transmisión y subestaciones eléctricas que pertenecen a la empresa de energía regional EPSA E.P.S. (Empresa de Energía del Pacifico). Además se hace una comparación de las mediciones obtenidas con simulaciones por computador y con las recomendaciones internacionales vigentes.

PALABRAS CLAVES

Campo eléctrico, Campo magnético, Mediciones, Simulación, Líneas, Subestaciones.

ABSTRACT

Low frequency electromagnetic measurements obtained on transmission lines and substations belonging to a regional utility EPSA (Empresa de Energía del Pacifico) are shown in this paper. Furthermore, a comparison of these measurements with computer simulation and international recommendations is shown

KEYWORDS

Electric Field, Magnetic Field, Simulación, Substations.

* La Revista recibió este artículo en Diciembre de 2.001

1. INTRODUCCIÓN

Recientemente se ha incrementado el interés por establecer los límites máximos de campos electromagnéticos (CEM) a los cuales pueden exponerse los seres vivos, pudiéndose así designar los valores que puedan ser potencialmente peligrosos para la salud de las personas.

Esta inquietud ha llevado a desarrollar múltiples estudios que evalúan esta influencia arrojando resultados contradictorios e inconsistentes, lo cual exige un mejoramiento continuo de los métodos de estudio y de las técnicas de medición.

Las mediciones de CEM generados por líneas y subestaciones eléctricas constituyen un motivo de gran interés y actualidad para el sector eléctrico, necesitando determinar sus magnitudes para poder confrontarlas con recomendaciones y estándares internacionales y acoger las recomendaciones para garantizar en todo caso la seguridad de las personas. Este artículo es el resultado parcial de un proyecto que se lleva a cabo en la Universidad del Valle con la participación de COLCIENCIAS y EPSA, el cual espera sea una contribución al desarrollo de esta temática en el país y en la región.

2. DEFINICIONES

Ondas Electromagnéticas: Las ondas electromagnéticas son una combinación de ondas eléctricas (E) y magnéticas (H) que se desplazan simultáneamente, como se muestra en la figura 1, propagándose a la velocidad de la luz.

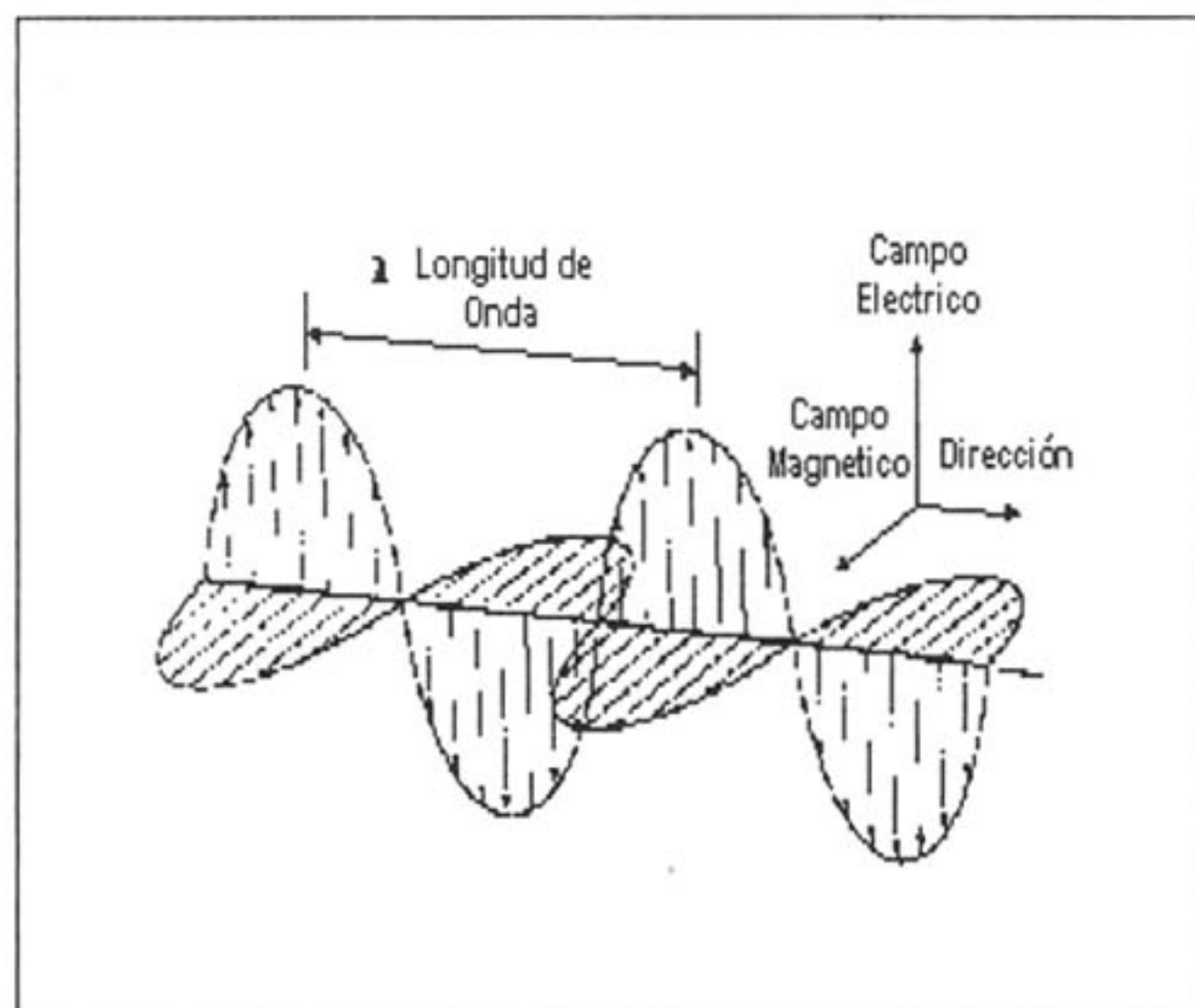


Figura 1. Onda Electromagnética

incluso cuando se apaga la misma. Por el contrario, existen algunos campos eléctricos y magnéticos alrededor de una fuente electromagnética que no son proyectados al espacio y que dejan de existir cuando la fuente de energía se apaga.

