

Análisis del campo magnético y su incidencia en la salud de los estudiantes del IST Cotopaxi

Analysis of the magnetic field and it's health impact of IST Cotopaxi students

Juan Vinicio Villamarín Reinoso¹[0000-0002-8369-4970], Verónica Vaneza Peñaherrera Garzón²[0000-0003-0634-9337],
Manuel Edmundo Llango Pullozasig¹[0000-0001-6597-6125]

¹ Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

² Instituto Superior Tecnológico Vicente León, Latacunga, Ecuador

lvinicio.villamarin@hotmail.com, veroka2003@hotmail.com, medmundoll@yahoo.com

Cómo citar (APA):

Villamarin, J., Peñaherrera Garzón, V. V., & Llango Pullozasig, M. E. (2023). Análisis del campo magnético y su incidencia en la salud de los estudiantes del IST Cotopaxi. *Tesla Revista Científica*, 3(1), e101. <https://doi.org/10.55204/trc.v3i1.e101>

Recibido: 05 de nov 2022

Revisado: 12 al 30 nov 2022

Corregido: 19 de diciembre 2022

Aceptado: 26 de diciembre 2022

Publicado: 01 de enero 2023

TESLA

Revista Científica

ISSN: 2796-9320



Los contenidos de este artículo están bajo una licencia de Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Los autores conservan los derechos morales y patrimoniales de sus obras.

Resumen. Las radiaciones magnéticas conllevan el peligro de "efectos biológicos" que pueden desencadenar en "efectos adversos" para la salud, mismas que son preocupantes pues en los últimos tiempos ha crecido significativamente, razón por lo que, el presente trabajo se centra en mitigar el impacto en la salud y mantener un control sobre ellas, a través de un 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. La investigación descriptiva fue la base para este trabajo con un enfoque cualitativo a través del diseño de la investigación de campo, con apoyo en lo documental, desde los datos que se obtengan de la realidad, apoyados en una revisión bibliográfica especializada en el tema y su simulación respectiva, lo que permite interpretar a profundidad la realidad. Como resultado se obtuvo que el nivel de exposición en las zonas vulnerables no supera los umbrales señalados, por tanto, el personal administrativo, docentes y estudiantes de esta institución, no son afectados en su salud por las radiaciones magnéticas. **Palabras Clave:** Campo magnético; magnetismo; radiación; análisis de datos.

Abstract: Magnetic radiation carries the danger of "biological effects" that can trigger "adverse effects" for health, which are worrying because in recent times it has grown significantly, which is why the present work focuses on reducing the impact in health and maintain control over them, through an analysis of data collected in real time in the transformer, laboratory, medium and low voltage cables at the Cotopaxi Higher Technological Institute, to determine that the exposed measurements are within the permissible limits according to established regulations. Descriptive research was the basis for this work with a qualitative approach through the design of field research, with documentary support, from the data obtained from reality, supported by a bibliographic review specialized in the subject, which that allows an in-depth interpretation of reality. As a result, it was obtained that the level of exposure in vulnerable areas does not exceed the thresholds indicated, therefore, the administrative staff, teachers and students of this institution are not affected in their health by magnetic radiation.

Keywords: Magnetic field; magnetism; radiation; data analysis.

INTRODUCCIÓN

La implementación de sistemas constructivos seguros y energéticos y ambiente es el principal propósito de esta investigación que se enfoca 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. (Desarrollo, 2017). Además fue pertinente analizar las zonas de mayor vulnerabilidad a exposición de campos magnéticos, en especial en áreas donde se desarrolla actividades académicas en el Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, 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” (Vicuña, 2010)

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, además, el crecimiento poblacional, demanda el uso constante de energía para el desarrollo de múltiples actividades.

Esta investigación, consideró algunos estudios que permiten 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)” (Gatermendia, 2018)

Partiendo de la 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, se pretende analizar los datos levantados en tiempo real en el transformador, laboratorio, cables de media y baja intensidad.

