

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

# EVALUACIÓN DE CAMPOS MAGNÉTICOS DE BAJA FRECUENCIA EN LAS INSTALACIONES DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

JAIRO ALBERTO DÍAZ ACEVEDO

Ingeniería Electromecánica

**Directores:**

Adolfo Escobar Ordoñez

Gloria Edilma Bernal

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA  
MEDELLÍN  
2014

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## RESUMEN

---

En este proyecto se efectuó una evaluación de los niveles de campo magnético de baja frecuencia emitidos por los diferentes equipos que se encuentran conectados a la red eléctrica del campus Fraternidad del Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM). Esto se hizo en primera instancia a través de un conjunto de mediciones cuyo procedimiento fue basado en un protocolo desarrollado previamente en el proyecto: “Protocolo para la medición de campos electromagnéticos de baja frecuencia en los campus Robledo y Fraternidad del ITM”, en el que se describe detalladamente los pasos y recomendaciones a seguir para realizarlas de forma correcta. Específicamente estas mediciones involucraron espacios de la institución como aulas, oficinas y pasillos donde la utilización de dispositivos eléctricos es relevante.

La posterior recopilación y clasificación a través de herramientas computacionales de los datos obtenidos en las mediciones nombradas anteriormente permitió un análisis de los mismos, y por tanto, observar el nivel de exposición que presentan los miembros de la institución educativa, lo cual ha de ser comparado con normatividades existentes que buscan proteger la salud de las personas y así mismo permite plantear las estrategias adecuadas para este fin.

Palabras clave: Campo magnético, baja frecuencia, exposición, ambiente interior.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## RECONOCIMIENTOS

---

Es de suma importancia expresar mi agradecimiento al profesor Adolfo escobar por su acompañamiento y asesoría durante el desarrollo del trabajo. También a la docente Gloria Bernal por compartir su conocimiento técnico para la redacción y conceptualización.

De igual forma, agradezco al Instituto Tecnológico Metropolitano por facilitar los equipos de medición requeridos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## TABLA DE CONTENIDO

---

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 GENERALIDADES	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos específicos:	3
1.3 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	3
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. LOS CAMPOS	4
2.1.1. Campo eléctrico	4
2.1.2. Campos magnéticos	6
2.1.3. Campos electromagnéticos	10
2.2. NORMATIVAS PARA LA EXPOSICIÓN DE PERSONAS	12
2.2.1. Límites de exposición a campos electromagnéticos de baja frecuencia	12
2.3. MEDICIONES DE CAMPO MAGNÉTICO EN AMBIENTES EDUCATIVOS	14
3. METODOLOGÍA	17
3.1. EVALUACIÓN DEL AMBIENTE ELECTROMAGNÉTICO	17
3.2. EQUIPO DE MEDICIÓN	17
3.3. PROTOCOLO DE MEDICIÓN	18
3.4. ÁREAS MEDIDAS	22
3.5. EJECUCIÓN DE LAS MEDICIONES	22
3.6. MAPAS DE CONTORNO	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1. SEGUNDO PISO CAMPUS FRATERNIDAD	25
4.2. TERCER PISO DEL CAMPUS FRATERNIDAD	28
4.3. CUARTO PISO DEL CAMPUS FRATERNIDAD	30
4.4. QUINTO PISO CAMPUS FRATERNIDAD	33
4.5. COMPARACIÓN ENTRE LOS DIFERENTES PISOS DEL CAMPUS FRATERNIDAD	34
5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	37
5.1. CONCLUSIONES	37
5.2. TRABAJO FUTURO	38
REFERENCIAS	39

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 GENERALIDADES

En las sedes Robledo y Fraternidad del Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM) se cuenta con una gran cantidad de artefactos conectados a la red eléctrica, los cuales emiten campos magnéticos que podrían llegar a ser perjudiciales para la salud de las personas que frecuentan los diferentes lugares de estos campus. Si la magnitud de estos campos es excesiva con respecto a las recomendaciones establecidas por las normas nacionales y/o internacionales, se deberán tomar las estrategias adecuadas para reducirlos. Por tanto, es de suma importancia realizar una medición apropiada de la magnitud de dichos campos electromagnéticos en cada uno de los lugares frecuentados por la comunidad ITM, para posteriormente analizarlos y compararlos con las normas técnicas que se tienen en la actualidad y que tratan de proteger la salud de efectos colaterales a raíz de estos campos.

Los campos electromagnéticos (CEM) se encuentran en la naturaleza y por lo tanto siempre han estado presentes en la tierra. Sin embargo, durante el siglo XX, la exposición ambiental a fuentes de CEM hechas por el hombre, se ha incrementado sin parar, debido a la demanda de la electricidad, las siempre crecientes tecnologías inalámbricas y los cambios de ciertas prácticas laborales y conductas sociales. Todos estamos expuestos, en el hogar y en el trabajo, a una mezcla compleja de campos eléctricos y magnéticos a muchas frecuencias diferentes. Los efectos potenciales a la salud debido a los CEM producidos por el hombre ha sido un tópico de interés científico desde los años 1900, y han recibido particular atención durante los últimos 30 años. A diferencia de las radiaciones ionizantes (tal como los rayos gama producidos por materiales radioactivos, los rayos cósmicos y los rayos X) encontrados en la parte más alta del espectro electromagnético, los CEM en las telecomunicaciones son muy débiles para romper enlaces que unen las moléculas para formar células, por lo tanto no producen ionización. Es por esto que los CEM son llamados radiaciones no ionizantes (RNI).

El conocimiento científico acerca de los efectos en la salud de los CEM es sustancial y está basado en un gran número de estudios epidemiológicos (NRPB, 1994), estudios en animales (Repacholi et al., 1997) y estudios in-vitro (Selmaoui, Lambrozo, & Touitou, 1996), los cuales determinaron recomendaciones de exposición (ICNIRP, 1998). Muchos de los resultados, que van desde defectos reproductivos a enfermedades cardiovasculares

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

y neuro-degenerativas, han sido examinados, pero la más consistente de las evidencias a la fecha es la concerniente a leucemia en niños (Calvente, Fernandez, Villalba, Olea, & Nuñez, 2010). En el 2001 un grupo de trabajo conformado por científicos expertos de la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC por sus siglas en inglés) y de la Organización Mundial de la Salud (OMS) revisaron estudios relacionados a la carcinogenicidad de los campos eléctricos y magnéticos de baja frecuencia (IARC, 2002). Usando la clasificación estándar de la IARC que pondera las evidencias humanas, en animales y las evidencias de laboratorio, los campos magnéticos de baja frecuencia fueron clasificados como posible carcinógenos en humanos. Un ejemplo bien conocido para este tipo de agentes es el café, el cual puede incrementar el riesgo de cáncer al riñón. “Posible carcinógeno en humanos” es una clasificación usada para denotar un agente por el cual hay una evidencia limitada de carcinogenicidad en humanos y evidencia insuficiente para carcinogenicidad en experimentos con animales.

Si bien no hay hasta el momento estudios que permitan tener completa certeza sobre si los CEM, tienen o no efectos sobre la salud humana, si existen recomendaciones internacionales acerca de los límites de exposición a estos campos para las personas. El cumplimiento de los límites de exposición recomendados por organismos nacionales e internacionales ayuda a controlar los riesgos de la exposición a CEM que puede ser dañina a la salud humana mientras sigue el debate sobre si la exposición por períodos largos, a niveles por debajo de los límites de exposición puede causar efectos adversos en la salud.

Con este proyecto se pretenden identificar los niveles de campo magnético de baja frecuencia presentes en el Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), previo desarrollo de procedimientos de medición, con el fin de evaluar estos valores y compararlos con las normativas nacionales e internacionales sobre exposición de las personas. Las áreas sobre las cuales se realizarán las mediciones serán las establecidas como prioritarias por su densidad de equipos eléctricos y posibles fuentes de CEM.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

Identificar los niveles de campo magnético a baja frecuencia en los campus Robledo y Fraternidad del ITM.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

### 1.2.2 Objetivos específicos:

- Desarrollar un procedimiento de medición de campos magnéticos de baja frecuencia en ambientes educativos de acuerdo con las normas y estándares internacionales.
- Establecer por medio de mediciones, los niveles de campo magnético ambiente de baja frecuencia presentes en el ITM.
- Determinar recomendaciones sobre exposición a campos electromagnéticos con base en los resultados de las mediciones.

Si bien se esperaba tener resultados de los niveles de campo magnético medidos en las sedes de Robledo y Fraternidad del ITM, a partir de mediciones en un bloque para cada sede, se decidió realizar las mediciones solamente en la sede de Fraternidad pero para los cuatro bloques que conforman el campus.

### 1.3 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

Este documento está organizado de la siguiente forma, en el Capítulo 2 se presentan los conceptos básicos sobre los campos magnéticos, especialmente los producidos por las instalaciones eléctricas. Igualmente, se muestran las principales recomendaciones nacionales e internacionales sobre exposición de las personas a estos campos.

En el Capítulo 3 se describe el procedimiento utilizado para la realización de las mediciones de campo magnético en cada una de las áreas seleccionadas dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico Metropolitano y los tipos de resultados que se obtendrían. En el Capítulo 4 se presenta el análisis de los resultados de las mediciones de campo magnético. Por último, en el Capítulo 5 se muestran las conclusiones obtenidas en el proyecto de grado así como el trabajo futuro que se puede realizar en esta área.

Es importante indicar que este trabajo de grado se enmarcó dentro del proyecto de investigación “Evaluación del ambiente electromagnético de alta y baja frecuencia en Instituciones de Educación Superior y de la exposición a campos de frecuencia industrial en estudiantes y trabajadores universitarios” matriculado en la Dirección de Investigación con código P13132.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## 2. MARCO TEÓRICO

---

### 2.1. LOS CAMPOS

En física y aplicaciones de ingeniería un campo describe el comportamiento de magnitudes que se definen en todo punto de una región del espacio y del tiempo, de forma más resumida, un campo es una función que especifica una cantidad particular en cualquier parte de una región. Este concepto es fundamental para describir y conceptualizar fenómenos como los electromagnéticos, gravitacionales y de transporte.

Este trabajo se enfoca en los campos electromagnéticos, que tienen aplicaciones de gran relevancia en todos los aspectos de la humanidad, y específicamente los de baja frecuencia que son los producidos por las líneas de uso eléctrico cuyas intensidades se miden y evalúan en este trabajo para las instalaciones del ITM.

#### 2.1.1. Campo eléctrico

En la región del espacio que rodea un cuerpo cargado existe un campo eléctrico que es evidenciado por una fuerza ejercida sobre otra carga que entra en dicha región. De esta forma, la presencia de un cuerpo cargado en el espacio modifica de alguna forma las propiedades de este, y esta modificación se manifiesta mediante la aparición de fuerzas electrostáticas sobre cualquier otro cuerpo cargado situado en ese mismo espacio.