El hecho de que la exposición a los campos de frecuencia industrial se produzca a distancias mucho más pequeñas que su longitud de onda (6000 km a 50 Hz y 5000 km a 60 Hz) implica que bajo estas condiciones (llamadas de campo cercano), los campos eléctricos y magnéticos pueden ser considerados como entidades independientes y pueden ser medidos por separado.

- El campo eléctrico se genera bajo la presencia de cargas eléctricas, ya sea que estén en reposo o movimiento.
- La fuente de un campo magnético es el movimiento de cargas eléctricas también llamada flujo de corriente.

Los campos magnéticos y eléctricos generados por líneas trifásicas en un sitio y en un instante determinado pueden ser representados como vectores rotacionales que trazan una elipse ya que son el resultado de la suma de tres ondas pulsantes en el tiempo que generan una onda móvil.

Cerca al nivel de la tierra la magnitud de los campos de una línea de transmisión cambian lentamente en función de la altura del punto de medición por encima del suelo, por esta razón, solamente se mide la componente vertical del campo eléctrico.

3. INSTRUMENTACIÓN

Como medidor de campo magnético se utilizó el EMDEX II de la compañía ENERTECH el cual es tri-axial y mide el valor rms de la resultante de campo magnético.

Para medir la componente vertical de campo eléctrico se utilizó el sensor E-probe de ENERTECH el cual es un medidor de potencial flotante de placas paralelas que utiliza al EMDEX II como detector.

Se construyeron como calibradores para estos medidores, una bobina Helmholtz cuadrada de 1 metro de lado [3] para calibrar el medidor de campo magnético y unas placas metálicas paralelas de 1,5 metros de lado, separadas 75 cm para el medidor de campo eléctrico, tal como recomienda la Std-IEEE 644-1994 [1] y la IEC 833-1987 [2].

4. METODOLOGÍA

4.1 Medición en Líneas

Las medidas de campo eléctrico se hicieron a una altura de 1 m sobre el nivel del suelo orientando la sonda para medir la componente vertical de la intensidad de campo (la pértiga en dirección paralela a la línea) ya que esta magnitud se utiliza para caracterizar los efectos de inducción de los objetos cerrados por tierra; es importante que el lugar de la medición sea en lo posible plano, libre de objetos metálicos, objetos en forma de punta (postes, estructuras, etc) y con vegetación lo más baja posible ya que esta se convertirá en referencia de tierra. Se tomaron todas las precauciones respecto a las condiciones que alteran la medida del campo eléctrico como el efecto de proximidad, correcta disposición del medidor, limpieza del medidor y la pértiga. La magnitud medida fue el valor rms de la resultante de campo magnético a una altura de un metro sobre el nivel del suelo cada 2 metros, elaborando un perfil transversal y otro longitudinal (opcional) de acuerdo con Std IEEE 644-1994 y como se muestra en la figura 2.

