

UNIVERSIDAD CENTRAL  
VICERRECTORÍA ACADÉMICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y  
ELECTROMECAÁNICA

**MEDICIÓN DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN  
CIRCUITOS DE MEDIA TENSIÓN CON MAYOR CARGA DE LA  
COMPAÑÍA NACIONAL DE FUERZA Y LUZ (CNFL) Y SU  
CUMPLIMIENTO CON LA NORMATIVA DE LOS VALORES  
LÍMITES DE CAMPOS ELECTROMAGNETICOS (CEM) DE LA  
ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS)**

MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN  
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

Alumno: Vinicio Fajardo Fajardo

Tutor: Omar Saborío Alpízar

SEDE CENTRAL

ABRIL, 2024

APROBADO POR:

Tutor (a) del TFG: \_\_\_\_\_

Lector (a): \_\_\_\_\_

Lector (a): \_\_\_\_\_

Representación del Decanato: \_\_\_\_\_

Director (a) : \_\_\_\_\_

## Tabla de contenido

Tabla de contenido .....	iii
Tablas .....	iii
Figuras.....	vii
Dedicatoria .....	viii
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
Capítulo I .....	12
Introducción .....	12
Planteamiento del problema.....	13
Objetivos .....	13
<i>Objetivo general</i> .....	13
<i>Objetivos específicos</i> .....	14
Justificación .....	14
Antecedentes .....	15
Proyecciones .....	19
<i>Alcances de la investigación</i> .....	19
<i>Limitaciones</i> .....	19
Capítulo II .....	20
Marco teórico .....	20
Compañía de Fuerza y Luz (C.N.F.L) .....	20
Redes de distribución eléctrica .....	22
Sistema de transmisión en Costa Rica .....	23
Campo eléctrico .....	25
Densidad de flujo magnético conocido como campo magnético.....	26
Campos electromagnéticos .....	28
Compatibilidad electromagnética .....	29
Radiaciones electromagnéticas .....	29
Radiaciones ionizantes.....	31
Radiaciones no ionizantes.....	31
Campos electromagnéticos estáticos y campos variables con el tiempo. ....	33
Campos electromagnéticos de alta frecuencia .....	34

	iv
Campos electromagnéticos de baja frecuencia .....	35
Campos electromagnéticos no ionizantes en relación con el cáncer .....	36
Efectos de los campos asociados a frecuencias extremadamente bajas sobre los seres humanos .....	36
Efectos de los campos magnéticos sobre el organismo humano .....	37
Efectos biológicos y efectos sobre la salud.....	38
Límites de exposición (para el público en general). Legislación en Europa. ....	43
Fuentes y niveles de exposición.....	45
Campos de frecuencia extremadamente baja (elf) hasta 300 hz .....	46
<i>Instalaciones de transmisión y distribución de electricidad</i> .....	46
<i>Zonas de exposición en torres</i> .....	49
<i>Zona de rebasamiento</i> .....	52
<i>Zona de conformidad</i> .....	53
<i>Zona ocupacional</i> .....	53
Capítulo III.....	54
Marco Metodológico.....	54
Enfoque de la investigación .....	54
Método de la investigación .....	54
Fuentes de la información.....	54
Capítulo IV.....	56
Análisis de resultados .....	56
Situación actual.....	56
Mantenimiento a subestaciones eléctricas .....	57
Mantenimiento preventivo a subestaciones .....	57
Procedimiento para la medición de los campos eléctricos y magnéticos .....	58
Lugares de medición.....	60
Mantenimiento de circuitos en línea.....	60
Procedimiento para la medición de campos eléctricos .....	61
Procedimiento para la medición de campos magnéticos .....	63
Equipo de medición .....	64
Recopilación de datos .....	65
Subestación de Desamparados.....	68
Capítulo V.....	79
Conclusiones y Recomendaciones.....	79