La convención general para representar un campo eléctrico es  $E$ , definiéndose de formalmente como la relación que existe entre la fuerza eléctrica  $F$  que actúa sobre una carga pequeña de prueba positiva en este punto, dividido por la magnitud de la carga de prueba  $q_0$ . Esto puede verse en la ecuación (1):

$$E = \frac{F}{q_0} \text{ [N/C]} \quad (1)$$

Donde:

- $F$  Fuerza eléctrica sobre la carga [N]
- $q_0$  Carga eléctrica de prueba [Coulomb]

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Otra forma de definir el campo eléctrico en términos únicamente de la carga fuente y la distancia hasta el punto en que se quiera evaluar es como se hace en la ecuación (2):

$$E = K \frac{q}{r^2} \quad (2)$$

Donde:

- E Campo eléctrico
- Q Es la carga fuente
- r Distancia hasta el punto donde se requiere evaluar el campo

Es necesario aclarar que un campo eléctrico es una cantidad vectorial con la misma dirección y sentido que la fuerza ejercida sobre una carga positiva. La magnitud de la fuerza ejercida sobre una carga de prueba en un campo eléctrico generado por otra está dada por la ley de Coulomb, que se expresa matemáticamente como en la ecuación (3):

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0q}{r^2} [V/m] \quad (3)$$

Donde:

- F Fuerza eléctrica entre dos cargas [N]
- Q Carga eléctrica puntual [Coulomb]
- $q_0$  Carga eléctrica de prueba [Coulomb]
- r Distancia entre las cargas [m]
- $\epsilon_0$  Constante de permitividad del espacio libre [F/m]

Puede observarse de la ecuación (3) que la fuerza es directamente proporcional a la magnitud de las cargas e inversamente proporcional a la distancia entre ellas y la permitividad del espacio libre. El concepto de permitividad eléctrica ( $\epsilon$ ) cuyas unidades son faradios/metro (F/m) es de suma importancia porque indica la capacidad de un material de dejar penetrar líneas de flujo y proporciona una relación entre el campo eléctrico y la densidad de campo eléctrico.

Para el estudio de los campos eléctricos se utilizan líneas de fuerza imaginarias dibujadas de modo que su dirección en cada punto del espacio coincida con la dirección del campo en ese punto. Tal y como se muestra en la Figura 1.

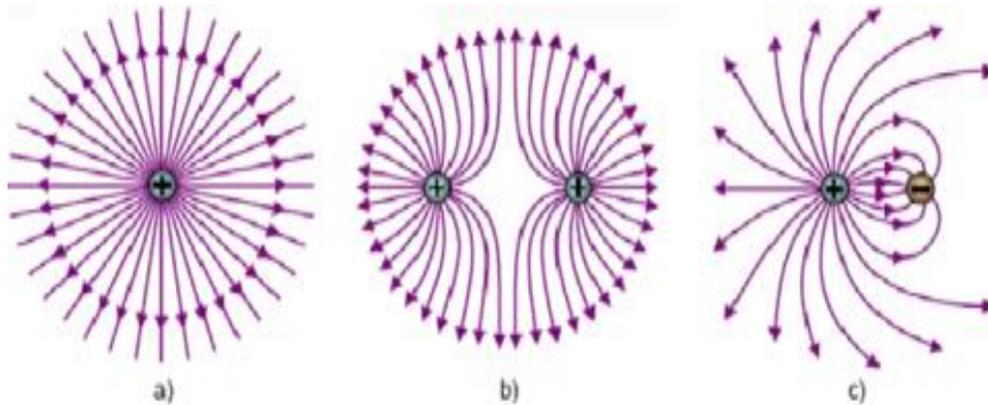


Figura 1. Representación de campos eléctricos con la ayuda de líneas de fuerza, a) carga positiva aislada, b) dos cargas positivas, c) carga positiva y negativa. Fuente: (Hyat, 2006)

Entre algunas de las propiedades de las líneas de fuerza que se muestran en la Figura 1 están: Las líneas son continuas y salen de cargas positivas para terminar en cargas negativas, por cada punto del espacio solo puede pasar una línea de fuerza; es decir, las líneas de fuerza no se cortan, el número de líneas que salen de una carga positiva o entran a una negativa es proporcional a la magnitud de la carga.

### 2.1.2. Campos magnéticos

Es un campo que es producto de cargas o conjuntos de cargas en movimiento o bien puede ser producido por imanes permanentes encontrados en la naturaleza. De esta forma, cuando se hace referencia al magnetismo, se asocia inmediatamente con una fuerza de atracción o repulsión que actúa entre los materiales magnéticos como el hierro.

Así como los campos eléctricos, los magnéticos son magnitudes vectoriales, por lo que serán descritos en cualquier punto a través de su magnitud y dirección. Así mismo, un campo magnético se pone en evidencia por la propiedad localizada en el espacio de orientar la dirección de ciertos materiales como los metales (es fácil comprobar la existencia de campos magnéticos en un punto, solo con colocar una brújula en punto y ver si tiende en alguna dirección).

Una de las características principales de los campos magnéticos es que también son estudiados a través de líneas de flujo que empiezan en el polo norte y regresan al polo sur, completando un circuito a través de la barra magnética o magneto, hasta que ellas

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

emergen de nuevo en el polo norte. Es decir, que los campos magnéticos no se irradian en el espacio como lo hacen las líneas de campo eléctrico, ellas regresan al otro polo, describiendo una trayectoria concéntrica y no radial (Hyat, 2006).

Un campo magnético también puede ser definido a partir de la fuerza de Lorentz que establece que si una carga en movimiento o corriente atraviesa un campo magnético, la misma sufre la acción de una fuerza (denominada fuerza magnética o de Lorentz). Esto se define a través de la ecuación (4):

$$\vec{F} = q (\vec{v} \times \vec{B}) \quad (4)$$

Donde:

- $q$  Carga eléctrica en movimiento (también puede ser representada por  $I$  o la corriente eléctrica)
- $v$  variación de las líneas de flujo magnético con respecto al conductor
- $B$  Densidad de flujo magnético

Para una mejor comprensión de la densidad de flujo ha de recordarse que el campo magnético también es estudiado a través de líneas de flujo, por lo que la cantidad de flujo cuyas unidades están dadas en weber (Wb) en una determinada área del material representaría la densidad de campo  $B$ . Esto se representa en la ecuación (5) y se muestra en la Figura 2:

$$\beta = \frac{\phi}{A} \quad (5)$$

Donde:

- $\phi$  Flujo en weber
- $A$  Sección transversal del componente en metros cuadrados

La unidad de medida de la densidad de flujo magnético en el Sistema Internacional es el tesla (T) y representa la intensidad que ha de tener un campo magnético para que una carga de 1 Coulomb (C) se mueva a una velocidad de 1 (m/s) perpendicularmente a la dirección del campo, experimentado una fuerza magnética de 1 Newton (Hyat, 2006). Esto se muestra en la ecuación (6):

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

$$[T] = \left[ \frac{N}{C \times m/s} \right] \quad (6)$$

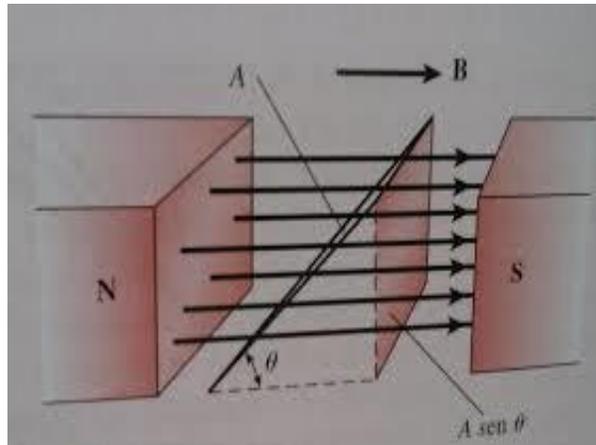


Figura 2. Representación gráfica de la densidad de flujo magnético sobre un área transversal. Fuente: (Hyat, 2006)

Aunque no pertenece al Sistema Internacional, con cierta frecuencia se emplea el gauss (G) como unidad de medida de la densidad de flujo. La relación entre el tesla y el gauss se observa en la ecuación (7).

$$1[T] = 1 \times 10^4 [G] \quad (7)$$

Así pues, debido a que el nivel de campo magnético encontrado en la mayoría de los ambientes es muy pequeño, las unidades comúnmente usadas son el microtesla ( $\mu T$ ) o el miligauss (mG).

En complemento a lo anterior, existe una ley que detalla la cantidad de flujo por unidad de área, es decir, la densidad de campo magnético y se llama la ley de Biot-Savart (Cheng, 1993). Esta ley es utilizada para determinar la densidad de flujo magnético causada por una corriente  $I$  en una trayectoria cerrada, y se expresa como en la ecuación (8).

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \oint_C \frac{dl' \times a_R}{R^2} [T] \quad (8)$$

Donde:

- $a_R$  Vector unitario dirigido desde el punto fuente hasta el punto campo

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- c Trayectoria cerrada
- $\mu_0$  Permeabilidad del espacio libre
- I Corriente circulante en la trayectoria
- dl' Segmento de la trayectoria
- $R^2$  Distancia del punto fuente hasta el punto campo.

La densidad de flujo magnético explicada anteriormente en un sitio real, donde todo está ubicado en tres dimensiones, será representada como un vector, que consta de tres ejes espaciales  $B_x$ ,  $B_y$  y  $B_z$ ; la magnitud de este vector de campo magnético será calculada a partir de la ecuación (9):

$$B_{rms} = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (9)$$

Una evidencia matemática de la existencia de un flujo magnético en un material es la intensidad H de campo magnético cuyas unidades son (A/m), que es una medida del alcance de dichas líneas de flujo. Así pues, siempre que existe un campo magnético en un cuerpo o componente se debe a la presencia de una intensidad de campo magnético H (Wildi & Salas, 2007). Se representa a través de la ecuación (10):

$$H = U/l \quad (10)$$

Donde:

- H Intensidad de campo magnético (Amperios/metro)
- l longitud del componente (metros)
- U Fuerza magneto motriz (ampere-vuelta)

En el vacío, la intensidad y la densidad de flujo magnético son proporcionales, relacionándose a través de la ecuación (11):

$$B = \mu * H \quad (11)$$

Donde:

- B Densidad de flujo magnético
- $\mu$  Permeabilidad. En este caso del vacío que corresponde a  $4\pi * 10^{-7}$
- H Intensidad de campo magnético

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

En el vacío, la ecuación (11) nunca cambia puesto que la permeabilidad no es variable con respecto a la densidad de flujo del material. Cabe resaltar que la permeabilidad es una propiedad específica de los materiales que representa su facilidad para conducir líneas de flujo magnético.

Así mismo, cuando se habla de campos magnéticos artificiales o los que son producto de cargas en movimiento (corrientes eléctricas), el flujo magnético generado está en fase con la corriente que lo produce. Esto hace que el flujo magnético generado en los sistemas AC de consumo sea variable con una frecuencia de 60 Hz para el caso colombiano. Este tipo de campos son clasificados como de baja frecuencia.

### 2.1.3. Campos electromagnéticos

Un campo electromagnético cuenta con dos componentes, una eléctrica y otra magnética, el campo eléctrico se mide habitualmente en voltios por metro (V/m) y el magnético en amperios por metro (A/m). Existen diversas fuentes de generación de campos electromagnéticos; las tormentas son un ejemplo de generación de campos electromagnéticos naturales ya que acumulan cargas eléctricas en distintas zonas de la atmósfera. De igual manera existen también fuentes que son generadas por el hombre como son la electricidad, los rayos X, las radiocomunicaciones, entre otros, las cuales funcionan bajo el mismo principio de cargas en movimiento. Los campos electromagnéticos pueden organizarse de acuerdo a un espectro electromagnético en relación a su frecuencia (f). Esto se muestra en la Tabla 1 con algunos ejemplos de fuentes generadoras de campos electromagnéticos y su respectiva frecuencia.