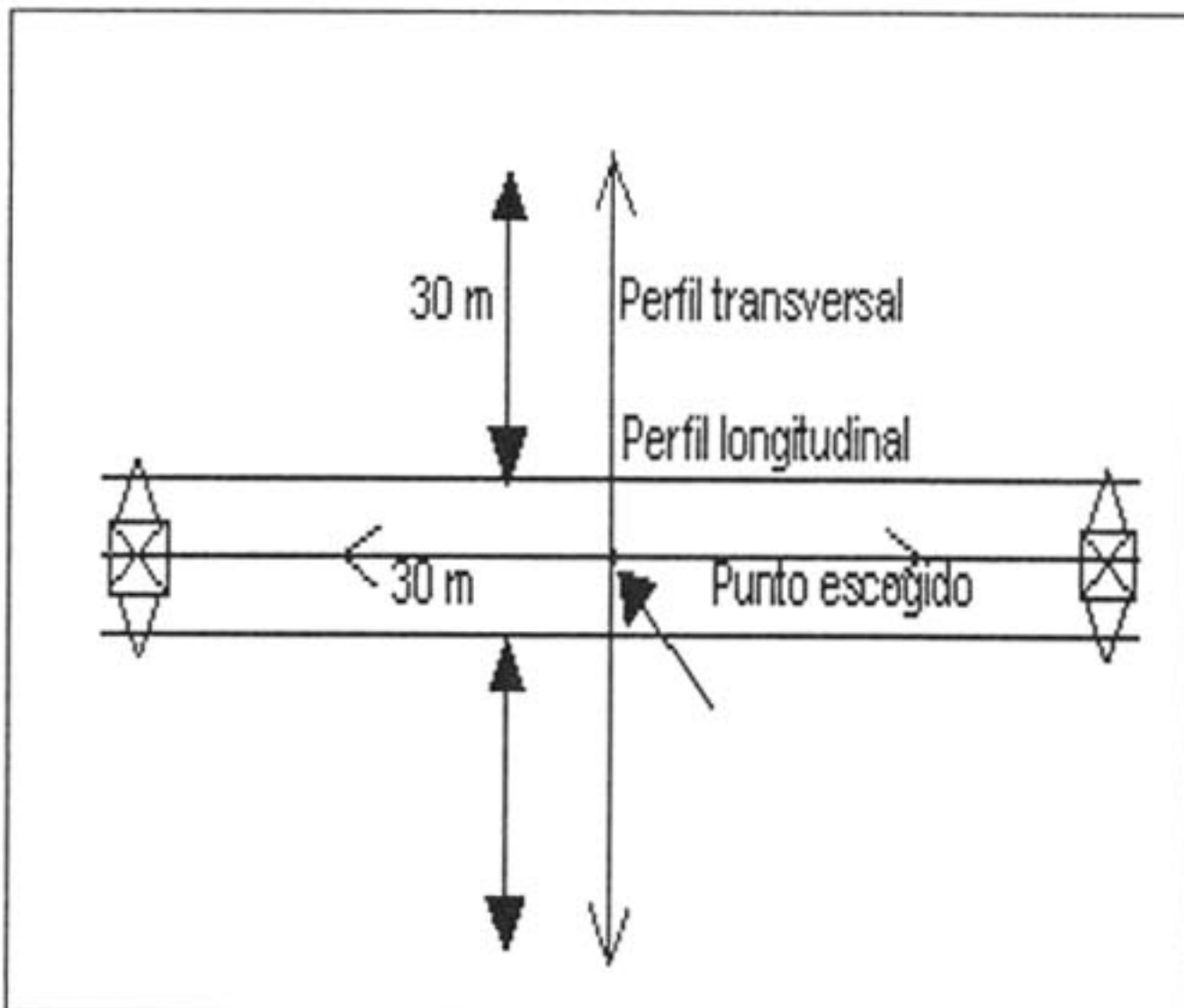


Figura 2. Perfiles de Medición en Líneas.

4.2 Medición en Subestaciones

La medición de la componente vertical de campo eléctrico y el valor rms de la resultante de campo magnético en cada punto se realizó, con un espaciado entre medidas de 1 o 2 metros, seleccionando dos o tres perfiles que cubran la totalidad de la subestación, los cuales deben involucrar los puntos más bajos de conexión y por los que circulen mayor corriente (sobre el barraje energizado). Tal como se muestra en la figura 3.

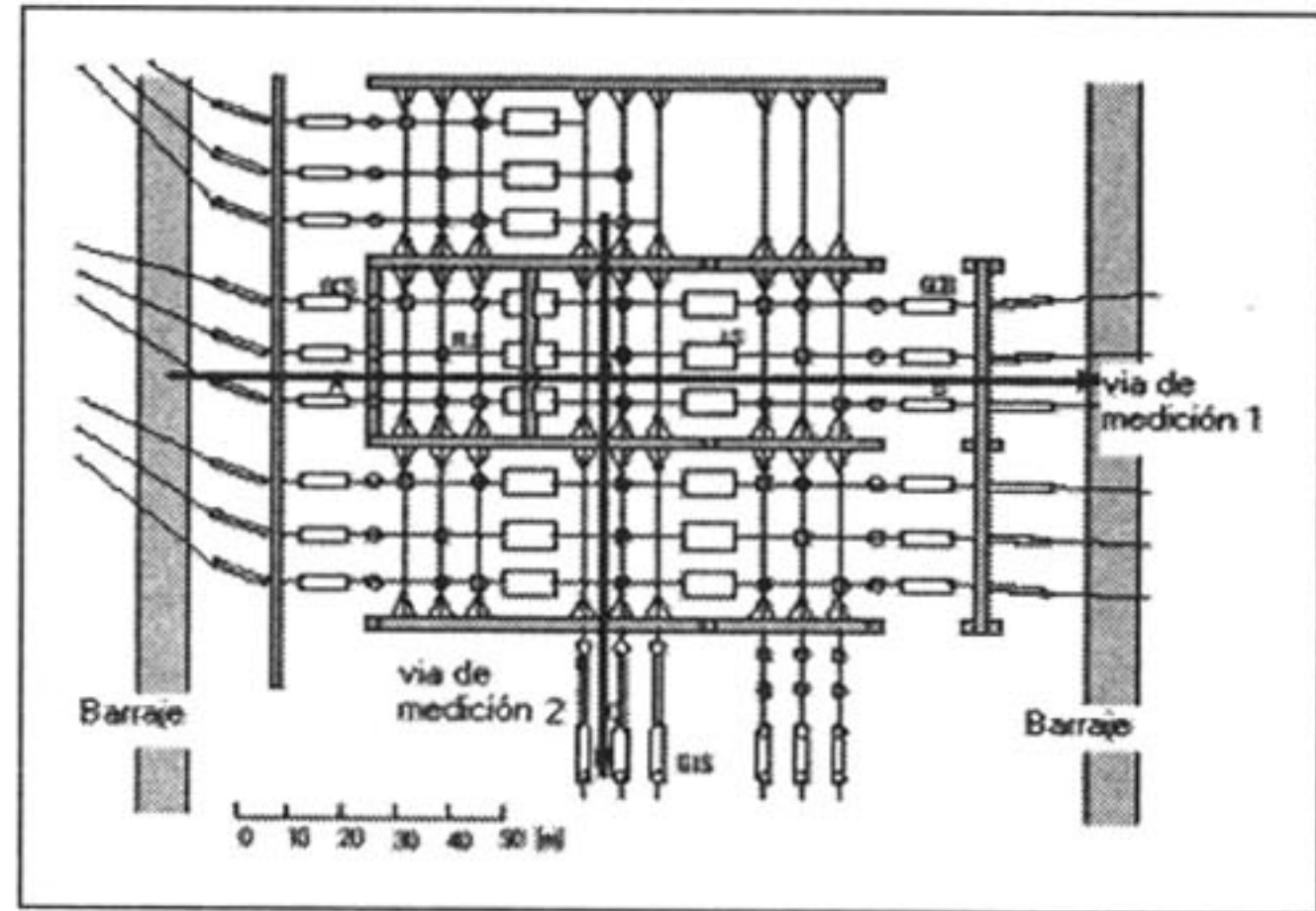


Figura 3. Perfiles de Medición en Subestaciones.