Campos Magnéticos

Es necesario considerar que 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” (García, 2018)

Es por esto que, realizar investigaciones en búsqueda de métodos atenuantes que reduzca la exposición y el riesgo de afectaciones en la salud de las personas es la principal preocupación de esta investigación, conjuntamente con la socialización sobre las posibles causas que puede perjudicar la integridad en los seres vivos si sobrepasa los límites permitidos.

De acuerdo a los razonamientos anteriores, Macias (2017) 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 μT podría provocar una interacción que surge un efecto en todo el cuerpo, posiblemente se tenga que exponer a más de 50 μT 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 (2010) 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.

El Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi es una institución de nivel superior que acoge a muchos estudiantes que se encuentran distribuidos en diferentes aulas, laboratorios y talleres, etc., mismos que pasan su mayor parte del tiempo en estos espacios cumpliendo con sus obligaciones académicas, por tal razón se debe garantizar el bienestar y su salud, por tanto, se ha designado cuatro áreas que serán sometidas 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.

Bajo este contexto, este establecimiento educativo fue considerado como objeto de estudio, siendo una institución dedicada a la formación de profesionales de nivel superior en diferentes áreas técnicas como electricidad, electromecánica y reparación de motores, 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.

Para resolver esta problemática se pretende 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.

Sistemas de tareas en relación a los objetivos planteados:

Entre los objetivos específicos de esta investigación 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. A continuación, se plantea la siguiente tabla:

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

Elaborador por: Villamarín, V, Peñaherrera, V. & Llango M (2022)

Fuente: Investigación IST Cotopaxi (2022)

Electricidad y electromagnetismo

El aporte del área de electricidad y electromagnetismo establece 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. Además, es necesario mencionar que el estudio tiene 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 Superior Tecnológico Cotopaxi, representando un alto impacto a favor de la salud de todos..

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 Andrei Tchernitchin (2018) 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 García (2012) 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 bilógicos en la salud de las personas. Artigas García (2012).

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 irradiación es muy pequeña. Masoud Jaradt (2019).

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. Seker (2019).

Cancer

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. Andrei Tchernitchin (2018).

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 *International Commission on Non-Ionizing*, la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos, cuyas pautas fueron consideradas por varios países alrededor del mundo. Específicamente en las tablas 2 y 3 indica valores límites de exposición ocupacional y pública, significa entonces que para una frecuencia de 60 Hz corresponde un límite de 416,66 μT y 83,33 μT respectivamente.

Tabla II

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	1×10^{-3}
300 Hz – 3kHz	$0,3/f$
3kHz – 10MHz	1×10^{-4}

Nota: Datos obtenidos de la investigación de campo

Dadas las condiciones que anteceden la comisión internacional ICNIRP, en 2010 actualizó las directrices de su normativa “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz TO 100 kHz),” que hace referencia hasta la actualidad, en la cual detalla valores de exposición ocupacional y pública. Tal como se observan en las tablas 2 y 3 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 μT para una exposición ocupacional y de 200 μT para una exposición pública.

Tabla III

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	2×10^{-4}
50Hz – 400Hz	2×10^{-4}
400Hz - 3kHz	$8 \times 10^{-2}/f$
3kHz – 10MHz	$2,7 \times 10^{-5}$

*Nota: Datos obtenidos de la investigación de campo***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 IV.

Tabla IV

Valores límite de exposición local

Tipo de exposición	Densidad de flujo magnético [μT]
Público en general	83
Personal Ocupacionalmente Expuesto	417

*Nota: Datos obtenidos de la investigación de campo***METODOLOGÍA**

Para el desarrollo de esta investigación se integra un método deductivo que permite un enfoque de lo general a lo específico con un proceso para alcanzar una meta, siendo el investigador el principal instrumento de recopilación de información y análisis.

Asimismo, el diseño de la investigación es de campo, con apoyo en lo 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.