Tabla 1. Ejemplos de fuentes de generación de campos magnéticos. Fuente: Autor

Fuente	Frecuencia
Frecuencia Transporte Ferroviario	< 60 Hz
Líneas Eléctricas	50 – 60 Hz
Pantallas de televisor	15 000 Hz
Emisoras Radio AM	1 000 000 Hz
Emisoras de Radio FM	100 000 000 Hz
Telefonía Móvil	1 800 000 000 Hz
Hornos Microondas	2 450 000 000 Hz
Luz visible	500 000 000 000 000 Hz
Rayos X	100 000 000 000 000 000 Hz

Los campos eléctricos y magnéticos a frecuencia industrial (50 Hz o 60 Hz) están presentes donde quiera 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 (Aponte, Escobar, Bolaños, & Mora, 2009).

Es importante reconocer que debido a que los circuitos de las redes eléctricas generalmente se diseñan para un voltaje específico que se mantiene relativamente constante, los campos eléctricos son constantes en el tiempo y existen cerca de cualquier tomacorriente eléctrico, aunque no se esté alimentando ninguna carga, por otra parte, como los campos magnéticos dependen de la corriente, varían en cada momento, según la potencia que está circulando por el circuito, cuanto mayor sea la corriente que circula por un cable o circuito, mayor es el campo magnético que genera.

Una clasificación importante de las ondas electromagnéticas es de acuerdo a su frecuencia y longitud de onda en lo que se conoce como el espectro electromagnético (Llamosa & Nieto, 2011). En la Figura 3 se representa gráficamente esta clasificación, según la longitud de onda y la frecuencia (f). En la figura para cada uno de los grupos se representan algunos ejemplos de fuentes generadoras de CEM.

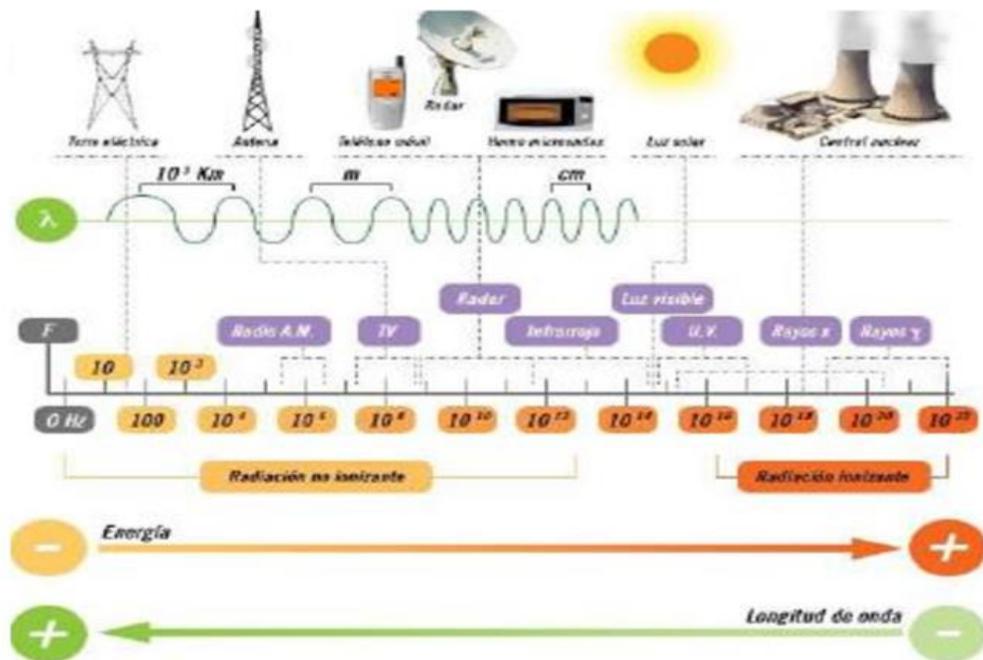


Figura 3. Espectro electromagnético. Fuente: (Llamosa & Nieto, 2011)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Debido a que la transmisión, distribución y uso más general de la energía eléctrica en los sectores industrial, comercial y domiciliario, en Colombia se hace a 60 Hz, los campos de baja frecuencia se encuentran en cualquier sitio donde se tenga una instalación eléctrica. A los campos magnéticos de baja frecuencia (50 Hz o 60 Hz) se les denomina campos electromagnéticos de frecuencia industrial.

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 (Aponte et al., 2009).

## **2.2.     NORMATIVAS PARA LA EXPOSICIÓN DE PERSONAS**

A pesar de que se han presentado diversos estudios relacionados con la exposición de las personas a los campos electromagnéticos, todavía no hay evidencia científica que indique completamente si hay o no afectación en la salud humana, pero si existen recomendaciones internacionales que fijan límites de exposición. Así pues, en 1998, la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) publicó directrices sobre límites de exposición para todos los tipos de CEM (ICNIRP, 1998), cuyas directrices están destinadas a prevenir efectos, tales como corrientes inducidas en las células o estimulación nerviosa.

Los valores límites están determinados con base en efectos distinguibles a corto plazo, como corrientes inducidas, aumento de temperatura y efectos biológicos cuya naturaleza se conoce. Los límites de exposición a campos recomendados en numerosos países, como en el caso de Colombia, son similares a los de la ICNIRP.

### **2.2.1.   Límites de exposición a campos electromagnéticos de baja frecuencia**

La posibilidad de que la exposición a los campos electromagnéticos generados por líneas de alta tensión, transformadores, etc., puedan provocar efectos nocivos en la salud humana es causa de mucha preocupación. Estos campos electromagnéticos de frecuencia de la red eléctrica, es decir a una frecuencia de 50 a 60 Hz se denominan “Campos Electromagnéticos de Baja Frecuencia”. La International Commission on Non-Ionizing

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Radiation Protection (ICNIRP) recomienda límites de exposición de 50 a 60 Hz para trabajadores y público en general (ICNIRP, 1998), que se presentan en la Tabla 2:

Tabla 2. Valores recomendados de exposición a campos electromagnéticos de 60 Hz.  
Fuente: (ICNIRP, 1998)

Campo eléctrico (kV/m)	Campo magnético (mG)	Comentarios
8,333	4166,7	Trabajadores
4,167	833,3	Público en general

En Colombia, el RETIE, Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, expedido bajo la resolución 18 0466 del 02 de Abril del año 2007 por el Ministerio de Minas y Energía, reglamenta las condiciones técnicas para garantizar seguridad en los procesos de Generación, Transmisión y Distribución de la Energía Eléctrica (MME, 2008). Este documento surgió de la necesidad de regular los métodos de diseño y construcción en el área de la Energía Eléctrica, reglamentando todos los procesos que se desenvuelvan en cada una de las etapas de su elaboración, empezando por la generación, luego la transmisión y finalizando en los puntos de distribución y consumo.

El Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas contempla en sus artículos los valores límites para los niveles de campo eléctrico y magnético. En el Artículo 14 se encuentran los límites de campo eléctrico y magnético para instalaciones a baja frecuencia (60 Hz), frecuencia que es usada en Colombia. La Tabla 3 muestra los límites de exposición establecidos en este artículo por el RETIE (MME, 2008).

Tabla 3. Valores límites máximos de campos electromagnéticos a 60 Hz.  
Fuente (MME, 2008)

Intensidad de campo eléctrico (kV/m)	Densidad de flujo magnético (mG)
10	5000

El límite máximo para los valores de la Tabla 3 es un requerimiento de obligatorio acatamiento. Indicados estos valores, se acoge a los umbrales establecidos por la ICNIRP (ICNIRP, 1998), para exposición ocupacional o exposición del público, entendiéndose que las áreas donde puede estar expuesto el público no deben sobrepasarlos valores referidos.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

### 2.3. MEDICIONES DE CAMPO MAGNÉTICO EN AMBIENTES EDUCATIVOS

Pocos estudios han explorado la exposición de campos magnéticos de baja frecuencia en los planteles escolares. En 1994, (R. S. Lin & Lee, 1994) reportaron un aumento del riesgo de leucemia infantil en los distritos donde por lo menos una escuela era atravesada por líneas de alta tensión. Los autores concluyeron que sus hallazgos podrían haber implicado un papel importante en la exposición a estos campos de acuerdo con las asociaciones observadas. En un estudio posterior, (Sun, Héroux, Clifford, Sadilek, & Hamade, 1995) caracterizaron los niveles de campo magnético de 60 Hz de 79 escuelas, generando un total de más de 40000 mediciones. La exposición promedio en las escuelas fue estimada en 0,82 mG. El estudio también informó de que las salas de mecanografía mostraron el más alto nivel de exposición (2,26 mG), y los cables en el suelo (4,18 mG) y las máquinas de escribir eléctricas (18,4 mG) representaron el nivel más alto de exposición para las categorías de fuente inamovibles y móviles, respectivamente.

El departamento de servicios a la salud y el instituto de salud pública de California hicieron una investigación durante tres años con el propósito de identificar y describir los campos magnéticos de frecuencia industrial encontrados en escuelas públicas de California (CDHS, 2001). El estudio se enfocó principalmente en las mediciones técnicas de CEM en varias áreas escolares, que incluyeron aulas de clase, áreas administrativas, áreas estudiantiles internas y áreas externas, tales como zonas de juegos. El área total considerada fue de 5403 espacios, 3193 de los cuales fueron aulas de clase. Los resultados revelaron que el 79,9% de las escuelas evaluadas tenían un valor promedio menor de 1 mG; 6,9% tuvieron un valor promedio mayor a 2 mG; mientras que en el 83,1% de las aulas de clase se presentó un promedio de campo magnético menor de 1 mG, y en el 5,7% el valor fue mayor de 2 mG. El estudio además identificó la emisión de campo ocasionada por las cinco fuentes más comunes actuando individualmente en aulas de clase: corrientes netas, iluminación fluorescente, líneas de distribución, tableros eléctricos y equipos de oficina.

El estudio de California encontró que la exposición en las aulas fue en general superior a la de las áreas externas, lo que indicaba una vez más que ciertas fuentes internas de CEM podría jugar un papel importante en la contribución a las zonas de interior. En un estudio en dos escuelas primarias en España (Tardon et al., 2002) se reportó que la mediana del nivel de exposición fue similar en las dos escuelas (alrededor de 0,15 mG) y la exposición media se estimó en 0,17 mG y 0,57 mG. El estudio también mostró una diferencia significativa entre diferentes puntos de medición (incluyendo aulas y patios de recreo) en una escuela, pero no en la otra.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Otro estudio realizado en cuatro escuelas primarias y una escuela secundaria en Selangor (Hashim, Farag, Hussain, Said, & Rahman, 2005), que se consideraban expuestas a altos campos magnéticos por su cercanía con líneas de transmisión, de distribución, subestaciones y cableado subterráneo, mostró que el nivel de campo magnético en las escuelas seleccionadas fue bajo para las áreas internas. Solamente el 3% de las áreas de estas escuelas registraron promedios de campo por encima de 2 mG. Los resultados también mostraron que en las áreas externas, próximas a las fuentes de campos magnéticos, tales como líneas de transmisión, líneas de distribución, subestaciones y cables subterráneos, los promedios fueron mayores. Los resultados en las escuelas seleccionadas para el estudio fueron similares y las fuentes más comunes de campo electromagnético, identificadas para las áreas internas, fueron: iluminación fluorescente conmutada, ventiladores, aire acondicionado, equipos de oficina y cableado interno de la instalación.