	v
5.1 Conclusiones.....	79
5.2 Recomendaciones .....	80
Referencias.....	82
Anexos .....	87
Anexos 1: Certificado de calibración.....	87
Anexos 2: Decreto Ejecutivo N° 41065.....	92
CAPÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES .....	94
CAPÍTULO III COMPETENCIAS .....	96
CAPÍTULO IV MEDICIONES .....	97
CAPÍTULO V MANTENIMIENTO .....	97
CAPÍTULO VI DE LOS LÍMITES DE EXPOSICIÓN A LOS CAMPOS ELÉCTRICOS, MAGNÉTICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS .....	97
CAPÍTULO VII SERVIDUMBRES .....	98
Artículo 16°- Limitaciones en la servidumbre de paso para líneas de transmisión.....	98
CAPÍTULO VIII DISPOSICIONES FINALES .....	98
Anexos 3: Señalización requerida en los sistemas de transmisión de energía de alta de tensión. 99	
ANEXO II.....	99
INFORMACIÓN REQUERIDA EN LOS INFORMES DE LAS MEDICIONES.....	99
ANEXOIII.....	100
ANEXO IV .....	102

**Tablas**

## Tabla de contenido

Tabla 1 .....	42
Tabla 2 .....	46
Tabla 3 .....	48
Tabla 4 .....	49
Tabla 5 .....	50
Tabla 6 .....	51
Tabla 7 .....	60
Tabla 8 .....	66
Tabla 9 .....	68
Tabla 10 .....	70
Tabla 11 .....	71
Tabla 12 .....	71
Tabla 13 .....	74
Tabla 14 .....	76
Tabla 15 .....	76
Tabla 16 .....	78
Tabla 17 .....	78

**Figuras**

Tabla de contenido.....	iii
Figura 1.....	23
Figura 2.....	24
Figura 3.....	25
Figura 4.....	28
Figura 5.....	30
Figura 6.....	31
Figura 7.....	32
Figura 8.....	33
Figura 9.....	35
Figura 10.....	52
Figura 11.....	61
Figura 12.....	63
Figura 13.....	64
Figura 14.....	65
Figura 15.....	67
Figura 16.....	69
Figura 17.....	70
Figura 18.....	72
Figura 19.....	73
Figura 20.....	75
Figura 21.....	77

**Dedicatoria**

Primero que nada, quiero dedicarle este esfuerzo a Dios, a mi hermano fallecido Joel Iván Salas Fajardo que lo amo mucho, a mi Madre, a mis tutores Omar Saborío y Alejandro Luna, amigos que siempre me brindaron apoyo incondicional y estuvieron conmigo en este proceso.

## **Agradecimientos**

Primero que nada, agradecer a Dios por darnos la vida y permitirme realizar este proyecto.  
A mi familia por creer en mí y apoyarme en cada momento.

Gracias a todos los involucrados en este proceso, por su ayuda en esta etapa tan importante, a mi tutor, compañeros de trabajo, y todas esas personas que de una u otra manera me han ayudado a concluir esta etapa.

## Resumen

Debido a la reciente aprobación del decreto ejecutivo N° 41065, en Costa Rica en 2018 "Reglamento para regular la exposición a campos Electromagnéticos de radiaciones no ionizantes en los sistemas de transmisión de energía eléctrica en alta tensión" surge la incógnita de si dicho decreto se cumple también para los circuitos de distribución, residencial, industrial de media tensión, ya que las mediciones de campos electromagnéticos de frecuencias extremadamente bajas (CEM feb o simplemente CEM) en alta tensión sí se realizan en el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y en la Empresa Propietaria de la Red (EPR) para comprobar y validar dicho decreto, pero no en las empresas de distribución, aunque los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) no especifican si estos CEM provienen de alta, media o baja tensión.

La necesidad surge porque en una subestación y en circuitos de media tensión, se realizan trabajos de mantenimiento con las barras de distribución energizadas cerca de las mismas y no se sabe si dicho decreto se cumple para dichas barras y en los circuitos se realizan labores en líneas energizadas con método a contacto donde la distancia es mínima, casi cero.

Por lo anterior, en el presente trabajo, se realizarán mediciones en las salidas de los circuitos de media tensión de distribución con mayor carga eléctrica, siguiendo el mismo protocolo adaptado en el ICE.

