



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## DIRECCIÓN DE POSGRADO

### MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

### MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**Título:**

---

Análisis de la intensidad de radiación del campo magnético producido en un transformador de 300kVA y su incidencia en la salud de los estudiantes del ISTC

---

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Electricidad  
mención Sistemas Eléctricos de Potencia

**Autor:**

Villamarin Reinoso Juan Vinicio

**Tutor:**

MSc. Luis Rolando Cruz Panchi

**LATACUNGA –ECUADOR**

**2021**

## **AVAL DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “Análisis de la intensidad de radiación del campo magnético producido en un transformador de 300kVA y su incidencia en la salud de los estudiantes del ISTC” presentado por Villamarin Reinoso Juan Vinicio, para optar por el título Magíster en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia.

## **CERTIFICO**

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, agosto, 13, 2021



MSc. Luis Rolando Cruz Panchi

C.C. 0502595176

## AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: Análisis de la intensidad de radiación del campo magnético producido en un transformador de 300KVA y su incidencia en la salud de los estudiantes del ISTC, ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Electricidad; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, octubre, 25, 2021



.....  
MSc. Wilian Patricio Guamán Cuenca

0603578956

Presidente del tribunal



.....  
MSc. Marco Aníbal León Segovia

0502305402

Lector 2



.....  
MSc. Jimmy Xavier Toaza Iza

1717621062

Lector 3

## DEDICATORIA

Dedico de manera especial a mi esposa quien me apoyado en todo momento para llegar hasta el final, a mis hijos quienes han sido mi mayor inspiración para no rendirme y llegar a ser un ejemplo para ellos.

También a mis padres por enseñarme el camino del bien y forjarme como la persona que soy ahora.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por brindarme salud y fuerzas para cumplir con mis metas y sueños.

A mi esposa por su apoyo incondicional en todo momento.

A mis padres por su apoyo moral.

A mi tutor Ing. Luis Cruz y todas las personas que me apoyaron en este transcurso académico.

## RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, octubre, 25, 2021

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a horizontal line at the bottom, positioned above a dotted line.

Juan Vinicio Villamarin Reinoso, Ing.

0502544174

## RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, octubre, 25, 2021

A handwritten signature in blue ink, consisting of several large, overlapping loops and a horizontal line at the bottom, positioned above a dotted line.

Juan Vinicio Villamarin Reinoso, Ing.

0502544174

## **AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: Análisis de la intensidad de radiación del campo magnético producido en un transformador de 300KVA y su incidencia en la salud de los estudiantes del ISTC, contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, octubre, 25, 2021



.....  
**MSc. Wilian Patricio Guamán Cuenca**

**0603578956**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD**  
**MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

**Título:** Análisis de la intensidad de radiación del campo magnético producido en un transformador de 300kVA y su incidencia en la salud de los estudiantes del ISTC

**Autor:** Villamarin Reinoso Juan Vinicio

**Tutor:** Luis Rolando Cruz Panchi, MSc.

**RESUMEN**

En la actualidad la preocupación por las radiaciones magnéticas que nos rodean a crecido significativamente por su incidencia en la salud, incentivando a la investigación con el objeto de reducir y mantener un control sobre ellas. Dentro de este entorno el presente trabajo se centra en el análisis de datos levantados en tiempo real en el transformador, laboratorio, cables de media y baja tensión en el Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, para determinar que las mediciones expuestas se encuentran dentro de los límites permisibles de acuerdo a la normativa establecida. En este sentido asentado sobre la base de una investigación descriptiva se concluye que el nivel de exposición en las zonas vulnerables no supera los umbrales señalados, sin afectar a la integridad de las personas.

**PALABRAS CLAVE:** Campo magnético; magnetismo; radiación; análisis de datos

**UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCION DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD**  
**MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

**Title:** Analysis of the radiation intensity of the magnetic field produced in a 300kva transformer and its impact on the health of ISTC students

**Author:** Villamarin Reinoso Juan Vinicio

**Tutor:** Luis Rolando Cruz Panchi, MSc.

**ABSTRACT**

At present, the concern about magnetic radiation that surrounds us has grown significantly due to its incidence on health, encouraging research in order to reduce and maintain control over them. Within this environment, the present research focuses on the analysis of data collected in real time in the transformer, laboratory, medium and low voltage cables at the “Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi”, to determine that the exposed measurements are within the permissible limits according to the established regulations. In this sense, based on a descriptive research, it is concluded that the level of exposure in vulnerable areas does not exceed the thresholds indicated, without affecting the integrity of the people.

**KEYWORDS:** Magnetic field; magnetism; radiation; analysis of data

Rosales Pijal Verónica Alexandra con cédula de identidad número: 1003106984. Licenciada en Idiomas con número de registro de la SENESCYT: 1005-15-86071967; CERTIFICO haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: Análisis de la intensidad de radiación del campo magnético producido en un transformador de 300kVA y su incidencia en la salud de los estudiantes del ISTC de: Villamarin Reinoso Juan Vinicio, aspirante a Magister en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia

Latacunga, octubre, 25, 2021



.....  
MSc. Rosales Pijal Verónica Alexandra  
CC. 1003106984

## INDICE DE CONTENIDOS

### CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA METODOLOGICA

1.1	Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte..	6
1.2	Fundamentación Teórica .....	13
1.2.1	Efectos de los CEM sobre la materia y los organismos .....	13
1.2.2	Efectos de los campos magnéticos en la salud de las personas.....	14
1.2.3	Normativa a nivel mundial.....	16
1.2.4	Normativa en Ecuador.....	18
1.2.5	El campo magnético .....	18
1.3	Fundamentación metodológica.....	20
1.4	Conclusiones Capítulo I .....	20

### CAPÍTULO II. PROPUESTA

2.1	Título del proyecto .....	21
2.2	Objetivo del proyecto .....	21
2.3	Descripción de la propuesta.....	21
2.4	Metodología o procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados .....	21
2.4.1	Áreas de análisis.....	23
2.4.2	Instrumento de medida.....	23
2.4.3	Adquisición de datos .....	26
2.4.4	Análisis estadístico.....	28
2.4.5	Cálculo de campos magnéticos en conductores de BT y MT .....	32
2.4.6	Cálculo de campo magnético en transformador de potencia .....	34
2.4.7	Simulación de campos magnéticos en conductores de MT y BT ...	36
2.5	Conclusiones Capítulo II .....	40

### CAPÍTULO III. VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

3.1	Análisis de resultados .....	41
-----	------------------------------	----

3.1.1	Datos para medición cálculo y simulación.....	41
3.1.2	Campo magnético generado por el transformador .....	44
3.1.3	Campo magnético generado por cables de media tensión .....	46
3.1.4	Campo magnético generado por cables de baja tensión.....	48
3.1.5	Campo magnético en el laboratorio .....	50
3.1.6	Representación global del campo magnético en la institución .....	51
3.1.7	Análisis de resultados y contrastación con normativa .....	53
3.2	Evaluación de expertos.....	55
3.3	Conclusiones del capítulo III.....	55
4	Conclusiones y recomendaciones .....	56
	Referencias bibliográficas.....	47
	Anexos.....	50

## INDICE DE TABLAS

Tabla I. Tareas en relación a objetivos.....	4
Tabla II. Diferencias entre efectos mediatos e inmediatos .....	7
Tabla III. Valores de exposición ocupacional internacional.....	17
Tabla IV. Valores de exposición pública internacional .....	17
Tabla V. Valores límite de exposición local .....	18
Tabla VI. Datos para cálculo y simulación .....	43
Tabla VII. Contraste según normativa .....	54

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sala de espera y examen de pacientes en el piso superior de la estación de transformadores de potencia.....	9
Figura 2. Variaciones del campo magnético en el piso superior después del apantallamiento con el acero inoxidable (430). .....	10
Figura 3. Intensidad del campo magnético frente a la distancia del transformador con diferentes corrientes de pico (400, 600, 1000, 1400, 1800 A) .....	10
Figura 4. Gráficos de contorno de campo .....	11
Figura 5. Distribución espacial de la intensidad del .....	11
Figura 6. Línea de distribución .....	12
Figura 7. Mediciones de campo magnético alrededor de la línea de .....	12
Figura 8. Representación de la ley de Biot-Savart.....	18
Figura 9. Sentido del campo magnético.....	19
Figura 10. Diagrama de componentes Fluxímetro.....	24
Figura 11 Enlace de flujo con una bobina de inducción filamentaria ideal .....	24
Figura 12. Medidor de campo magnético .....	26
Figura 13. Distancias de muestreo en el transformador.....	27
Figura 14. Canalización 13,8kV (Distancias) .....	27
Figura 15. Canalización 220V (Distancias) .....	28
Figura 16. Laboratorio (Distancias) .....	28
Figura 17. Campana de Gauss.....	29
Figura 18. Histograma.....	30
Figura 19. Distribución porcentual del área bajo la curva .....	31
Figura 20. Punto de medición con respecto al conductor .....	33
Figura 21. Corrientes y campos magnéticos en las barras .....	35
Figura 22. Creación del problema.....	37
Figura 23. Representación geométrica de elementos.....	38
Figura 24. Nombres de bloques y contornos.....	38
Figura 25. Datos de permeabilidad, potencial y corriente .....	39
Figura 26. Izquierda: Mallado. Derecha: Resultados.....	40

Figura 27. Puntos de análisis.....	42
Figura 28. Detalle área de transformador y laboratorio .....	43
Figura 29. Medición de campo magnético en el transformador.....	44
Figura 30. Cálculo de campo magnético en el transformador .....	45
Figura 31. Simulación de campo magnético en el transformador.....	45
Figura 32. Medición de campo magnético en cables de MT .....	46
Figura 33. Cálculo de campo magnético en cables de MT .....	47
Figura 34. Simulación de campo magnético en cables de MT .....	47
Figura 35. Medición de campo magnético en cables de BT .....	48
Figura 36. Cálculo de campo magnético en cables de BT .....	49
Figura 37. Simulación de campo magnético en cables de BT .....	50
Figura 38. Curva en función del campo magnético en el laboratorio .....	50
Figura 39. Medición de campos magnéticos en 3D .....	52
Figura 40. Cálculo de campos magnéticos en 3D .....	52
Figura 41. Simulación de campos magnéticos en 3D .....	53

### Lista de abreviaturas, signos y símbolos

kV	Kilovoltios
kVA	Kilovoltamperio
EEQ	Empresa Eléctrica Quito
A	Amperios
T	Tesla
$\mu$ T	Microtesla
m	Metros
mm	Milímetros
f	Frecuencia
MT	Media tensión
BT	Baja tensión
Hz	Hercios
kHz	Kilohercios
GHz	Gigahercios
$\mu_0$	Permeabilidad magnética del vacío
CEM	Campos electromagnéticos
CM	Campos magnéticos
EMF/ELF EMF-200	Equipo de medición de campos magnéticos
ISTC	Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi

## INTRODUCCIÓN

**Antecedentes:** Para este proyecto se relaciona la línea de investigación enfocada a energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental, de las cuales se deriva una sub línea orientada a la conversión y uso racional de la energía encaminada a la sostenibilidad energética y medio ambiente, que relaciona la seguridad de las personas en espacios públicos libres de contaminación magnética generada por elementos eléctricos como son transformadores y conductores.

Esta investigación se encuentra en estrecha relación con el aspecto ambiental porque garantiza la “implementación de sistemas constructivos seguros y energéticamente eficientes en zonas de alta exposición a amenazas de origen natural y antrópico” [1]. Es decir, considerando las directrices y lineamientos territoriales del plan de desarrollo nacional, es pertinente analizar las zonas de mayor vulnerabilidad a exposición de campos magnéticos, en especial en áreas donde se desarrolla actividades académicas con el fin de garantizar la salud de las personas en base a normativas de seguridad.

“Para la evaluación de resultados de estudios realizados con referencia a campos magnéticos, la OMS (Organización Mundial de la Salud) reconoce a la ICNIRP (Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante), que elabora directrices en las que establece límites de exposición recomendadas” [2].

La constante exposición de las personas a campos magnéticos de diferente origen (líneas eléctricas y transformadores) es preocupante por los posibles efectos que puede causar en la salud, por otro lado, el crecimiento poblacional, demanda el uso constante de energía para el desarrollo de múltiples actividades. En la actualidad existen investigaciones que permite a organismos de control establecer límites de exposición para salvaguardar la integridad de las personas. Entre las instituciones destacadas están: “Asociación Internacional para la Protección Radiológica (IRPA), Instituto Nacional de Normativa de Estados Unidos (ANSI), Comisión Internacional para la Protección contra la Radiación no Ionizante (ICNIRP) y Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC)” [3].

En este orden de ideas, la investigación se fundamenta en el desarrollo del contexto del **planteamiento del problema** que a continuación se expone, tomando como premisa una perspectiva de salud indicando que por encima de determinados umbrales los campos magnéticos puedan desencadenar efectos biológicos a mediano y largo plazo, desestabilizando el bienestar de las personas. “Algunas personas han atribuido un conjunto difuso de síntomas (dolores de cabeza, ansiedad, depresiones, náuseas, fatiga y pérdida de la libido) a la exposición de baja intensidad de campos magnéticos” [4].

En los últimos tiempos los campos magnéticos han incidido en la contaminación ambiental por radiaciones no ionizantes de baja frecuencia en especial en ambientes habitados, por el constante uso de la energía eléctrica para el funcionamiento de los diferentes aparatos eléctricos, electrónicos, electrodomésticos, máquinas eléctricas, conductores, usados para la ejecución de actividades en el ámbito domiciliario, industrial, comercial, educativo, etc. En este sentido es considerable realizar investigaciones en búsqueda de métodos atenuantes que reduzca la exposición y el riesgo de afectaciones en la salud de las personas, por otro lado, socializar sobre las posibles causas que puede perjudicar la integridad en los seres vivos si sobrepasa los límites permitidos

En este contexto el ISTC (Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi), objeto de estudio de la investigación, es una institución dedicada a la formación de profesionales de nivel superior en diferentes áreas técnicas como electricidad, electromecánica y reparación de motores, siendo éstas las carreras predominantes en la institución constituyendo un ente inclusivo en aspectos como género, raza y culturas de diferentes sectores del país. Se encuentra ubicado en el cantón Latacunga, provincia Cotopaxi.

En la actualidad la institución cuenta con 1400 estudiantes y 80 docentes desarrollando actividades académicas en aulas y laboratorios que se encuentran cercanos a la cámara de transformación y acometidas de media y baja tensión, en donde surge la necesidad de determinar y analizar la cantidad de campo magnético influyente en las áreas académicas circundantes, permitiendo investigar posibles efectos en la salud de los estudiantes.

En referencia a lo indicado anteriormente, la **Formulación del problema** resulta del conocimiento de riesgo que produce una constante cercanía a la inducción magnética generada por un transformador de potencia y los conductores, incidiendo de manera directa en el desempeño académico de los estudiantes del Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi.

Para resolver esta problemática se presenta como **Objetivo General**, evaluar la magnitud de afectación por radiación magnética producidos en un transformador de potencia y conductores eléctricos, mediante la recolección de datos en diferentes zonas con el instrumento de medición EMF 200, afianzando los resultados mediante cálculos y simulación para contrastar con normativas establecidas y determinar si se encuentra dentro de los límites admisibles.

Los **Objetivos Específicos** comprende en indagar sobre los límites de radiación magnética que especifica normativas locales e internacionales para evitar afectación en las personas. Procesar datos de campos magnéticos en áreas circundantes al transformador de potencia, conductores de MT y BT mediante técnicas estadísticas y métodos de cálculo generando un criterio de verificación. Analizar los resultados obtenidos, calculados y simulados contrastando con normativas de protección, para valorar si se encuentra dentro de los límites admisibles.

**Sistemas de tareas en relación a los objetivos específicos:**

TABLA I  
TAREAS EN RELACIÓN A OBJETIVOS

Objetivos específicos	Actividad (tareas)	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
Indagar sobre los límites de radiación magnética que especifica normativas locales e internacionales para evitar afectación en las personas	Identifica límites de radiación magnética con valores en el ámbito ocupacional y público, con base a normativas establecidas	Conoce los límites de exposición de campos magnéticos con el fin de evitar efectos que puede afectar a la salud de las personas	Investigación bibliográfica
Procesar datos de campos magnéticos en áreas circundantes al transformador de potencia, conductores de MT y BT mediante técnicas estadísticas y métodos de cálculo generando un criterio de verificación	Adquisición de datos bajo normativas utilizando un instrumento de medida. Se aplicará métodos de cálculo y simulación en base a datos de corriente	Los datos encontrados durante la investigación permitirán valorar los resultados en diferentes áreas y tiempos con diferentes métodos	Investigación descriptiva
Analizar los resultados contrastando con normativas de salud y protección, para valorar si se encuentra dentro de los límites admisibles	Elaborar medios de análisis y comparación para establecer rangos de afectación	Compara los resultados obtenidos con normativas y determina si existe riesgo a la exposición de campos magnéticos	Método cualitativo

El presente proyecto de investigación asienta su **justificación** sobre el aporte que proporciona en el área de la electricidad y electromagnetismo ligado a las afectaciones de salud, con la finalidad de establecer una investigación científica con un enfoque cualitativo mediante la observación en campo y llevadas a un análisis, cuantificando los valores reales y comparando con umbrales seguros de exposición, asegurando la salud de los estudiantes y docentes. El estudio tendrá un alcance a corto y mediano plazo, por medio de la socialización de resultados y recomendación

de acciones de seguridad en el caso de que los valores recopilados superen los límites permitidos, a los principales beneficiarios como son los estudiantes y docentes que conforman la comunidad académica del Instituto, representando un alto impacto a favor de la salud de todos.

### **Hipótesis**

Los campos magnéticos producidos por un transformador de potencia y líneas eléctricas están por debajo de los límites admisibles estipulados por normativas, en el Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi.

## **CAPÍTULO I FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA- METODOLÓGICA**

### **1.1 Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte**

Según las investigaciones de realizadas por la ICNIRP (Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante), los campos magnéticos de baja frecuencia inciden de manera directa en la salud de las personas a corto y largo plazo[5].

Los campos magnéticos son generados por conductores que alimentan una carga apareciendo una corriente que fluye a través de ellos produciendo así a su alrededor una radiación proporcional a la intensidad, en este sentido las personas que se encuentran en mayor riesgo de exposición son los operadores que realizan mantenimientos de líneas vivas en medio y bajo voltaje [6].

De acuerdo a los razonamientos que se han venido realizando, Macías [8] indica que las personas pueden tener efectos en su salud por una interacción directa, es decir si el campo es considerablemente bajo no producirá ningún problema, hasta el momento no se ha identificado un mecanismo que por debajo de los campos de 5  $\mu\text{T}$  podría provocar una interacción que surge un efecto en todo el cuerpo, posiblemente se tenga que exponer a más de 50  $\mu\text{T}$  para que la radiación sea lo suficientemente grande como para producir daños en la salud, como por ejemplo se puede relacionar con una de las enfermedades en niños como es la leucemia infantil, cuyos datos son estadísticas de diferentes investigaciones realizadas.

Por su parte Acuña [2] indica que los campos magnéticos afecta a las personas, sin embargo no todas las exposiciones son negativas en este sentido considerando como afectaciones directas e indirectas, un ejemplo de este último es la inducción en los diferentes órganos y fluidos de los seres vivos, en este mismo orden de ideas, una directa se enfoca a la falla inducida por ese mismo campo sobre el marcapasos de

un enfermo cardiaco, cabe agregar que estos efectos pueden ser a corto y largo plazo, manifestándose el primero de diferentes maneras, por ejemplo, mediante la estimulación nerviosa o muscular, la vibración de los pelos de la piel, etc., de la misma manera, existen estudios epidemiológicos que demuestran una correlación entre distintos tipos de cáncer, en este orden de ideas en la tabla 1 se muestran las diferencias entre los efectos mediatos e inmediatos, comprobados o sospechados del campo magnético.

**TABLA II**  
**DIFERENCIAS ENTRE EFECTOS MEDIATOS E INMEDIATOS [2]**

	<b>Efectos inmediatos</b>	<b>Efectos mediatos</b>
<b>Tipo de exposición</b>	Instantánea, con fuentes valores de campo	Acumulada, con bajos valores de campo
<b>Niveles críticos</b>	1000 - 10000 $\mu$ T	0,2 - 4 $\mu$ T
<b>Manifestación invocada</b>	Percepción dérmica. Estimulación nervioso muscular	Cáncer. Alteración de la función reproductora
<b>Reconocimiento</b>	Aceptado	Controvertido
<b>Estudios realizados y a realizar</b>	Normalización. Trabajos en tensión	Epidemiológicos, biológicos análisis de riesgo
<b>Naturaleza del problema</b>	Técnica	Política y comunicación
<b>Impacto</b>	Lugares públicos y de trabajo	Lugares públicos de trabajo y hogar

Como sostienen Ozen *et al* [7], los niveles de campo magnético en la subestación transformadora de 31,5 kV / 0,4 kV (MV) de un edificio médico, varían entre 1 y 4,67  $\mu$ T. En la sala de control y medición, los niveles de campo magnético se midieron en un rango de 1,74 a 27  $\mu$ T y los niveles de campo magnético de la sala de espera del paciente difieren entre 0,451 a 2,15  $\mu$ T. Si los empleados están expuestos a estas intensidades de campo magnético medidas, las corrientes inducidas en su cuerpo estarán por debajo de los límites de la ICNRP. Sin embargo, estudios recientes han demostrado que los valores de campo magnético de 0,4 a 0,3  $\mu$ T y superiores aumentan el riesgo de leucemia para la población en general y los niños, especialmente alrededor de las líneas eléctricas.

Con referencia a lo anterior los niveles de campo magnético de la sala de espera del paciente y la sala de policlínica deben reducirse por debajo de  $0,4 \mu\text{T}$ . Para ello, en los edificios hospitalarios se deben tomar las medidas necesarias determinando los niveles de campo magnético durante la fase de proyecto. La subestación transformadora debe estar blindada para bajas frecuencias para que se pueda reducir el nivel del campo magnético. En este estudio, se redujo en un 15% a  $0,3 \mu\text{T}$  utilizando material de protección de acero inoxidable de 2,5 mm [7].

Los campos eléctricos pueden protegerse fácilmente con una ropa conductora basada en el principio de la jaula de Faraday, pero solo la ropa diseñada y fabricada adecuadamente puede garantizar la eficiencia requerida. Este principio de blindaje de campos eléctricos no es efectivo contra campos magnéticos [8]. Los resultados de los cálculos, simulaciones y mediciones demuestran que en algunos casos los campos magnéticos inducidos en el cuerpo del trabajador en línea exceden los límites actuales definidos por ICNIRP. Este riesgo causado por la falta de protección adecuada contra los campos magnéticos pone en peligro la seguridad de los trabajadores y es inaceptable por cualquier período de tiempo durante cualquier método de línea activa [6].

El uso de la energía eléctrica se ha vuelto una necesidad básica para el desarrollo de actividades laborales y académicas por lo que:

La comunidad en general se encuentra cada vez más expuesta a campos electromagnéticos, debido al uso generalizado y extendido de la electricidad, es por esta razón, que hace décadas existe una preocupación por parte de la comunidad científica y medio ambiental, acerca del posible efecto perjudicial que los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja, 50-60 [Hz], producen sobre la salud, este último es aún una pregunta abierta, puesto que no se ha podido demostrar a cabalidad un efecto perjudicial, aunque ha sido reconocido y demostrado que existe una interacción de este tipo de campos con los seres humanos [9].

El uso de la energía eléctrica permite el movimiento de máquinas eléctricas y cualquier aparato que funcione con la ayuda de la corriente, lo cual permite la aparición de campos magnéticos, siendo este directamente proporcional a la intensidad, es decir a mayor corriente mayor radiación de magnetismo. “Por tratarse

de radiaciones no ionizantes (RNI) de frecuencias muy bajas y longitudes de onda relativamente largas, los CEM poseen muy baja energía, un millón de veces menor que la necesaria para romper enlaces químicos y por lo tanto son incapaces de producir una ionización” [3].

Ozen S. *et al* [7] en su artículo denominado análisis de riesgo de campo magnético para empleados y pacientes debido a transformadores de potencia en edificios de hospitales (figura 1), analiza los niveles de radiación en las unidades de inspección y admisión de pacientes que se ubican alrededor de la estación de transformación.

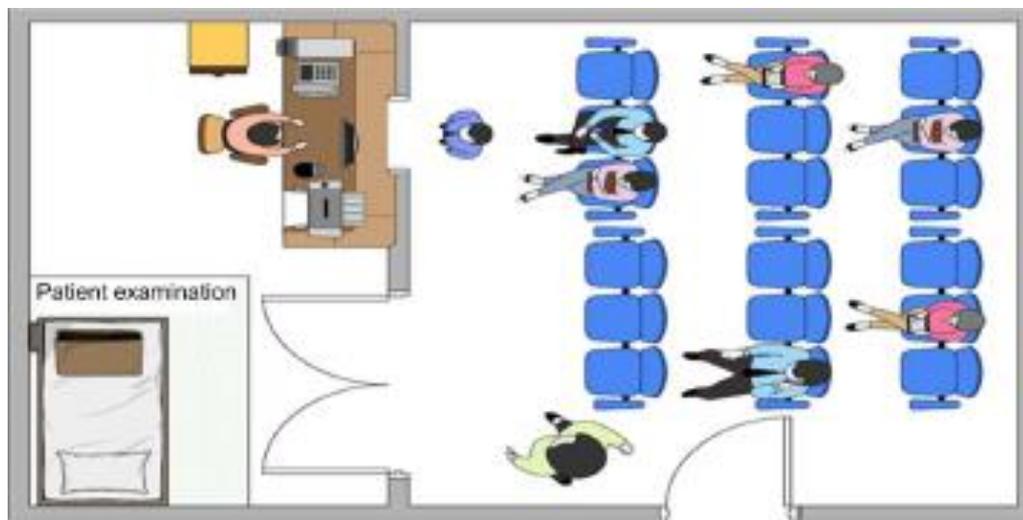


Figura 1. Sala de espera y examen de pacientes en el piso superior de la estación de transformadores de potencia

Los niveles de campo magnético medidos en estas áreas oscilan desde 1 a 4,67  $\mu\text{T}$  en la sala de transformadores y 1,74 a 27  $\mu\text{T}$  en la sala de control, valores que se encuentran por debajo de los límites admisibles por las normativas. Sin embargo, para reducir las posibles afectaciones en niños que puede causar leucemia se sugiere un umbral por debajo de 0,4  $\mu\text{T}$ , para lo cual el investigador recomienda el apantallamiento con láminas de acero inoxidable, que alcanza una reducción mostrada en la figura 2.

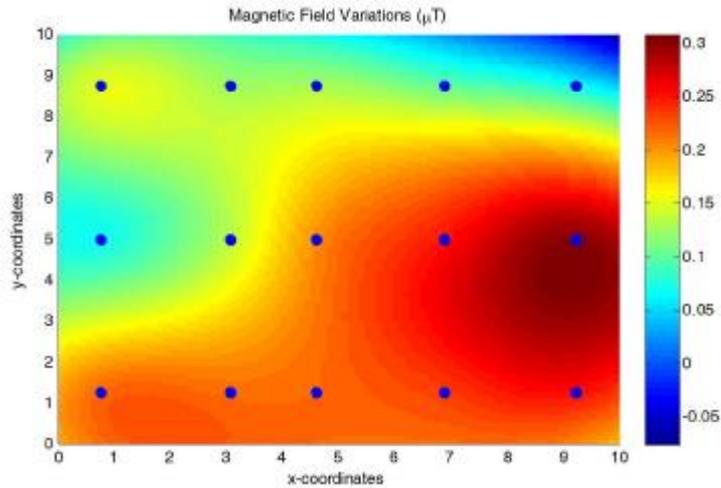


Figura 2. Variaciones del campo magnético en el piso superior después del apantallamiento con el acero inoxidable (430).

Apaydin G. [10] indica el estudio teórico y experimental de campos electromagnéticos alrededor de un transformador de potencia usando un instrumento de medida HI-3604 (figura 3). En este sentido menciona que la radiación producida por el transformador se mantiene alta a su alrededor de la superficie y a medida que se aumenta la distancia disminuye los niveles de exposición. Sin embargo, los generadores de campo magnético más importantes son los cables de acometida en media y baja tensión.

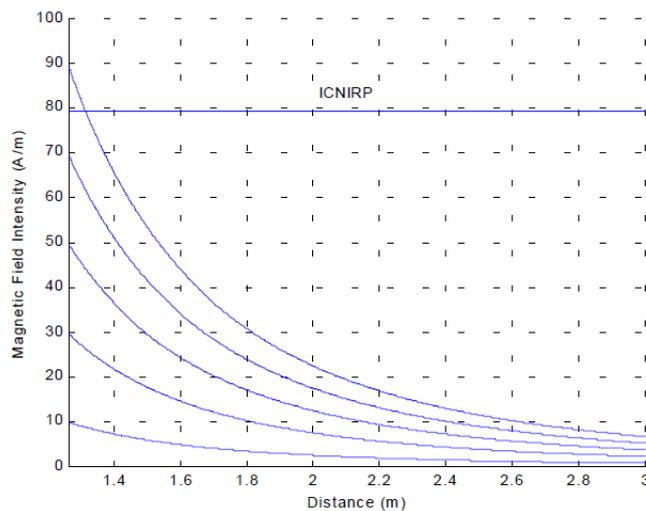


Figura 3. Intensidad del campo magnético frente a la distancia del transformador con diferentes corrientes de pico (400, 600, 1000, 1400, 1800 A)

Los campos magnéticos medidos en el transformador arrojan resultados de 0,82 y 3,82 A/m para una distancia de 2,5 m, con una corriente de 150 A en el lado de baja y 70 en el lado de alta. Los valores reales son superiores a los calculados por la influencia magnética de otros equipos.