En otro estudio realizado en la ciudad de Taipei y el Condado del norte de Taiwan, se exploró el patrón de exposición a campos de baja frecuencia de niños en escuelas con líneas de transmisión de alta tensión dentro de los campus (Li et al., 2007). Fueron evaluados 101 niños que asistían a 14 escuelas con líneas cercanas (grupo expuesto) y 123 niños de 18 escuelas con por lo menos 100 m de distancia a las líneas (grupo no expuesto). Los resultados no mostraron diferencias significativas en la exposición entre las escuelas expuestas y no expuestas para los espacios interiores y al aire libre lejos de las líneas. Una diferencia significativa entre el área específica de la exposición se observó sólo entre las áreas de juego bajo las líneas y los de las áreas generales (7 mG vs 1,8 mG). Aunque las aulas bajo líneas de alta tensión mostraron una mayor exposición media que las lejanas a las líneas, la diferencia fue estadísticamente nula (2,5 mG vs 1,7 mG). Algunas fuentes internas de campo también podrían disminuir el impacto de las líneas en el nivel de exposición en interiores.

(I. Lin, Li, & Wang, 2008) presentaron un estudio que reportaba un monitoreo continuo de ocho horas de datos en campos magnéticos a frecuencia industrial relacionados con 14 niños y 35 profesores en 11 escuelas de educación elemental al norte de Taiwán. Se había anticipado que los sujetos en dos de estos campus tendrían exposición elevada como resultado de su cercanía a líneas de potencia de alto voltaje (161 kV). Los resultados de este análisis revelaron que en las escuelas con líneas de voltaje a través del campus, el nivel de exposición media (3,8 mG) fue mayor que en el de los campus ubicados lejos de esas líneas de potencia (1,4 mG).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

En un estudio australiano, los niveles de exposición a CEM de 50 Hz de personal y estudiantes fueron medidos en tres escuelas de Tasmania (Arneaud & Newbery, 2009). Dos de las escuelas estaban localizadas cercas de líneas de alta potencia y otra no lo estaba, las mediciones eran parte de un grado de estudio que incluía un total de nueve escuelas. La exposición típica en los estudiantes de Grado 1 y en los profesores de todas las escuelas chequeadas fue de 0,6 mG. Las lecturas promedio para el personal de oficina mostraron una mayor variación entre 1 mG y 1,8 mG Los niveles de campo magnético medidos en las escuelas no estaban influenciados por la presencia de líneas de transmisión, las cuales estaban localizadas a más de 30 m de las escuelas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## 3. METODOLOGÍA

---

### 3.1. EVALUACIÓN DEL AMBIENTE ELECTROMAGNÉTICO

La gran masificación del consumo eléctrico doméstico e industrial ha generado inquietudes sobre las posibles consecuencias de los campos electromagnéticos en el funcionamiento de diferentes dispositivos. Por tanto, cuando se van a realizar evaluaciones de los campos electromagnéticos es necesario considerar las zonas críticas que han de tenerse en cuenta.

Para evaluar el ambiente electromagnético en este trabajo, inicialmente se realizó una investigación y recopilación de información de textos técnicos y artículos científicos referentes a las mediciones de campos electromagnéticos. Así mismo se utilizó un protocolo de medición desarrollado previamente en el proyecto: “Protocolo para la medición de campos electromagnéticos de baja frecuencia en los campus robledo y fraternidad del ITM”, para posteriormente realizar un recorrido que ayudaría a determinar las áreas de las instalaciones del ITM más relevantes a ser evaluadas.

Después de realizar esta primera etapa se efectuaron las mediciones de campo electromagnético de baja frecuencia en las áreas previamente seleccionadas, las cuales involucraron sitios como aulas de clase, pasillos, oficinas, entre otros lugares donde el flujo y permanencia de personas es sustancial.

Luego de tener los datos de las mediciones se utilizaron herramientas computacionales con las que fueron esquematizados los resultados, ilustrando de esa manera las zonas que se encontraron con mayor nivel de campo.

### 3.2. EQUIPO DE MEDICIÓN

El equipo utilizado para las mediciones a baja frecuencia involucradas en este trabajo y que se encuentran en los rangos de 50 a 60 Hz fue el EMDEX II, el cual tiene una resolución de 0,1 mG, un rango de 0,1-3000 mG y una exactitud a plena escala de 1%. Este equipo es un potente sistema de medición de campo magnético sobre la base original de EPRI el cual contiene su paquete de software EMCALC 2007 para la descarga y análisis de los resultados. Este equipo se muestra en la Figura 4.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16



Figura 4. Equipo EMDEX II para la medición de campos magnéticos de baja frecuencia.

Fuente: Autor

El medidor EMDEX II está compuesto por tres bobinas localizadas al interior del mismo para registrar la densidad de campo magnético de cada eje ( $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$ ), adicional cuenta con un microprocesador que calcula instantáneamente el campo magnético resultante a partir de las lecturas de campo magnético de cada eje.

### 3.3. PROTOCOLO DE MEDICIÓN

Un protocolo es aquel que describe el desarrollo de un evento. En el caso de las mediciones relacionadas con este trabajo, detalla los pasos a tenerse en cuenta antes, durante y después del proceso de medición para que sean efectuadas de forma correcta y con el fin de llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos propuestos.

Con base en lo anterior, a continuación se hace una descripción del protocolo utilizado:

- a) **Preparación para las mediciones:** Esta parte involucra las actividades a realizarse y tenerse en cuenta para realizar las mediciones, lo que permite una toma de información exacta, agilidad y ahorro de tiempo. Se tienen entonces los siguientes aspectos:
  - **Chequear los equipos, suministros y formatos:** El equipo y los suministros están divididos en tres grupos de acuerdo a su uso, esto es, elementos auxiliares, elementos para caracterización y elementos para medición.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Los elementos auxiliares deben estar disponibles en el sitio de medición aunque generalmente no son usados durante el curso de una medición, pero son esenciales por si se presentan problemas. Entre ellos podemos encontrar: manual del medidor, baterías auxiliares, formatos extra.

Así mismo, los elementos de caracterización son usados para documentar las características de la sala en la que se estén realizando las mediciones, entre estos tenemos: cámara fotográfica, video cámara (opcional), etc.

Los elementos para medición son los instrumentos utilizados para realizar las mediciones de campo magnético y descargar los datos, algunos son: procedimiento de medición, formato de toma de datos, equipo EMDEX II, decámetro, computador, cable de transmisión del EMDEX II. Los equipos deben guardarse apropiadamente para garantizar su buen estado. Se deben verificar además todos los elementos descritos para poder realizar las mediciones.

- **Revisar y recargar las baterías:** Las baterías deben estar totalmente cargadas. Esto ayuda a asegurar un funcionamiento óptimo de los instrumentos durante la medición. Si la batería indica un porcentaje de carga inferior al 40%, esta debe cambiarse o recargarse.
- **Realizar un chequeo inicial del EMDEX II:** Confirmar que el EMDEX II está respondiendo a una fuente de campo local.

**b) Procedimiento de medición:** En una gran área, el método del mapeo puede ser usado para evaluar la variación espacial del campo magnético. Este método consiste en hacer un recorrido a lo largo y ancho del sitio (tratando de abarcar la mayor área posible) con el fin de identificar las zonas con los mismos valores de campo magnético. Los valores son entonces mostrados en un mapa de contornos o en un mapa 3D.

Debido a la complejidad de las áreas a medir, en lugar de hacer un recorrido continuo, se midieron perfiles dentro de los cuartos. Un ejemplo de estos perfiles es mostrado en la Figura 5.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

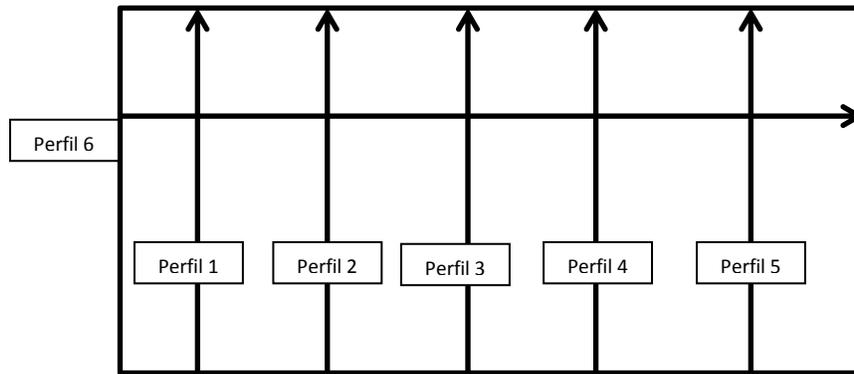


Figura 5. Ejemplo de perfiles utilizados para la medición. Fuente: Autor

Como puede observarse en la Figura 5, con los perfiles se busca abarcar la mayor cantidad de espacio en el área de las mediciones, siguiendo una trayectoria determinada desde un punto a otro. Se debe recordar que dichos perfiles son trazados dependiendo de la complejidad del espacio medido.

Así pues, previo a la medición se debe llevar a cabo un reconocimiento visual del lugar con el fin de determinar con base en el mismo los perfiles más adecuados. En este paso se deben tener en cuenta 2 factores:

- **Factores de entorno:** Área del sitio a medir, ubicación de obstáculos que se encuentran al interior.
- **Factores de fuentes:** Presencia de fuentes de campo como equipos, cables, entre otros.

Con base en lo anterior, el campo magnético en la sala, cuarto o pasillo debe ser medido a una altura de un metro sobre el nivel del piso (IEEE, 1997, 2010), y se deben seguir los perfiles más adecuados que permitan cubrir la mayor área posible sin interrumpir las actividades que se llevan a cabo al interior del cuarto. Sin embargo, antes de comenzar el recorrido por cada uno de los perfiles trazados se debe configurar el EMDEX II como sigue:

- RATE 1,5 segundos
- OP MODE normal
- BANDWIDTH broadband
- STORAGE rslt,xyz

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- DISPLAY result

En relación con lo explicado anteriormente, se puede seguir la próxima secuencia para efectuar las mediciones:

1. Programar el medidor.
2. Definir los perfiles a realizar en el sitio de medición. Dichos perfiles deben abarcar en lo posible toda la sala. El número de perfiles dependerá del nivel de detalle que se quiera obtener y de los obstáculos presentes en el sitio.
3. Ubicar una marca (Evento) en el piso en cada punto de inicio y finalización de cada uno de los perfiles. Estas marcas sirven de referencia a la persona que realice la medición.
4. Establecer las coordenadas de los puntos descritos anteriormente. Estas coordenadas se pueden establecer de acuerdo a un punto del cuarto o a un punto de inicio.
5. Ubicarse en el punto de inicio del primer perfil.
6. Ubicar el medidor en la cintura, de tal forma que este quede a una altura de 1 metro sobre el suelo.
7. Iniciar el medidor, seleccionando la opción **run**.
8. Anotar en el formato de toma de datos el número del data set (**start #**).
9. Oprimir el botón **EVENT** y empezar el recorrido. Chequear en la pantalla del medidor que efectivamente se haya marcado el evento. Anotar en el formato de toma de datos el número del evento. Caminar lento y con la misma velocidad todo el recorrido (1 m/s aproximadamente).
10. Al llegar al final del perfil oprimir el botón **EVENT**. Chequear en la pantalla del medidor que efectivamente se haya marcado el evento. Anotar en el formato de toma de datos el número del evento.
11. Ubicarse en el punto de inicio del siguiente perfil y repetir los pasos 9 y 10
12. Repetir el paso 11 hasta que se midan todos los perfiles.
13. Detener el medidor oprimiendo simultáneamente los tres botones del medidor.
14. Descargar los datos a un computador.