Dichas pruebas se realizarán a dos subestaciones (ST) ubicadas en el Área Metropolitana: en las ST Colima y Desamparados, en diferentes puntos de la red de media tensión, para verificar tanto el campo magnético como el campo eléctrico.

## **Abstract**

Due to the recent approval of executive decree No. 41065, in Costa Rica in 2018 "Regulation to regulate exposure to Electromagnetic fields of non-ionizing radiation in high voltage electrical energy transmission systems" the question arises as to whether said decree will be implemented. It also applies to medium voltage distribution, residential and industrial circuits, since measurements of extremely low frequency electromagnetic fields (CEM Feb or simply CEM) at high voltage are carried out at the Costa Rican Electricity Institute (ICE) and in the Network Owner Company (EPR) to check and validate said decree, but not in the distribution companies, although the limits established by the World Health Organization (WHO) do not specify whether these EMF come from high, medium or low . strain.

The need arises because in a substation and in medium voltage circuits, maintenance work is carried out with the energized distribution bars near them and it is not known if said decree is complied with for said bars and in the circuits work is carried out on lines . energized with a contact method where the distance is minimal, almost zero.

Therefore, in this work, measurements will be made at the outputs of the medium voltage distribution circuits with the highest electrical load, following the same protocol adapted to the ICE.

These tests will be carried out at two substations (ST) located in the Metropolitan Area: in the Colima and Desamparados STs, at different points of the medium voltage network, to verify both the magnetic field and the electric field.

## Capítulo I

### Introducción

Los efectos sobre la salud humana de los campos electromagnéticos han despertado inquietud en los operarios de líneas energizadas de la CNFL en los últimos años, especialmente cuando se trata de la exposición generada por las instalaciones de los servicios públicos (distribución y transmisión de energía).

Los campos electromagnéticos de baja frecuencia constituyen un segmento del medio ambiente y sus efectos sobre las personas generan un interés en el público, pero frecuentemente la información disponible es confusa o se presta a interpretaciones simplistas o intencionalmente falsas. El tema se estudia en el ámbito sanitario y tecnológico desde hace varias décadas, por lo que existe una abundante literatura de variada calidad; sin embargo, reaparece periódicamente en los medios de divulgación masiva despertando polémicas y alimentando algunos temores en el público.

En Costa Rica se aprobó en el 2018 el Decreto Ejecutivo No. 41065, el cual establece en nuestro país los valores límites para la exposición humana a campos electromagnéticos (CEM) de radiaciones no ionizantes, los cuales se adoptan de la recomendación internacional ICNIRP que, por sus siglas en inglés significa “Comisión Internacional de Protección Radiológica de las Radiaciones no ionizantes”. Dicho decreto tiene un carácter precautorio para proteger la salud de las personas ante la exposición a CEM provenientes de sistema de transmisión de energía eléctrica en alta tensión. Hoy en día, no hay valores límites como restricciones al sistema de media tensión, es por esta razón que en las instalaciones que ya existen como en las futuras se podrían estar superando los límites ya establecidos en la ICNIRP. Al trabajar en líneas energizadas con método a contacto donde se realizan labores de mantenimiento preventivo y correctivo, extensión de líneas primarias, los operarios se encuentran laborando en una zona de

radiación ocupacional que podría llegar a la zona de rebasamiento de exposición a CEM lo cual se desconoce.

Este proyecto pretende aportar un marco objetivo para el análisis del tema, identificando los efectos de los campos electromagnéticos de 60 Hz de frecuencia sobre los seres humanos, evitando las simplificaciones exageradas y buscando dar claridad al lenguaje y facilitar la interpretación de los estudios bibliográficos realizados por científicos e instituciones de diferentes países.

Para llevar a cabo este proyecto se consultó a una empresa nacional dedicada a la generación, distribución y venta de electricidad de media y baja tensión, se realizó un estudio para la medición de CEM en circuitos de distribución de media tensión con más carga eléctrica y finalmente, se desarrolló una propuesta según requerimientos y especificaciones técnicas requeridas.