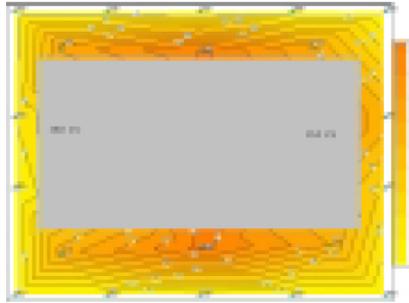


Figura 4. Gráficos de contorno de campo magnético para 380kV / 154kV Tr

Nikolovski S. [11] presenta cálculos de los campos eléctricos y magnéticos de barras colectoras complejas, transformadores y transmisiones y estructuras de líneas de transmisión en la central de transmisión 400/110 kV Ernestinovo donde las fuentes fundamentales de campos electromagnéticos de baja frecuencia son los elementos primarios de las subestaciones abiertas de 400 y 110 kV, así como las líneas aéreas conectadas de 400 kV y 110 kV. Para resolver esta problemática el autor se apoya en un modelo matemático y un software CDEGS que permite una visualización de resultados en un plano 3D (figura 5).

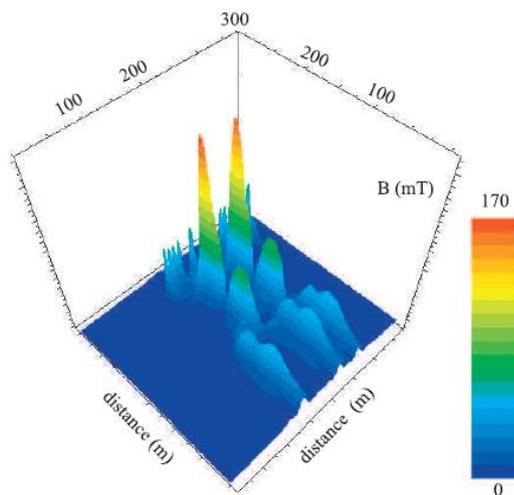


Figura 5. Distribución espacial de la intensidad del campo eléctrico dentro de TS Ernestinovo

Para la densidad del campo magnético solo una pequeña región debajo de las barras colectoras de 400 y 110 kV que conectan los transformadores de potencia excede los niveles máximos permitidos que en su artículo sita a  $100 \mu\text{T}$ .

Farag S. *et al* [12] exhibe que los cables subterráneos se identifican como una de las principales fuentes de campos magnéticos peligrosos, variando significativamente el patrón de instalación, que depende de la posición de los conductores, profundidad, etc., que afectan la medida alrededor del conductor. Para lo cual se utiliza diferentes instrumentos de medida para reducir la incertidumbre. Siendo el objetivo principal investigar el campo magnético en la región ubicada sobre la instalación para varios casos, identificando la disposición que proporciona un campo mínimo para varios circuitos de sistemas de distribución, utilizando un simulador como técnica de comparación.



Figura 6. Línea de distribución

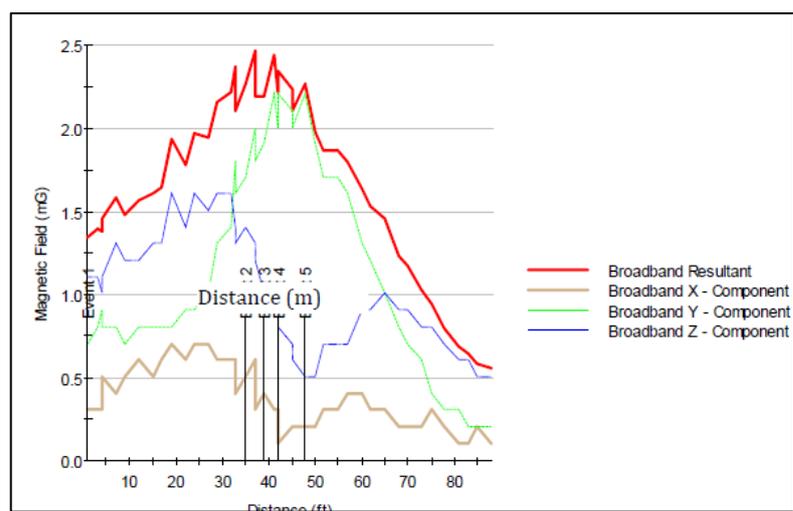


Figura 7. Mediciones de campo magnético alrededor de la línea de distribución y componentes de campo

El campo magnético producido por el cable subterráneo varía significativamente con los métodos de instalación y la disposición de fases. Se noto a partir del cálculo que para una configuración triangular para dos cables por fase (6 conductores) emite un valor mayor que el resto, mientras que la misma disposición para un conductor por fase (3 conductores) reduce los valores de campo magnético, si mismo la configuración plana entrega los máximos valores de radiación. Además, el valor mínimo por dos cables por disposición de fase se tiene 4,28 mG y un máximo de 7,67 mG. Concluyendo que la reducción de exposición se puede lograr con una mayor profundidad al momento de enterrar los cables (figura 7).

## **1.2 Fundamentación Teórica**

### **1.2.1 Efectos de los CEM sobre la materia y los organismos**

Rathebe Phoka en su investigación realizada en la Universidad de Johannesburgo habla sobre el estado de la exposición ocupacional a los campos magnéticos estáticos emitidos por las unidades de resonancia magnética, particularmente en los entornos de atención médica, creando un entendimiento sobre las implicaciones para la salud ocupacional que se desarrollan como resultado de la exposición a campos electromagnéticos al trabajar con escáneres de resonancia magnética. Además, expone que existe escasez de información sobre los efectos a largo plazo en la salud, por la exposición a campos magnéticos estáticos y la asociación entre la magnitud, frecuencia y duración de la exposición [13].

...las energías y fuerzas ejercidas por los CEM parecen estar muy por debajo de aquellas presentes en los sistemas biológicos, es decir, las células normales operan bajo condiciones de energía y fuerzas tales que los efectos de los CEMs de 60 Hz se perderían en este “fondo”; las corrientes de contacto que ocurren en los hogares o en los lugares de trabajo cuando las personas tocan dos superficies conductoras que están a voltajes eléctricos diferentes, han surgido como una explicación posible de la exposición [14].

La instituciones y organismos dedicados al estudio de afectaciones a la salud que puede causar los campos magnéticos, mediante diversas investigaciones realizadas alrededor del mundo han determinado que los ensayos ejecutados en roedores arrojan valores negativos ante la provocación de leucemia infantil, pero sin

embargo si se encuentra en una constante exposición puede causar daño en los tejidos ocasionando efectos en la médula ósea del niño [15].

Para evaluar los posibles efectos de los campos magnéticos en la salud conlleva a realizar diferentes estudios en diferentes áreas de la investigación, entre estos se puede destacar tres tipos que se son: “a) los que utilizan cultivos celulares, b) los realizados sobre animales de experimentación y c) los estudios epidemiológicos en humanos”[3], con lo mencionado anteriormente y los análisis realizados, las conclusiones es el resultado de una evaluación minuciosa que permite a los investigadores emitir informes sobre los efecto que puede causar los CM.

A continuación establece una relación directa de las causas de exposición a CM y los efectos nocivos que puede generar en los seres vivos, en este sentido, se argumenta que: “a) asociación persistente y fuerte entre la exposición y el efecto, b) relación clara entre dosis y respuesta, c) explicación biológica creíble, d) resultados favorables de estudios pertinentes con animales y e) coherencia entre los diferentes estudios”[16]. Por otro lado, algunos investigadores se resisten atribuir a los campos magnéticos de baja intensidad como causantes de afectar la salud de las personas en especial a los efectos cancerígenos [6].

En los marcos de las observaciones anteriores establece que los estudios realizados no contemplan investigaciones concretas a cerca de las afectaciones a la salud a largo plazo cuando las personas se encuentran sometidas a campos magnéticos ya sea por transformadores o líneas eléctricas de diferentes frecuencias, pero sin embargo hay investigaciones que demuestran la incidencia de la radiación en diferentes enfermedades como leucemia o cáncer, que puede producirse por el constante contacto con los elementos antes mencionados, especialmente en niños que puede generar estos problemas por tratarse de ser un grupo vulnerable ante estas amenazas

### **1.2.2 Efectos de los campos magnéticos en la salud de las personas**

#### **Deterioros en la reproducción**

Al tratarse de la reproducción humana es preocupante los daños que puede ocasionar la exposición a los campos magnéticos, en este sentido [17] menciona que gran porcentaje de los abortos espontáneos son causados por el contacto que

tiene las personas en gestación con ambientes contaminados de CM, principalmente este problema existe al inicio del embarazo, estudios realizados ubican a este problema entre los principales causantes de abortos. Indica también que el riesgo no solamente proviene de cables energizados y transformadores sino de terminales de video y comunicaciones.

### **Efectos biológicos**

En su artículo Fustel *et al* [4] asegura que los efectos biológicos son respuestas medibles a un estímulo o cambio en el medio sin ser perjudiciales para la salud por lo que el organismo se adapta a numerosas y variadas influencias del ambiente. Por otro lado, los cambios irreversibles que mantienen a un sistema en tiempos muy prolongados son un riesgo para la salud. La exposición a los campos magnéticos estimula un efecto biológico detectable en el organismo, que provoca secuelas dañinas en los seres vivos cuando supera las posibilidades de compensación del organismo.

Cuando un sistema vivo es sensible a CEM de una determinada frecuencia, la exposición puede generar modificaciones funcionales o incluso estructurales del sistema. En condiciones normales, estas modificaciones son reversibles en el tiempo y cuando el estímulo desaparece el organismo vuelve a las condiciones de equilibrio inicial. Para que se produzcan alteraciones perjudiciales, las modificaciones inducidas tienen que ser irreversibles. Es en este caso cuando podemos esperar que el sistema entre en un proceso que conduzca, en el tiempo, a una situación de riesgo de enfermedad. Considerando que si se supera el umbral permitido a la exposición puede desencadenar efectos biológicos en la salud de las personas [4].

Sobre la base de las consideraciones anteriores existen efectos probados encausados a la frecuencia relacionando las afectaciones que puede generar por la diferencia de esta. Así por ejemplo la frecuencia inferior a 100kHz puede inducir cargas o corrientes eléctricas en los tejidos expuestos, ocasionando perturbaciones en el sistema nervioso o muscular. Mientras que los CEM de frecuencia entre 100kHz 10GHz puede absorber la energía irradiada provocando un aumento en la temperatura corporal, considerando que a menor frecuencia mayor es la penetración

del campo en los tejidos. En el mismo sentido con las frecuencias superiores a 10GHz la energía de afectación en los tejidos es mínima por la profundidad de penetración de la irradiancia es muy pequeña [4].

Dadas las condiciones que anteceden, a los CEM también se les atribuyen ciertos síntomas en las personas que se encuentran expuestas a estas radiaciones, como dolores de cabeza, ansiedad, depresión, fatiga, pérdida de la libido, a pesar que no se han demostrado también se ha considerado casos de irritación ocular y cataratas en trabajadores expuestos en su mayoría del tiempo a radiación de radiofrecuencia. En la misma línea el estudio de efectos cancerígenos es muy controvertida por la falta de investigaciones concretas y puntuales, de la misma manera se considera el incremento de riesgo de leucemia infantil asociados a la exposición de campos magnéticos de baja frecuencia en el ambiente [4].

### **Cáncer**

Diferentes estudios indican que la radiación electromagnética de baja frecuencia emitida por elementos de radio, comunicación, conductores, etc., aumenta la posibilidad de desarrollar una variedad de enfermedades como: leucemia, cáncer de mama, cáncer en testículos, tumores cerebrales, entre otros; todo esto depende del organismo de cada persona y al tipo de enfermedad que adquiera, en este sentido se atribuye con alta certeza a leucemia en niños y cáncer cerebral en adultos, por otro lado el de menor preocupación es el cáncer de mama y cáncer cerebral en menores [17].

#### **1.2.3 Normativa a nivel mundial**

El presente apartado habla sobre el marco legislativo y normativo referente a la exposición a campos magnéticos. Como puede observarse a continuación, la organización ICNIRP considera en su guía publicada en 1998 [18], la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos, cuyas pautas fueron consideradas por varios países alrededor del mundo. Específicamente en las tablas 6 y 7 del documento indica valores límites de exposición ocupacional y publica, significa entonces que para una frecuencia de 60 Hz corresponde un límite de 416,66  $\mu$ T y 83,33  $\mu$ T respectivamente.

TABLA III  
VALORES DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL INTERNACIONAL

Rango de frecuencia	Densidad de flujo magnético [T]
1 Hz – 8Hz	$0,2/f^2$
8Hz – 25Hz	$2,5 \times 10^{-2}/f$
25Hz – 300Hz	$1 \times 10^{-3}$
300 Hz – 3kHz	$0,3/f$
3kHz – 10MHz	$1 \times 10^{-4}$

Dadas las condiciones que anteceden la comisión internacional ICNIRP, en 2010 actualizó las directrices de su normativa [19], que hace referencia hasta la actualidad, en la cual detalla valores de exposición ocupacional y pública. Tal como se observan en las tablas III y IV indica las recomendaciones descritas en el documento citado anteriormente, para distintas frecuencias de trabajo. En relación con este último para el presente estudio, se considera una frecuencia de 60Hz, perteneciendo a la tercera posición  $25 \leq f < 300\text{Hz}$ , lo que establece  $1000 \mu\text{T}$  para una exposición ocupacional y de  $200 \mu\text{T}$  para una exposición pública.

TABLA IV  
VALORES DE EXPOSICIÓN PÚBLICA INTERNACIONAL

Rango de frecuencia	Densidad de flujo magnético [T]
1Hz – 8Hz	$4 \times 10^{-2}/f^2$
8Hz – 25Hz	$5 \times 10^{-3}/f$
25Hz – 50Hz	$2 \times 10^{-4}$
50Hz – 400Hz	$2 \times 10^{-4}$
400Hz - 3kHz	$8 \times 10^{-2}/f$
3kHz – 10MHz	$2,7 \times 10^{-5}$

### 1.2.4 Normativa en Ecuador

Según el Ministerio del Ambiente manifiestan que los niveles de referencia para la exposición a campos eléctricos y magnéticos provenientes de fuentes de 60 Hz, para público en general y para personal ocupacionalmente expuesto, se encuentran establecidos en la tabla V.

TABLA V  
VALORES LÍMITE DE EXPOSICIÓN LOCAL

Tipo de exposición	Densidad de flujo magnético [ $\mu\text{T}$ ]
Público en general	83
Personal Ocupacionalmente Expuesto	417

### 1.2.5 El campo magnético

En [20] define la intensidad de campo eléctrico como la fuerza por unidad de carga sobre una carga de prueba en presencia de una segunda carga, donde aparece numerosos campos magnéticos, siendo medibles en un espacio físico. Según la ley de *Biot-Savart* la fuente de un campo magnético puede ser un imán permanente, un campo eléctrico que cambia linealmente con el tiempo o una corriente directa, en este sentido expresa la intensidad de campo magnético  $dH_2$  producida por un elemento diferencial de corriente  $I_1 dL_1$ , la dirección de  $dH_2$  es hacia adentro de la página (ver figura 8).

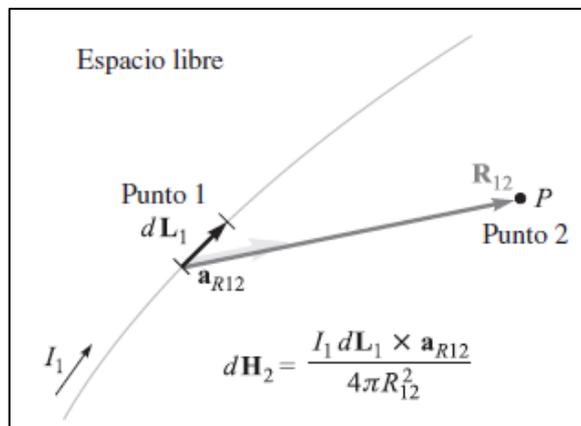


Figura 8. Representación de la ley de Biot-Savart

Sobre la base de las consideraciones anteriores el comportamiento del campo magnético en relación a la corriente en un conductor, expresa que:

Estos elementos diferenciales de corriente se pueden considerar como pequeñas secciones de un filamento conductor portador de corriente, donde el filamento es el caso límite de un conductor cilíndrico de sección transversal circular conforme el radio se aproxima a cero. Se supone una corriente  $I$  que fluye en un diferencial de longitud vectorial  $dL$  del filamento. La ley de *Biot-Savart* establece que en cualquier punto  $P$  la magnitud de la intensidad de campo magnético que produce el elemento diferencial es proporcional al producto de la corriente, la magnitud del diferencial de longitud y el seno del ángulo formado entre el filamento y la línea que lo conecta con el punto  $P$  en donde se busca el campo. La magnitud de la intensidad de campo magnético es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde el elemento diferencial al punto  $P$ . La dirección de la intensidad de campo magnético es normal al plano que contiene el filamento diferencial y a la línea dibujada desde el filamento hasta el punto  $P$ . De las dos normales posibles, se elige aquella que está en la dirección de avance de un tornillo derecho girado desde  $dL$  a través del ángulo más pequeño que forma con la línea desde el filamento hasta  $P$ . Utilizando unidades mks racionalizadas la constante de proporcionalidad es  $1/4\pi$  [20, p.211].

Cabe agregar que para determinar el sentido del campo magnético en un conductor de longitud infinita se puede aplicar la ley de la mano derecha, en dependencia del sentido de la corriente. Como se muestra en la figura 9, el conductor ingresa hacia la página por tal razón adopta el sentido de las manecillas del reloj.

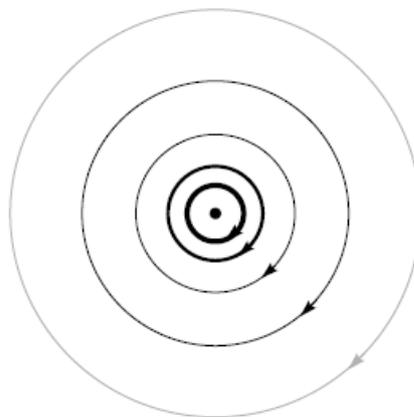


Figura 9. Sentido del campo magnético

### **1.3 Fundamentación metodológica**

Para el desarrollo de esta investigación se integra un método deductivo que permite un enfoque de lo general a lo específico que permite seguir un proceso para alcanzar una meta, ya que se deriva del método científico y va de ideas generales a conclusiones particulares, y el investigador funciona como principal instrumento de recopilación de información y análisis.

Asimismo, el diseño de la investigación es de campo, con apoyo en documental, desde los datos que se obtengan de la realidad, apoyados en una revisión bibliográfica especializada en el tema, lo que permite interpretar a profundidad la realidad observada. En este orden de ideas, el tipo de investigación es descriptiva, ya que, se estudia la cantidad de campos magnéticos para comprobar las medidas tomadas en el transformador, líneas de baja tensión, líneas de media tensión y áreas de laboratorio son nocivas para la salud de los estudiantes del Instituto Cotopaxi.

El tipo de investigación descriptiva también es fáctica, trasciende los hechos, utiliza el método deductivo, trabaja bajo el supuesto que el conocimiento científico es verificable, generaliza resultados encontrados en contextos o situaciones amplias, busca puntos de confirmación para las leyes generales [21].

### **1.4 Conclusiones Capítulo I**

El proyecto considera dentro de su desarrollo objetivos que orientan a la búsqueda de información sobre las afectaciones que puede causar a la salud, para este caso los estudiantes del Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, problemas que se pretende comprobar mediante la adquisición de datos y un posterior análisis, relacionando con normativas de salud que demostraran la hipótesis planteada. Es relevante mencionar que en este capítulo se menciona las principales teorías sobre campos magnéticos y los problemas que produce en los seres humanos cuando se tiene una gran exposición. De la misma manera se considera los métodos que se pretende utilizar durante la investigación y la finalización del proyecto, los mismos que fueron seleccionados por la necesidad de solventar una necesidad experimental.

## **CAPÍTULO II PROPUESTA**

### **2.1 Título del proyecto**

Análisis de la intensidad de radiación del campo magnético producido en un transformador de 300KVA y su incidencia en la salud de los estudiantes del ISTC.

### **2.2 Objetivo del proyecto**

Determinar cantidades de radiación de campo magnético que puede emitir un transformador de 300kVA y su incidencia en la salud de los estudiantes del ISTC.

### **2.3 Descripción de la propuesta**

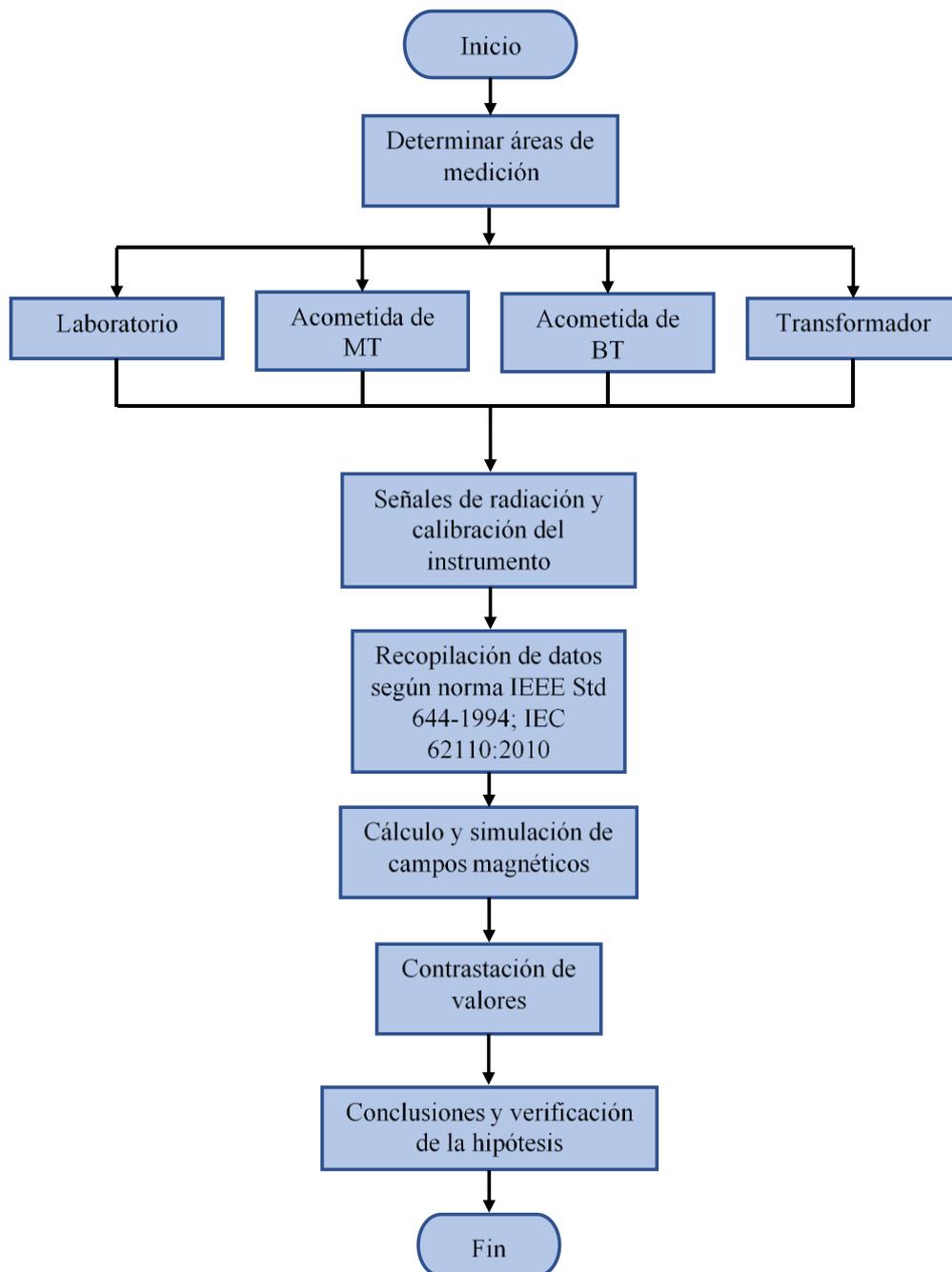
El proyecto se enfoca en la adquisición de datos y posterior análisis comparativo contrastando con normas establecidas y determinar si la radiación de campos magnéticos puede afectar a la salud de los estudiantes de la institución. El muestreo de datos se realizará con el equipo EMF/ELF EMF-200 que entrega datos de campo magnético en Tesla, los cuales serán considerados a diferentes distancias del transformador de 300kVA, conjuntamente acometidas de media y baja tensión y de áreas adjuntas como laboratorio y aulas. El equipo permite realizar mediciones en tres ejes diferentes x, y, z.

### **2.4 Metodología o procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados**

En el siguiente apartado se detalla los métodos empleados para recabar datos de campos magnéticos y el procedimiento empleado para adquirir valores que serán analizados. La metodología que se propone en este trabajo se encuentra detallada en el diagrama de flujo presentado a continuación donde se encuentran los pasos a

seguir para realizar el análisis de radiación magnética de un transformador de 300kVA, laboratorio, acometida de media y baja tensión. El proceso inicia con la toma de datos de radiación magnética a diferentes distancias de las áreas de estudio asignadas, obteniendo valores en micro tesla ( $\mu\text{T}$ ), para un posterior análisis estadístico, determinando las posibles afectaciones en la salud de los estudiantes, contrastando con normas citadas en el epígrafe anterior.

### Diagrama de flujo



### **2.4.1 Áreas de análisis**

El Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi es una institución de nivel superior que hospeda a muchos estudiantes que se encuentran distribuidos en diferentes aulas, laboratorios y talleres, etc., permaneciendo gran parte del día en estos espacios cumpliendo con sus obligaciones académicas, por tal razón se debe garantizar el bienestar y su salud. En consecuencia, se ha designado cuatro áreas que serán sometidas a análisis de radiación de campo magnético:

- La cámara de transformación ubicada en el extremo sur de la institución siendo una de las fuentes principales de radiación de campos magnéticos.
- El laboratorio que se encuentra junto a la cámara de transformación, convirtiéndose en un riesgo para los estudiantes que cumplen sus actividades diariamente en este espacio.
- Lo acometida de baja tensión soterrada a corta distancia de los pasos peatonales y áreas verdes.
- El alimentador de media tensión con instalación subterránea paralela al parqueadero que atraviesa toda la institución.

### **2.4.2 Instrumento de medida**

Para la adquisición de datos de campo magnético se consideró una técnica de medición muy usual como es la utilización de fluxímetro:

... un fluxímetro mide los cambios en el flujo magnético, detectados a través de una bobina de Helmholtz o similar. Funcionalmente un fluxímetro consta de una bobina captadora y un integrador electrónico, como se muestra en la figura 10. Un cambio en el flujo total a través de la bobina captadora induce un pequeño voltaje, que luego se integra con el tiempo. Al integrar el voltaje desarrollado por la bobina, que a su vez es proporcional a la derivada del flujo que pasa a través de la bobina, un fluxímetro puede medir cambios netos en ese flujo [21, pp. 125-148].