La última parte de la secuencia sugiere descargar la información obtenida en el proceso de medición a un computador, vale la pena aclarar que para esto se utiliza el software EMCALC 2007 y se sigue este procedimiento:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

1. Ejecutar el programa EMCALC 2007
2. Conectar el cable de comunicación primero al computador y luego al medidor. Se debe tener en cuenta el puerto USB donde se conecta el medidor. Para identificar el puerto, seleccionar Inicio, Panel de control, Sistema, Administrador de Dispositivos, Puertos y mirar el USB Serial Port asignado al equipo.
3. Escoger del menú principal *Tools, Options* y en la pestaña *Communication* seleccionar en *Port number* el puerto asignado en el paso 3.
4. Presionar *Aceptar*.
5. Presionar *Aceptar*.
6. Asignar un nombre al archivo y la ubicación donde este será guardado.
7. Colocar el medidor en el menú *STANDBY*. Si la pantalla está en blanco, presionar el botón **EVENT** hasta que se muestre la palabra *STANDBY*.
8. Presionar *Guardar*.
9. Presionar *DONE*.

### 3.4. ÁREAS MEDIDAS

Dado que se busca evaluar los niveles de campo magnético de baja frecuencia en las instalaciones del Instituto Tecnológico Metropolitano ITM, se escogió para las mediciones los lugares más concurridos del Campus Fraternidad, tales como aulas, pasillos y oficinas. La Tabla 4 detalla los lugares escogidos, segmentados en términos de pisos, bloques y cantidad de espacios medidos.

Si bien se esperaba tener resultados de los niveles de campo magnético medidos en las sedes de Robledo y Fraternidad del ITM, a partir de mediciones en un bloque para cada sede, se decidió realizar las mediciones solamente en la sede de Fraternidad pero para los cuatro bloques que conforman el campus.

### 3.5. EJECUCIÓN DE LAS MEDICIONES

Las mediciones de campo magnético en el campus Fraternidad del ITM se basaron en el protocolo descrito anteriormente. De esta forma, se siguieron las recomendaciones planteadas para tener unas mediciones correctas y se utilizaron los equipos apropiados. Para la toma de datos y debido a la complejidad de las diferentes áreas, en lugar de

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

realizar un recorrido continuo se realizó medidas a través de perfiles dentro de cada zona y así abarcar el mayor espacio posible, tal y como lo establece el protocolo. Luego de terminadas las mediciones en cada lugar se revela la información obtenida en mapas de contorno.

Tabla 4. Espacios escogidos para realizar las mediciones de campos magnéticos.

Fuente: Autor

Piso	Bloque	Cuartos medidos
Segundo piso	K	9
	L	6
	M	14
	N	17
Tercer piso	K	10
	L	7
	M	11
	N	18
Cuarto piso	K	9
	L	8
	M	3
	N	7
Quinto piso	K	11
	L	6
	N	5
Total		141

### 3.6. MAPAS DE CONTORNO

Los mapas de contorno son los que permiten establecer gráficos para analizar de forma más fácil los datos obtenidos en las mediciones desarrolladas previamente, y de esa forma visualizar los niveles de campo medidos y evaluar su variación espacial. Para desarrollar dichos mapas de contorno se utilizaron herramientas computacionales como el software VICO (Visualizador de Contorno), el cual fue desarrollado por investigadores del ITM en un proyecto previo, cuyo uso también se puede extender a diferentes variables como la temperatura. La Figura 6 muestra un ejemplo de la distribución presentada por el campo magnético medido en un mapa de contorno.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16



Figura 6. Ejemplo de mapa de contorno. Fuente: Autor

Puede observarse de la Figura 6 la forma como se establecen variaciones en el espacio medido, donde a través de la barra de colores de al lado pueden observarse los niveles a través de diferentes colores y con base en ellos verificar las distribuciones.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

Las medidas realizadas siguiendo los lineamientos mencionados anteriormente establecieron un conjunto de valores que permitieron obtener la información necesaria para el análisis del comportamiento de campos magnéticos de baja frecuencia en diferentes puntos de los pisos en el campus Fraternidad.

De todo el conjunto de datos que se logró obtener, se presentarán los valores máximos, mínimos y promedio, los cuales se registran a través de tablas y gráficos que permiten su lectura y análisis de forma más fácil. Así pues, en esta parte del trabajo se mostrarán y discutirán los datos mencionados segmentados por pisos y bloque, luego se realizará una comparación entre todos los pisos para verificar los niveles en la totalidad de los espacios.

### 4.1. SEGUNDO PISO CAMPUS FRATERNIDAD

La Tabla 5 muestra los valores máximos, mínimos y promedio correspondientes al segundo piso de los datos medidos en el campus fraternidad.

Tabla 5. Datos de máximo, mínimo y promedio del segundo piso. Fuente: Autor

Bloque	Campo magnético (mG)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
K	9,91	0,01	0,86
L	5,09	0,01	0,36
M	18,02	0,11	0,87
N	5,86	0,11	0,67

En la Figura 7 se muestra una gráfica donde se comparan estos valores presentados en la Tabla 5 para cada uno de los bloques del segundo piso. Se debe tener en cuenta que el incremento en los valores de las mediciones en el campo magnético es directamente proporcional al flujo de corriente, por lo que podríamos explicar las alzas en los valores máximos del bloque M que fue dónde se produjeron los mayores, como la consecuencia del conjunto sustancial de equipos y al cuarto técnico que allí se encuentran.

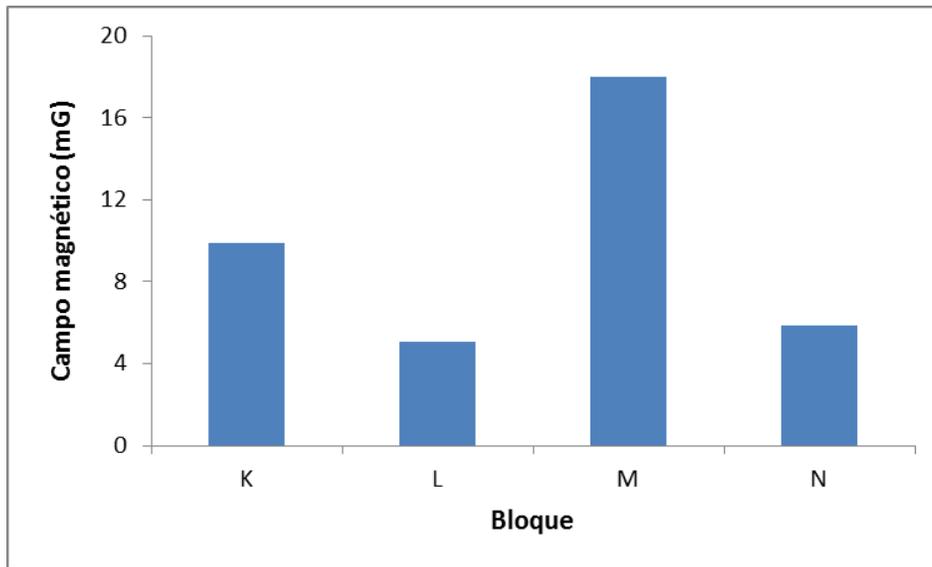


Figura 7. Gráfica de valores máximos de campos magnéticos en el segundo piso.

Fuente: Autor

Así mismo, se puede observar que el bloque con el segundo nivel más alto de campos magnéticos máximos es el K, que también contiene cuartos técnicos y equipos que hacen incrementar dicha cantidad. Sin embargo su inferioridad con respecto al bloque M se debe a que allí hay una menor cantidad de espacios, lo que al mismo tiempo disminuye el número de equipos presentes y cables de la instalación eléctrica.

También se puede evidenciar que los bloques L y N respectivamente manejan niveles parecidos de campo magnético que son inferiores a los anteriormente mencionados. Esta disminución en el nivel máximo de campos se debe a que en dichos bloques son específicamente los equipos y cables involucrados en los espacios los encargados de establecerlo, es decir, no existen cuartos técnicos donde se involucran cantidades sustanciales de corriente. Para tener una visión más clara de la distribución de campos magnéticos presentada en este piso, el mapa de contorno correspondiente se muestra en la Figura 8.

Los espacios en blanco de la Figura 8 corresponden a sitios o donde no fue posible acceder para realizar las mediciones (cuartos técnicos, salones bajo llave, etc.) o donde había diferencia de niveles (como escaleras).

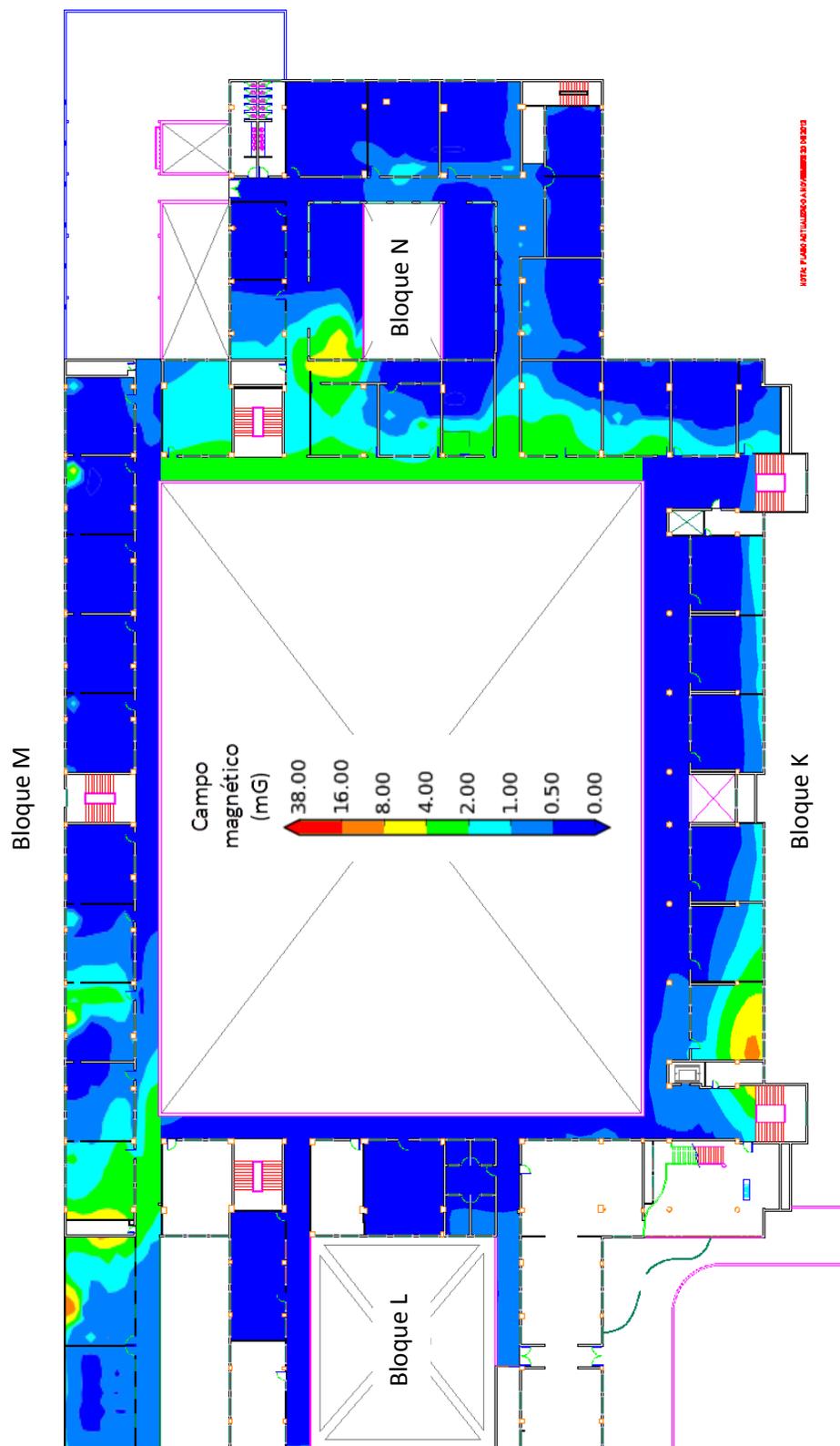


Figura 8. Mapa de contorno de campo magnético del segundo piso. Fuente: Autor

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Puede observarse de la distribución presentada en la Figura 8 que efectivamente los valores críticos mencionados anteriormente se dan en los bloques respectivos, y más aún cerca de áreas como los cuartos técnicos cuya de demanda de corriente hace más elevado el nivel de campo magnético. De la misma forma se pueden observar alteraciones no tan relevantes en otras zonas donde se utilizan diferentes equipos, las cuales se atenúan principalmente en los bordes de los espacios y presentan ciertas características de uniformidad.