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. (Córdoba, 2008).

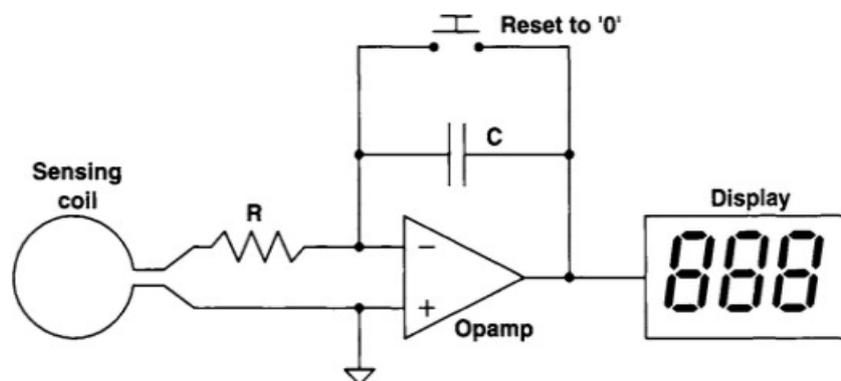
Para la búsqueda de información sobre si las radiaciones magnéticas causan alguna anomalía en la salud, los estudiantes del Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, tomaron datos a través de encuestas y entrevistas a profesionales de la salud, realizando un análisis de las normativas de salud que posteriormente demostraron la hipótesis planteada. Es relevante mencionar que para esta actividad, se tomó referencias principales de teorías sobre campos magnéticos y los problemas que produce en los seres humanos cuando se tiene una gran exposición.

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 1.

Diagrama de componentes fluxímetro



Fuente: Datos obtenidos en la investigación de campo

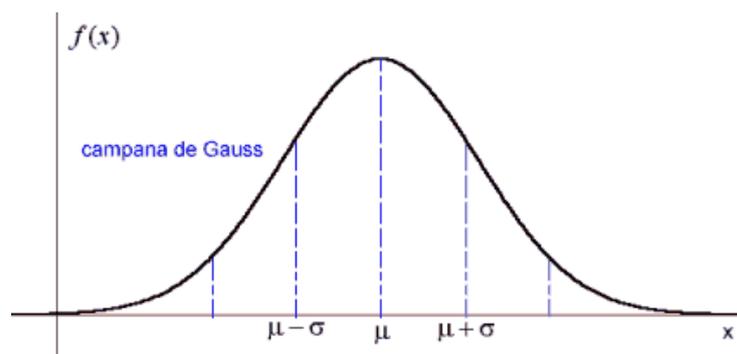
Se considera este gráfico al ser un análisis estadístico que se empleará para determinar la distribución normal de los campos magnéticos en los diferentes escenarios planteados, permitiendo modelar una serie de eventos normales y sus probabilidades de ocurrencia, partiendo de una base de datos adquiridos 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 1.

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 al mantener un constante consumo de los receptores conectados al momento de la recopilación.

Figura 2.

Campana de Gauss



Fuente: Datos obtenidos en la investigación de campo

Aquí se puede apreciar 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).

$$Y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}Z^2}$$

Donde:

- σ = 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 $P(a < X < b)$.

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

- La media es μ

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

Por tal razón, esta investigación se basó en un estudio descriptivo, al tener una cantidad considerable 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 Superior Tecnológico Cotopaxi.

RESULTADOS

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 3, 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 μT , 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 μT , 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 μT a un metro de distancia.

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 μT y un mínimo de 0,01 μT , por sus características constructivas y apantallamiento que reduce drásticamente los valores de radiación.