5. MEDICIONES Y SIMULACIONES

Se muestran los perfiles medidos y simulados de la línea Juanchito-Candelaria 115 kV la cual es de configuración horizontal, con una altura mínima de 6,5 m y una altura en el punto de medición de 6,8 m, con una corriente por fase de 125.7 A y un voltaje de 119 kV en el momento de la medición y la medición de la subestación San Marcos 115 kV que tiene una configuración interruptor y medio.

5.1 Perfiles en Líneas

Las simulaciones se efectuaron con un programa de elementos finitos (Quick Field) tanto para los campos eléctricos como para los magnéticos. Con el propósito de comparar se hicieron simulaciones con un programa que trabajaba bajo el principio de simulación de carga para el campo eléctrico desarrollado por la Universidad de Antioquia. También se utilizó para la simulación de campo magnético el B-FAST de Enertech. Los perfiles transversales y longitudinales de campo eléctrico y magnético se muestran en las figuras 4, 5 y 6 respectivamente.

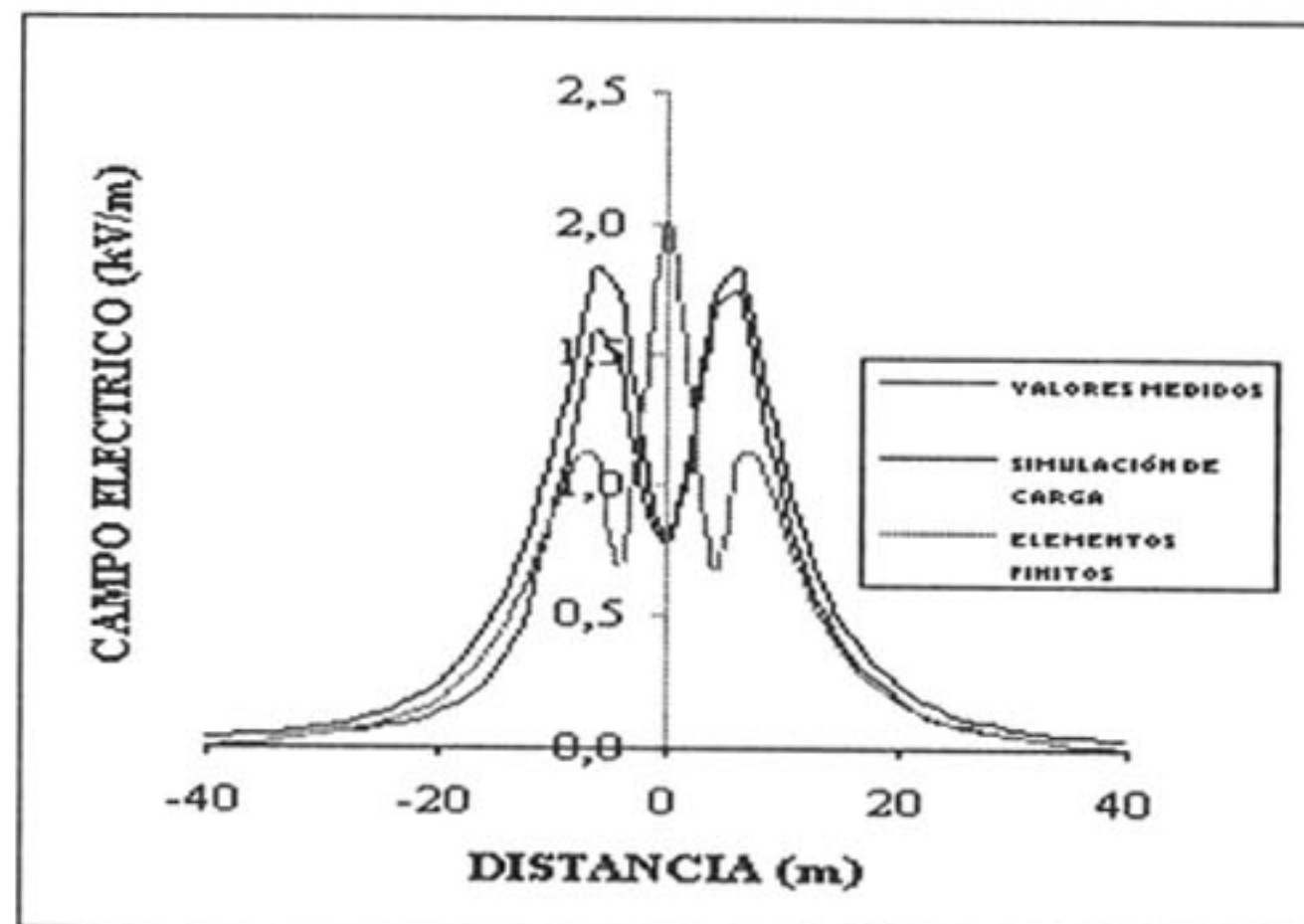


Figura 4. Campo Eléctrico Transversal.