#### 4.2. TERCER PISO DEL CAMPUS FRATERNIDAD

Los resultados que muestran el máximo, mínimo y valor promedio del tercer piso se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Datos de máximo, mínimo y promedio del tercer piso. Fuente: Autor

Bloque	Campo magnético (mG)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
K	16,47	0,11	0,62
L	5,44	0,23	1,01
M	6,69	0,14	0,47
N	12,97	0,11	0,36

Como se hizo anteriormente, en la Figura 9 se muestra una gráfica donde se comparan estos valores presentados en la Tabla 6 para cada uno de los bloques del tercer piso. Puede observarse de la gráfica de la Figura 9 que el Bloque K presenta los mayores niveles de campo magnético en todo el tercer piso. Esto es debido a que al igual que en el segundo, la existencia de cuartos técnicos y diferentes equipos es relevante. Lo mismo sucede para este piso en el Bloque N cuyos niveles también son sustanciales, pero al no contar con cuartos técnicos dicho nivel se rebaja para este bloque.

De igual forma el Bloque L muestra unos niveles más bajos por la falta de cuartos técnicos y el uso exclusivo de equipos para oficina y aulas. La distribución de campos magnéticos correspondiente a este piso se muestra en el mapa de contorno de la Figura 10.

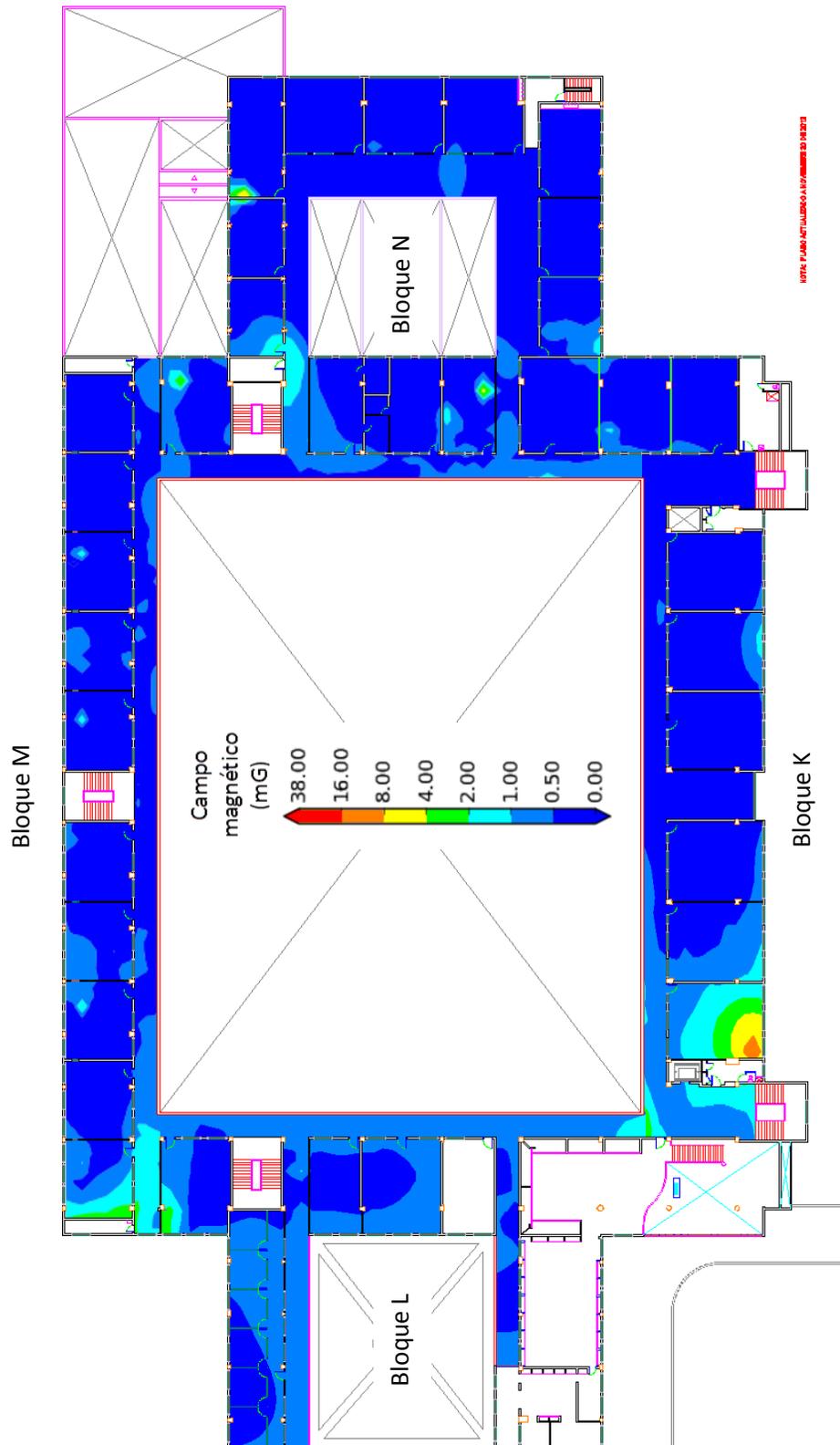


Figura 10. Mapa de contorno de campo magnético del tercer piso. Fuente: Autor

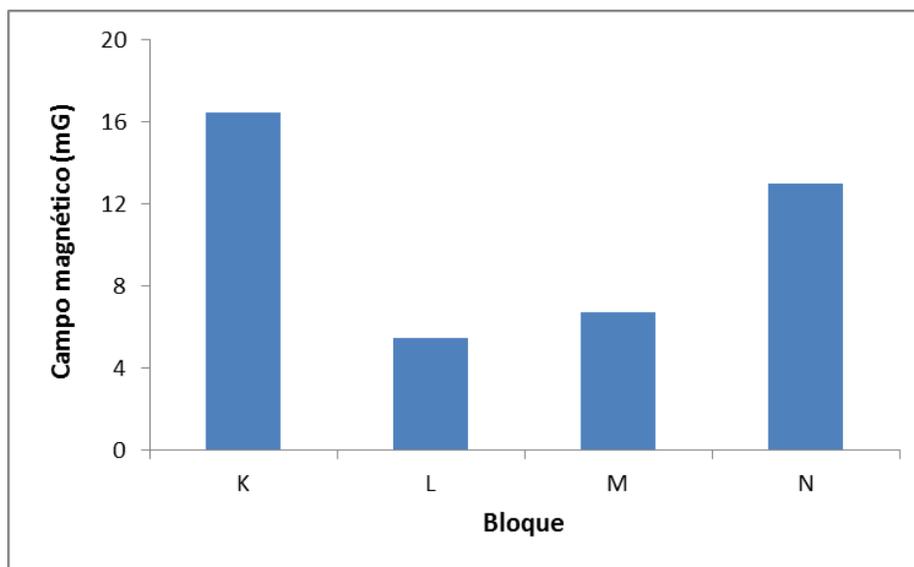


Figura 9. Gráfica de valores máximos de campos magnéticos en el tercer piso.

Fuente: Autor

De la Figura 10 puede observarse que efectivamente el punto de mayor nivel de campo magnético en todo el piso se encuentra localizado en el bloque K y a los alrededores del cuarto técnico. De igual manera son evidentes unas elevaciones sustanciales en los bloques N y M debidas a algunos equipos, pero que no abarcan tanta distancia como la presentada en el bloque K. De igual manera, en el bloque L se evidencian alteraciones del campo debidas a los equipos utilizados pero no son tan elevadas como en otras zonas.

#### 4.3. CUARTO PISO DEL CAMPUS FRATERNIDAD

Los resultados que muestran el máximo, mínimo y valor promedio del cuarto piso se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Datos de máximo, mínimo y promedio del cuarto piso. Fuente: Autor

Bloque	Campo magnético (mG)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
K	3,88	0,01	0,49
L	47,90	0,14	0,76
M	2,07	0,31	0,69
N	15,71	0,01	0,35

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

En la Figura 11 se muestra una gráfica donde se comparan estos valores presentados en la Tabla 7 para cada uno de los bloques del cuarto piso.

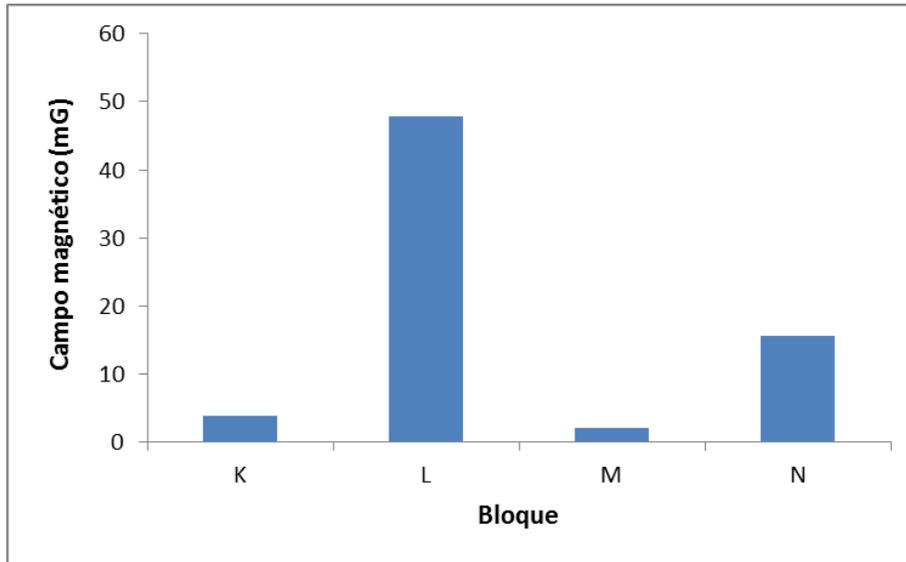


Figura 11. Gráfica de valores máximos de campos magnéticos en el cuarto piso.

Fuente: Autor

De acuerdo con la Figura 11 puede observarse un incremento sustancial en los niveles de campo magnético máximos correspondientes al bloque L, esto se debe a que al momento de realizar las mediciones había en uno de los espacios considerados una cafetera de resistencia eléctrica funcionando. Este dispositivo demandaba cantidades sustanciales de corriente y por tanto los niveles de campo magnético se elevaron. De manera similar, este tipo de dispositivos hicieron incrementar los niveles máximos de campo magnético en el bloque N.