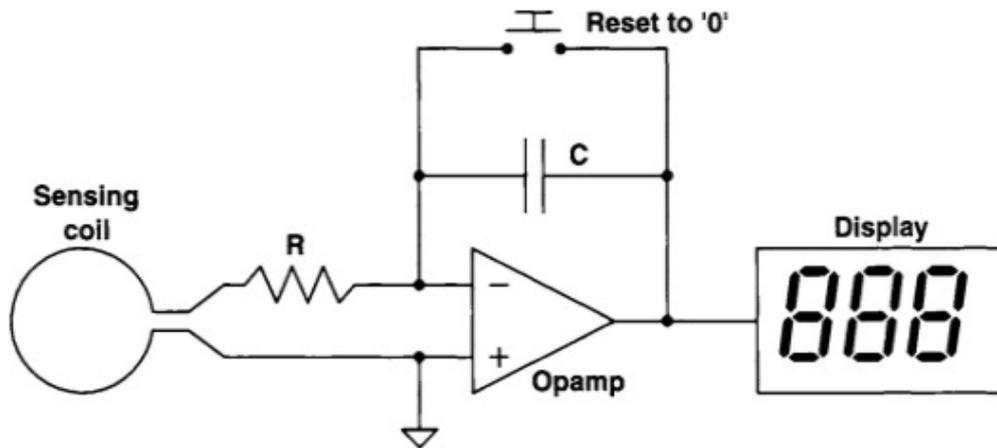


Figura 10. Diagrama de componentes fluximetro

El principio de fluximetro [23] se basa en la ley de inducción magnética en su forma integral. Referenciando a la bobina ideal de la figura 11 que consiste en un devanado filamentososo con contorno  $\Gamma$  el flujo magnético  $B$  vinculado con la bobina esta dado por:

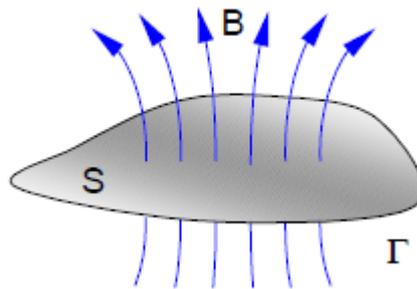


Figura 11 Enlace de flujo con una bobina de inducción filamentaria ideal

$$\Phi = \int_S B dS \quad (1)$$

Donde  $B$  es el campo magnético,  $S$  es una superficie arbitraria limitada por el contorno  $\Gamma$  y  $dS$  es la normal de la superficie. Una variación en el tiempo del flujo vinculado por la bobina induce un voltaje de bucle proporcional a la tasa de cambio:

$$V = \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

Un fluxímetro detecta este voltaje y lo usa para medir la variación del flujo. El campo magnético en el área encerrada por la bobina se puede deducir de la medición del flujo.

El uso del fluxímetro es una técnica muy antigua que permite la adquisición de datos del campo magnético, empleado por Weber a mediados del siglo XIX para estudiar la dirección del campo magnético terrestre. Este método es considerado altamente lineal requiriendo una bobina de inducción y una medición de voltaje, proporcionando valores precisos de la dirección de campo. Como se muestra en las ecuaciones (1) y (2):

... el voltaje se puede inducir en la bobina ya sea por una variación del campo magnético  $dB/dt$ , o por un cambio en la orientación de la bobina  $dS/dt$ , en el caso de una variación del campo magnético en el tiempo, la bobina generalmente se mantiene estática y el fluxímetro proporciona una medida del cambio de flujo entre dos instantes dados. La segunda técnica, es decir un movimiento de la bobina, se suele emplear en campos magnéticos estáticos. En este caso, la medida del campo depende, entre otras cosas, de la precisión del movimiento, por esta razón los movimientos más comúnmente utilizados son las traslaciones simples, giro de 180 grados o rotación continua alrededor de un solo eje. La utilización fija y móvil se ha utilizado de forma rutinaria también para mediciones criogénicas [22, p.6].

El instrumento de medida que se dispone para el levantamiento y la adquisición de datos en los diferentes espacios asignados posee las características que se mencionan a continuación:

... es un medidor de campo magnético triaxial ELF EMF-200 (ver figura 12), que está diseñado para la evaluación de campos magnéticos de extrema baja frecuencia de 30 a 2000Hz. Es capaz de medir la intensidad de radiación del campo magnético que es producido de equipos de transmisión eléctrica, líneas eléctricas, transformadores, hornos microondas, aire acondicionado, refrigeradores, computadores dispositivos de video, etc., con unidades de medida en Tesla y Gauss. Usa tres sensores ortogonales internos para probar un amplio rango de campos magnéticos, independientemente de la medición del ángulo [24].

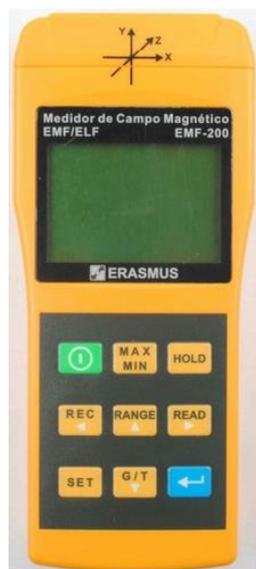


Figura 12. Medidor de campo magnético

### 2.4.3 Adquisición de datos

El transformador en estudio tiene una potencia de 300kVA con una relación de transformación de 13,8kV/220V-127V trifásico y monofásico respectivamente. “Para la adquisición de datos de los campos magnéticos en este equipo se debe considerar una altura de un metro sobre el nivel del suelo” [10] “y a uno, dos y cuatro metros a partir de la cuba” [24,p.43], cabe agregar que las medidas de muestreo son recomendadas por la posible afectación que puede generar en una persona a esa altura y distancias citadas anteriormente (figura 13).

La incertidumbre de la medición durante las prácticas al aire libre utilizando instrumentos disponibles comercialmente suele ser cercana al 10%, aunque este valor se puede reducir en condiciones más controladas. Las fuentes más probables de errores importantes son la dificultad para colocar el medidor, el manejo de fugas en algunos casos, los efectos de la temperatura, la vegetación y los efectos de la proximidad del observador. La falta de uniformidad en el campo también pueden reducir la precisión de las mediciones [26].

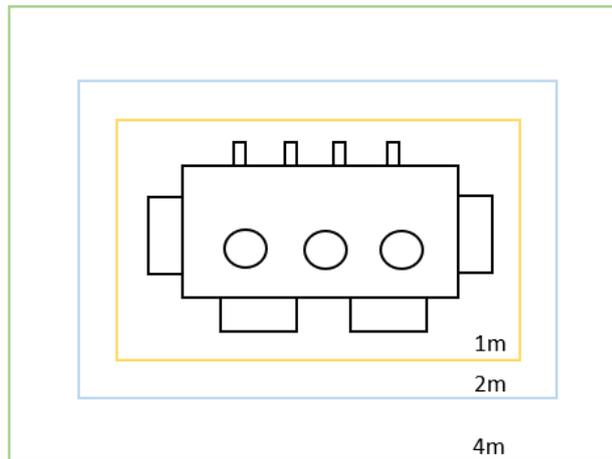


Figura 13. Distancias de muestreo en el transformador

De la misma manera para el muestreo de las líneas de media y baja tensión en instalación subterránea (canalización), “se considera una distancia de un metro sobre el nivel del suelo” [27], [25]. Con base en lo anterior se puede incluir dos distancias más que corresponde a uno, dos y cuatro metros desde el centro de la canalización donde se encuentran los conductores como se observa en las figuras 14 y 15, con el fin de obtener mayores resultados de evaluación y comportamiento de los campos magnéticos considerando el área de afluencia de personas a esas distancias. Cabe agregar que no existe una normativa establecida para la toma de datos en cables subterráneos, esto reside en que las distancias entre fases se reducen notablemente por ser conductores aislados, reduciendo el campo magnético generado que depende en gran medida de la diferencia entre las distancias de fase hacia el punto de medida, así mismo depende de las características constructivas de los conductores (ver anexo x) y las condiciones ambientales como se mencionó en el párrafo anterior. En relación con este último, todas las medidas planteadas serán utilizadas para el cálculo y la simulación de campos magnéticos en las áreas planteadas.

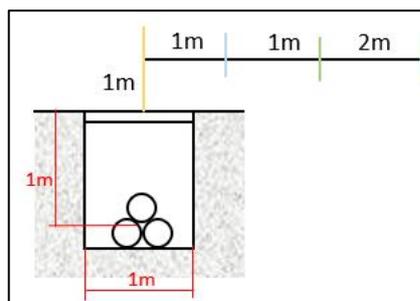


Figura 14. Canalización 13,8kV (Distancias)

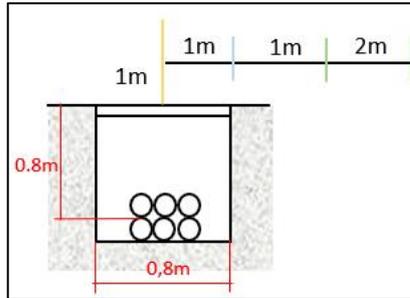


Figura 15. Canalización 220V (Distancias)

En la figura 14 muestra la configuración para MT que corresponde a un conductor por fase, con un nivel de tensión de 13,8kV y un conductor de 2/0 AWG. En el orden de las ideas anteriores en la figura 15 para BT se considera un arreglo de seis conductores por fase a un nivel de tensión de 220V/127 y un conductor de 4/0 AWG (ver anexo x). De la misma manera se evidencia las dimensiones de los pozos para los dos niveles de tensión extraídos de las guías de diseño de la EEQ, para mayor detalle ver anexo ix.

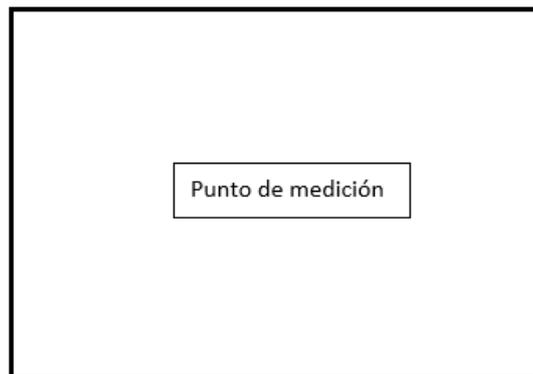


Figura 16. Laboratorio (Distancias)

Para la recopilación de datos del laboratorio se determinó el punto de medición en el centro del mismo, abarcando las áreas de estudio y desarrollo de prácticas. Descartando mediciones a diferentes distancias, a razón que este no es un elemento generador de campo magnético sino un espacio el cual va estar sometido a radiaciones por la cercanía que existe al centro de transformación y considerando un punto estratégico según la necesidad de estudio y análisis (figura 16).

#### 2.4.4 Análisis estadístico

Este apartado trata sobre el análisis estadístico que se empleara para determinar la distribución normal de los campos magnéticos en los diferentes escenarios

planteados, permitiendo modelar una serie de eventos normales y sus probabilidades de ocurrencia, partiendo de una base de datos adquiridos en los puntos de mayor radiación. Además, se utilizará la distribución normal aplicando una repartición de datos continuos, que produce una curva simétrica en forma de campana como se muestra en la figura 17.

Resulta oportuno mencionar que los datos de campos magnéticos para el análisis fueron adquiridos durante varios días de lunes a viernes incluyendo horas de la noche cada 5 minutos, con el objetivo de abarcar todos los horarios de trabajo. De la misma manera para abarcar la mayor cantidad de carga durante la medición se encendió todas las luminarias de las áreas internas y externas de la institución, con cargas adicionales en el día por trabajos mecánicos realizados en las instalaciones, debido a esto no existe horario específico para descartar datos ya que se va mantener un constante consumo de los receptores conectados al momento de la recopilación.

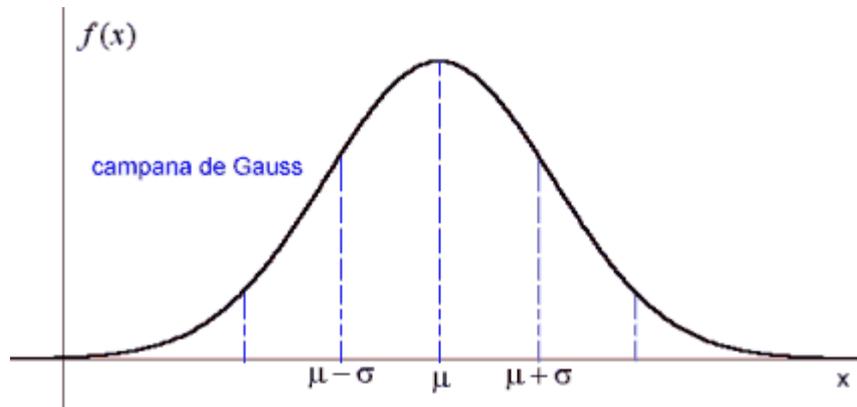


Figura 17. Campana de Gauss

En [27,p.123], [28,p.226], indican que de todas las distribuciones de probabilidad la distribución normal es la más importante, permitiendo reflejar medidas que son divisibles infinitamente. En este sentido se expresa la relación siguiente (3).

$$Y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (3)$$

Donde:

- $\sigma$  = desviación estándar

- $\pi = 3.1416$
- $e = 2.71828$
- $Z =$  Variable normalizada (calificación estándar  $Z$ )

A la relación citada para obtener la distribución normal se le conoce como forma tipificada y se dice que  $Z$  se distribuye normalmente con la media cero y varianza uno, en el área total limitada por la curva y el eje de las  $x$  es uno; de ahí que el área bajo la curva entre dos ordenadas  $x = a$  y  $x = b$ , donde  $a < b$  representa la probabilidad de  $X$  se encuentre entre  $a$  y  $b$ , se expresa  $P(a < X < b)$ . [28], [29].

Algunas propiedades de la distribución normal dada por la relación antes citada son:

- La media es  $\mu$
- La varianza es  $\sigma^2$
- La desviación típica es  $\sigma$
- La desviación media  $\sigma \sqrt{\frac{2}{\pi}} = 0,7979\sigma$

Si en el histograma de distribución de frecuencias se aumenta la cantidad de observaciones, entonces los intervalos de clase se hacen más angostos y el polígono de frecuencias se transforma en una curva suave como se indica en la figura 18.

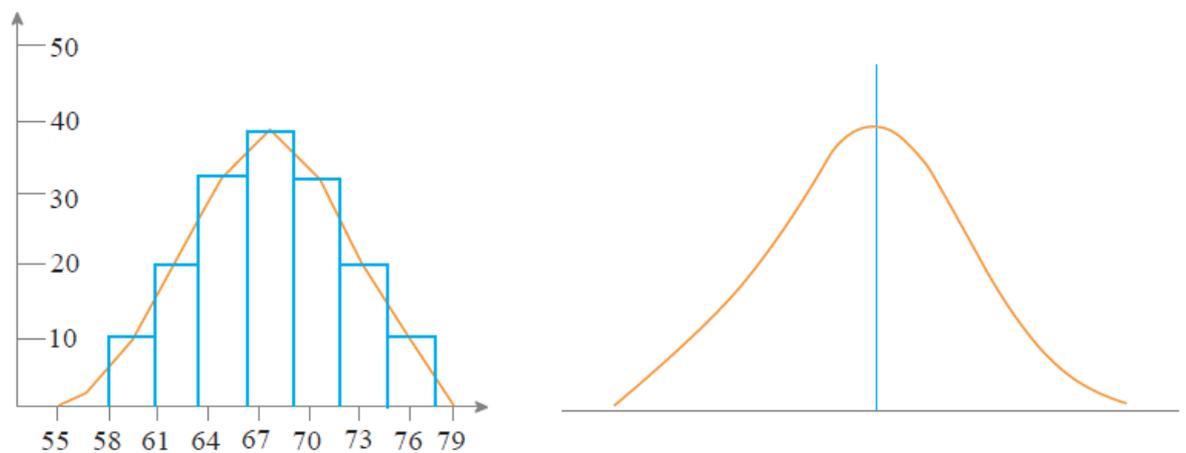


Figura 18. Histograma

El área total limitada por la curva y el eje de las abscisas es igual a uno y equivale al 100% de los casos de tal manera que (figura 19):

- El 68,27% del total de todos los casos está a una desviación estándar de la media
- El 95,45% del total de todos los casos está a dos desviaciones estándar de la media
- El 99,73% del total de todos los casos está a tres desviaciones estándar de la media

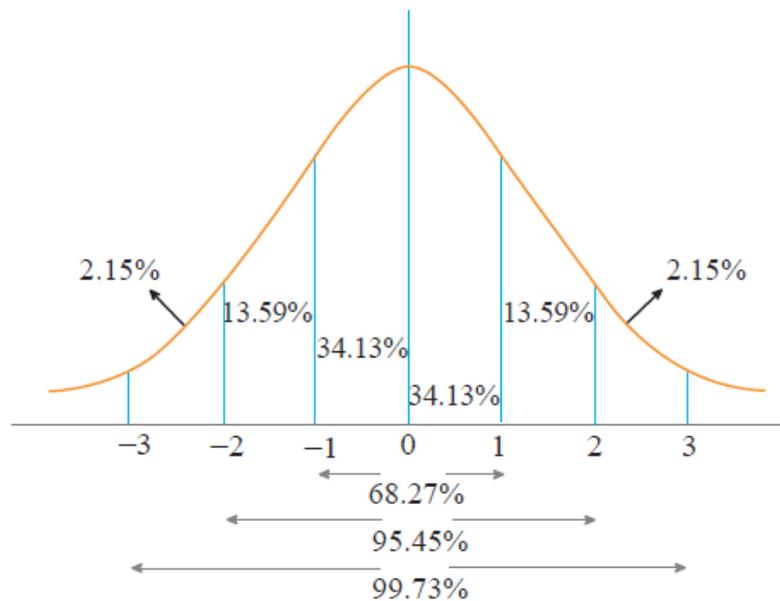


Figura 19. Distribución porcentual del área bajo la curva

Como se indica en [28], [29] puede existir un número infinito de distribuciones normales posibles, cada una con su propia media y su desviación estándar, ya que no se puede analizar un gran número de posibilidades, es necesario convertir todas estas distribuciones normales a una forma estándar con la siguiente fórmula (4):

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (4)$$

Donde

- $Z$  = Desviación normal
- $X$  = Algún valor específico de la variable aleatoria
- $\mu$  = Media de distribución igual a cero

- $\sigma$  = Desviación estándar igual a uno

Para el cálculo de la probabilidad del área bajo la curva es igual a uno o el 100%, con una media de cero y una desviación estándar de uno, con valores positivos hacia la derecha y valores negativos hacia la izquierda, denominada distribución normal estándar  $Z$ , que se puede obtener a partir de una variable aleatoria  $X$  mediante la ecuación 4. La ventaja de la estandarización es disponer de una tabla establecida que muestra la probabilidad menor a un cierto valor de  $Z$  como se indica en [30].

#### 2.4.5 Cálculo de campos magnéticos en conductores de BT y MT

Este apartado tratará sobre el procedimiento de cálculo llevado a cabo para determinar los valores de campo magnético  $B$  en relación con la corriente generados por la acometida de baja tensión que alimenta a la institución y el alimentador de media tensión que atraviesa hacia el poblado aledaño al centro educativo.

En [31] se encuentra un método de cálculo basado en la corriente que circula por el conductor provocando un campo magnético  $B$ , relacionando a la permeabilidad del aire y la permeabilidad del material, que para su estudio se fundamenta en la ley de Ampere (5):

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = i \quad (5)$$

Esto en la práctica se puede ilustrar con un cable largo y recto que transporta una corriente determinada, suponiendo un círculo en un plano perpendicular al centro del conductor, por la simetría del problema el campo  $H$  es constante a lo largo del círculo, con un radio  $r$  el campo magnético se obtiene por (6).

$$H = \frac{i}{2 \cdot \pi \cdot r} [A/m] \quad (6)$$

Y la densidad de flujo magnético por (7).

$$B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot r} [T] \quad (7)$$

$B$  está dirigido tangencialmente a círculos centrados en el conductor y está contenido en planos perpendiculares. El flujo magnético a través de un área determinada esta dado por (8).

$$\phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} [W] \quad (8)$$

Sobre una superficie cerrada, el flujo magnético se integra a cero. Esto da un resultado que las líneas de flujo magnético son continuas y que no hay polos magnéticos aislados. La fuerza por unidad de longitud sobre un conductor viene dada por (9).

$$\vec{F}/l = \vec{i} \cdot \vec{B} \quad (9)$$

Donde  $\vec{i}$  es la corriente en el conductor  $\vec{B}$  es la densidad de flujo magnético en la ubicación del conductor debido a todas las otras corrientes en el espacio.

El campo magnético es producido únicamente por la corriente que atraviesa a lo largo de la línea, dando lugar a la aplicación del método de Ampere que determina valores aproximados alrededor del conductor. En la figura 20 se observa la disposición de cálculo que involucra distancia y altura del conductor con respecto al punto de medición en el eje x,y, dando una resultante de  $B$  expresada mediante la ecuación (10).

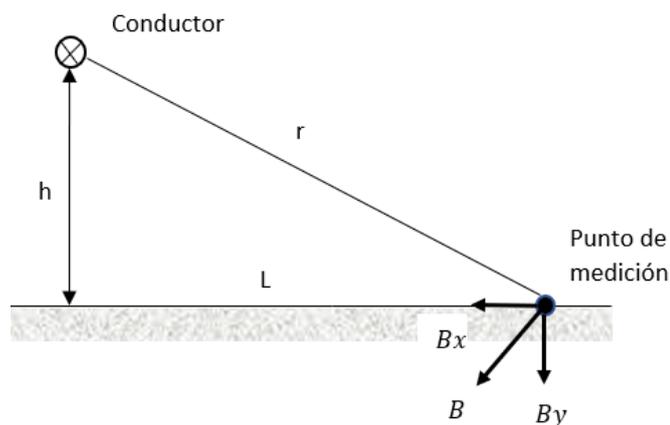


Figura 20. Punto de medición con respecto al conductor

$$B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \sqrt{h^2 + L^2}} \quad (10)$$

En este proyecto de investigación las líneas eléctricas bajo análisis son subterráneas tanto en MT y BT, donde se ha considerado aplicar el método descrito anteriormente, haciendo uso de la ecuación (10) con base en la figura 20, considerando la permeabilidad relativa del suelo y del aire, entonces es totalmente aplicable para la resolución del problema planteado en este trabajo de titulación, donde lo único variante son las dimensiones de h y L, es decir la distancia del conductor con respecto al observador.

#### 2.4.6 Cálculo de campo magnético en transformador de potencia

El transformador es una de las fuentes principales de campo magnético, sin embargo, por sus características constructivas y de apantallamiento se reduce en un gran porcentaje la incidencia hacia el exterior desde sus bobinados, es por eso que se ha considerado analizar sobre los bornes del transformador, donde el punto de cálculo estimado es de un metro de separación.

La norma UNE 207012-001 [32] muestra un método de cálculo del alrededor del transformador a frecuencia industrial, donde considera tres barras paralelas al eje z y que cruzan el plano x,y en los puntos A, B y C creando un campo magnético por las corrientes  $I_A, I_B, I_C$ .

$$I_A = I \times \text{sen} \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \quad (11)$$

$$I_B = I \times \text{sen}(\omega t) \quad (12)$$

$$I_C = I \times \text{sen} \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \quad (13)$$

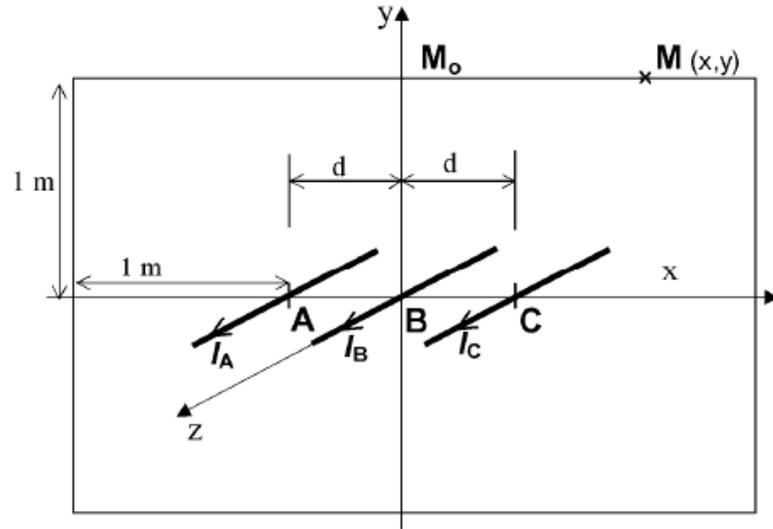


Figura 21. Corrientes y campos magnéticos en las barras

Para el cálculo se considera un rectángulo con una distancia de un metro alrededor (ver figura 21), donde cada barra crea un magnetismo  $B$  en el punto  $M(x,y,0)$ . Con una barra de longitud infinita, la inducción generada por la corriente  $I_A$  en el punto  $M$  viene dada por la ley de Ampere:

$$\vec{B}_A = \frac{\mu_0}{2\pi} \times \frac{I_A \times \vec{AB}}{\|\vec{AM}\|^2} \quad (14)$$

Entonces en el punto de medida  $M(x,y)$ , el campo magnético resultante viene dada por:

$$\begin{aligned} \frac{B_{tot}}{2 \times 10^{-7} \times I} = & \left[ \left( \frac{y \times \text{sen}(\omega t - 2\pi/3)}{(x+d)^2 + y^2} + \frac{y \times \text{sen}(\omega t)}{x^2 + y^2} \right. \right. \\ & + \left. \frac{y \times \text{sen}(\omega t + 2\pi/3)}{(x-d)^2 + y^2} \right)^2 \\ & + \left( \frac{(x+d) \times \text{sen}(\omega t - 2\pi/3)}{(x+d)^2 + y^2} + \frac{x \times \text{sen}(\omega t)}{x^2 + y^2} \right. \\ & \left. \left. + \frac{(x-d) \times \text{sen}(\omega t + 2\pi/3)}{(x-d)^2 + y^2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (15) \end{aligned}$$

Si se considera todos los puntos M situados sobre el rectángulo de la figura anterior y para una longitud infinita de las barras, el máximo valor de  $B_{tot}$  se obtiene en el punto  $M_0$  (0,1,0), con la fórmula siguiente:

$$B_{tot-max.} = 2 \times 10^{-7} \times I \times \left( \frac{\sqrt{3} \times d}{1 + d^2} \right) \quad (16)$$

En el caso de que las barras tengan una longitud determinada se añade un factor de compensación en la ecuación anterior:

$$B_{tot-max.} = 2 \times 10^{-7} \times I \times \left( \frac{\sqrt{3} \times d}{1 + d^2} \right) \times \text{sen } \alpha \quad (17)$$

Donde:

- $B(T)$ : valor eficaz de la inducción magnética calculado en el punto  $M_0$
- $I(A)$ : valor eficaz de la corriente que circula en cada barra
- $d(m)$ : distancia entre las barras
- $\alpha$  (*radian*): ángulo según la figura anterior

#### 2.4.7 Simulación de campos magnéticos en conductores de MT y BT

Para ilustrar el comportamiento de los campos magnéticos en elementos energizados como es el caso de este proyecto examinar el transformador y líneas eléctricas, se determinó utilizar el software QuickField, que mediante un sistema de análisis de elementos finitos permite modelar problemas electromagnéticos, térmicos y de estrés. Esta herramienta tecnológica es aplicable para resolver cualquier problema de campo proporcionando resultados rápidos y precisos, mediante la compatibilidad con sistemas CAD y otros programas.

Cabe agregar que el software cuenta con una licencia estudiantil gratuita que será utilizada en el transcurso de este trabajo para la simulación de los elementos descritos en el acápite anterior. Esta versión posee un límite de malla de 255 nodos, que son expuestos en una interfaz gráfica previo a un diseño de dibujo que mediante librerías se puede asignar valores de bloques, etiquetas y vértices.

Durante el proceso de simulación se puede seleccionar diferentes tipos de análisis estándar que se menciona a continuación:

- Electrostática
- Transitorio eléctrico
- Conducción de DC
- Conducción de AC
- Magnetostática
- Magnetismo AC
- Magnetismo transitorio
- Transferencia de calor en estado estacionario
- Transferencia de calor transitoria
- Análisis de estrés

A continuación, se exhibe gráficamente el procedimiento básico para la elaboración y simulación de problemas.

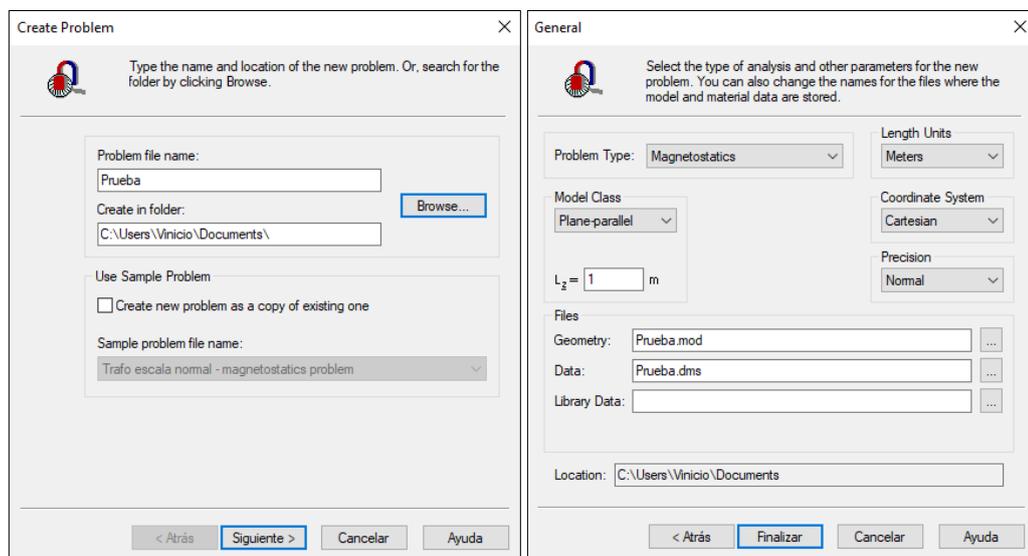


Figura 22. Creación del problema

Una vez iniciado el programa dando clic en *New Problem* aparece una ventana emergente *Create Problem* como se puede observar en el cuadro izquierdo de la figura 22, donde se nombra el archivo y se busca el lugar donde se guarda, para finalizar presionando en *Siguiente*. Posteriormente al aparecer la ventana *General* y escoger el tipo de problema a trabajar que para esta investigación corresponde a

*Magnetostatics* al tratarse de un análisis de campos magnéticos y finalmente se ubica las unidades de medida en metros y *Model Class* en un plano paralelo.