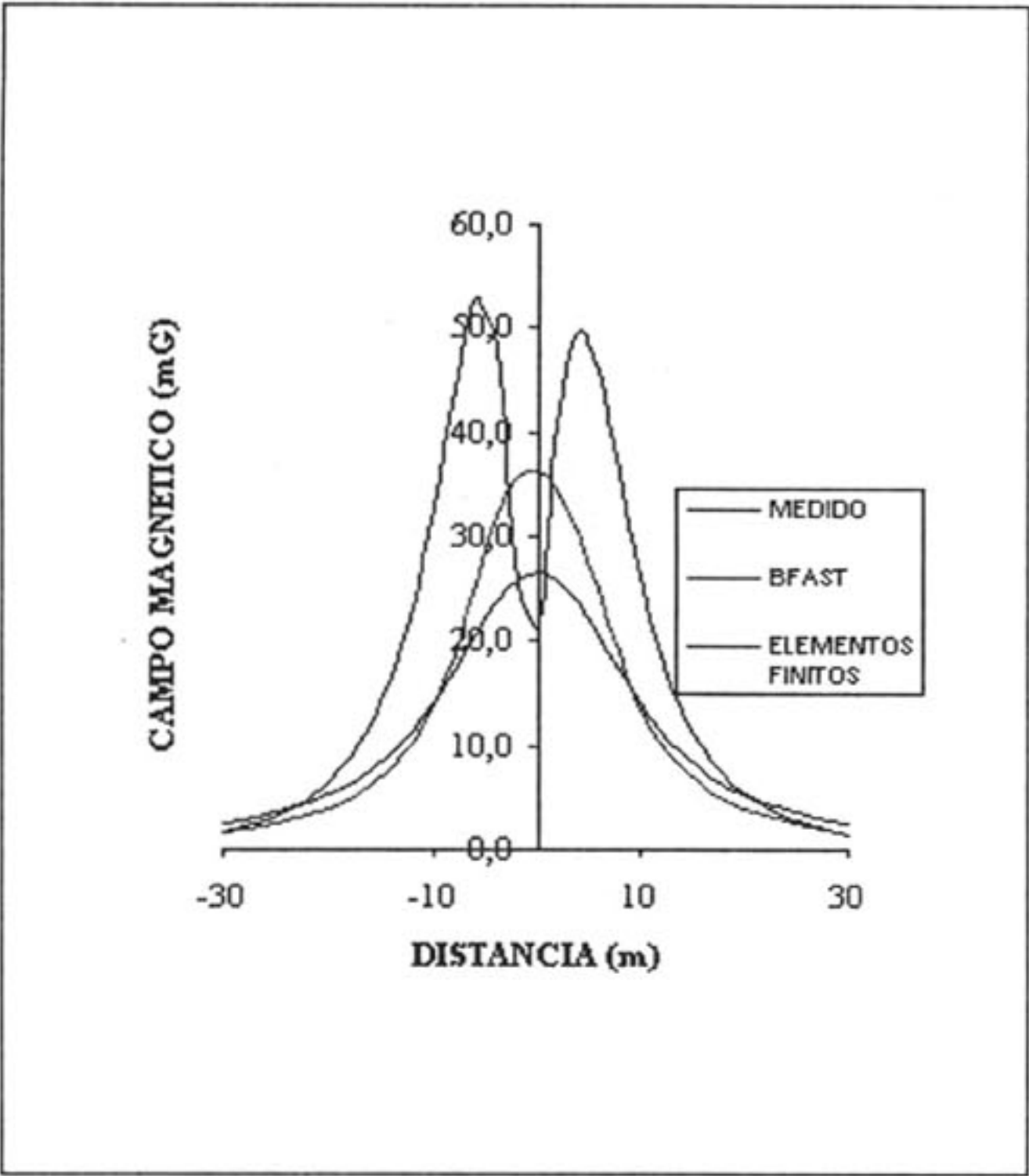


Figura 5. Campo Magnético Transversal.