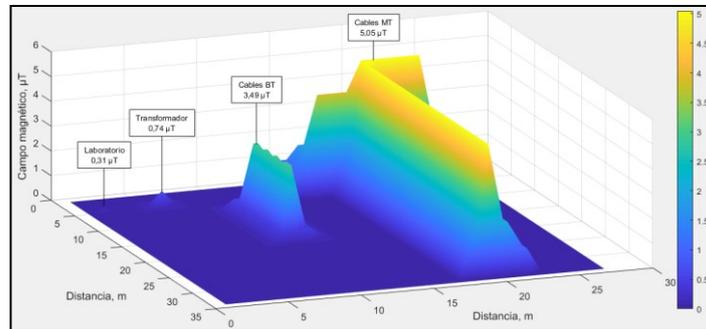
Finalmente se observa el espacio con emisiones más bajas en toda la superficie de análisis que pertenece al laboratorio, con un valor máximo de 0,31 μT , constituyendo un riesgo menor en la salud de las personas como se explicó anteriormente.

Dadas las condiciones que anteceden, la figura 4 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. 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 3.

Medición de campos magnéticos en 3D

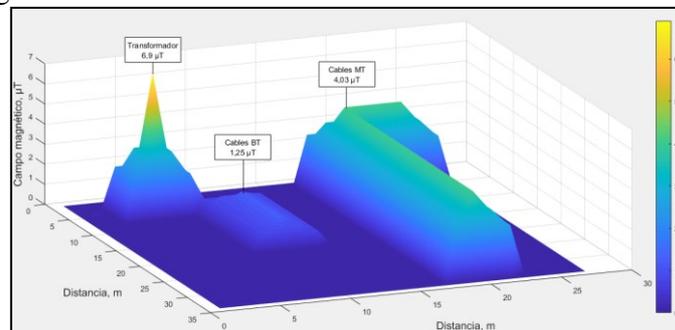


Elaborado por: Villamarín, V (2021)

Fuente: IST Cotopaxi

Figura 4.

Cálculo de campos magnéticos en 3D



Elaborado por: Villamarín, V, Peñaherrera, V. & Llango M (2021)

Fuente: IST Cotopaxi

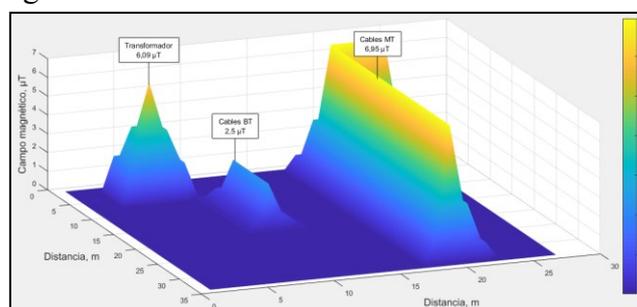
Con respecto a la simulación mediante el software QuickField, también se dispone de un análisis comparativo con respecto a los dos anteriores, donde en la figura 5 exhibe el comportamiento del campo magnético dejando en lo más alto a los cables de MT con $6,95 \mu\text{T}$, seguido del transformador 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.

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 anteriormente. Hecha la observación anterior se contrasta resultados de todas las zonas analizadas en esta investigación, según se observa se considera 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 divide 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 caba transformador y no como estipula el procedimiento en la tabla 2 sobre las bornas de MT y BT.

Figura 5.

Simulación de campos magnéticos en 3D



Elaborado por: Villamarín, V, Peñaherrera, V. & Llango M (2021)

Fuente: IST Cotopaxi

Tabla V

Contraste según 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

Elaborado por: Villamarín, V, Peñaherrera, V. & Llango M (2021)

Fuente: IST Cotopaxi

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. 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.

Considerando que 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

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.

DISCUSIÓN

En referencia de las acciones realizadas en la presente investigación se manifiesta que se logró la meta propuesta que consistió en 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.

Es necesario mencionar que para Macías (2017), y otros autores, indican 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 μT podría provocar una interacción que surge un efecto en todo el cuerpo, posiblemente se tenga que exponer a más de 50 μT 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 Vicuña (2010) indica que los campos magnéticos afectan 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 cardíaco.

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.