Para crear la geometría del elemento a analizar (transformador y cables), dentro del programa dando clic en *Edit* seleccionar *Insert Shape* donde se despliega una ventana emergente que permite insertar un rectángulo o un círculo con las medidas de longitud, altura y diámetro respectivamente dependiendo de la necesidad de diseño, como se puede ver en la figura 23.

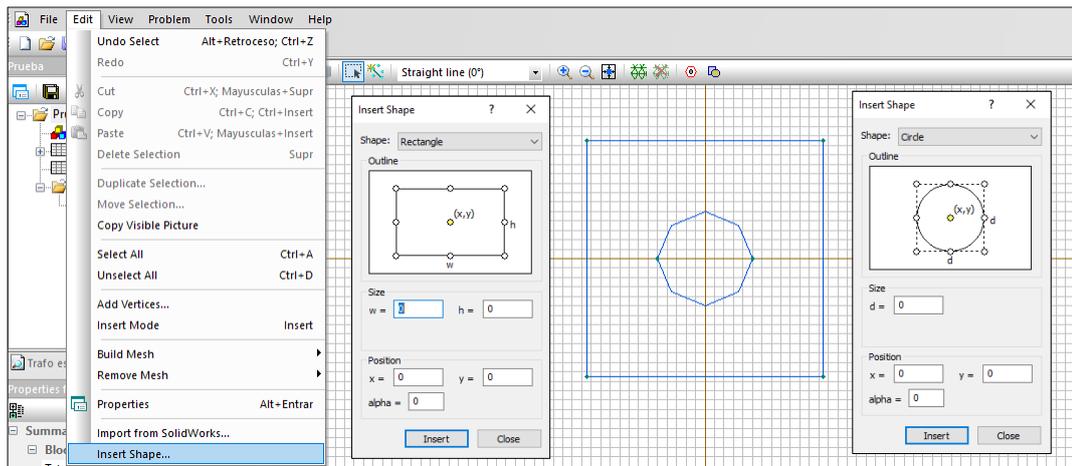


Figura 23. Representación geométrica de elementos

El siguiente paso es proporcionar nombres a cada uno de los elementos que intervienen en la simulación, para ello dar clic derecho sobre la geometría y seleccionar propiedades (*properties*), que da lugar a nombrar el objeto (*Block*), el límite (*Edges*) y el punto de análisis (*Vertex*) como se indica en la figura 24.

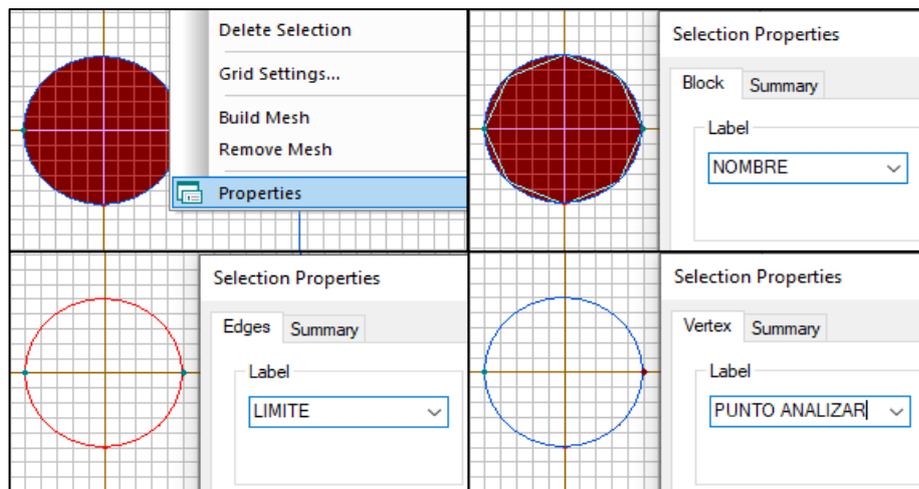


Figura 24. Nombres de bloques y contornos

Dadas las condiciones anteriores se procede a insertar las características en los elementos antes nombrados, iniciando desde la permeabilidad (*Permeability*) del aire, suelo, cobre o material que establezca para el análisis, luego continuar con el límite o contorno que el programa tomara en cuenta para la simulación insertando un valor de potencial magnético (*Magnetic Potential*) y finalmente colorar el valor de la corriente que circula por el conductor o elemento generador de campo magnético en estudio (*Linear Current*), ver figura 25.

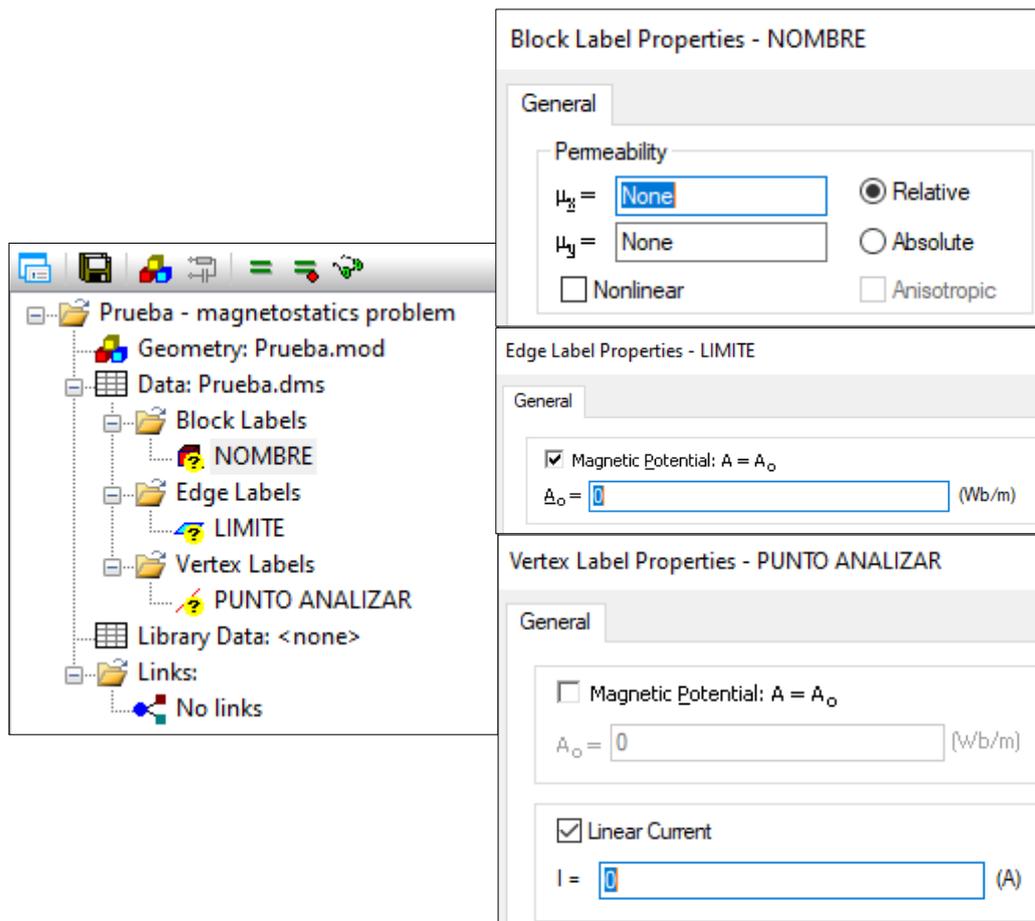


Figura 25. Datos de permeabilidad, potencial y corriente

Después de lo anterior expuesto seleccionar las geometrías planteadas y asignar una malla de elementos finitos dando clic en *Build Mesh*  segmentando toda el área de simulación. Cabe agregar que la versión estudiantil permite 255 nodos máximo siendo necesario limitar manualmente la creación de la malla para un alcance del 100% en todas las figuras geométricas, esto depende de la cantidad de elementos y las dimensiones con las cuales fueron creadas. En último lugar para resolver el

problema presionar el icono *solve*  que genera una nueva pestaña presentando una interpretación gráfica de la solución como se puede ver en la figura 26.

Para este proyecto se configuró manualmente todas las mallas de elementos finitos presentando un pequeño margen de error con respecto a la asignación automática y propuesta por el software, sin embargo, sigue siendo un análisis confiable.

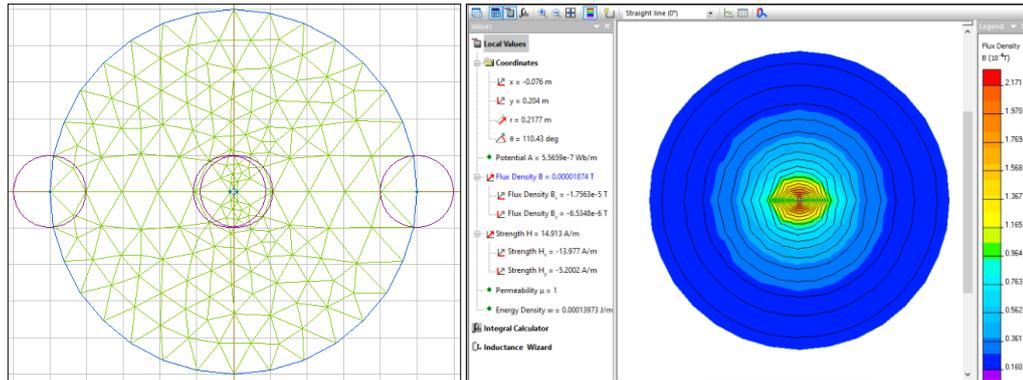


Figura 26. Izquierda: Mallado. Derecha: Resultados

## 2.5 Conclusiones Capítulo II

En consecuencia, este capítulo expresa métodos de medición, calculo y simulación de campos magnéticos que permite obtener un resultado con menos del 10% de error sobre el análisis de cables de BT, MT y el transformador, tomando en consideración que el software utilizado tiene un límite de 255 nodos en su malla de simulación que reduce su efectividad, pero sin embargo, el error no es considerable frente a los datos medidos y calculados, valorando este procedimiento como efectivo y recomendable.

## **CAPÍTULO III VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA**

En el presente capítulo se expone los métodos de medición, cálculo y simulación para posterior análisis de resultados citados en el apartado anterior. Para la obtención del producto final se consideró como línea base una serie de valores de campo magnético medidos en cuatro aristas a diferentes distancias en la institución educativa propuesta, que se detallara posteriormente y serán analizadas y contrastadas con límites de exposición mencionadas en normativas en el capítulo I. Con el objetivo de ser capaces de indagar y analizar se pone en manifiesto figuras procedentes del análisis estadístico expresados en histogramas ajustadas a una normalidad que conlleva el resultado analítico de estos datos (ver anexo iii), representados también en una figura 3D que muestra los niveles y valores explorados.

### **3.1 Análisis de resultados**

#### **3.1.1 Datos para medición cálculo y simulación**

La distribución de infraestructura que aparece en esta institución consta de cuatro bloques, un administrativo, uno de talleres y dos corresponde a las aulas académicas, adicionalmente un espacio destinado a transformador, grupo electrógeno y tableros principales, en donde de manera adyacente se construyó dos laboratorios de equipos eléctricos y energías renovables.

En la figura 27, llevada a cabo a partir del software AutoCAD, expone la planta de la institución planteada donde indica los diferentes puntos de análisis de campos magnéticos, que permite identificar mediante colores cada una de las áreas analizadas, en este orden de ideas el rojo pertenece a la zona de media tensión (alimentador), el verde a la zona de baja tensión, el azul al transformador y el amarillo al laboratorio. Cabe agregar que el alimentador es totalmente ajeno a la

carga interna del centro educativo por lo cual existirá diferencias de corrientes relacionadas a MT y BT, sin embargo, es tomado en cuenta por atravesar gran parte de las instalaciones.

Seguidamente hay que mencionar que, una vez establecidas las cuatro zonas de análisis por su alta afluencia de personas, se subdivide en cinco puntos para media tensión, dos puntos para baja tensión y uno para transformador y laboratorio, con una muestra de 100 datos por cada una de las áreas anteriormente asignadas a diferentes distancias con un total de 300 datos, como se indica en las figuras 14-15 del capítulo anterior. En base a lo expuesto, el análisis se consideró por una variabilidad de carga con horas de mayor y menor consumo tomando valores pico.

Adicionalmente las derivaciones existentes hacia los tableros de cada bloque no fueron consideradas debido a que el campo magnético que generan no tiene un impacto considerable, por tal razón se analizó únicamente la acometida principal de baja tensión, donde abarca la alimentación correspondiente a toda la institución.

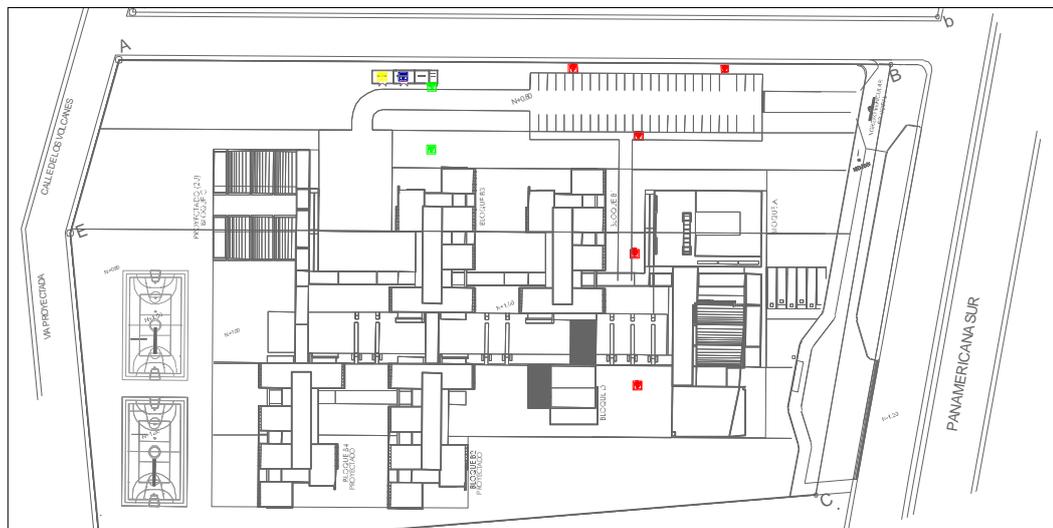


Figura 27. Puntos de análisis

Con el objeto de completar la información proporcionada sobre la institución, en la figura 28 da a conocer un detalle más amplio de la posición del laboratorio con respecto al transformador, además sobre la cámara de transformación y el grupo electrógeno se proyecta la instalación de elementos de energías renovables como aerogeneradores, paneles solares, etc., en consecuencia, se convierte una razón adicional para el estudio en esta zona.

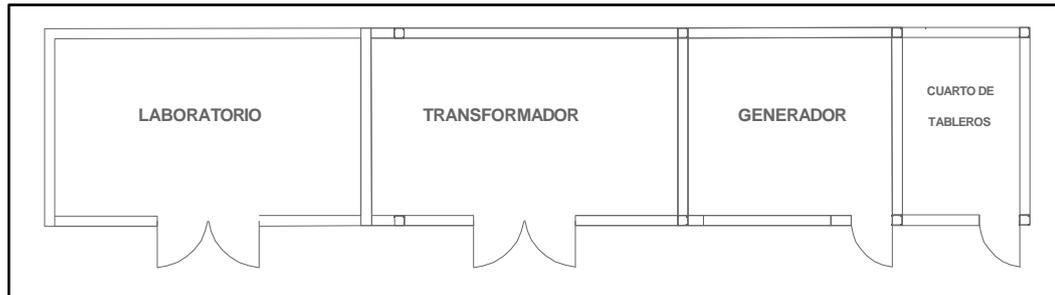


Figura 28. Detalle área de transformador y laboratorio

Además, la tabla VI muestra los datos considerados para el cálculo y la simulación de campos magnéticos en los conductores y el transformador. En este sentido los valores plasmados son el resultado adquirido mediante un analizador de redes colocado en el lado de baja tensión del transformador, obteniendo la cargabilidad de toda la institución como se puede ver en el anexo i. Por otro lado, la corriente del alimentador que atraviesa el instituto es adquirida de la empresa eléctrica suministradora del sector, para líneas de media tensión. Las distancias entre barras (bushings) del transformador en el lado primario y secundario son medidas reales del equipo. De la misma manera las características de los conductores de MT y BT son tomados de catálogos de fabricantes como se puede ver en el anexo x.

TABLA VI  
DATOS PARA CÁLCULO Y SIMULACIÓN

	Transformador		Conductor	Conductor
	Primario	Secundario	BT	MT
Tensión [kV]	13,8	0,22	0,22	13,8
Corriente en R [A]	1,91	43	43	134
Corriente en S [A]	1,91	43	43	151
Corriente en T [A]	1,91	43	43	166
Diámetro [mm]	-	-	15,74	25,62
Distancia entre barras A-B [m]	0,30	0,15	-	-
Distancia entre barras B-C [m]	0,30	0,15	-	-
Potencia kVA		300	-	-

### 3.1.2 Campo magnético generado por el transformador

En la sección 2.4.3, establece las distancias de medición que fueron aplicadas al transformador, dando como resultado valores máximos de  $0,74 \mu\text{T}$ ,  $0,15 \mu\text{T}$ , y  $0,05\mu\text{T}$  a uno, dos y cuatro metros respectivamente, considerando una disminución de la radiación del campo magnético a medida que la distancia aumenta como se observa en la figura 29, en las mismas circunstancias se determina que existe un rango considerable entre la primera medición con respecto a las dos últimas. La magnitud de los campos magnéticos generados por el transformador se reduce en gran medida a causa del eficiente diseño para su construcción. Cabe agregar que el estudio se realizó a un costado de la cuba del transformador y no sobre las bornas, como es el caso del cálculo y la simulación, es decir se localiza una ligera diferencia de valores entre los análisis.

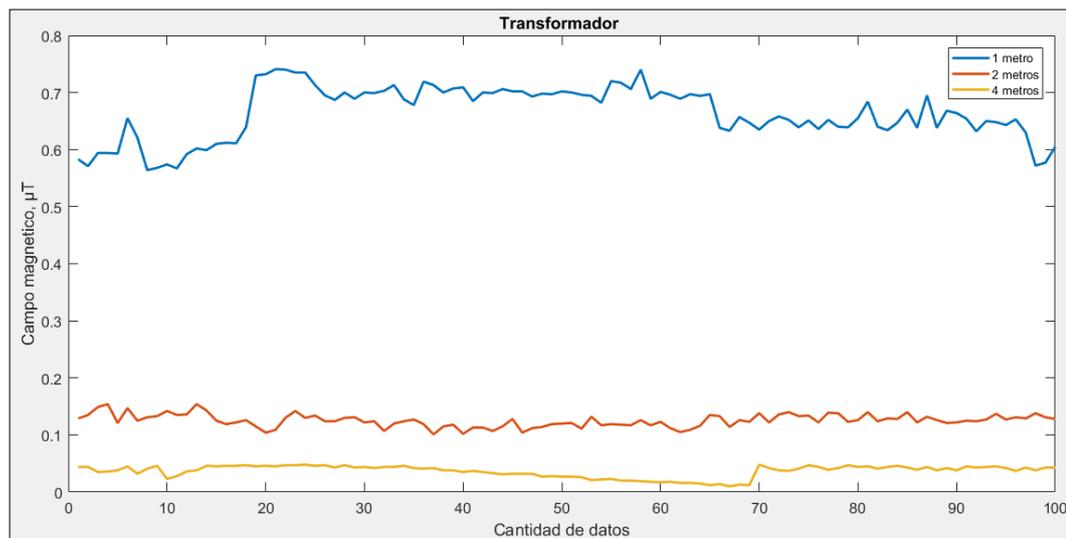


Figura 29. Medición de campo magnético en el transformador

Con referencia al método de cálculo planteado en la sección 2.4.6, se obtiene un valor de campo magnético alrededor del transformador con un rango máximo de  $6,09 \mu\text{T}$ . Resulta oportuno indicar que existe una diferencia con respecto a los datos levantados en campo a razón de que las mediciones se realizaron en base a la cuba del transformador mas no en referencia a las bornas, que por consiguiente el valor calculado será mayor como se puede apreciar en la figura 30, que representa la curva de campo magnético vs la distancia.

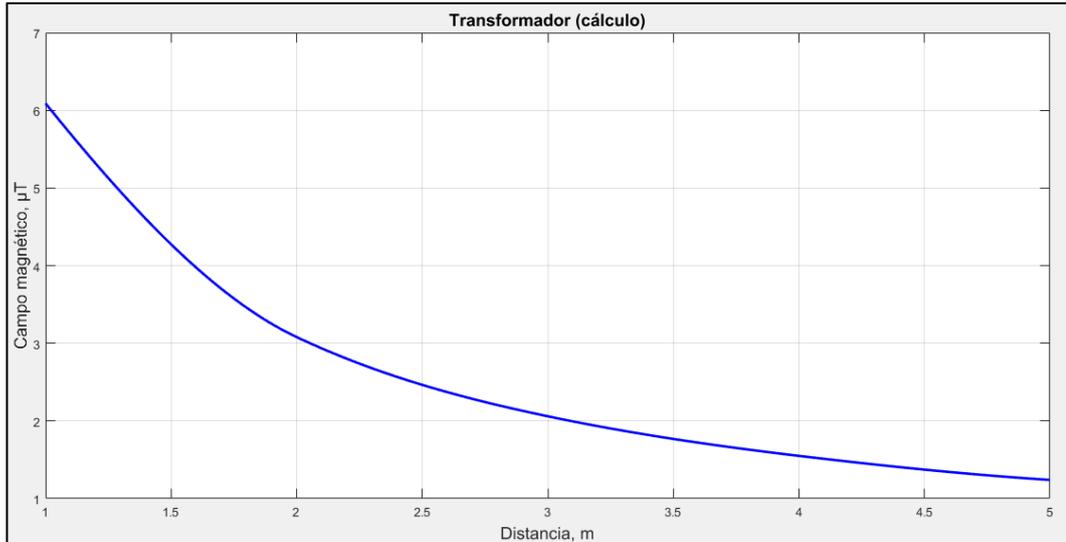


Figura 30. Cálculo de campo magnético en el transformador

Por otra parte, para la simulación del transformador se utiliza los datos de corrientes de lado de 13,8kV y 0,22kV, con un corte transversal se puede apreciar el comportamiento del campo magnético alrededor a una distancia de un metro, obteniendo un valor de  $5,57 \mu\text{T}$  como se puede apreciar en la figura 31.

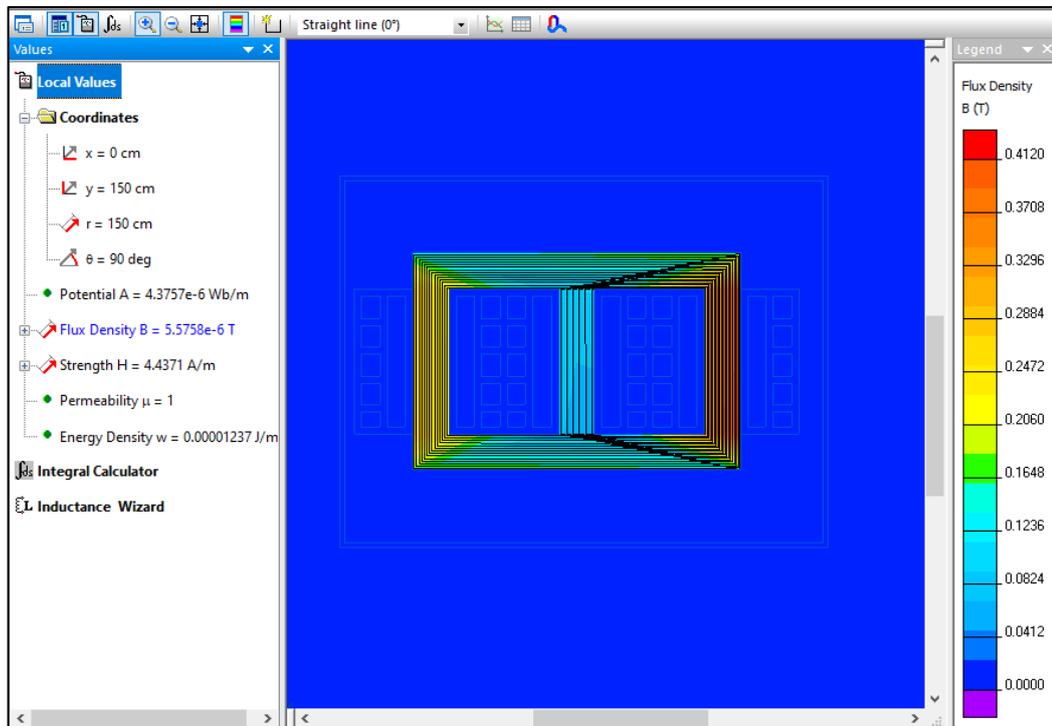


Figura 31. Simulación de campo magnético en el transformador

### 3.1.3 Campo magnético generado por cables de media tensión

Los cables de media tensión en este estudio son los generadores de campo magnético predominantes según el análisis realizado, frente a los de baja tensión y el transformador en cuanto a medidas en campo se refiere. Además, puede alcanzar mayor cobertura de radiación porque atraviesa toda la institución en medio de los bloques administrativo y aulas, considerando un área de vulnerabilidad si llegara alcanzar valores superiores a lo permitido.

Del mismo modo la figura 32, exterioriza el comportamiento del campo magnético a lo largo de las 100 mediciones que se realiza en diferentes puntos del tramo bajo análisis, según señala la sección 2.4.3. En este sentido se observa que en las distancias de 1 y 2 metros arroja resultados muy variantes, mientras que a 4 metros se mantiene relativamente estable, esto puede corresponder a la variabilidad de cargas que se encuentran aguas abajo del punto de conexión en la institución, al ser un alimentador aislado de la carga interna de la institución, alimentando a una zona poblada cerca del lugar de medición.

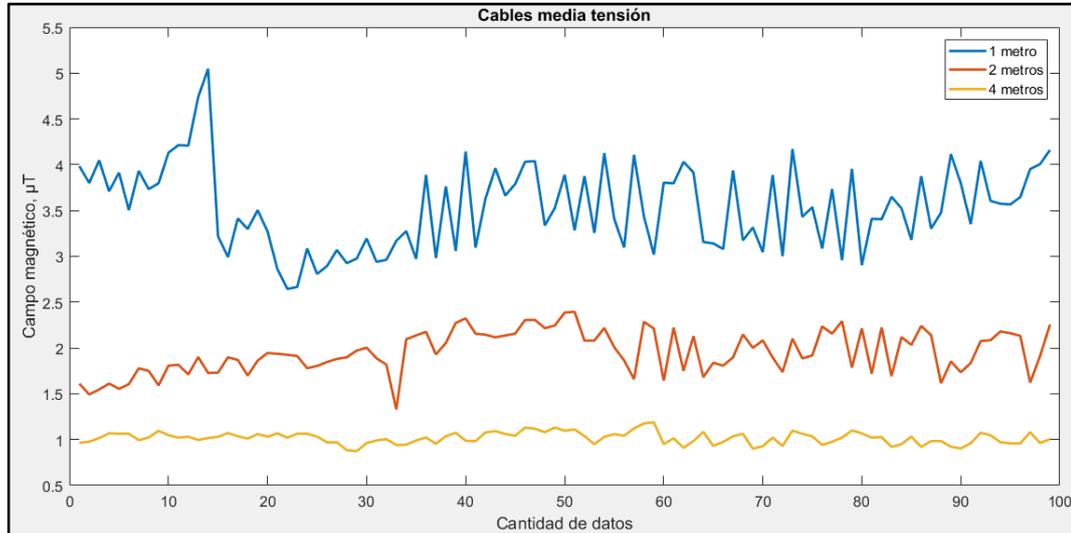


Figura 32. Medición de campo magnético en cables de MT

En igual forma que en el caso del transformador se puede estimar que mientras más alejado se encuentre el equipo de medición de la fuente de campo magnético, pierde intensidad de radiación estabilizándose la curva a los 4 metros de distancia. Resulta oportuno identificar los valores máximos en las distancias de uno, dos y cuatro metros, que corresponden a 5,05 µT, 2,40 µT y 1,19 µT respectivamente.

En este mismo sentido, la figura 33 revela el comportamiento del CM con un resultado de  $4,03 \mu\text{T}$  para una corriente total de 450 A, considerando un metro de distancia desde el punto generador hasta el sitio de análisis y a una altura de un metro sobre el nivel del piso agregando la profundidad del pozo de revisión como se indicó en la sección 2.4.3, con base en el método de cálculo expuesto en la sección 2.4.5, se obtiene la curva de representación.