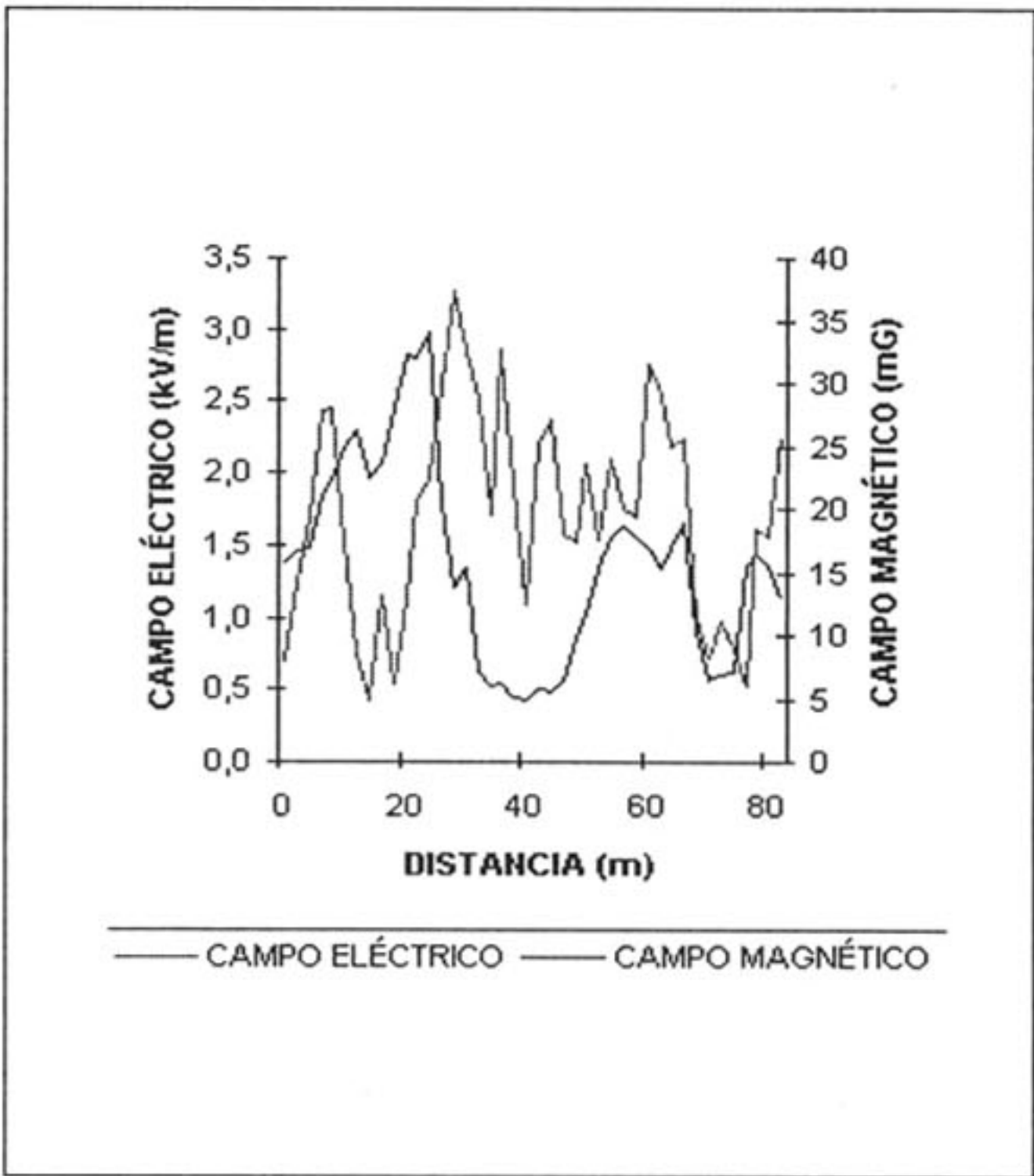


Figura 7. Perfil Norte-Sur.