CONCLUSIONES

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 μT , 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 μT para el alimentador que atraviesa el instituto, 3,49 μT para la acometida de BT, 6,09 μT que fueron analizados sobre las bornas del transformador y 0,31 μT 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.

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los Autores declaran que no existe conflicto de intereses

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

En concordancia con la taxonomía establecida internacionalmente para la asignación de créditos a autores de artículos científicos (<https://credit.niso.org/>). Los autores declaran sus contribuciones en la siguiente matriz:

	Villamarin, J., V., &	Peñaherrera García, V.	Llango Pullosig M
Participar activamente en:			
Conceptualización	X	X	X
Análisis formal	X		
Adquisición de fondos	X		
Investigación	X	X	X
Metodología	X		
Administración del proyecto			X
Recursos	X		
Redacción –borrador original		X	X
Redacción –revisión y edición	X		
La discusión de los resultados	X	X	X
Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.	X	X	X

RECONOCIMIENTO A REVISORES:

La revista reconoce el tiempo y esfuerzo del editor Juan Carlos Santillán Lima, y de revisores anónimos que dedicaron su tiempo y esfuerzo en la evaluación y mejoramiento del presente artículo.

REFERENCIAS

- Tchernitchin, A. N., & Riveros, R. (2004). Efectos de la radiación electromagnética sobre la salud. *Cuadernos Medico Sociales*, 44(4), 221-234.
- Gary, C. (1998). *Effet couronne sur les réseaux électriques aériens*. Ed. Techniques Ingénieur.
- Córdoba, M. N., & Monsalve, C. (2008). Tipos de investigación, predictiva, interactiva, confirmatoria y evaluativa. *Fund. Sympal*. Online]. http://2633518-0.web-hosting.es/blog/didact_mate/9.TiposdeInvestigación.Predictiva%2CProyactiva%2CInteractiva%2CConfirmatoriayEvaluativa.pdf, 139-140.
- Canchari Moreyra, L. Z., Leyva Lucas, C. L., Puchuri Meza, A. V., & Retamozo Mendoza, N. C. (2021). Efectos de las ondas electromagnéticas en la salud por el uso excesivo de aparatos electrónicos.
- Certificación, A. E. D. N. (2008). Evaluación de los campos electromagnéticos alrededor de los transformadores de potencia. AENOR, Madrid, Spain, 46.
- Fong, A., & Tippett, J. (Eds.). (2012). *Project development in the solar industry*. CRC Press.
- Mateo, F. M. Q., & Romero, P. L. C. (2017). Modelo basado en minería de datos para la detección de pérdidas no técnicas de redes de distribución. Universidad de Sevilla.
- Ugartemendia, J. J., Güemes, J. A., & García, P. M. 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. Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad del País Vasco.
- Bizkaia, S. D. S. P. (2011). CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS Y EFECTOS EN SALUD.
- Masoud, M. Z., Jaradat, Y., Manasrah, A., & Taleb, B. (2019, April). What I Have in My Cup? A Liquid Identification Mechanism Based on Electrical Connectivity. In 2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT) (pp. 689-693). IEEE.
- Webster, A. L., & García, Y. M. (2000). *Estadística aplicada a los negocios y la economía*.
- Pértegas Díaz, S., & Pita Fernández, S. (2001). La distribución normal. *Cad Aten Primaria*, 8, 268-274.
- De la Vega Trucíos, S. F., & Velázquez, I. R. F. (2008). *Probabilidad y estadística*. McGraw-Hill Interamericana.
- Padrón Hernández, S. (2015). *Inteligencia artificial en la operación de redes eléctricas: aplicación a sistemas aislados* (Doctoral dissertation).
- Senplades, S. N. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una Vida*. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Senplades: Quito, Ecuador.
- Quinto Vicuña, I. H. (2009). *Mitigación de los efectos sobre la salud de campos electromagnéticos producidos por redes eléctricas*.