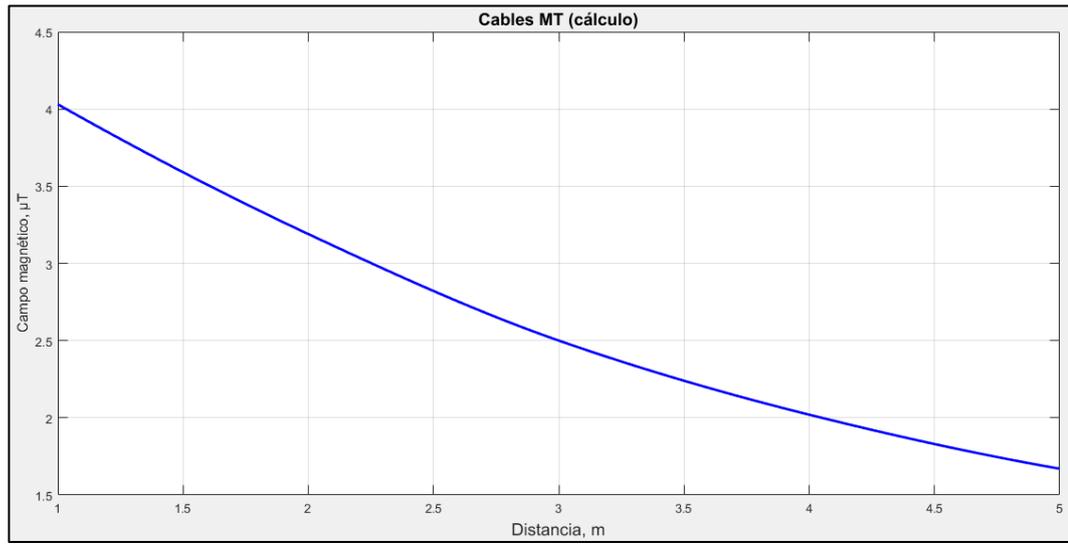


Figura 33. Cálculo de campo magnético en cables de MT

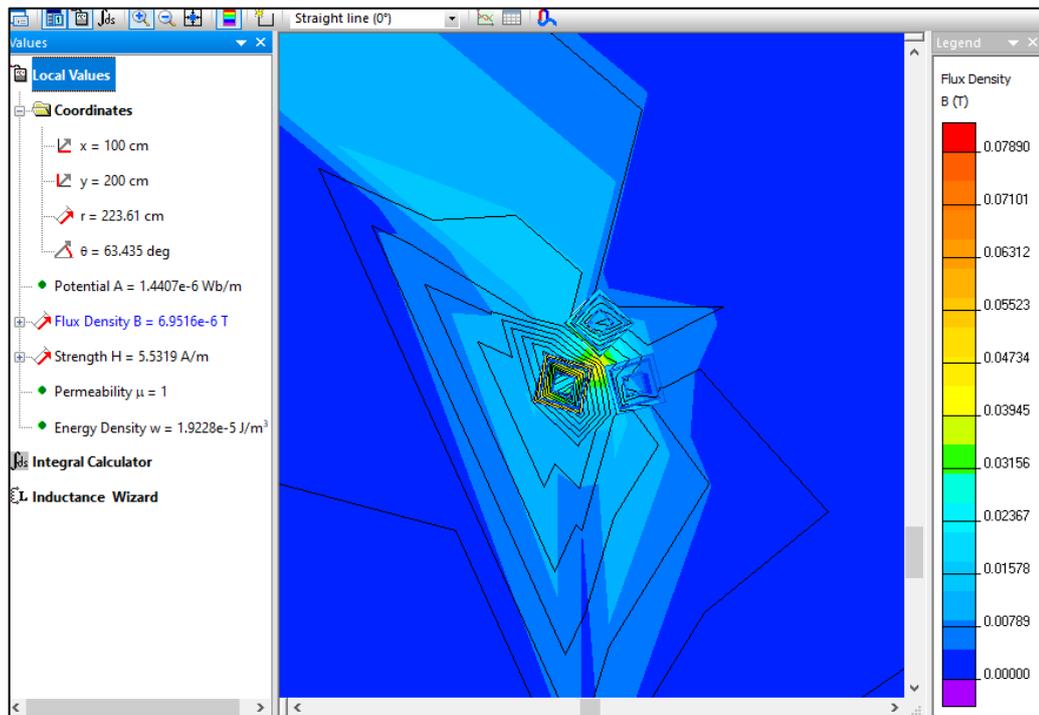


Figura 34. Simulación de campo magnético en cables de MT

Finalmente, la simulación exterioriza el comportamiento del CM alrededor de los tres conductores del alimentador, que para efectos de análisis se determinó un metro de distancia desde el cable y uno sobre el nivel del suelo considerando la profundidad del pozo de revisión que según la sección 2.4.3 y anexo ix establece un metro de profundidad, con este antecedente la figura 34, muestra un valor de 6,95  $\mu\text{T}$  en la terna de MT.

### 3.1.4 Campo magnético generado por cables de baja tensión

El comportamiento de las curvas que se estiman en la figura 35, muestra claramente una diferencia considerable entre los valores tomados a un metro con respecto a dos y cuatro metros, es evidente que la curva inicial tiene una variabilidad importante en su comportamiento siendo más notorio a partir de la medición 20, esto puede darse por factores externos originados en torno al equipo como factores ambientales, cercanía de personas, temperatura, etc., lo cual puede alterar el comportamiento de la muestra, sin embargo una de las razones preponderantes es la inestabilidad de conexión de cargas, ya que existen diferentes elementos como bombas en la planta de tratamiento de agua, aires acondicionados, etc., que trabajan en función de la necesidad, no existe continuidad en su funcionamiento con arranques establecidos y programados.

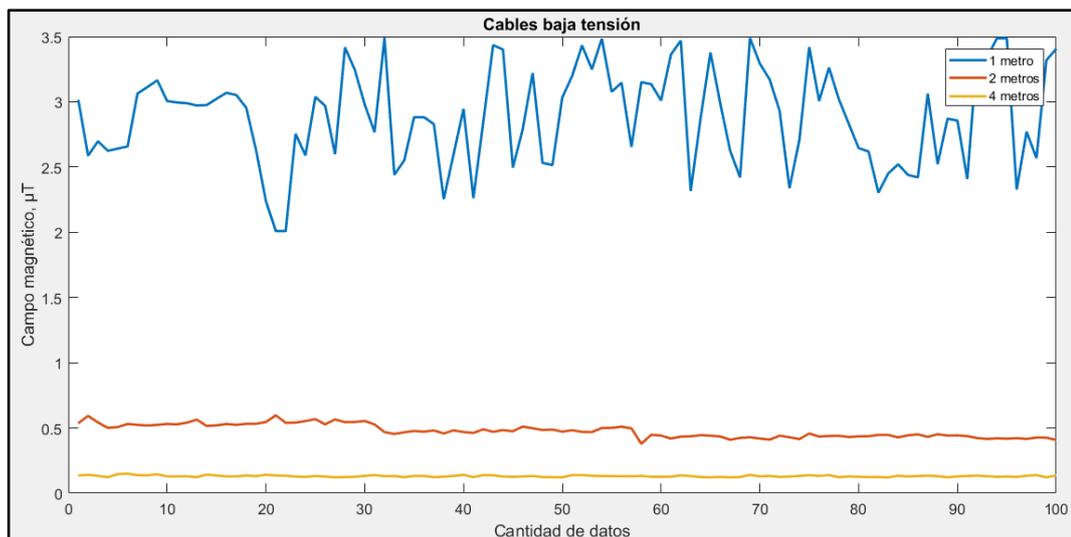


Figura 35. Medición de campo magnético en cables de BT

Hechas las consideraciones anteriores se establece valores máximos de radiación de campo magnético para las distancias señaladas anteriormente, que oscilan de

3,49  $\mu\text{T}$  para un metro 0,60  $\mu\text{T}$  para dos metros y 0,22  $\mu\text{T}$  para cuatro metros. En este sentido se considera que los datos recabados no exceden el límite permitido de exposición según las normas establecidas señaladas en el capítulo I.

Sobre la base de las consideraciones anteriores, en la figura 36 se encuentra el resultado del cálculo con el método descrito en la sección 2.4.5, que aplica a distancias similares que los cables de MT, con la diferencia de la profundidad del pozo de revisión como indica la sección 2.4.3, en este sentido se tiene 1,25  $\mu\text{T}$  con una corriente de 43 A que transporta cada fase para la alimentación interna general de la institución.

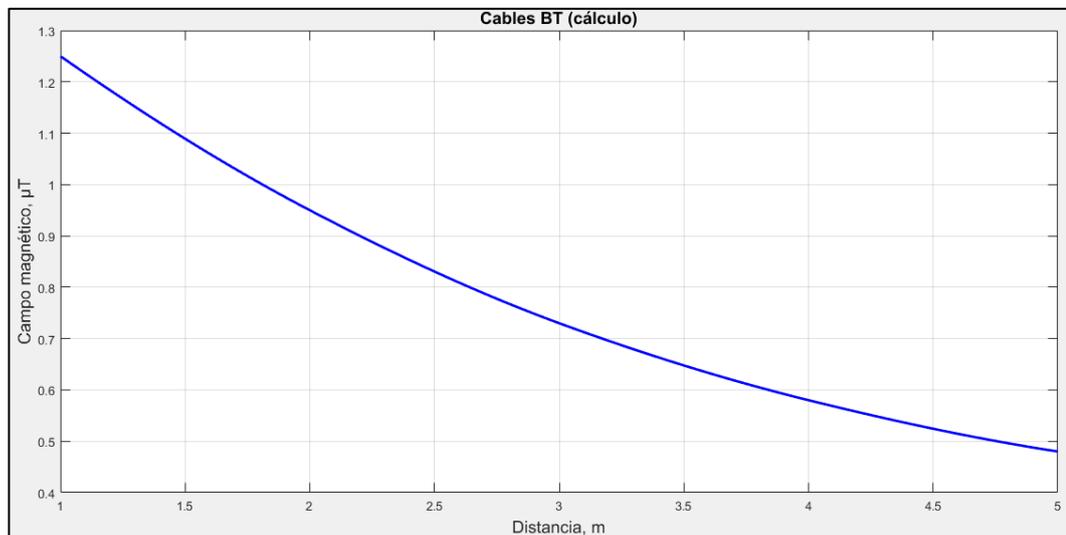


Figura 36. Cálculo de campo magnético en cables de BT

Para la simulación se emplea igual corriente que para el cálculo, siendo 43 A en cada fase como indica la tabla VI, y las distancias de análisis son las mismas que los dos casos anteriores, donde se estima 2,25  $\mu\text{T}$  a un metro en  $x$  y un metro ochenta en  $y$ , cómo se exhibe en la figura 37. Es evidente entonces que los datos de mayor relevancia están constituidos a la primera distancia como lo recomiendan y coinciden diferentes autores expuestos en el capítulo I. Concluyendo que los resultados arrojados por los tres métodos de análisis están por debajo de los límites de seguridad expuestos por las normativas vigentes.

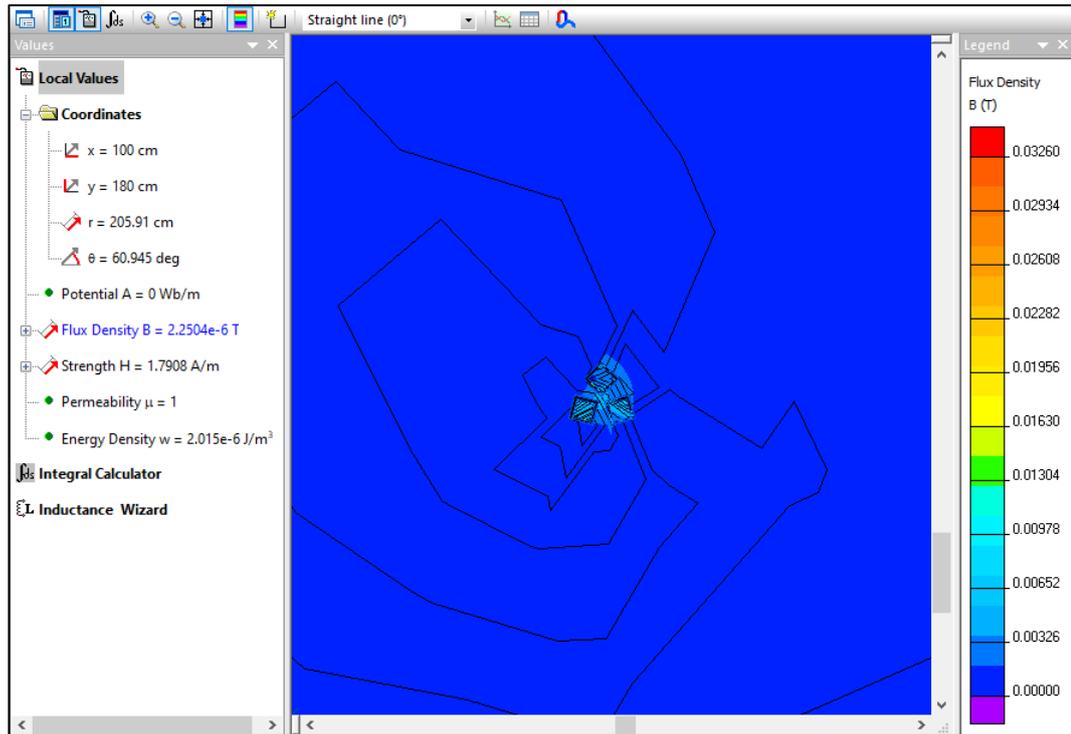


Figura 37. Simulación de campo magnético en cables de BT

### 3.1.5 Campo magnético en el laboratorio

En este mismo sentido como en las secciones anteriores se dispone de una curva en la figura 38, que indica el comportamiento del campo magnético a lo largo de los 100 datos tomados en esta área, con una gran variación entre ellos, sin embargo, no excede los límites permitidos ya que se tiene un valor máximo de  $0,31 \mu\text{T}$ , dejando a las personas libre de riesgo frente a las exposiciones magnéticas.

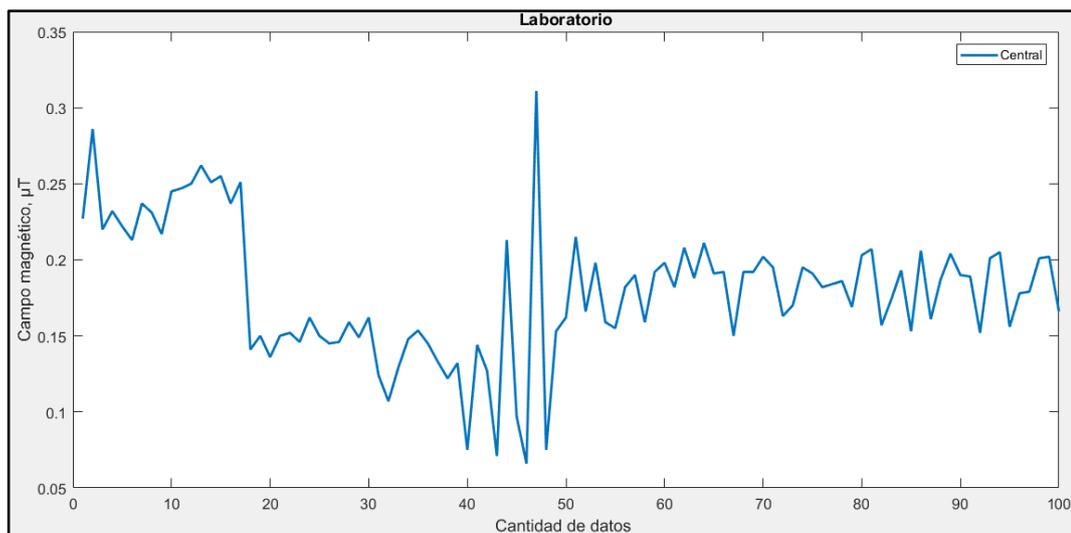


Figura 38. Curva en función del campo magnético en el laboratorio

### **3.1.6 Representación global del campo magnético en la institución**

El presente apartado contribuye a la culminación del análisis de campo magnético en la institución, desde el punto de vista de los resultados que ofrece el levantamiento de información, que proporciona la capacidad de comparación entre las áreas de estudio, en este sentido se ha considerado más oportuna una representación de los valores obtenidos a través de una superficie en tres dimensiones que permite contemplar fácilmente la distribución conseguida.

En la figura 39, se puede apreciar claramente el comportamiento del campo magnético en las diferentes zonas sometidas a análisis, distinguiendo una distribución de colores térmica que permite una identificación más intuitiva de los valores. La barra de la derecha muestra la escala de colores en función de la magnitud en  $\mu\text{T}$ , iniciando por el mínimo valor representado de color azul llegando al máximo que corresponde al color amarillo.

En el marco de las observaciones anteriores se puede apreciar que la zona de mayor campo magnético corresponde a los cables de media tensión a 13,8kV que atraviesa todo el instituto, alcanzando un valor máximo de  $5,05 \mu\text{T}$ , que constituye el dato más elevado en toda la investigación, sin embargo, no excede el límite permisible que puede provocar afectaciones a la salud.

Seguidamente se tiene los cables de baja tensión a un nivel de 220V, que se sitúa en segundo lugar como generador de campo magnético en toda la zona de análisis con un valor máximo de  $3,49 \mu\text{T}$  a un metro de distancia como se explicó en apartados anteriores.

Por otra parte, se presenta la radiación correspondiente al transformador de potencia con una relación de transformación de 13,8kV/220V, el cual contribuye con un nivel notablemente bajo de campo magnético, llegando a un máximo de  $0,74 \mu\text{T}$  y un mínimo de  $0,01 \mu\text{T}$ , por sus características constructivas y apantallamiento que reduce drásticamente los valores de radiación.

Finalmente se observa el espacio con emisiones más bajas en toda la superficie de análisis que pertenece al laboratorio, con un valor máximo de  $0,31 \mu\text{T}$ , constituyendo un riesgo menor en la salud de las personas como se explicó anteriormente.

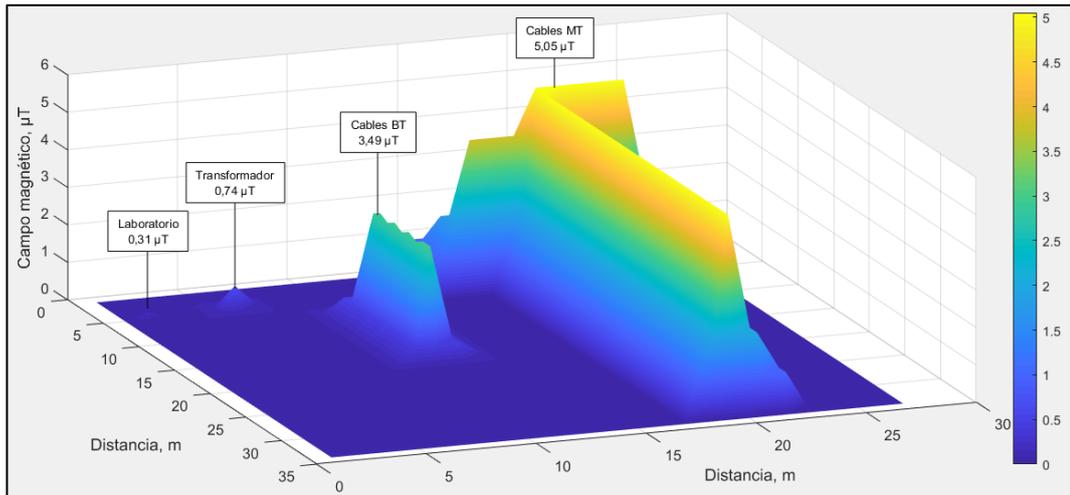


Figura 39. Medición de campos magnéticos en 3D

Dadas las condiciones que anteceden, la figura 40, representa gráficamente en tres dimensiones los cálculos realizados en cada uno de los generadores de campo magnético ubicados en la institución, donde los valores más altos están considerados a un metro de distancia como se explica en la sección 2.4.3. Se puede apreciar que el transformador asciende a  $6,9 \mu\text{T}$  con respecto al caso anterior, puesto que el cálculo fue realizado sobre las bornas del transformador y no hacia un costado como se midió anteriormente. Posteriormente se tiene un valor de  $4,03 \mu\text{T}$  y  $1,25 \mu\text{T}$  para los cables de MT y BT respectivamente, cotejando con lo medido no existe una diferencia extrema.

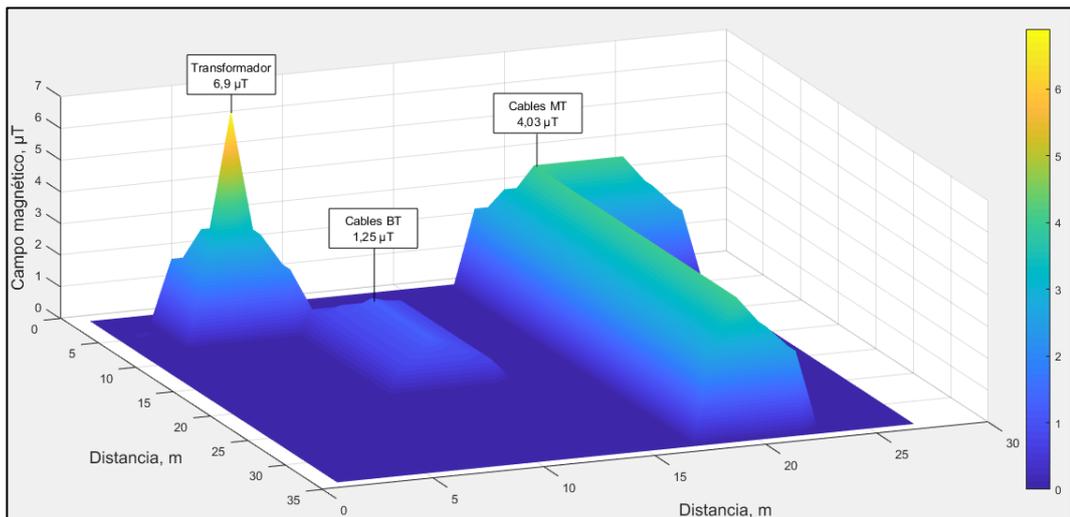


Figura 40. Cálculo de campos magnéticos en 3D

Con respecto a la simulación mediante el software QuickField, también se dispone de un análisis comparativo con respecto a los dos anteriores, donde en la figura 41 exhibe el comportamiento del campo magnético dejando en lo más alto a los cables de MT con  $6,95 \mu\text{T}$ , seguido del transformador con  $6,09 \mu\text{T}$  y finalmente a los cables de BT con  $2,5 \mu\text{T}$ , que consecuentemente guardan estrecha relación con las medidas levantadas en campo y el cálculo indicado en los apartados anteriores.

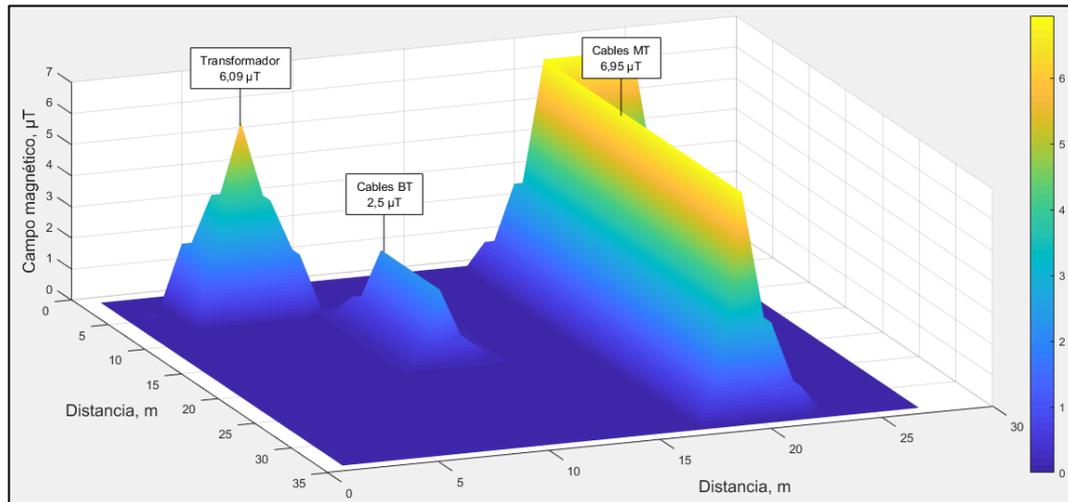


Figura 41. Simulación de campos magnéticos en 3D

### 3.1.7 Análisis de resultados y contrastación con normativa

Este acápite expresa de una manera concreta la comparación de los valores de radiación levantados en campo, calculados y simulados para finalmente validar con los límites que enuncia la normativa indicada en el capítulo I. Hecha la observación anterior se contrasta resultados de todas las zonas analizadas en esta investigación, según se observa en la tabla VII, considerando únicamente los valores máximos de cada área de estudio a la menor distancia, a razón de que los datos mínimos son despreciables frente a los límites establecidos como riesgo de exposición. De la misma manera se divisa la relación entre resultados que no tiene un margen de error considerable corroborando que el estudio es fiable. No obstante, los datos medidos en el transformador en comparación con el cálculo y la simulación tienen una diferencia notable, es por motivo que la verificación se realizó a partir de la cuba transformador y no como estipula el procedimiento en la sección 2.4.6, sobre las bornas de MT y BT.

TABLA VII  
CONTRASTE SEGUN NORMATIVA

Áreas de análisis	Valores medidos (μT)	Valores calculados (μT)	Valores simulados (μT)	Valores límite según normativa internacional (μT)	Valores límite según normativa nacional (μT)
Cables MT	5,05	4,03	6,95	1000	417
Cables BT	3,49	1,25	2,25	1000	417
Transformador	0,74	6,9	6,09	1000	417
Laboratorio	0,31	-	-	1000	417

De los anteriores planteamientos se deduce que los valores de radiación magnética recabados en las diferentes zonas del instituto se encuentran muy por debajo de los límites admisibles citados en la normativa referenciada. Concluyendo que no existe ningún riesgo para los estudiantes que acuden al laboratorio y que transitan por las áreas donde se encuentran las canalizaciones subterráneas de las acometidas de media y baja tensión, conjuntamente con el transformador generando un valor inferior, por razones expuestas anteriormente. Cabe agregar que se consideró los valores referenciales de exposición pública ya que el objeto de estudio de este proyecto se enfoca a la comunidad educativa, sin embargo, para la exposición ocupacional también se encuentra dentro del rango admisible.

Sobre la base de las consideraciones anteriores este apartado determina una mayor exposición de campo magnético a medida que se eleva la corriente obteniendo una relación directamente proporcional. Para este caso de estudio haciendo referencia a la tabla VI y los resultados expuestos en esta sección se observa que para una corriente de 450 A en MT se tiene 6,95 μT, mientras en BT con 120 A alcanza 3,49 μT, del mismo modo sobre las bornas del transformador con corrientes totales de 126 A se tiene 6,9 μT. La corriente en MT es mayor porque es un alimentador ajeno a la carga de la Institución y se lo considero por estar en gran parte de la superficie de estudio.

En este sentido es necesario recalcar que todos los datos fueron levantados dentro del tiempo de pandemia, es decir son datos aproximados que puede variar con el

aumento de carga en el caso de que las instalaciones trabajen al 100%. Sin embargo, los resultados encontrados indican que existe un rango amplio con respecto a la normativa, ubicando muy por debajo del límite permitido, en otras palabras, si existiera la posibilidad de duplicar el valor del campo magnético seguiría dentro del umbral legal.

En consecuencia, en este proyecto de investigación no es necesario tomar medidas correctivas para mitigar la radiación de campo magnético generado en la institución, estableciendo este lugar como seguro para el desarrollo académico que fue el principal objeto de estudio.

### **3.2 Evaluación de expertos**

En este proyecto de investigación la valoración de un experto en el área es necesario para corroborar el trabajo realizado y garantizar su viabilidad. Para su validación y verificación, el documento emitido se puede visualizar en el anexo xi.

### **3.3 Conclusiones del capítulo III**

En referencia de las acciones realizadas en este capítulo se puede manifestar que se logró la meta propuesta que fue analizar los campos magnéticos de las áreas consideradas las más vulnerables por la presencia de diferentes elementos que constituye una red eléctrica. Todo esto se obtuvo con el aporte de herramientas informáticas como MATLAB, AutoCAD, Excel y QuickField que facilitan la interpretación y visualización de resultados mediante histogramas, curvas y graficas en 3D.