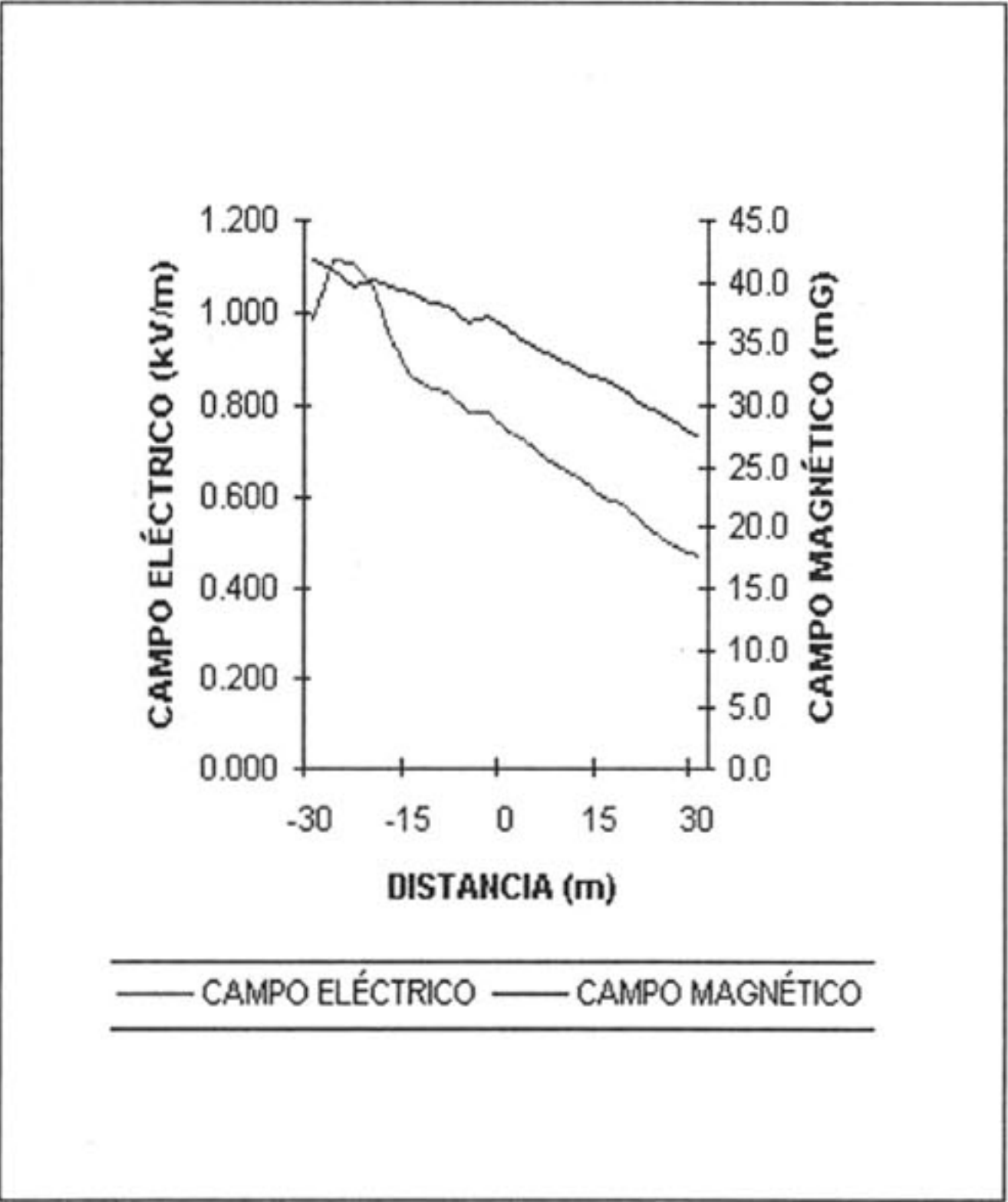


Figura 6. Perfil Longitudinal.

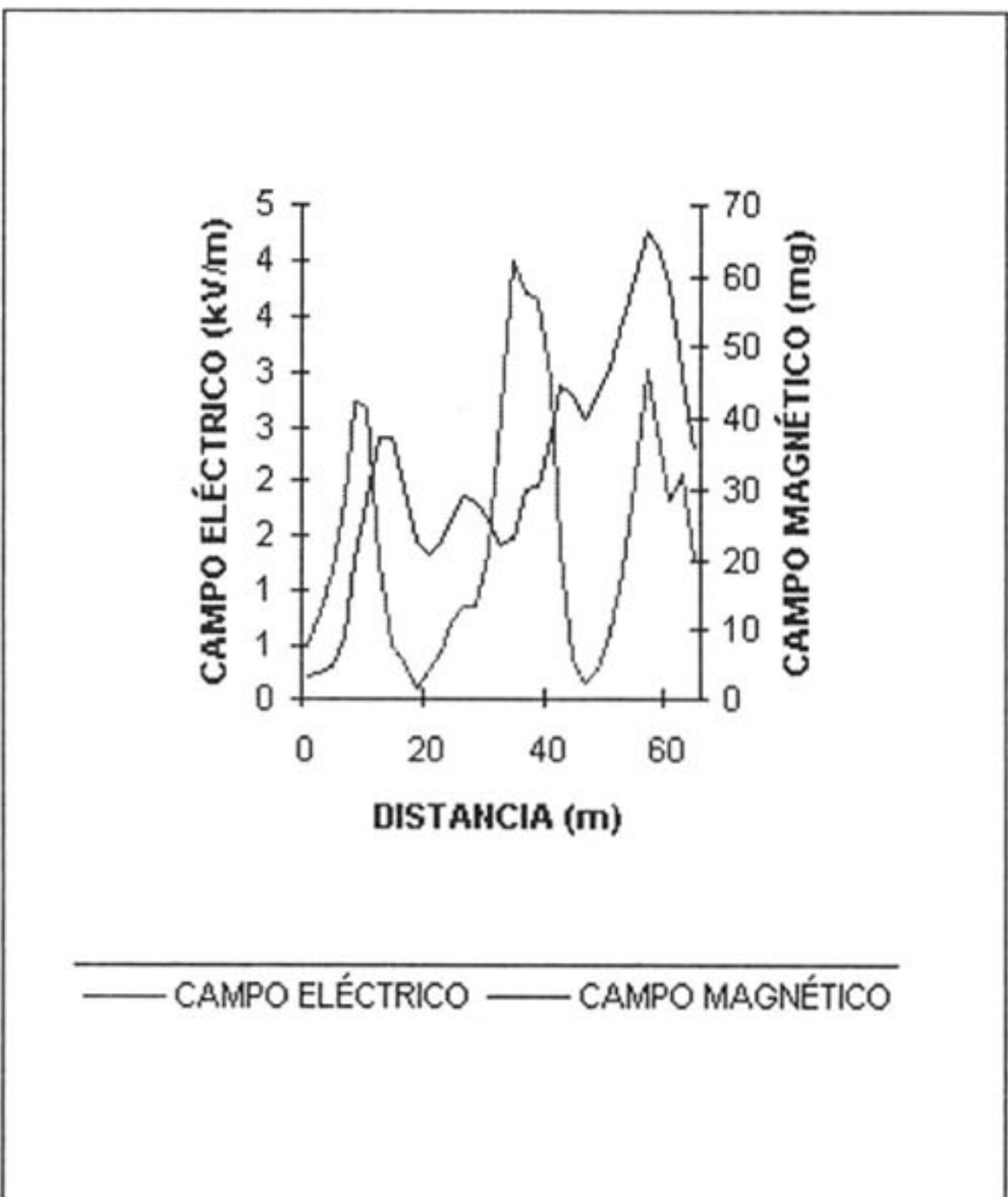


Figura 8. Perfil Oriente-Occidente.

5.2. Perfil en subestación

Los perfiles de campo eléctrico y magnético medidos en las direcciones Norte-Sur y Oriente-Occidente se muestran en las figuras 7 y 8 respectivamente.

En las tablas 1 y 2 se muestran los valores máximos de las 9 principales líneas y subestaciones medidas durante el proyecto.

LÍNEA	E máximo (kV/m)	B máximo (mG)
Buga-Calima 115 kV	2,112	2,2
Buga-Tulúa 115 kV	1,076	8,9
Pance-Juanchito 220 kV	3,706	20,1
Juanchito-Candelaria 115 kV	1,741	41,7
Pance-Salvajina 220 kV	1,291	5,2
Meléndez-Aguablanca 115 kV	1,902	37,1
San Marcos-Codazzi 115 kV	0,426	2,2,
Santa Bárbara-Codazzi 115 kV	1,887	4,9
Termoyumbo-Chipichape 115 kV	0,271	6,2

Tabla 1. Valores Máximos en líneas.