También se debe considerar que el nivel máximo del bloque M se redujo por no tener tan involucrados dispositivos que emitan campos magnéticos, esto por el hecho de ser en gran parte una terraza. También es evidente una reducción en el nivel máximo del bloque K, esto se debe a que las condiciones operativas en ese lugar se estaban presentando de forma modesta.

El mapa de contorno que se muestra en la Figura 12, esquematiza la distribución de campo magnético a lo largo de todo el cuarto piso.

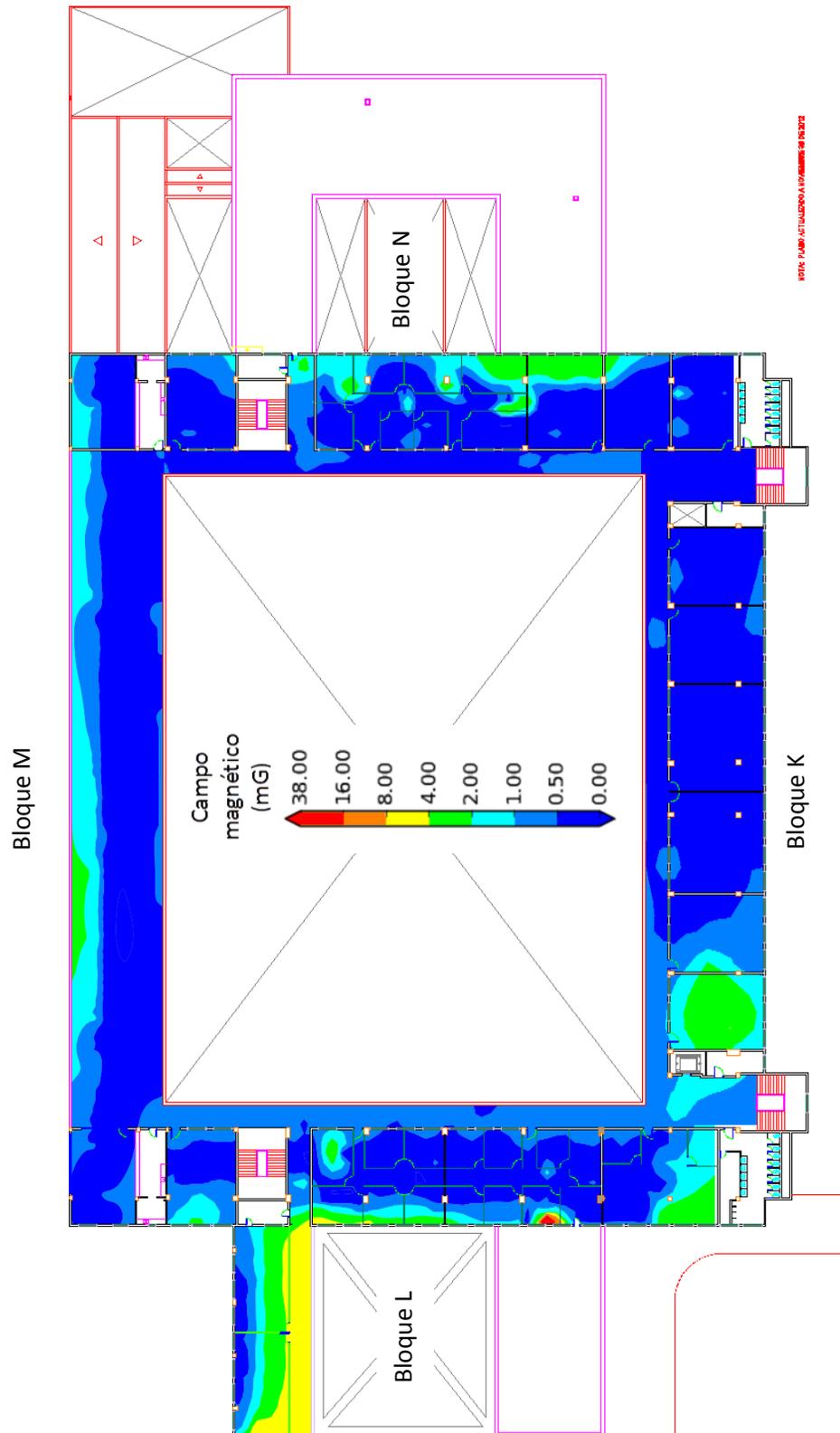


Figura 12. Mapa de contorno de campo magnético del cuarto piso. Fuente: Autor

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Puede observarse de la Figura 12 que efectivamente existen algunos dispositivos que incrementan abruptamente el nivel de campos magnéticos en lugares determinados, es el caso del bloque L, donde se evidencia en el área roja lo planteado anteriormente. De igual manera en otras zonas del mismo bloque puede observarse un comportamiento relevante de campos, pero en ese caso si son debidos a la utilización de equipos para oficina y aulas.

El punto crítico del bloque K vuelve a presentarse por los alrededores del cuarto técnico pero con una magnitud reducida. En otras zonas de este bloque efectivamente existen otras alteraciones de menor intensidad. El bloque N presenta su elevación máxima en los espacios en que se encuentran algunas oficinas y el bloque M lo establece cerca del borde superior, donde se está más cerca de una subestación.

#### 4.4. QUINTO PISO CAMPUS FRATERNIDAD

Los resultados que muestran el máximo, mínimo y valor promedio del quinto piso se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Datos de máximo, mínimo y promedio del quinto piso. Fuente: Autor

Bloque	Campo magnético (mG)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
K	55,50	0,01	0,99
L	2,11	0,11	0,32
N	0,74	0,14	0,29

En la Figura 13 se muestra una gráfica donde se comparan estos valores presentados en la Tabla 8 para cada uno de los bloques del quinto piso. La Figura 13 muestra que de los tres bloques analizados en el quinto piso el que presenta el valor máximo más relevante es el K, esto es por los cuartos técnicos involucrados que consumen cantidades sustanciales de corriente. Adicionalmente, en la zona donde se presenta el mayor valor de campo magnético se encontraba durante las mediciones un cable que alimentaba diferentes equipos para realizar obras en el techo del bloque.

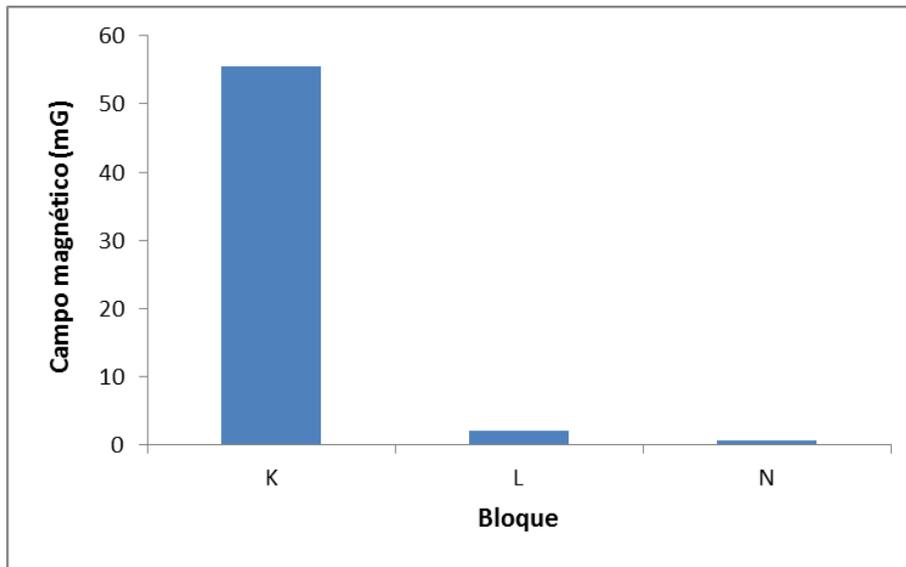


Figura 13. Gráfica de valores máximos de campos magnéticos en el quinto piso.

Fuente: Autor

Así mismo, puede observarse de los bloques L y N unos valores máximos podría decirse que bajos en comparación con los demás, esto debido a que en muchos espacios no se establecieron demandas muy importantes de corriente en los equipos que operan. En la Figura 14 se muestra el mapa de contorno correspondiente a este piso quinto.

Con la Figura 14 se comprueba el aumento en el nivel de campos magnéticos debidos a los cuartos técnicos en el bloque K, donde también puede observarse algunas elevaciones de menor cantidad en otras zonas. Así mismo, se evidencia que en los demás bloques N y L se presentan otras alteraciones de forma uniforme y que son debidas específicamente a los equipos localizados en dichas zonas.

#### 4.5. COMPARACIÓN ENTRE LOS DIFERENTES PISOS DEL CAMPUS FRATERNIDAD

Anteriormente, se analizaron los valores máximos presentados en las mediciones de campo magnético para cada piso de forma independiente, analizando el comportamiento en sus bloques y las razones del mismo. Para establecer una comparación de dichos pisos como un todo, en primera instancia la Figura 15 muestra una gráfica en la que se comparan los valores máximos de campo magnético de cada piso medido.