## 4 Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones generales

- Parte de la bibliografía investigada con respecto a la temática de campos magnéticos permite exteriorizar los efectos que puede causar una exposición que se encuentre fuera de los límites, en este sentido se tiene un umbral establecido según normativa local de  $417 \mu\text{T}$ , que servirá como línea base en la investigación.
- Disponer de diferentes métodos de análisis de campos magnéticos, permite valorar los resultados de medición, cálculo y simulación entre sí, con una efectividad del 90%. Los datos registrados en el instrumento de manera programada y continua permiten valorar el comportamiento de los campos magnéticos en diferentes escenarios y tiempos. Por otro lado, la simulación y el cálculo se basa en la corriente de los elementos en estudio y la distancia desde el punto de generación hasta el de medición. Concluyendo que los tres métodos entregan resultados confiables y con pequeños rangos de error entre sí.
- Para un análisis más exhaustivo y eficaz es necesario una considerable cantidad de valores que en este caso fueron recopilados a diferentes distancias y tiempos de los elementos generadores de campo magnético, permitiendo una contrastación de resultados con cálculos y simulación, en este sentido tomando los datos máximos de los tres métodos se tiene un campo magnético de  $6,95 \mu\text{T}$  para el alimentador que atraviesa el instituto,  $3,49 \mu\text{T}$  para la acometida de BT,  $6,09 \mu\text{T}$  que fueron analizados sobre las bornas del transformador y  $0,31 \mu\text{T}$  para el laboratorio, que contrastando con normativas nacionales e internacionales se concluye que las cotejos en las diferentes áreas de la institución se encuentran dentro de los límites admisibles, por lo cual no hay riesgo de daño en la salud de las personas que se localizan en contacto con estos elementos.

## Recomendaciones

- Controlar las emisiones de radiaciones no ionizantes en las áreas vulnerables de la Institución mediante monitorización periódica de los niveles de exposición al campo magnético ante posibles aumentos de carga interna o externa, considerando que existe una red de media tensión que atraviesa las instalaciones.
- Proyectar un análisis enfocado a las instalaciones que comprende a enlaces de radiofrecuencia, telecomunicaciones, internet, redes internas etc., ya que puede llegar a ser un riesgo para la salud por radiaciones de alta frecuencia, en los racks y nodos internos del Instituto.
- En la construcción de acometidas subterráneas de media y baja tensión e instalación de transformadores es recomendable garantizar las distancias de seguridad, canalizaciones y cámaras de transformación con su debida señalización para evitar afectaciones por niveles de radiación.
- En el caso de que se compruebe altos niveles de radiación de baja frecuencia socializar al personal del riesgo y afectaciones que puede causar a la salud en el caso de constante exposición y tomar medidas sustitutivas para mitigar el problema.
- Para el muestreo con cualquier instrumento de medición de campo magnético se debe considerar un área aislada de otros elementos y personas ya que pueden generar lecturas erróneas.
- Durante el levantamiento de información se debe tomar en cuenta los pozos de revisión donde existen reservas de cable, por motivo que al encontrarse en forma de bobina puede aumentar considerablemente la radiación.
- Para una posterior investigación referente a este tema en la institución se recomienda la medición de campo eléctrico para determinar valores máximos de exposición.

## Referencias Bibliográficas

- [1] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, “Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida,” p. 84, 2017.
- [2] I. H. Q. Vicuña, “Mitigación de los efectos sobre la salud de campos electromagnéticos producidos por redes eléctricas,” 2010.
- [3] P. M. G. J.J.Ugartemendia, J.A. Guemes, “Estudio de la distribución e intensidad de los campos magnético y eléctrico entorno a líneas eléctricas de alta tensión. Particularización para líneas de 220 y 400 kV,” 2018.
- [4] D. Otín, F. Artigas García, D. Reolons Martos, J. Comerón Tejero, and A. Canal Bienzobal, “Campos electromagnéticos y efectos en salud,” 2012, p. 70.
- [5] S. P. Hernández, “Doctorado en sistema inteligentes y aplicaciones numéricas en ingeniería,” Universidad de la Palmas de Gran Canaria, 2015.
- [6] J. Dong, L. Hong, and J. Meng, “Composite Electromagnetic Field Estimation Method Based on Element Field Decomposition and Superposition q q,” no. 1, pp. 1132–1134.
- [7] S. Ozen, H. F. Carlak, O. H. Colak, and S. Helhel, “Magnetic field risk analysis for employees and patients due to power transformers in hospital buildings,” *Prog. Electromagn. Res. Symp.*, pp. 1743–1746, 2017, doi: 10.1109/PIERS.2017.8262031.
- [8] F. M. Q. Mateo, “Modelo basado en minería de datos para la detección de pérdidas no técnicas de redes de distribución,” Universidad de Sevilla, 2017.
- [9] M. Masoud, Y. Jaradat, A. Manasrah, and B. Taleb, “What i Have in My Cup? A Liquid Identification Mechanism Based on Electrical Connectivity,” *2019 IEEE Jordan Int. Jt. Conf. Electr. Eng. Inf. Technol.*, p. 5, 2019, doi: 10.1109/JEEIT.2019.8717482.
- [10] G. Apaydin and S. S. Seker, “THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF ELECTROMAGNETIC FIELDS AROUND HIGH POWER TRANSFORMER,” no. 2, pp. 3–6, 2018.

- [11] S. Nikolovski, P. Maric, and Z. Baus, “Electromagnetic field calculation of transformer station 400/110 KV ernestinovo using the CDEGS software,” *J. Electr. Eng.*, vol. 58, no. 4, pp. 207–213, 2007.
- [12] S. Farag and K. M. Hossam E., “Magnetic fields management for underground cables structures,” *C I R E D 21st Int. Conf. Electr. Distrib.*, no. January 2013, pp. 1–4, 2011.
- [13] P. Rathebe, “Occupational Exposure to Static Magnetic Fields from MRI Units in Health Care Settings: a Narrative Review,” *Dep. Enviromental Heal. Univ. Johannesbg.*, pp. 9–12, 2019.
- [14] I. Std, I. Standards, C. Committee, N. Radiation, and I. S. Board, “IEEE Guide for the Measurement of Quasi-Static Magnetic and Electric Fields,” vol. 1996, 2008.
- [15] I. S. C. C. 39, *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.* .
- [16] Z. Jian, W. Xuhui, and Z. Lili, “Research of Parameter Self-learning Fuzzy Control Strategy in motor control system for Electric Vehicles,” no. 5.
- [17] Andrei Tchernitchin, “Efectos de la radiación Electromagnética sobre la salud,” *Agencia Protección Ambient. Estados Unidos*, pp. 1–24, 2018.
- [18] P. U. In and H. E. P. Hys, *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection Icnirp Guidelines for Limiting Exposure To*, vol. 118, no. March. 2020.
- [19] F. O. R. Limiting, E. To, and M. Fields, “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz TO 100 kHz),” *Health Phys.*, vol. 99, no. 6, pp. 818–836, 2010, doi: 10.1097/HP.0b013e3181f06c86.
- [20] W. H. Hayt and J. A. Buck, *Teoría electromagnética*, Séptima. Carlos Roberto Cordero Pedraza, 2001.
- [21] M. Córdoba and C. Monsalve, “Tipos de investigación, predictiva, interactiva, confirmatoria y evaluativa,” *Fund. Sypal*, pp. 139–140, 2008.

- [22] E. Ramsden, “Development: Development tools,” in *Project Development in the Solar Industry*, Elsevier, 2013, pp. 125–148.
- [23] L. Bottura and K. N. Henriksen, “FIELD MEASUREMENTS,” pp. 1–34.
- [24] PCE, “Medidor de campo magnético EMF200.”
- [25] R. Leveque, “Método de cálculo y cumplimiento de normativa de campos magnéticos en subestaciones eléctricas,” Universidad de Sevilla, 2019.
- [26] M. Communication, N. Standards, and C. Society, “IEEE Standard for Packet-based,” vol. 2019, 2019.
- [27] K. Ates, H. F. Carlak, and S. Ozen, “Magnetic Field Exposures due to Underground Power Cables: A Simulation Study,” *Proc. 2nd World Congr. Electr. Eng. Comput. Syst. Sci.*, pp. 1–7, 2016, doi: 10.11159/eee16.133.
- [28] A. L. Webster, *Estadística aplicada a los negocios y la economía*, Tercera. Santa Fe, 2000.
- [29] S. F. de la V. Trucíos, *Probabilidad y estadística*, Tercera Ed. 2008.
- [30] S. Pertegas and S. Pita, “La Distribución Normal,” 2001.
- [31] C. Gary, R. Cortina, and F. Hirsch, *Champs électriques et magnétiques engendrés par les réseaux de transport*, vol. 01. 1980.
- [32] A. E. de N. y Certificación, “Evaluación de los campos electromagnéticos alrededor de los transformadores de potencia,” 2008.

# **ANEXOS**

**ANEXO I. Fotografías de los diferentes puntos de  
medición**



Medición en cable de MT



Pozo de revisión en MT



Panorámica de laboratorios y cámara de transformación



Transformador de 300kVA



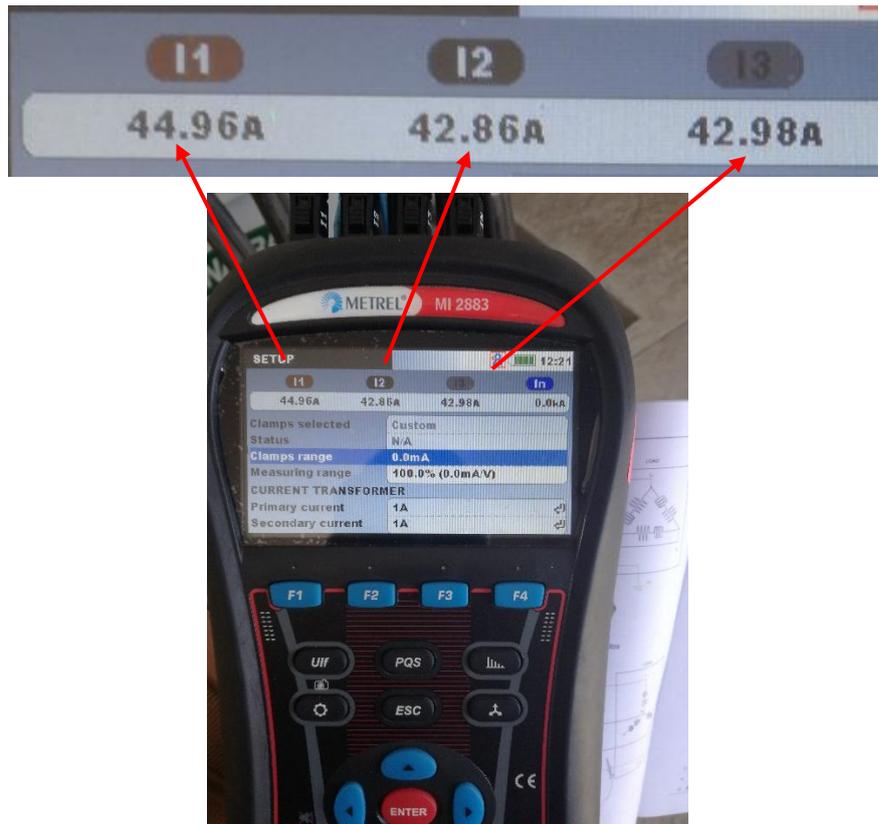
Medición en cables de BT



Medición en Laboratorio

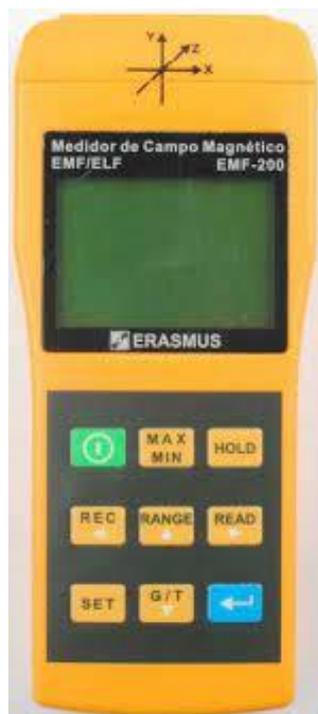


Medición de corriente con analizador de redes



Valor de la corriente en las tres fases

## **ANEXO II. Manual de uso del instrumento de medida**



### **Información del Producto**

EMF-200

### **Aplicación**

- Este medidor es usado para medir campos electromagnéticos de extrema baja frecuencia (ELF) de 30 a 2000Hz.
- Es capaz de medir la intensidad de radiación del campo electromagnético que es producido de equipos de transmisión eléctrica, líneas eléctricas, hornos microondas, aire acondicionado, refrigeradores, computadores, dispositivos de video/audio, etc.
- La unidad de campo magnético es Tesla (T), Gauss (G), milli-Gauss (mG) o micro-Tesla ( $\mu$ T).

### **Características**

- Usa tres sensores ortogonales internos para probar un amplio rango de campos magnéticos ELF, independiente de la medición del ángulo.
- El probador está diseñado para proveer al usuario un rápido, seguro y fácil camino para medir niveles de radiación de campo magnético alrededor de líneas de energía, artefactos para el hogar y dispositivos industriales.

- El probador es un instrumento rentable de mano que fue diseñado y calibrado para medir radiación en campo magnético en diferentes anchos de banda desde 30HZ a 2000HZ.
- Expone unidades micro Tesla (u T) o milli Gauss (m G). Función de retención de datos (HOLD)、retención máxima (MAX)y retención mínima (MIN).
- Modo de selección de Auto rango o rango manual.
- Capacidad de registro de datos con tamaño de memoria : 500 conjuntos de datos o 9999 conjuntos de datos (192D).
- Interfase USB PC (192D).
- Función de tiempo y calendario.
- Sobrecarga “OL”.
- Función de auto apagado.

### **Especificaciones**

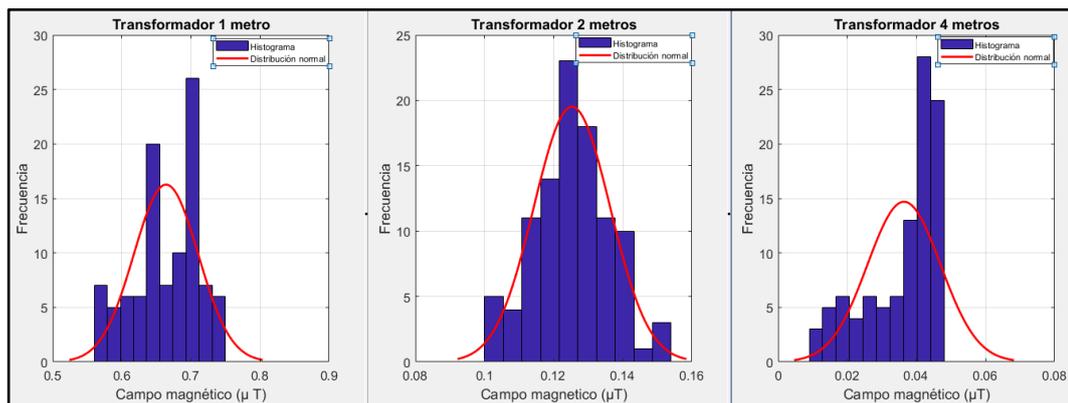
- **Pantalla:** Triple LCD 4 dígitos.
- **Rango:** 20/200/2000 mG, 2/20/200 $\mu$ T.
- **Resolución:** 0.01/0.1/1 mG ó 0.001/0.01/0.1  $\mu$ T.
- **Respuesta de la frecuencia:** 30Hz a 2000Hz.
- **Sensor:** Triple Axis (X, Y, Z).
- **Exactitud:** 20 mG /2 $\mu$ T $\pm$ (3.0%+30dgt) en 50Hz/60Hz.
- $\pm$ (2.5%+5dgt) en 50Hz/60Hz.
- $\pm$ (5%+5dgt) en 30Hz/2000Hz.
- **Sobre carga:** LCD muestra “OL”.
- **Frecuencia de muestreo:** 2.5 tiempos por segundo.
- **Batería:** 9V NEDA 1604, IEC 6F22 ó JIS 006P.

- **Vida de la batería:** Aproximadamente 100 horas.
- **Temperatura de operación y humedad:** 5°C a 40°C, bajo 80% RH.
- **Temperatura de almacenamiento & humedad:** -10°C a 60°C, bajo 70%.  
Peso: Alrededor de 230g.
- **Dimensiones:** 173(L)\*80(W)\*32(H) mm.
- **Accesorios:** Manual de usuario, batería 9V, estuche portátil. MINI USB 4P(MACHO) a tipo de cable USB A, disco CD 192D).

## **ANEXO III. Análisis estadístico**

## Análisis estadístico del transformador

Para ilustrar el comportamiento de los campos magnéticos en el transformador se presenta en la figura 20, un histograma elaborado mediante el software MATLAB de los datos recopilados a uno, dos y cuatro metros como se indicó en el capítulo anterior. Claramente se puede observar en los tres casos que las barras del histograma se encuentran dentro de una distribución normal que se dibuja a partir de los mismos datos receptados en campo, con unas cuantas excepciones que salen de la normalidad, sin embargo no quiere decir que los valores se encuentran mal o fuera de rango, debido a que son datos reales indagados en campo con diferentes condiciones, en diferentes posiciones e incluso en diferentes días y horas lo cual puede incidir de manera directa en el análisis. El histograma podría ajustarse a una distribución normal cuando los valores sean hipotéticos u obtenidos mediante cálculos.

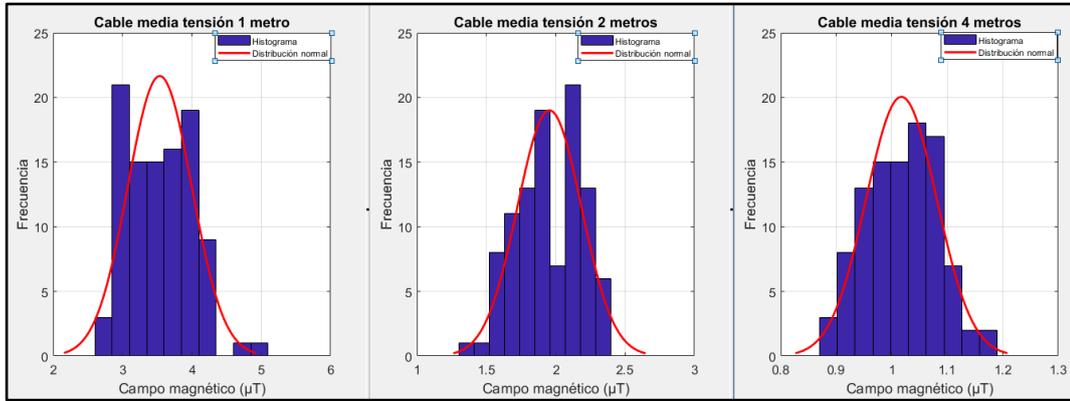


Histograma del transformador

## Análisis estadístico de cables de MT

En el análisis expresado mediante la figura 22, revela la relación directa entre un histograma y la distribución normal que se diseñaron con los datos recabados en campo mediante el analizador, donde indica que gran parte de los valores se encuentra dentro de la normalidad a excepción de la distancia referida a 1 metro, que tiene un valor mayor a 5  $\mu\text{T}$ , no obstante es un valor de frecuencia baja lo que se puede asumir que se generó por algún factor externo en el momento de la medición. Por otro lado, la distancia de 4 metros es la que más se acopla a la

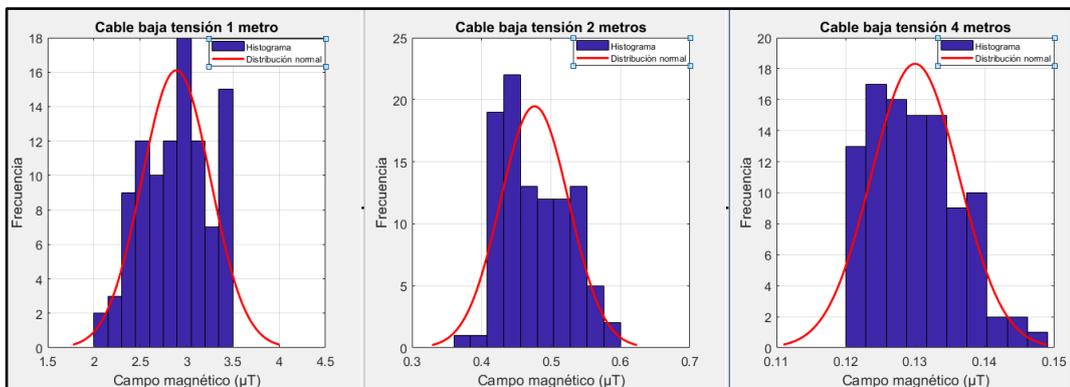
distribución establecida con una media de 1,01 y una desviación estándar de 0,064, tomando como la más representativa.



Histograma cables de media tensión

### Análisis estadístico de cables de BT

Con respecto a la acometida en baja tensión, la figura 24 exhibe el histograma y la distribución normal ejecutados en base a los datos recopilados en los dos puntos asignados como estratégicos para el muestreo, entregando un resultado acoplado y dentro de los límites de la normalidad para las tres distancias descritas en el capítulo anterior. Para este caso los datos más representativos ajustados a la campana de Gauss se relacionan con la información tomada a cuatro metros de distancia localizándose y acaparando toda el área bajo la curva, garantizando un muestreo óptimo y justificado en tiempo y espacio, con una desviación media de 0,48 y desviación estándar de 0,05.

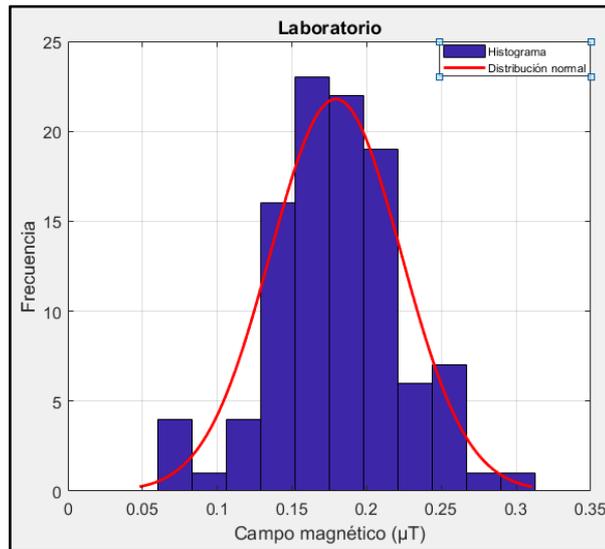


Histograma cables de baja tensión

### Análisis estadístico de cables de MT

El laboratorio es una de las áreas vulnerables a la radiación de campo magnético que puede generar el transformador, por encontrarse bajo una misma infraestructura como se indicó en la figura 19, siendo un caso semejante el laboratorio de energías renovables que se encuentra montado sobre el área del transformador y grupo electrógeno (ver anexo I). Cabe agregar que los valores recopilados son simétricos en las dos áreas académicas mencionadas anteriormente, razón por la cual se consideró seleccionar una sola zona de manera central ya que el mayor desarrollo de actividades se lo realiza en el punto indicado.

Con respecto al histograma relacionado con la distribución normal de la figura 26, se puede observar que todos los valores medidos están ubicados en el área bajo la curva con una media de 0,18 y una desviación estándar de 0,04, sin valores fuera de rango concluyendo que el levantamiento de datos en esta zona fue positiva.



Histograma laboratorio

## **ANEXO IV. Memoria de cálculo**

Para los diferentes cálculos realizados en este anexo se consideró los datos expuestos en la sección 2.4.3 y la tabla VI.

## Cálculo de campo magnético en cables de MT

### 1 metro

$$B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \sqrt{h^2 + L^2}}$$

$$B_R = \frac{(1,26 \times 10^{-7}) \times 134}{2 \times \pi \times \sqrt{2^2 + 1^2}} \quad B_S = \frac{(1,26 \times 10^{-7}) \times 151}{2 \times \pi \times \sqrt{2^2 + 1^2}} \quad B_T = \frac{(1,26 \times 10^{-7}) \times 166}{2 \times \pi \times \sqrt{2^2 + 1^2}}$$

$$B_R = 1,20 \mu T$$

$$B_S = 1,35 \mu T$$

$$B_T = 1,48 \mu T$$

$$B_{total} = B_R + B_S + B_T = 1,20 + 1,35 + 1,48 = 4,03 \mu T$$

### 2 metros

$$B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \sqrt{h^2 + L^2}}$$

$$B_R = \frac{(1,26 \times 10^{-7}) \times 134}{2 \times \pi \times \sqrt{2^2 + 2^2}} \quad B_S = \frac{(1,26 \times 10^{-7}) \times 151}{2 \times \pi \times \sqrt{2^2 + 2^2}} \quad B_T = \frac{(1,26 \times 10^{-7}) \times 166}{2 \times \pi \times \sqrt{2^2 + 2^2}}$$

$$B_R = 0,94 \mu T$$

$$B_S = 1,07 \mu T$$

$$B_T = 1,17 \mu T$$

$$B_{total} = B_R + B_S + B_T = 0,94 + 1,07 + 1,17 = 3,19 \mu T$$

### 4 metros

$$B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \sqrt{h^2 + L^2}}$$

$$B_R = \frac{(1,26 \times 10^{-7}) \times 134}{2 \times \pi \times \sqrt{2^2 + 4^2}} \quad B_S = \frac{(1,26 \times 10^{-7}) \times 151}{2 \times \pi \times \sqrt{2^2 + 4^2}} \quad B_T = \frac{(1,26 \times 10^{-7}) \times 166}{2 \times \pi \times \sqrt{2^2 + 4^2}}$$

$$B_R = 0,59 \mu T$$

$$B_S = 0,67 \mu T$$

$$B_T = 0,74 \mu T$$

$$B_{total} = B_R + B_S + B_T = 0,59 + 0,67 + 0,74 = 2,02 \mu T$$

## Cálculo de campo magnético en cables de BT

### 1 metro

$$B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \sqrt{h^2 + L^2}}$$

$$B_R = \frac{(1,26 \times 10^{-7}) \times 43}{2 \times \pi \times \sqrt{2^2 + 1^2}} \quad B_S = \frac{(1,26 \times 10^{-7}) \times 43}{2 \times \pi \times \sqrt{2^2 + 1^2}} \quad B_T = \frac{(1,26 \times 10^{-7}) \times 43}{2 \times \pi \times \sqrt{2^2 + 1^2}}$$

$$B_R = 0,418 \mu T$$

$$B_S = 0,418 \mu T$$

$$B_T = 0,418 \mu T$$

$$B_{total} = B_R + B_S + B_T = 0,418 + 0,418 + 0,418 = 1,25 \mu T$$

### 2 metros

$$B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \sqrt{h^2 + L^2}}$$

$$B_R = \frac{(1,26 \times 10^{-7}) \times 43}{2 \times \pi \times \sqrt{2^2 + 2^2}} \quad B_S = \frac{(1,26 \times 10^{-7}) \times 43}{2 \times \pi \times \sqrt{2^2 + 2^2}} \quad B_T = \frac{(1,26 \times 10^{-7}) \times 43}{2 \times \pi \times \sqrt{2^2 + 2^2}}$$

$$B_R = 0,320 \mu T$$

$$B_S = 0,320 \mu T$$

$$B_T = 0,320 \mu T$$

$$B_{total} = B_R + B_S + B_T = 0,320 + 0,320 + 0,320 = 0,95 \mu T$$

### 4 metros

$$B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \sqrt{h^2 + L^2}}$$

$$B_R = \frac{(1,26 \times 10^{-7}) \times 43}{2 \times \pi \times \sqrt{2^2 + 4^2}} \quad B_S = \frac{(1,26 \times 10^{-7}) \times 43}{2 \times \pi \times \sqrt{2^2 + 4^2}} \quad B_T = \frac{(1,26 \times 10^{-7}) \times 43}{2 \times \pi \times \sqrt{2^2 + 4^2}}$$

$$B_R = 0,196 \mu T$$

$$B_S = 0,196 \mu T$$

$$B_T = 0,196 \mu T$$

$$B_{total} = B_R + B_S + B_T = 0,196 + 0,196 + 0,196 = 0,58 \mu T$$

## Cálculo de campo magnético del transformador

### 1 metro

$$B_{tot-max.} = 2 \times 10^{-7} \times I \times \left( \frac{\sqrt{3} \times d}{1 + d^2} \right)$$

$$B_{tot-max.} = 2 \times 10^{-7} \times 125,73 \times \left( \frac{\sqrt{3} \times 0,15}{1 + 0,022^2} \right)$$

$$B_{tot-max.} = 6,38 \mu T$$

### 2 metros

$$B_{tot-max.} = 2 \times 10^{-7} \times 125,73 \times \left( \frac{\sqrt{3} \times 0,15}{2 + 0,022^2} \right)$$

$$B_{tot-max.} = 3,23 \mu T$$

### 4 metros

$$B_{tot-max.} = 2 \times 10^{-7} \times 125,73 \times \left( \frac{\sqrt{3} \times 0,15}{4 + 0,022^2} \right)$$

$$B_{tot-max.} = 1,62 \mu T$$

## **ANEXO V. Extracto normas de referencia Internacional**



INTERNATIONAL COMMISSION  
ON NON-IONIZING RADIATION  
PROTECTION

# ICNIRP GUIDELINES

FOR LIMITING  
EXPOSURE TO  
TIME-VARYING  
ELECTRIC AND  
MAGNETIC FIELDS  
(1 Hz – 100 kHz)

## REFERENCE LEVELS

The reference levels are obtained from the basic restrictions by mathematical modeling using published data (Dimbylow 2005, 2006). They are calculated for the condition of maximum coupling of the field to the exposed individual, thereby providing maximum protection. Frequency dependence and dosimetric uncertainties were taken into account. The reference levels presented consider two distinct effects and approximate a combination of the induced electric fields in the brain, relevant for CNS effects, and the induced electric fields in non-CNS tissues anywhere in the body, relevant for PNS effects (i.e., at 50 Hz, the factor used to convert the basic restriction for CNS effects to an external magnetic field exposure is 33 V m<sup>-1</sup> per T, and for PNS effect 60 V m<sup>-1</sup> per T. An additional reduction factor of 3 was applied to these calculated values to allow for dosimetric uncertainty).