SUBESTACIÓN	E máximo (kV/m)	B máximo (mG)
Buga 115 kV	2,748	49,5
Chipichape 115 kV	2,770	95,3
Juanchito 220 kV	8,600	57,5
Juanchito 220/115 kV	3,680	147,5
Juanchito 115 kV	4,116	217,6
Melendez 115 kV	3,520	90,3
Pance 115 kV	2,598	131,7
Pance 220 kV	4,648	149,1
San Marcos 115 kV	3,991	66,5
Santa Bárbara 115 kV	3,991	286,9

Tabla 2. Valores Máximos en Subestaciones.

Debido a la complejidad física y con el propósito de simular el campo magnético que se genera en una subestación se adquirirá el software especializado EMF 400ST de la compañía Narda.

6. ESTÁNDARES Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES

Los valores límites recomendados por instituciones internacionales se muestran en la tabla 3.

	E(kV/m) Público	E(kV/m) Ocupacional	H(mG) Público	H(mG) Ocupacional
State regularly Florida	8	10	150	250
IRPA	5	10	1000	5000
ICHIRP	4,2	8,3	4166,7	833,3
CENELEC	25	10	5300	13300

Tabla 3. Recomendaciones Internacionales

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De la caracterización de campos eléctrico y magnético realizada hasta el momento ninguna de las líneas y subestaciones pertenecientes a EPSA E.S.P tienen valores superiores a los establecidos por las normas y recomendaciones nacionales e internacionales.
- El promedio de los valores máximos de campo eléctrico y magnético en subestaciones de 115 kV y 220 kV son de 3,681 kV/m, 129,6 mG y 6,624 kV/m, 103,3 mG respectivamente.
- El promedio de los valores máximos de campo eléctrico y magnético en líneas de 115 kV y 220 kV son de 0,821 kV/m, 13,5 mG y 25,02kV/m, 12,7 mG respectivamente.
- Los puntos donde existen mayores niveles de campo tanto eléctrico y magnético en subestaciones son los que corresponden a conexiones entre elementos y bajo el parraje energizado.
- Se nota una disminución importante de campo eléctrico en cercanías de elementos como cajas y pórticos metálicos.
- Se recomienda el uso de un software especializado para la simulación de campos magnéticos en subestaciones debido a su complejidad física.
- Se recomienda adoptar esta experiencia para generar un proyecto de norma para la medición de campos eléctricos y magnéticos en líneas y subestaciones .

8. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Colciencias y a EPSA E.S.P por su participación en este proyecto, así como al Ph. D. Katsuhito Naito de la Universidad de Meijo (Japón) quien es asesor internacional del proyecto y adelantó mediciones de la Subestación San Marcos 115 kV y 500 kV, por su valioso aporte. De igual manera agradecemos al Ph. D. Germán Moreno de la Universidad de Antioquia por su colaboración y orientación en la simulación de campos eléctricos en líneas.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1.] ANSI, IEEE Standard “Procedure for measurement of power frequency electric and magnetic field from AC power lines”, ANSI-IEEE Std 644-1994,1994.
- [2.] IEC, “Measurement of low frequency magnetic and electric field with regard to exposure of human beings-Special requeriments for instruments and guidance for measurements”, IEC 61786, 1998.

[3.] FRIX W. "Comparison of calibration systems for magnetic field measurement equipment". IEEE Transaction on Power Delivery, Vol 9, No 1, Enero 1994.

[4.] CENELEC, "Exposición humana a campos electromagnéticos a bajas frecuencias (0 a 10kHz), CENELEC ENV 50166-1 1995



Alberto Mora: Ingeniero electricista de la Universidad del Valle, en 1992, especialista en transmisión y distribución de energía eléctrica de la Universidad del Valle, actualmente se desempeña como coordinador del área de normas, Ingeniería y Calidad en EPSA E.S.P.

AUTORES

Guillermo Aponte Mayor : Ingeniero Electricista de la Universidad del Valle, 1978, M.Sc del Instituto de Ciencia y Tecnología Universidad de Manchester UMIST Inglaterra, 1985. Especialista en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica de la Universidad del Valle, Colombia, 2000 , Profesor Titular de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Valle.
gaponte@gralta.edu.co.



Henry Bolaños: Ingeniero electricista de la Universidad Nacional sede Manizales en 1992, especialista en transmisión y distribución de energía eléctrica de la Universidad del Valle , actualmente se desempeña como coordinador de mantenimiento de subestaciones y líneas en EPSA E.S.P.



Rodrigo Pérez : Ingeniero Electricista de la universidad del Valle, integrante del grupo de investigación de Alta Tensión GRALTA de la Universidad del Valle.
barpero@hotmail.com



Hector Cadavid Ramirez : Ingeniero Electromecánico, Ph.D. en Ingeniería Eléctrica del Instituto Superior Energético de Moscú, 1996, Profesor Titular de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Valle, y Decano de la Facultad de Ingeniería .

hcadavid@gralta.edu.co.

Adolfo Escobar: Ingeniero Electricista de la Universidad del Valle, integrante del Grupo de Investigación de Alta Tensión GRALTA de la Universidad del Valle.



"Los grandes pensamientos son como las grandes acciones: no necesitan trompetas".

James M. Bailey