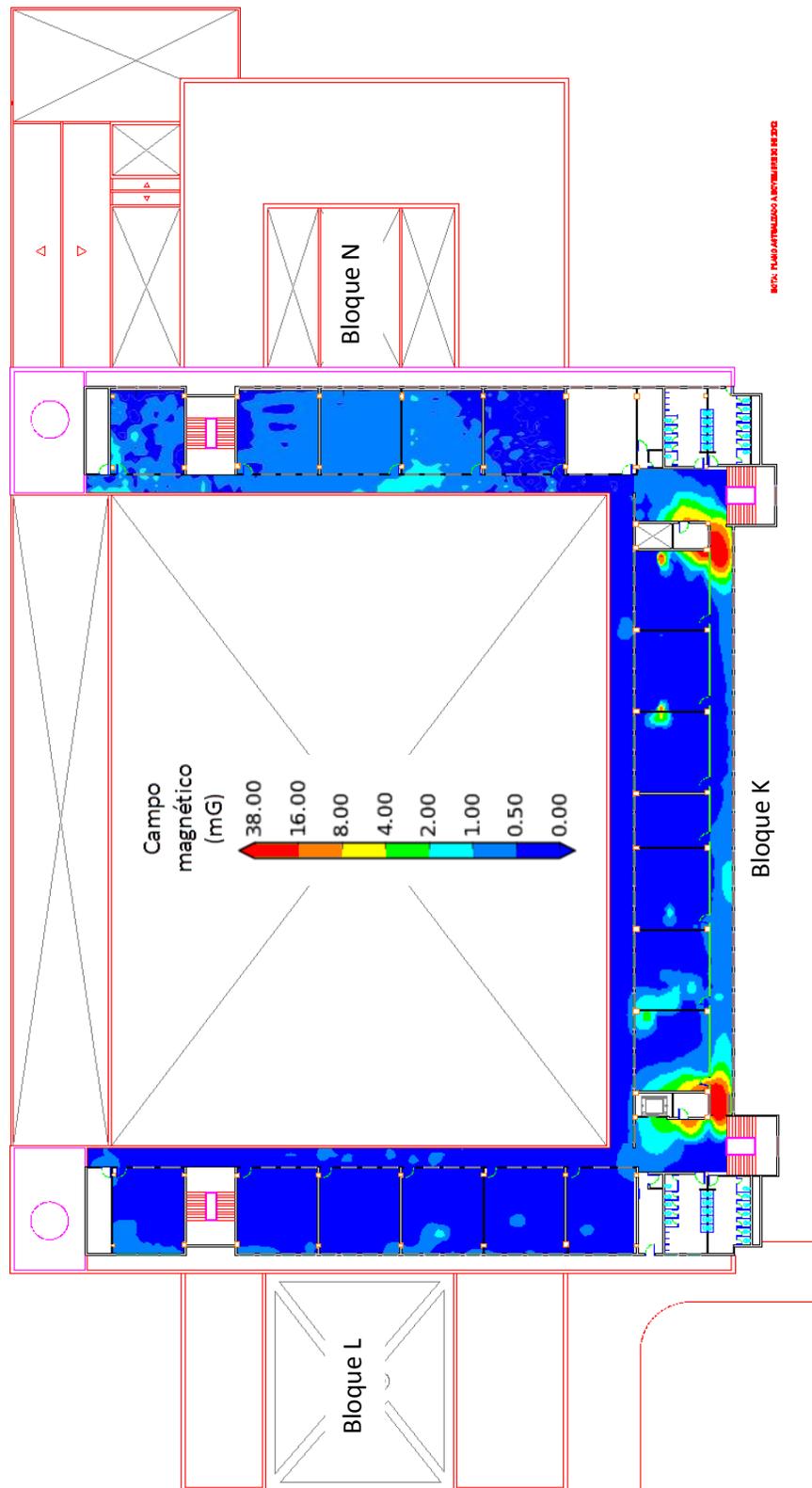


Figura 14. Mapa de contorno de campo magnético del cuarto piso. Fuente: Autor

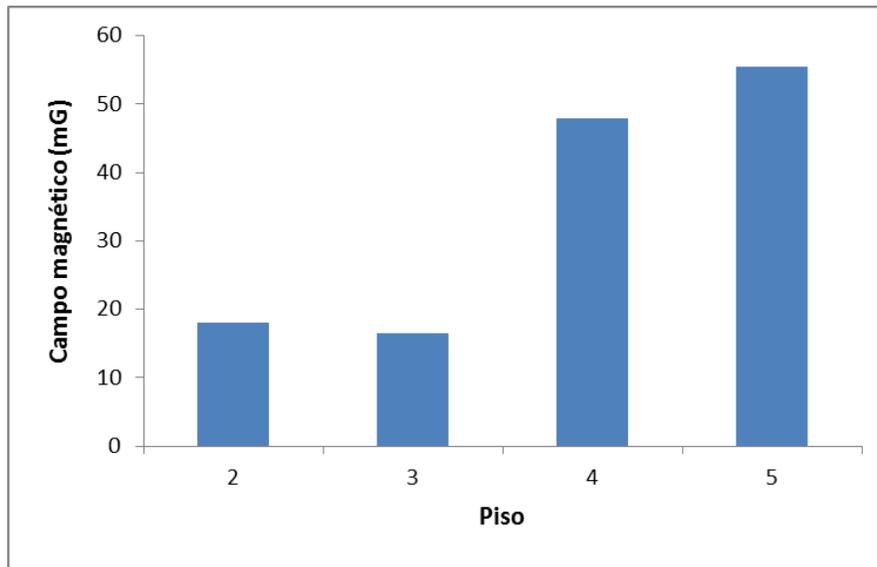


Figura 15. Gráfica de valores máximos de campos magnéticos en todos los pisos.

Fuente: Autor

Como puede observarse de la Figura 15 el nivel más alto de campos magnéticos de entre los pisos medidos se presenta en el quinto piso. Esto está relacionado con el hecho de que allí los dos cuartos técnicos del bloque K están consumiendo corrientes representativas que generan dicho campo. Este resultado muestra la influencia que tiene sobre los niveles de campo la operación de los cuartos técnicos.

Luego de tener en cuenta las elevaciones en los valores máximos producidas por los cuartos técnicos, es necesario considerar la que generan dispositivos como cafeteras de resistencia eléctrica y otros que consumen cantidades de corriente relevantes, pues son estos los de mayor influencia para los valores máximos del cuarto piso que como se muestra en la Figura 15 es el piso con uno de los niveles máximos más representativos después del quinto.

Los pisos segundo y tercero presentan valores de menor envergadura y parecidos debido a la poca influencia que tienen con respecto a los cuartos técnicos y otros dispositivos de alto consumo de corriente.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

---

### 5.1. CONCLUSIONES

Se desarrolló e implementó un protocolo detallando los pasos a seguir antes, durante y después para las mediciones de campo magnético en ambientes educativos. Con el protocolo establecido se determinaron los niveles de campo magnético en cuatro pisos de la sede Fraternidad del Instituto Tecnológico Metropolitano. Fueron en total 141 cuartos entre salones de clase, oficinas y pasillos donde se evaluó el campo magnético. Es importante precisar que las mediciones efectuadas de los campos magnéticos son un registro momentáneo y no determinan las condiciones máximas o mínimas.

Las mediciones realizadas durante el desarrollo de este trabajo y cuyo procedimiento estuvo basado en un protocolo evaluado previamente, han permitido obtener información que revela los niveles de campos magnéticos de baja frecuencia en diferentes lugares con alta densidad de población en el campus Fraternidad del Instituto Tecnológico Metropolitano como aulas, pasillos, oficinas, etc. Aunque a nivel teórico se tenía claro que corrientes sustanciales permitirían unas elevaciones en las densidades de flujo magnético, estas mediciones permitieron comprobar dicha hipótesis de forma real y se han establecido las siguientes observaciones.

- Los cuartos técnicos presentes en diversos lugares y que involucran corrientes representativas son de los principales elementos que influyen para incrementar sustancialmente los niveles de campo magnético.
- Los espacios con mayor actividad de equipos eléctricos presentan niveles más considerables de campos magnéticos que en otras zonas.
- Los valores máximos en los niveles de campo magnético tienen una mayor influencia en las inmediaciones de los equipos o elementos que las producen, por lo que dicha intensidad va disminuyendo con la distancia.
- De las mediciones tomadas, se puede observar que se están cumpliendo con las recomendaciones establecidas por el RETIE para la regulación de campos magnéticos de baja frecuencia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## 5.2. TRABAJO FUTURO

Dado que por razones de logística se decidió cubrir solamente la sede de Fraternidad, se plantea como trabajo futuro las mediciones de campo magnético en la sede de Robledo, donde se encuentran algunos laboratorios que podrían tener equipos que generan altos valores de campo.

Igualmente, sería importante caracterizar los diferentes equipos que se encuentran al interior de la sede de Fraternidad y que fueron identificados como fuente importante de campo, con el fin de evaluar el comportamiento con el tiempo y la distancia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

## REFERENCIAS

---

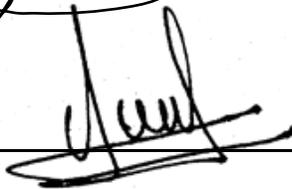
- Aponte, G., Escobar, A., Bolaños, H., & Mora, A. (2009). Evaluación del campo magnético al que están expuestos los trabajadores de subestaciones y circuitos energizados de las empresas de energía. *Revista CIER*, 53, 15–21.
- Arneaud, S., & Newbery, S. (2009). *Preliminary report on 50 Hz electromagnetic field measurements at selected Tasmanian Government schools*.
- Calvente, I., Fernandez, M. F., Villalba, J., Olea, N., & Nuñez, M. I. (2010). Exposure to electromagnetic fields (non-ionizing radiation) and its relationship with childhood leukemia: a systematic review. *The Science of the total environment*, 408(16), 3062–9. doi:10.1016/j.scitotenv.2010.03.039
- CDHS. (2001). *Electric and Magnetic Field Exposure Assessment of Powerline and Non-Powerline Sources For California Public School Environments*.
- Cheng, D. K. (1993). *Fundamentals of Engineering Electromagnetics* (p. 488). ADDISON WESLEY Publishing Company Incorporated. Retrieved from <http://books.google.com.co/books?id=vJNQGQAACAAJ>
- Hashim, J., Farag, A. S., Hussain, H., Said, I., & Rahman, N. (2005). Preliminary Study Analysis on Magnetic Field Exposure Assessment in Selangor Public Schools. In *2005 Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics* (pp. 184–188). IEEE. doi:10.1109/APACE.2005.1607803
- Hyat, W. (2006). *Teoría Electromagnética* (5th ed.). McGraw-Hill.
- IARC. (2002). *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 80 Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields*. Lyon, France.
- ICNIRP. (1998). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys*, 74, 494–522.
- IEEE. (1997). IEEE Std 1460-1996 IEEE Guide for the Measurement of Quasi-Static Magnetic and Electric Fields. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers. doi:10.1109/IEEESTD.1997.82030
- IEEE. (2010). IEEE Std C95.3 IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields with Respect to Human Exposure to Such Fields, 0 Hz to 100 kHz. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers. doi:10.1109/IEEESTD.2010.5473175
- Li, C.-Y., Mezei, G., Sung, F.-C., Silva, M., Chen, P.-C., Lee, P.-C., & Chen, L.-M. (2007). Survey of residential extremely-low-frequency magnetic field exposure among children in Taiwan. *Environment international*, 33(2), 233–8. doi:10.1016/j.envint.2006.09.012

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- Lin, I., Li, C. Y., & Wang, J. Der. (2008). Analysis of individual- and school-level clustering of power frequency magnetic fields. *Bioelectromagnetics*, 29(7), 564–70. doi:10.1002/bem.20431
- Lin, R. S., & Lee, W. C. (1994). Risk of childhood leukemia in areas passed by high power lines. *Reviews on environmental health*, 10(2), 97–103. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8047676>
- Llamosa, L. E., & Nieto, N. (2011). Fundamentos para la implementación de un laboratorio que certifique niveles de intensidad de CEM-NI en Colombia. *Scientia et Technica*, 1(47), 163–168.
- MME. (2008). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas*.
- NRPB. (1994). Electromagnetic fields and the risk of cancer, Supplementary report by the Advisory Group on Non-ionising Radiation of 12 April 1994. *Radiol. Prot. Bull.*, 154, 10–12.
- Repacholi, M. H., Basten, A., Gebiski, V., Noonan, D., Finnie, J., & Harris, A. W. (1997). Lymphomas in E mu-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiation research*, 147(5), 631–40. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9146709>
- Selmaoui, B., Lambrozo, J., & Touitou, Y. (1996). Magnetic fields and pineal function in humans: evaluation of nocturnal acute exposure to extremely low frequency magnetic fields on serum melatonin and urinary 6-sulfatoxymelatonin circadian rhythms. *Life sciences*, 58(18), 1539–49. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8649183>
- Sun, W. Q., Héroux, P., Clifford, T., Sadilek, V., & Hamade, F. (1995). Characterization of the 60-Hz Magnetic Fields in Schools of the Carleton Board of Education. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 56(12), 1215–1224. doi:10.1080/15428119591016241
- Tardon, A., Velarde, H., Rodriguez, P., Moreno, S., Raton, M., Munoz, J., ... Kogevinas, M. (2002). Exposure to extremely low frequency magnetic fields among primary school children in Spain. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 56(6), 432–433. doi:10.1136/jech.56.6.432
- Wildi, T., & Salas, R. N. (2007). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia* (p. 934). Pearson Educación. Retrieved from <http://books.google.com.co/books?id=ehxKXip1j6EC>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

FIRMA ESTUDIANTES \_\_\_\_\_ 

FIRMA ASESORES \_\_\_\_\_ 

\_\_\_\_\_  
*Gloria E. Becerra T.*

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_ Junio 25 de 2014

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO \_\_\_\_ ACEPTADO \_\_\_\_ ACEPTADO CON MODIFICACIONES \_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_  
 FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_  
 FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_