In addition, the electric field reference level for occupational exposure up to 25 Hz includes a sufficient margin to prevent stimulation effects from contact currents under most practical conditions. Between 25 Hz and 10 MHz the reference levels are based on the basic restriction on induced electric fields only and might thus not provide a sufficient margin to prevent stimulation effects from contact currents under all possible conditions in that frequency band.

The electric field reference levels for general public exposure up to 10 MHz prevent adverse indirect effects (shocks and burns) for more than 90% of exposed individuals. In addition, the electric field reference levels for general public exposure up to 50 Hz include a sufficient margin to prevent surface electric-charge effects such as perception in most people.

Tables 3 and 4 summarize the reference levels for occupational and general public exposure, respectively, and

the reference levels are illustrated in Figs. 2 and 3. The reference levels assume an exposure by a uniform (homogeneous) field with respect to the spatial extension of the human body.

### Spatial averaging of external electric and magnetic fields

Reference levels have been determined for the exposure conditions where the variation of the electric or magnetic field over the space occupied by the body is relatively small. In most cases, however, the distance to

**Table 3.** Reference levels for occupational exposure to timevarying electric and magnetic fields (unperturbed rms values).

Frequency range	E-field strength E (kV m <sup>-1</sup> )	Magnetic field strength H (A m <sup>-1</sup> )
1 Hz–8 Hz	20	1.63 10 <sup>5</sup> /f <sup>2</sup>
8 Hz–25 Hz	20	2 10 <sup>4</sup> /f
25 Hz–300 Hz	5 10 <sup>2</sup> /f	8 10 <sup>2</sup>
300 Hz–3 kHz	5 10 <sup>2</sup> /f	2.4 10 <sup>5</sup> /f
3 kHz–10 MHz	1.7 10 <sup>1</sup>	80

Notes:

- f in Hz.
- See separate sections below for advice on non sinusoidal and multiple frequency exposure.
- To prevent indirect effects especially in high electric fields see chapter on “Protective measures.”
- In the frequency range above 100 kHz, RF specific reference levels need to be considered additionally.

**Table 4.** Reference levels for general public exposure to timevarying electric and magnetic fields (unperturbed rms values).

Frequency range	E-field strength E (kV m <sup>-1</sup> )	Magnetic flux density B (T)
1 Hz–8 Hz	5	4 10 <sup>2</sup> /f <sup>2</sup>
8 Hz–25 Hz	5	5 10 <sup>3</sup> /f
25 Hz–50 Hz	5	2 10 <sup>4</sup>
50 Hz–400 Hz	2.5 10 <sup>2</sup> /f	2 10 <sup>4</sup>
400 Hz–3 kHz	2.5 10 <sup>2</sup> /f	8 10 <sup>2</sup> /f
3 kHz–10 MHz	8.3 10 <sup>2</sup>	2.7 10 <sup>5</sup>

Notes:

- f in Hz.
- See separate sections below for advice on non sinusoidal and multiple frequency exposure.
- In the frequency range above 100 kHz, RF specific reference levels need to be considered additionally.

the source of the field is so close that the distribution of the field is non-uniform or localized to a small part of the body. In these cases the measurement of the maximum field strength in the position of space occupied by the body always results in a safe, albeit very conservative exposure assessment.

For a very localized source with a distance of a few centimeters from the body, the only realistic option for the exposure assessment is to determine dosimetrically the induced electric field, case by case. When the distance exceeds 20 cm, the distribution of the field becomes less localized but is still non-uniform, in which case it is possible to determine the spatial average along the body or part of it (Stuchly and Dawson 2002; Jokela 2007). The spatial average should not exceed the reference level. The local exposure may exceed the reference level but with an important provision that the basic restriction shall not be exceeded. It is the task of standardization bodies to give further guidance on the specific exposure situations where the spatial averaging can be applied. This guidance shall be based on well established dosimetry. The standardization bodies also may derive new reference levels for special types of non-uniform exposure.

## **ANEXO VI. Extracto normas de referencia local**



# REGISTRO OFICIAL

ORGANO DEL GOBIERNO DEL ECUADOR

Administración del Sr. Ec. Rafael Correa Delgado

Presidente Constitucional de la República

## TRIBUNAL CONSTITUCIONAL

Año I -- Quito, Miércoles **14 de Marzo** del 2007 -- N° **41**

**DR. VICENTE NAPOLEON DAVILA GARCIA**  
**DIRECTOR**

Quito: Avenida 12 de Octubre N 16-114 y Pasaje Nicolás Jiménez Dirección:

Telf. 2901 - 629 -- Oficinas Centrales y ventas: Telf. 2234 – 540

Distribución (Almacén): 2430 – 110 -- Mañosca N° 201 y Av. 10 de Agosto

Sucursal Guayaquil: Calle Chile N° 303 y Luque -- Telf. 2527 – 107

Suscripción anual: US\$ 300 -- Impreso en Editora Nacional

1.700 ejemplares -- 80 páginas -- Valor US\$ 1.25

## S U P L E M E N T O

### SUMARIO:

**FUNCION EJECUTIVA**

**ACUERDOS:**

**MINISTERIO DEL AMBIENTE:**

**155** Expídense Normas Técnicas Ambientales para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental para los Sectores de Infraestructura: Eléctrico, Telecomunicaciones y Transporte (Puer-tos y Aeropuertos) .....1

**N° 155**

**Anita Albán Mora MINISTRA DEL AMBIENTE**

**Considerando:**

Que, la Constitución Política del Estado, en su artículo 86 consagra el derecho de la población ecuatoriana a vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado;

Que, conforme a lo dispuesto en la Constitución Política de la República en su artículo 88 y en la Codificación de la Ley de Gestión Ambiental, artículo 28, para la formulación del presente reglamento la propuesta de normativa técnica ambiental fue conocida, analizada y discutida tanto por la sociedad civil como por los sectores productivos involucrados;

Que, el artículo 9 literal d) de la Ley de Gestión Ambiental establece como atribución del Ministerio del Ambiente la coordinación con los organismos competentes para expedir y aplicar normas técnicas, manuales y parámetros generales de protección ambiental, aplicables en el ámbito nacional;

**NORMA DE RADIACIONES NO IONIZANTES DE CAMPOS ELECTROMAGNETICOS**

**LIBRO VI ANEXO 10**

**0 INTRODUCCION**

La presente Norma Técnica Ambiental es dictada al amparo de la Ley de Gestión Ambiental y Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, Libro VI, Título IV, Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, la Ley de Régimen del Sector Eléctrico y el Reglamento Ambiental para Actividades Eléctricas y se somete a las disposiciones de éstos y es de aplicación obligatoria.

Este instrumento rige en todo el territorio nacional y particularmente para los concesionarios y titulares de permisos y licencias para la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. En tal virtud, las normas de este instrumento deberán observarse en subestaciones de electricidad, sistemas de transporte de energía eléctrica, estructuras, torres, postes, cables,

transformadores de potencia y cualquier otro elemento utilizado para fines de generación, transmisión, distribución y uso de energía eléctrica. Además, la presente norma es mandatoria para los concesionarios de frecuencias utilizadas para los Sistemas y Servicios de Radiodifusión y Televisión, bajo la administración del Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión (CONARTEL) y para los concesionarios de frecuencias del espectro electromagnético para telecomunicaciones, bajo la administración del Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL).

**1 OBJETO**

El presente anexo normativo técnico ambiental establece las disposiciones que garantizan la salud y seguridad del público en general y trabajadores derivados de la exposición a radiaciones no ionizantes provenientes de sistemas eléctricos, tales como sistemas de generación, transformación, transporte, distribución y utilización de energía eléctrica con frecuencia de 60 Hz y para el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico (3 kHz - 300 GHz).

Mediante las disposiciones que aquí se establecen, se busca prevenir los efectos negativos conocidos en el corto plazo en los seres humanos, causados por la circulación de corrientes inducidas y por la absorción de energía. Se excluyen de esta norma disposiciones para evitar los efectos a largo plazo, incluidos los posibles efectos cancerígenos de la exposición a campos electromagnéticos variables en el tiempo, sobre los cuales no existen pruebas científicas concluyentes que establezcan una relación de causalidad.

**2 DEFINICIONES**

Para el propósito de esta norma se consideran las definiciones que se presentan a continuación:

**2.1 ALTA TENSION**

Nivel de voltaje superior a 40 kV, y asociado con la transmisión y subtransmisión de energía eléctrica.

**2.2 ASIGNACION**

Es la determinación técnica de la frecuencia o canal y de sus características de operación, por parte de la Superintendencia de Telecomunicaciones, que servirá para que el CONARTEL conceda esa frecuencia o canal a un usuario determinado.

**2.3 BAJA TENSION**

Instalaciones y equipos que operan a voltajes inferiores a 600 voltios.

**2.4 CAMPOS ELECTROMAGNETICOS**

Se denominan a los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo, de frecuencias de hasta 300 GHz.

**2.5 CONATEL**

Consejo Nacional de Telecomunicaciones.

**2.6 CONARTEL**

Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión.

## **2.7 CONELEC**

Consejo Nacional de Electricidad.

## **2.8 EMPRESA DISTRIBUIDORA**

Es la persona jurídica que tiene la concesión del estado para brindar el servicio de suministro de energía eléctrica a los consumidores finales ubicados dentro de su área de concesión, área respecto de la cual goza de exclusividad regulada.

## **2.9 EMPRESA GENERADOR/AUTOGENERADORA**

Aquella que produce energía eléctrica, destinada al mercado libre o regulado y/o para su consumo propio.

## **2.10 EMPRESA DE TRANSMISION**

Empresa que presta el servicio de transmisión de energía eléctrica en alta tensión desde el punto de entrega de un generador o un autogenerador, hasta el punto de recepción de un distribuidor.

## **2.11 ENERGIA ELECTROMAGNETICA**

La energía almacenada en un campo electromagnético.

## **2.12 ESTACION DE RADIODIFUSION O TELEVISION**

Son transmisores con antenas e instalaciones accesorias, necesarias para asegurar un servicio de radiodifusión o televisión en un área de operación autorizada.

## **2.13 EXPOSICION PUBLICA (AMBIENTAL)**

Toda exposición a campos electromagnéticos experimentado por las personas en general, excepto la exposición ocupacional y exposición durante procedimientos médicos.

## **2.14 FRECUENCIA**

El número de ciclos sinusoidales completados por las ondas electromagnéticas en 1 segundo; expresado generalmente en hertzios (Hz).

## **2.15 FUENTE EMISORA DE RADIACION NO IONIZANTE DE 60 HZ**

Es toda instalación que disponga de equipamiento eléctrico tales como generadores, motores, subestaciones, transformadores, líneas de transmisión de alta tensión, sistemas de distribución u otros.

## **2.16 INTENSIDAD DEL CAMPO ELECTRICO**

La intensidad de campo eléctrico (E) en una carga positiva estacionaria en un punto de un campo eléctrico; medido en voltios por metro (V m-1).

## **2.17 INTENSIDAD DEL CAMPO MAGNETICO**

Una cantidad axial del vector, H, que, junto con la densidad de flujo magnético, especifica un campo magnético en cualquier punto en el espacio, y se expresa en amperio por metro (A m-1).

## **2.18 LINEA DE TRANSMISION**

La línea de transmisión de energía eléctrica es un tramo radial entre dos subestaciones consistente de un conjunto de estructuras, conductores y accesorios que forman una o más ternas de conductores diseñadas para operar a voltajes mayores de 40 kV.

## **2.19 LONGITUD DE ONDA**

La distancia entre dos puntos sucesivos de una onda periódica en la dirección de propagación, en la cual la oscilación tiene la misma fase.

## **2.20 MEDIA TENSION**

Instalaciones y equipos que operan a voltajes entre 600 voltios y 40 kV.

## **2.21 NIVELES DE REFERENCIA**

Valores destinados a proveer de protección al individuo expuesto a campos electromagnéticos. En cualquier situación particular de exposición, los valores medidos o calculados de cualquiera de las cantidades de: Intensidad de campo eléctrico (E), la Intensidad de campo magnético (H), y la Inducción magnética (B), pueden compararse con el nivel de referencia adecuado.

## **2.22 PERSONAL OCUPACIONALMENTE EXPUESTO**

Consiste de adultos que generalmente están expuestos a campos electromagnéticos bajo condiciones conocidas y que son entrenados para estar conscientes del riesgo potencial y para manejarlo mediante las protecciones adecuadas, durante su jornada de trabajo.

## **2.23 RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI)**

Incluye todas las radiaciones y campos del espectro electromagnético que no poseen la suficiente energía para producir la ionización de materia. Se caracterizan por poseer longitudes de onda mayores de 100 nanómetros, frecuencias inferiores a  $3 \times 10^{15}$  Hz y una energía por fotón menor a 12 electronvoltios (eV).

## **2.24 RADIODIFUSION**

Son todos los medios, sistemas o servicios de radiodifusión y televisión.

## **2.25 RADIODIFUSION SONORA**

Es el servicio de radiocomunicaciones cuyas emisiones sonoras se destinan a ser recibidas directamente por el público en general.

## **2.26 RADIODIFUSION DE TELEVISION**

Es el servicio de radiocomunicación cuya emisión de imágenes y sonidos se destinan al público.

### **2.27 RADIOFRECUENCIA (RF)**

Comprende cualquier frecuencia en la cual la radiación electromagnética sea útil para la telecomunicación. Generalmente tiene un rango de frecuencia de 3000 Hz a 300 GHz.

### **2.28 SERVICIOS FINALES**

Son aquellos que proporcionan la capacidad completa para la comunicación entre usuarios, incluidas las funciones de equipo terminal y que generalmente requieren elementos de conmutación.

### **2.29 SERVICIOS PORTADORES**

Son aquellos que proporcionan a terceros la capacidad necesaria para la transmisión de signos, señales, datos, imágenes y sonidos entre puntos de terminación de una red definidos, usando uno o más segmentos de una red. Estos servicios pueden ser suministrados a través de redes públicas conmutadas o no conmutadas integradas por medios físicos, ópticos y electromagnéticos.

### **2.30 SERVICIO DE RADIODIFUSION POR SATELITE**

Es el servicio de radiocomunicación en el cual las señales emitidas o retransmitidas por estaciones espaciales están destinadas a la recepción directa por el público en general, en las bandas atribuidas al servicio de radiodifusión por satélite. Incluye radiodifusión sonora y radiodifusión de televisión.

### **2.31 SISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA**

Conjuntos de equipos eléctricos utilizados para la generación, transformación, transmisión, distribución y utilización de energía eléctrica.

### **2.32 SISTEMA DE RADIODIFUSION O TELEVISION**

Es el conjunto de una estación matriz y sus repetidoras que emiten la misma y simultánea programación con carácter permanente.

### **2.33 SISTEMA DE RADIODIFUSION SINCRONICA EN ONDA MEDIA**

Es el conjunto de estaciones de radiodifusión en onda media que utilizan una frecuencia sincronizada y una fase para transmitir una misma y simultánea programación, con el fin de cubrir el área de servicio autorizada, en forma permanente.

### **2.34 SUBESTACIONES**

Es un conjunto de equipos de conexión y protección, conductores y barras, transformadores y otros equipos auxiliares que están conectados a una o más líneas de transmisión o subtransmisión de energía eléctrica.

### **2.36 SUPTEL**

Superintendencia de Telecomunicaciones.

### **2.36 TIPOS DE CONCESIONES DE TELECOMUNICACIONES**

Son las modalidades de aplicación de las concesiones de las telecomunicaciones. Estas incluyen: sistema fijo y móvil terrestre, sistema buscapersonas, sistema fijo y móvil por satélite, provisión de segmento espacial, servicio de espectro ensanchado, sistemas para uso temporal, servicio radio aficionados, servicios de banda ciudadana.

### **2.37 ZONA OCUPACIONAL**

Es aquella área destinada a la realización de actividades laborales, cuyas radiaciones no ionizantes están por debajo de los límites de exposición aplicables a los trabajadores, pero que sobrepasa los límites aplicables de exposición al público en general.

### **2.38 ZONA DE REBASAMIENTO**

Se determina zona de rebasamiento cuando la exposición de radiaciones no ionizantes sobrepasa los límites aplicables de exposición a los trabajadores y al público en general.

## **3 CLASIFICACION**

Los ámbitos normativos de este instrumento son los siguientes:

- Requerimientos mínimos de seguridad para exposición a campos eléctricos y magnéticos de 60 Hz.
  - Disposición general.
  - Niveles de referencia para exposición laboral y para público general a campos eléctricos y magnéticos de 60 Hz.
  - Determinación de campos eléctricos y magnéticos de 60 Hz.
- Generales.
- Requisitos y métodos de medición.
- Instrumentos de medición.
  - Delimitación de zonas, tanto laborales como pública, en donde se exceden los niveles de referencia para campos eléctricos y magnéticos.
- Disposiciones para radiaciones no ionizantes generadas por el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico (3 KHZ 300 GHZ).
  - Generales.
  - Límites máximos permisibles de radiaciones no ionizantes generadas por uso de frecuencias del espectro radioeléctrico (3 kHz - 300 GHz).

## **4 REQUISITOS**

### **4.1 REQUERIMIENTOS MINIMOS DE SEGURIDAD PARA EXPOSICION A CAMPOS ELECTRICOS Y MAGNETICOS DE 60 HZ**

#### **4.1.1 Disposiciones Generales.**

4.1.1.1 Como parte de la auditoría ambiental anual establecida en el artículo 37 literal b) del Reglamento Ambiental para Actividades Eléctricas, las empresas de transmisión y distribución de energía eléctrica, deberán presentar al CONELEC los resultados de las mediciones actuales de los campos eléctricos y magnéticos de todas sus instalaciones, a fin de verificar que los valores de dichos campos se encuentren en cumplimiento con la presente normativa. La medición de campos eléctricos y magnéticos incluirá de modo particular los sitios en donde se observe el efecto acumulativo con otras fuentes de radiaciones no ionizantes de 60 Hz, y en que además se identifique la presencia de asentamientos humanos en sus proximidades.

4.1.1.2 Una vez analizados los resultados de las mediciones de campos eléctricos y magnéticos, el CONELEC otorgará un plazo perentorio para la adecuación o corrección de las instalaciones, a fin de que los niveles de referencia para exposición a campos eléctricos y magnéticos de 60 Hz se encuentren en niveles iguales o inferiores a los definidos en esta norma. Para el otorgamiento de este plazo el CONELEC tomará en consideración lo establecido en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, en su Libro VI Título IV Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en su transitoria tercera.

4.1.1.3 En base a los resultados obtenidos, el CONELEC establecerá una base de datos de los resultados de la medición de campos eléctricos y magnéticos de las empresas bajo su control.

4.1.1.4 En base a los resultados de medición de campos eléctricos y magnéticos de sus instalaciones, las empresas aplicarán un plan de adecuación o de corrección, que incluirá medidas técnicas y administrativas destinadas a evitar que la exposición supere los niveles de referencia establecidos en la presente norma, teniendo en cuenta lo siguiente:

- a) Establecer otros métodos de trabajo que conlleven menor exposición a los campos electromagnéticos;
- b) La elección de equipos que generen menos campos electromagnéticos, considerando las tareas a las que se destinan;
- c) Las medidas técnicas para reducir la emisión de los campos electromagnéticos, incluido, cuando sea necesario, el uso de sistemas de bloqueo, el blindaje o mecanismos similares de reducción;
- d) Los programas adecuados de mantenimiento de los equipos de trabajo y de los lugares de trabajo;
- e) La concepción y disposición de los lugares y puestos de trabajo;
- f) La limitación de la permanencia a la exposición;
- g) La disponibilidad de equipo adecuado de protección personal; y,
- h) La señalización obligatoria en los lugares en que el público en general y el personal ocupacional, puedan estar expuestos a campos electromagnéticos que superen los valores de referencia.

4.1.1.5 Si a pesar de las medidas adoptadas por la empresa para cumplir lo dispuesto en la presente norma, se superasen los valores de referencia de exposición, la empresa actuará inmediatamente para situar la exposición por debajo de dichos valores, determinará las causas por las que se han superado esos valores y modificará en consecuencia las medidas de protección y prevención para impedir que se vuelvan a superar dichos valores.

4.1.1.6 Las medidas de protección para los trabajadores incluyen controles de ingeniería y administrativos. Como primer paso se iniciarán controles de ingeniería donde sea posible, para reducir las emisiones a niveles aceptables. Tales controles deben incluir diseños seguros y donde sea necesario el uso de apantallamientos o mecanismos similares de protección.

4.1.1.7 Los controles administrativos incluyen la limitación de acceso, advertencias audibles y visibles, los cuales podrán ser usados en conjunto con los controles de ingeniería. Aquellas medidas de protección personal tales como el uso de ropa apropiada, aunque útiles en ciertas circunstancias, deberán ser consideradas como el último recurso para garantizar la seguridad del trabajador.

4.1.1.8 Los operadores de líneas de transmisión o de subtransmisión deberán solicitar al CONELEC la constitución de las servidumbres eléctricas necesarias sobre la faja de terreno a lo largo de todo el trazado de dichas líneas, sea éste por áreas urbanas o rurales. Estas servidumbres deberán ser debidamente protocolizadas y registradas ante los notarios y registradores de la propiedad que correspondan. El ancho de esta faja dependerá de la distancia mínima que por razones de seguridad deberá mantenerse libre de asentamientos poblacionales, edificaciones, estructuras, árboles y cualquier tipo de vegetación a cada lado de la línea. Para el caso de asentamientos poblacionales, el ancho de la servidumbre será aquel que asegure que la exposición a campos eléctricos de las áreas habitadas no exceda los límites previstos en esta normativa. Los operadores de las líneas indicadas deberán informar a los gobiernos seccionales correspondientes (consejos provinciales, municipalidades, juntas parroquiales y circunscripciones territoriales indígenas y afroecuatorianas) de la constitución de estas servidumbres en sus jurisdicciones.

4.1.1.9 Será responsabilidad de los respectivos operadores el controlar que no se desarrollen asentamientos humanos provisionales ni definitivos dentro de la franja de servidumbre. Para las líneas de transmisión o subtransmisión existentes, en las que se hubieran creado asentamientos humanos dentro de la franja que corresponde a la servidumbre, se procederá a la reubicación de los asentamientos o a la modificación del trazado, según convenga por razones de orden económico, cultural o histórico.

4.1.2 Niveles de referencia para exposición ocupacional y pública a campos eléctricos y magnéticos de 60 Hz.

4.1.2.1 Los niveles de referencia para la exposición a campos eléctricos y magnéticos provenientes de fuentes de 60 Hz, para público en general y para personal ocupacionalmente expuesto, se encuentran establecidos en la Tabla 1.

**TABLA 1****NIVELES DE REFERENCIA PARA LA EXPOSICION A CAMPOS ELECTRICOS  
Y MAGNETICOS DE 60 HZ**

<b>Tipo de Exposición</b>	<b>Intensidad Campo Eléctrico (E) (V m<sup>-1</sup>)</b>	<b>Intensidad Campo Magnético (H) (A m<sup>-1</sup>)</b>	<b>Densidad de Flujo Magnético (B) (Microteslas)</b>
Público en General	4 167	67	83
Personal Ocupacionalmente Expuesto	8 333	333	417

Fuente: Comisión Internacional De Protección De Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), 1998 Recomendaciones Para Limitar la Exposición a Campos Eléctricos, Magnéticos y Electromagnéticos (Hasta 300 GHz).

**ANEXO VII. Extracto norma IEEE (procedimiento de medición)**



# **5 IEEE Standard for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines**

IEEE Power and Energy Society

Developed by the  
Transmission and Distribution Committee

**IEEE Std 644™-2019**  
(Revision of IEEE Std 644-2008)

## 5. Magnetic field meters

### 5.1 General characteristics of magnetic field meters

Magnetic field meters consist of two parts, the probe or field sensing element, and the detector, which processes the signal from the probe and indicates the rms value of the magnetic field strength with an analogue or digital display. Magnetic field probes, consisting of an electrically shielded coil of wire (i.e., a single-axis probe) have been used in combination with a voltmeter as the detector for survey type measurements of power frequency magnetic field strength from power lines. Also available is instrumentation with three orthogonally-oriented coil probes (three-axis meters) that simultaneously measures the rms values of the three spatial components and combines them to give the resultant magnetic field strength [Equation (2)]. Magnetic field meters measure the component of the oscillating (linearly polarized) or rotating (elliptically or circularly polarized) magnetic field vector that is perpendicular to the area of the probe(s).

Hall-effect gaussmeters that can measure magnetic flux densities from dc to several hundred hertz are available. However, Hall-effect magnetic field probes respond to the total flux density. Due to their low sensitivity and saturation problems from the earth's field, they have been seldom used under power lines. Such instrumentation will not be considered here.

There are fewer mechanisms for magnetic flux density perturbations and measurement errors when compared with the  $E$ -field case. The instrumentation considered here consists of a shielded-coil probe and shielded detector with a connecting shielded cable. The probe can be held with a short dielectric handle without seriously affecting the measurement. Proximity effects of dielectrics and poor nonmagnetic conductors are, in general, negligible.

As previously noted for electric field strength meters (see 3.1), in order to adequately characterize the instrumentation, the manufacturer should provide a detailed description of the electronics, as well as the information called for in Figure 1 section C.

### 5.2 Theory and operational characteristics

The principle of operation of a coil-type magnetic flux density probe takes advantage of Faraday's law (in differential form):

$$\nabla \times \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t} \quad (10)$$

Using Stokes' theorem, this can be written in the form:

$$\oint \bar{E} \cdot d\bar{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_A \bar{B} \cdot d\bar{A} \quad (11)$$

where the integral on the left is a line integral along a curve enclosing a surface area  $A$  (see EPRI AC Transmission Line Reference Book [B7]) If the path of the left-hand integral is taken to be a closed loop of conductor with area  $A$ , and  $B$  is a quasi-static uniform field normal to area  $A$ , as shown in Figure 9, the line integral can be regarded as the voltage,  $V$ , developed across the ends of the loop in response to the time-rate-of-change in the magnetic flux  $BA$ . That is:

(12)

$$V = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t}(BA)$$

and from Figure 9:

$$V = -\omega B_0 A \cos \omega t \quad (13)$$

For a coil of many turns, the voltage given by Equation (13) will develop over each turn and the total voltage will increase accordingly. The induced current,  $I$ , has been assumed to be sufficiently small so that the opposing magnetic field generated by  $I$  can be neglected. It should be noted that the relationship between  $V$  and  $B_0$  given by Equation (13) assumes that the direction of  $B_0$  is perpendicular to the plane of the coil. Because only the space component of  $B_0$  perpendicular to the area of the coil induces a voltage, this is also the orientation for measuring the maximum magnetic flux density value.

Earlier remarks regarding the response of the detector to the 60 Hz and harmonic components of the  $E$ -field (see 3.2) apply in this case.

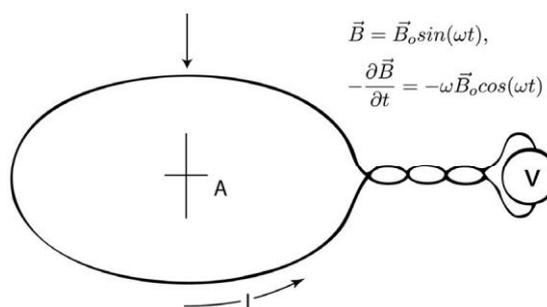


Figure 9 — Conducting loop in quasi-static uniform magnetic field

### 5.3 Calibration of magnetic field meters

#### 5.3.1 Description of calibration apparatus

Calibration of a magnetic field meter is normally done by introducing the probe into a nearly uniform magnetic field of known magnitude and direction (see Greene [B10]). Known magnetic fields can be produced by coil systems with circular and rectangular geometries (see Frix [B9], Kirschvink [B18], Ramo and Whinnery [B23], and Weber [B28]). For example, Helmholtz coils have frequently been employed to generate such fields. A single loop of many turns of wire with rectangular geometry for producing the field is described below because the equations for calculating the field at all points in space are in closed form (see Kotter [B19] and Weber [B28]) and the coil system is simple to construct. The simplicity in construction is at the expense of reduced field uniformity, but sufficient uniformity for calibration purposes is readily obtained.

The  $z$ -component of the magnetic field produced by a rectangular loop of dimensions  $2a \times 2b$  is given by the following expression:

$$B_z = \frac{\mu_0}{4\pi} IN \sum_{\alpha=1}^4 \frac{(-1)^\alpha d_\alpha}{r_\alpha [r_\alpha + (-1)^{\alpha+1} C_\alpha]} - \frac{C_\alpha}{r_\alpha (r_\alpha + d_\alpha)} \quad (184)$$

where

$N$  = number of terms

$$C_1 = -C_4 = a + x, \quad r_1 = \sqrt{(a+x)^2 + (b+y)^2 + z^2}$$

$$C_2 = -C_3 = a - x, \quad r_2 = \sqrt{(a-x)^2 + (b+y)^2 + z^2}$$

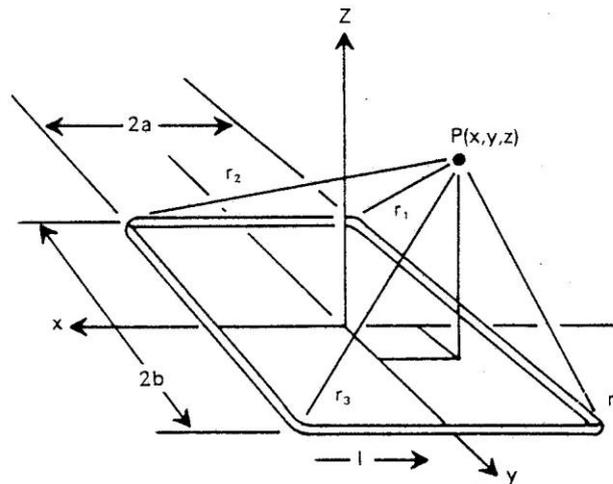
$$d_1 = d_1 = d_2 = b + y, \quad r_3 = \sqrt{(a-x)^2 + (b-y)^2 + z^2}$$

$$d_3 = d_2 = d_4 = y - b, \quad r_4 = \sqrt{(a+x)^2 + (b-y)^2 + z^2}$$

$I$  = the rms current

$\mu_0$  = the permeability of air ( $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ )

and the coordinates  $x$ ,  $y$ , and  $z$  are shown in Figure 10 (see Kotter [B19] and Weber [B28]). The conductors in the current loop are assumed to be of small cross section. It is noted for purposes of reference that  $B_z(0,0,0) = \mu_0 IN\sqrt{2}/\pi a$  for a square loop of side dimension  $2a$ . Equation (14) has been used to calculate the field values at and near the center of a square loop of dimensions  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ . The percentage departure from the central magnetic field value at nearby points in the plane of the loop and 3 cm above and below the plane of the loop is plotted in Figure 11. Also shown in Figure 11 is a scale drawing of a magnetic field probe 10 cm in diameter.



**Figure 10 — Coordinate system for current loop generating magnetic field  $B_z$**

It is noteworthy that a field meter with a coil probe will indicate a magnetic field value that is an average over the cross sectional area of the probe. The difference between this average and the central value [ $B_z(0, 0, 0)$ ] will be less than the maximum percent departure from the central value. For example, while the largest departure of the magnetic field from the central value is 0.63% for the 10 cm probe (in the plane of the loop) the average field is only 0.31% more than the central (calibration field) value.

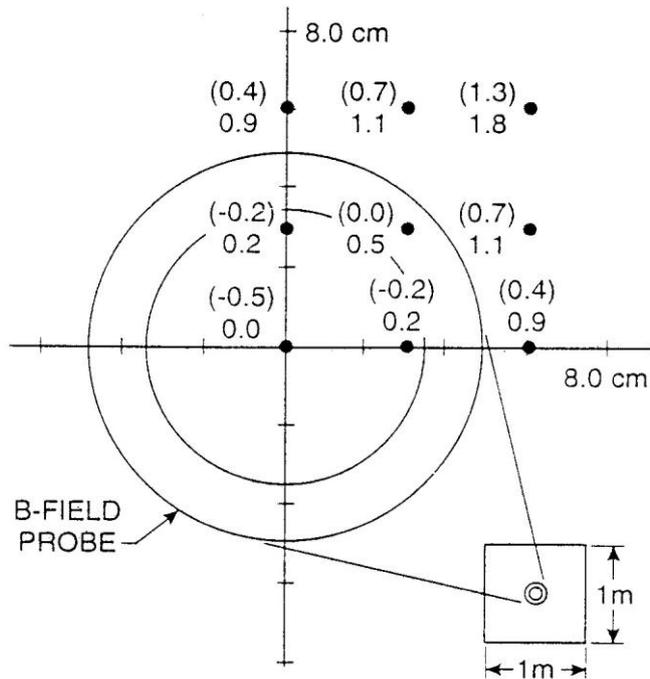


Figure 11 — Percentage departure of  $B_z$  from  $B_z(0, 0, 0)$  for positions in the plane of a square current loop  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  and  $3\text{ cm}$  above and below the plane (parentheses)

### 5.3.2 Calibration procedure

The magnetic field meter shall be calibrated periodically with interval between calibrations that is dependent in part on the stability of the meter. The magnetic field probe shall be placed in the center of a single loop (of many turns) with the plane of the probe coincident with that of the loop. Figure 12 shows a schematic view of the probe, loop, and associated apparatus. The loop dimension should be at least  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$  for a probe with a  $10\text{ cm}$  diameter. The loop may be scaled upward or downward for larger or smaller probes, respectively, to maintain a level of uniformity across the probe comparable to that shown in Figure 11. It is noted with emphasis that the calibration field may be generated with other coil systems provided that comparable uniformities can be obtained. Information on fields generated by rectangular, square, and circular coil systems (including Helmholtz coils) is given in Frix [B9], Kirschvink [B18], Ramo and Whinnery [B23], and Weber [B28].

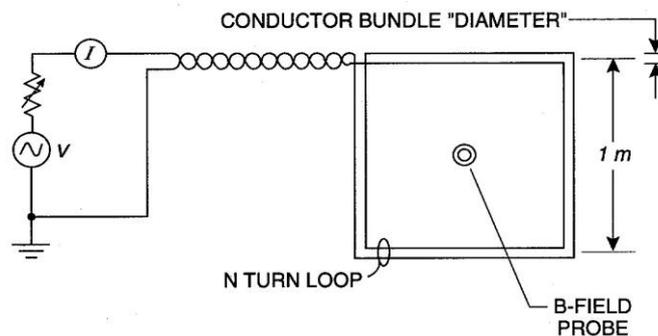


Figure 12 — Schematic of circuit for calibration of magnetic field meter

Calibrations should be performed for each axis of three-axis probes. Calibrations should also be accompanied by checks for crosstalk (see Clause 2) between the detector circuitry for each probe. Magnetic field meters with three-axis probes should also be calibrated for one orientation where approximately the same flux passes through all the coils.

A plot of the calculated magnetic field strength at the center of the loop,  $B_z(0, 0, 0)$ , vs. the current applied to the loop shall be made (see Figure 6 for electric field case). The uncertainty in the calculated magnetic field strength shall be indicated at a representative point with a vertical error bar. This error bar represents the combined uncertainties (i.e., the square root of the sum-of-the-squares) in the current measurement, the side dimension of the calibration loop, and the field nonuniformity (less than 0.5% for 10 cm probe), and shall be less than  $\pm 3\%$ .

NOTE—For example, if the uncertainties in the current measurement and loop dimension are  $\pm 0.2\%$  and  $\pm 2\%$ , respectively, the combined uncertainty in the value of the calibration field is:

$$\pm \left[ (0.2)^2 + (2.0)^2 + (0.5)^2 \right]^{1/2} \text{ or } \pm 2.1\%$$

A region of acceptable field meter readings, given by  $B_z(0, 0, 0) \pm 10\%$ , also shall be indicated on the plot and measured values obtained with the field meter that is being calibrated shall be plotted. At least three magnetic field levels for each range of the field meter, sufficient to span 30% to 90% of full scale, shall be recorded for meters with analog displays. At least four magnetic field levels, sufficient to span 10% to 90% of full scale, shall be recorded for meters with digital displays. Field meters with autoranging capabilities shall be calibrated on each range at no less than three representative points that span most of the range. On the most sensitive range, one of the calibration points shall be 10% of the maximum value *for that range*. On the least sensitive range, one of the calibration points shall be 90% of the maximum value *for that range*. The maximum measured field shall occur when the probe axis is rotated to within  $\pm 10^\circ$  of the loop axis ( $z$ -axis), and the maximum value shall lie within the region of acceptable field meter readings. A ‘zero response’ of the meter in an appropriately-shielded enclosure (such as a highpermeability enclosure) shall also be performed to verify that in the presence of no field the meter records a magnitude of zero. Field meters with readings that fail to satisfy the above criteria (i.e., data points lie outside the  $\pm 10\%$  region) shall be considered inaccurate.

The recorded field values permit the determination of correction factors that should be applied to field meter readings when measurements are performed in the vicinity of power lines. The uncertainty associated with the above calibration process is equal to  $\pm 3\%$  once the correction factors have been applied to the field meter readings.

Perturbations of the calibration field can occur because of ferromagnetic materials in close proximity to the calibration loop. For example, large permeability materials (such as steel in a nearby cabinet or desk, or a bracket under a table) will concentrate the magnetic flux and may perturb the value of the calculated field in the calibration loop. The influence of nearby ferromagnetic materials on the calibration field should be checked using a trial and error approach (e.g., the influence of a nearby relay rack on the magnetic field could be examined as a function of distance from the calibration coil).

The calibration loop should be no closer than two side dimensions away from any ground plane to avoid significant perturbations of the calibration field by image current loops [B12].

Calibrations shall be made prior to and after any extended period of meter use.

Energizing power supplies used for calibrations shall be nearly free (less than 1%) of harmonic content (see 3.2).

The temperature and humidity shall be recorded at the time of calibration to permit corrections for these parameters, if necessary, when measurements are performed under power lines.

## 5.4 Immunity from interference

Perturbation of magnetic field meter operation due to anticipated levels of ambient electric field strength under power lines should be quantified by the manufacturer and supplied to the user. Such perturbations, expressed as percentages, should be incorporated into measurement reports if significant [see Figure 1, section C (2)].

## 5.5 Parameters affecting accuracy of magnetic field measurements

Many of the difficulties described in 3.5 for measuring the strength of the electric field are not serious considerations for measurements of magnetic flux density. Positioning the probe, reading errors, proximity effects of the observer or nearby (nonconducting) objects, electrical leakage of probe handles, and nonuniformity of the field have much less or negligible impact. Electrical shielding of the probe, however, is essential in avoiding induced currents from the ambient electric field.

Temperature effects on the detector and poor mechanical balance of the meter movement (for meters with analog displays) remain possible sources of uncertainty.

## 6. Magnetic field measurement procedures

### 6.1 Procedure for measuring the magnetic field near power lines

The magnetic field strength under power lines should be measured at a height of 1 m above ground level. Measurements at other heights of interest (such as discussed in IEC 62110:2010 [B12]) shall be explicitly indicated. Field meters with single-axis probes shall be oriented to measure the maximum reading. Alternatively, field meters with three-axis probes may be used to measure the resultant magnetic field strength [Equation ( 2 ) ]. Horizontal and vertical field components may be measured when required for comparisons with calculations or for calculating induction effects in fences, etc. In all cases, when reporting measurement results, the quantity being reported (e.g., the maximum magnetic field strength or the resultant magnetic field strength) shall be clearly indicated.

It should be noted that during measurements of elliptically or circularly polarized fields, the resultant magnetic field will be greater than the maximum magnetic field (see IEEE Magnetic Fields Task Force Report [B14] and the correction to the report [B15]). The largest difference occurs for the case of circular polarization when the resultant magnetic field exceeds the maximum field by 41% [Equation (3)].

It also should be noted that the resultant magnetic field,  $B_R$ , is equal to the rms total magnetic flux density, independent of the phases of the orthogonal components (see Kaune [B17]). One consequence of the phase independence is that  $B_R$  is not unique in the sense that magnetic fields with different geometries can have the same resultant magnetic field. For example, a linearly polarized magnetic field with orthogonal components  $B_0 \sin \omega t$  and  $B_0 \sin \omega t$ , and a circularly polarized magnetic field with orthogonal components  $B_0 \sin \omega t$  and  $B_0 \cos \omega t$  will have the same resultant,  $B_0$ .

In cases where the magnetic field remains nearly constant, single-axis field meters may be used to determine the resultant field by measuring the vertical and horizontal field components and

combining them according to Equation (2). If signals from the individual probes of a three-axis field meter can be observed, one of the probes may be rotated to determine the maximum field.

The operator may stay close to the probe. Nonpermanent objects containing magnetic materials or nonmagnetic conductors should be at least three times the largest dimension of the object away from the point of measurement in order to measure the unperturbed field value. The distance between the probe and permanent magnetic objects should not be less than 1 m in order to accurately measure the ambient perturbed field.

Nonmagnetic metal objects will develop eddy currents due to the time variation of magnetic flux. The magnetic fields generated by these eddy currents will vary as the inverse third power of distance for large distances compared to the dimensions of the metal object.

To provide a more complete description of the magnetic flux density at a point of interest, measurement of the maximum and minimum fields with their orientations in the plane of the field ellipse can be made (see 4.1).

## **6.2 Lateral profile**

The procedures for *E*-field measurements (see 4.2) shall be followed.

## **6.3 Longitudinal profile**

The procedures for *E*-field measurements (see 4.3) shall be followed.

## **6.4 Precautions and checks during magnetic field measurements-harmonic content**

The response of certain magnetic field meters is influenced by high levels of harmonic content. Therefore, if possible, the waveform of the field or its derivative (induced voltage) should be observed to obtain an estimate of the amount of harmonic content (see 5.2). A qualitative observation can be made with an oscilloscope. Replacement of the oscilloscope with a wave analyzer would permit measurements, in percent, of the various harmonic components.

NOTE—The magnitudes of harmonic components in the induced voltage (field derivative) are enhanced by the harmonic number.

## **6.5 Measurement uncertainty**

Measurement uncertainties due to calibration, temperature effects, etc., shall be combined (square root of the sum-of- the-squares) and reported as total estimated measurement uncertainty. The total uncertainty should not exceed  $\pm 10\%$ .

**ANEXO VIII. Plano de implantación del sistema de  
medio y bajo voltaje**





**PROYECTO:**  
 INFRAESTRUCTURA DEL PROYECTO DE RECONVERSIÓN DE  
 SERVICIOS TÉCNICO-TECNOLOGICOS SEP/SESS  
 EL BARRIO SANTA BARBARA

PROYECTO DE OBRAS DE  
 INSTALACIONES ELÉCTRICAS  
 ACCIONADA DE BAJA VOLTAJE  
 BLOQUE ADMINISTRATIVO

**LUGAR:**  
 TANCUCHI, PROVINCIA COCHABAMBO

**TÍTULO:**  
 INSTALACIONES ELÉCTRICAS  
 ACCIONADA DE BAJA VOLTAJE  
 BLOQUE ADMINISTRATIVO

**PROYECTISTA:**  
 ABO. SEYI MARCHO N.

**PROYECTISTA:**  
 ABO. KENNETH D. BUCRICO

**FECHA:**  
 14/02/2014

**FECHA:**  
 FEBRERO 2014

**FECHA:**  
 FEBRERO 2014

SIMBOLOGÍA	
Símbolo	Descripción
[Symbol]	Interruptor de 100 A y 220 V
[Symbol]	Interruptor de 20 A y 220 V
[Symbol]	Interruptor de 10 A y 220 V
[Symbol]	Interruptor de 5 A y 220 V
[Symbol]	Interruptor de 2 A y 220 V
[Symbol]	Interruptor de 1 A y 220 V
[Symbol]	Interruptor de 0,5 A y 220 V
[Symbol]	Interruptor de 0,2 A y 220 V
[Symbol]	Interruptor de 0,1 A y 220 V
[Symbol]	Interruptor de 0,05 A y 220 V
[Symbol]	Interruptor de 0,02 A y 220 V
[Symbol]	Interruptor de 0,01 A y 220 V

## **ANEXO IX. Guías de diseño**



EMPRESA  
ELÉCTRICA  
QUITO S.A.

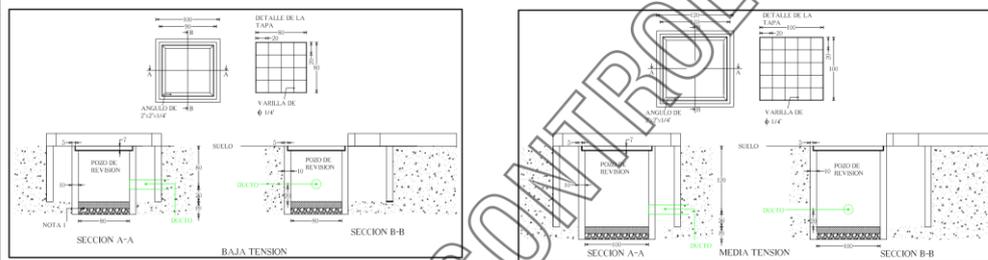
# NORMAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN - PARTE B - UNIDADES DE PROPIEDAD Y DE CONSTRUCCIÓN

SISTEMAS DE GESTIÓN DE CALIDAD

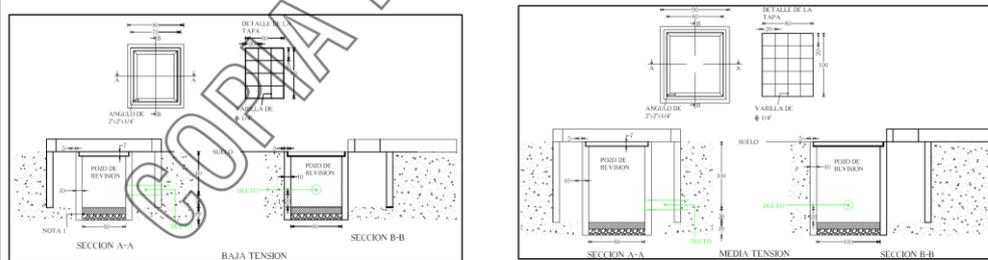
CÓDIGO: DI-EP-P001-D002

SECCIÓN: B70	REDES SUBTERRANEAS	
B70-02A	TIPOS DE POZOS DE REVISIÓN PARA MEDIA TENSIÓN Y BAJA TENSIÓN	B70-02A
HOJA 1 DE 1		REVISIÓN: 05 FECHA: 2014-02-28

## TIPOS DE POZOS PARA CRUCE DE VIAS



## TIPOS DE POZOS PARA INSTALACION EN ACERAS



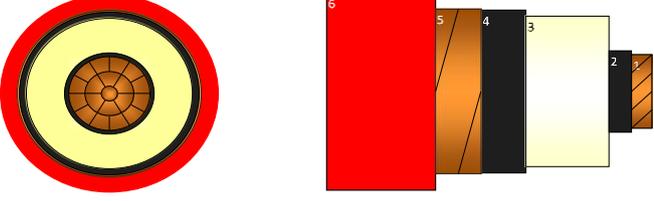
### NOTAS:

1. Espacio formado por 5 cm de arena y 5 cm de grava
2. Dimensiones en centímetros

## **ANEXO X. Ficha técnica de conductores de BT y MT**



## Hoja Técnica de Diseño

DATOS TÉCNICOS TECHNICAL DATA		XLPE Cu 2/0AWG 15kV 100% PC PVC SR ECU						Código/Code	
		DIAGRAMAS Y DIBUJOS EN 3D						690211573010001102	
CORTE TRANSVERSAL CROSS-SECTION		VISTA LONGITUDINAL LONGITUDINAL VIEW						208678	
		DIMICAB by Centelsa							
									
Diseñado con el programa DIMICAB, desarrollado por CENTELSA - VIAKABLE / Designed with DIMICAB software, developed by CENTELSA - VIA CABLE									
Los dibujos son una representación aproximada del producto, algunos detalles y colores pueden variar. / The drawings are an approximate representation of the product, some details and colors may vary.									
Características de materiales de construcción y dimensiones. / Characteristics of building materials and dimensions.									
Conductor Fase / Phase Conductor									
1. Conductor Fase Phase Conductor	Material/Norma Material/Standard	Calibre Size	Área Cross Section	Clase de Cableado Stranding Class	N° Hilos N° Strands	Resistencia - DC 20°C/68°F (Nom)	Resistencia - AC 90°C/194°F	Carga Rotura Tensile Strength	Corri. de CC(1s) Short Circuit Current (1s)
	Cu ASTM B496	2/0 AWG	67,4 mm <sup>2</sup> 133 kcmils	B	18 "Min"	0,2608 ohm/km 0,0795 ohm/kft	0,3396 ohm/km 0,1035 ohm/kft	1492 kg 3289 lb	9,602 kA
2. Blindaje sobre Conductor Conductor Shield	Material Material						Espesor Thickness	Diámetro Diameter	
	XLPE Semiconductor Extruido Extruded Semicon XLPE						0,15 mm (min) 6 mils (min)	10,57 mm 416,14 mils	
3. Aislamiento Insulation	Material Material	Norma Técnica Standard	Espesor Thickness	Resis. Aisl. 15,6°C(Min) Insul. Resis. 15,6°C(Min)	Temperatura Temperature	Tensión Nominal Rated Voltage	Tensión Prueba Voltage Withstand	Gradiente Tensión Voltage Gradient	Diámetro Diameter
	XLPE	ICEA S-93-639	4,45 mm (Nom) 175 mils (Nom)	1628 Mohm-km 5341 Mohm-kft	90 °C 194 °F	15 kV 100%	35 AC kV	2,66 kV/mm 67,68 V/mils	19,55 mm 769,69 mils
4. Blindaje sobre Aislamiento Insulation Shield	Material Material						Espesor Thickness	Diámetro Diameter	
	XLPE Semiconductor ExtruidoRemovible Strippable Extruded Semicon XLPE						0,61 mm (min) 24 mils (min)	21,15 mm 832,68 mils	
5. Cinta Tape	Material Material	Aplicación Application	Resistencia Resistance	Corri. de CC(1s) Short Circuit Current (1s)		Traslape Overlap	Espesor Thickness	Diámetro Diameter	
	CU	Cerrada Closed	5,5669 ohm/km 1,6968 ohm/kft	0,601 kA		15%	0,0635 mm 2,5 mils	21,34 mm 840,18 mils	
6. Chaqueta General General Jacket	Material Material	Norma Técnica Standard	Color Color	Espesor Thickness		Diámetro Diameter			
	PVC	ICEA S-93-639	Rojo Red	1,8 mm - (Min) 70,0 mils - (Min)		25,62 mm 1009 mils			
Información General / General Information									
General	Peso Total Aproximado Approximate Total Weight	Ampacidad Ampacity	Inductance Capacitance	Reactance Induct/Capacit	Tensión Halado Pulling Tension	Radio de Curvatura Bending Radius	Presión Lateral Sidewall Pressure	Diámetro Diameter	
	1147 kg/km	230 A	0,391 mH/km	0,147 ohm/km	472 kg-Conduc 110 kg-Chaq.	308 mm	744 kg/m	25,62 mm	
General	771 lb/1000ft		207,784 pF/m	12,766 kohm-km	1041 lb-Conduc 244 lb-Jacket	12,13"	500 lb/ft	1,01"	
Nota: Criterios de ampacidad: NEC, Tabla 310-77/78, Tc: 90°C, Tamb: 40°C, 3 conductores en ducto eléctrico subterráneo									
Note: Criterial of Ampacity : NEC, Table 310-77/78, Tc: 90°C, Tamb: 40°C, Three Conductors per Electrical Duct									
Marcación / Marking									
Impresión Relieve o Tinta Embossment or Ink Printed	CENTELSA XLPE Cu 90°C 2/0 AWG 15 kV 100% PC PVC SR - COLOMBIA								
Nota: Leyendas a intervalos Máximos de: 610 mm / Note: The length between legends of Marks is: 610 mm									
Empaque / Package									
Tipo de Empaque Package Type	Carrete N° Reel Ref.	Longitud Length	Díámetro Externo External Diameter	Díámetro Interno Drum. Diameter	Ancho Width	Peso Bruto Gross Weight			
Bobina	B3014HI	1000 m	1400 mm	650 mm	914 mm	1330 kg			
Reel		3281 ft	55,12 "	25,59 "	35,98 "	2932 lb			
Observaciones y/o Desviaciones // Observations and/or Deviations									
Los valores aquí indicados están sujetos a las tolerancias normales de manufactura y/o de normas. / Values here in indicated are subject to normal manufacturing and/or standards tolerances.									
Los Medidores de longitud de CENTELSA, son de Precisión Clase I, cuyo error máximo permitido de la longitud medida es del 0.25% (Nota: clase II=±0.5%; clase III=±1.0%) Meters CENTELSA length, are of precision Class I, whose maximum permissible error of the measured length is 0.25% (Note: Class II = ± 0.5%, class III = ± 1.0%)									

## **ANEXO XI. Aval del experto**

ANEXO 1: INFORME DE VERIFICADORES DEL TEMA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

1. DATOS DEL VERIFICADOR:

Antonio Diego Javier	Rubio	Ulloa
Nombres	1er. Apellido	2do Apellido

1.1 Profesión: Docente, Ing. Electromecánico

Grado Académico: Cuarto nivel, Maestría

2. DATOS DEL POSGRADUADO

Juan Vinicio	Villamarin	Reinoso
Nombres	1er. Apellido	2do Apellido

2.1 Profesión: Docente, Ing. Eléctrico

Programa: Maestría en electricidad mención sistemas eléctricos de potencia

3. EL TEMA DE ESTUDIO:

Análisis de la intensidad de radiación del campo magnético producido en un transformador de 300KVA y su incidencia en la salud de los estudiantes del ISTC.

4. LA SÍNTESIS DE LA SITUACIÓN PROBLÉMICA:

Tomando como premisa la perspectiva de salud se considera que por encima de determinados umbrales los campos magnéticos pueden desencadenar efectos biológicos perjudicando la integridad de las personas expuestas, como es el caso de los estudiantes en el Instituto Cotopaxi.

5. LA FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:

Resulta del conocimiento de riesgo que produce una constante cercanía a la radiación magnética generada por el transformador y acometidas de medio y bajo voltaje, que puede afectar en la salud y desempeño académico de los estudiantes.

6. EL OBJETO DE ESTUDIO DE LA INVESTIGACIÓN:

En este proyecto se persigue solventar una problemática a través del conocimiento y análisis de datos que establezca rangos verificables de campo magnético y compararlos con normativas que indiquen si se encuentra dentro de los valores permisibles y que no afecte a la salud de las personas. El campo de la investigación incluye los espacios del Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, por donde atraviesa las líneas de media y baja tensión, adicionalmente el transformador y laboratorio.

7. EL OBJETIVO GENERAL:

Evaluar la magnitud de afectación por radiación magnética producidos en un transformador de potencia y conductores eléctricos, mediante la recolección de datos en diferentes zonas con el instrumento de medición EMF 200, para contrastar con normativas establecidas y determinar si se encuentra dentro de los límites admisibles.

8. LA JUSTIFICACIÓN:

El presente proyecto de investigación asienta su justificación sobre el aporte que proporciona en el área de la electricidad y electromagnetismo ligado a las afectaciones de salud, con la finalidad de establecer una investigación científica con un enfoque cualitativo mediante la observación en campo y llevadas a un análisis, cuantificando los valores reales y comparando con umbrales seguros de exposición, asegurando la salud de los estudiantes y docentes.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] E. Freeze, "Efecto de campos electromagnéticos de 60 Hz en la germinación, crecimiento y actividad enzimática antioxidante de *Nicotiana tabacum* L.," pp. 0-46, 2017.
- [2] I. H. Q. Vicuña, "Mitigación de los efectos sobre la salud de campos electromagnéticos producidos por redes eléctricas," 2010.
- [3] D. Otín, F. Artigas García, D. Reolons Martos, J. Comerón Tejero, and A. Canal Bienzobal, "Campos electromagnéticos y efectos en salud," 2012, p. 70.
- [4] J. Dong, L. Hong, and J. Meng, "Composite Electromagnetic Field Estimation Method Based on Element Field Decomposition and Superposition  $q$   $q$ ," no. 1, pp. 1132-1134.

Fecha de elaboración: 13/08/2021

Firma del verificador: \_\_\_\_\_



Ing. Antonio Diego Javier Rubio Ulloa, MSc

ANEXO 2:

### CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DEL VERIFICADOR

En mi calidad de verificador del tema del proyecto de investigación y desarrollo titulado  
“ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD DE RADIACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO  
PRODUCIDO EN UN TRANSFORMADOR DE 300KVA Y SU INCIDENCIA EN LA  
SALUD DE LOS ESTUDIANTES DEL ISTC” del posgraduado:

APELLIDOS: VILLAMARIN REINOSO

NOMBRES: JUAN VINICIO

PROGRAMA: MAESTRIA EN ELECTRICIDAD MENSIÓN SISTEMAS  
ELÉCTRICOS DE POTENCIA

#### CERTIFICO:

Que: analizado el tema del proyecto de investigación y desarrollo, presentado como  
requisito previo a la aprobación y desarrollo del trabajo de titulación para optar por el grado  
de Magister en Electricidad

Revisado por: Antonio Diego Javier Rubio Ulloa

Cédula de ciudadanía N° 1001355963

Profesión: Ingeniero Electromecánico

Posgrado: Maestría en Gestión de Energías

Sugiero su aprobación y permita continuar con el diseño del proyecto de investigación y  
desarrollo.

Latacunga, agosto 13 del 2021



-----  
Ing. Antonio Diego Javier Rubio Ulloa, MSc