### **Planteamiento del problema**

De acuerdo con lo citado anteriormente y según las ventajas que nos daría contar con una visión clara de cuál es la zona de rebasamiento en las líneas de media tensión, se plantea el siguiente problema:

Pregunta de investigación

¿Qué criterios garantiza la seguridad del público y los operarios a la hora de realizar labores en líneas energizadas con el método a contacto y cómo se podría mitigar los efectos sobre la salud de los campos electromagnéticos producidos por las redes eléctricas?

### **Objetivos**

#### ***Objetivo general***

El objetivo general de la tesis es comprender y analizar los efectos de los campos electromagnéticos de baja frecuencia en circuitos de media tensión sobre la salud humana, con el fin de conocer los estudios realizados por diferentes organismos dedicados a este tema.

### ***Objetivos específicos***

1. Determinar los circuitos de mayor carga eléctrica en la red de media tensión de la CNFL.
2. Obtener mediciones de campos electromagnéticos, en los puntos donde hay más presencia de carga eléctrica, esto a un metro de altura del nivel de suelo.
3. Verificación del cumplimiento de los límites de la OMS y consecuentemente del decreto ejecutivo 41065.
4. Realizar una investigación bibliográfica de campos electromagnéticos para exposición del público en general.

### **Justificación**

Alonso Fustel, et al. (2011, pp. 6-7) en el documento Campos electromagnéticos y efectos en salud mencionan:

La exposición a campos electromagnéticos (CEM) es intemporal y universal ya que en el medio en que vivimos este tipo de campos abundan de forma natural. Los campos eléctricos que se producen por la acumulación de cargas en zonas de la atmósfera por efecto de las tormentas y el campo magnético que crea la tierra son ejemplos de campos de origen natural. Los CEM creados de forma artificial son también abundantes, los electrodomésticos en las viviendas, los sistemas de transmisión y distribución de electricidad etc.

En los últimos años, el rápido desarrollo de tecnologías de telecomunicación por radiofrecuencias y microondas ha generado en la comunidad científica gran debate sobre los efectos en la salud derivados de la exposición a los CEM. El primer estudio que asoció los CEM con leucemia en niños se realizó en el año 1979, desde entonces se han realizado multitud de estudios sobre CEM de muy baja frecuencia y su asociación con distintos efectos en la salud. La Agencia Internacional de Investigación en Cáncer, IARC

(International Agency for Research on Cancer), evaluó en 2001 las evidencias sobre la carcinogenicidad de los campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja y los clasificó como posibles cancerígenos humanos...

No existe un consenso sobre exposición a CEM y efectos en salud debido principalmente, a que la mayoría de los dispositivos son de reciente aparición y a problemas de calidad de estimación de la exposición.

La preocupación social sobre los posibles efectos en la salud derivados de la exposición a CEM es cada vez mayor. Existen varias razones que pueden explicar esta preocupación, una de ellas es que se trata de riesgos intangibles, los CEM no se pueden ver, ni oler, ni sentir. La exposición a CEM se percibe como un riesgo invisible que debe ser controlado por las autoridades sanitarias. Los posibles riesgos derivados de una exposición voluntaria son más aceptables que los que dependen de las decisiones de entidades, ya sean públicas o privadas. No se percibe la misma preocupación por el uso del móvil que por la presencia de líneas de alta tensión o antenas de telefonía móvil.

Esta preocupación genera demanda de información en la población. Las informaciones alarmistas contribuyen a crear un clima de rechazo y desconfianza. Esta desconfianza es mayor en lo que se refiere a la población infantil y su exposición a CEM procedente de los móviles y los dispositivos wifi-instalados en las escuelas.

## **Antecedentes**

Después de una búsqueda de trabajos bibliográficos relacionados con el tema a desarrollar se encontraron varias investigaciones a nivel nacional e internacional, que sirven de apoyo para desarrollar esta investigación.

Un primer trabajo corresponde a Araya Padilla (2016) en su artículo *Reducción de la radiación electromagnética en líneas de alta tensión*, presenta cómo el diseño de las líneas de

transmisión determina el perfil del campo eléctrico y magnético generado. Este perfil se calcula a través de uso de las ecuaciones de Maxwell, y depende de diversos factores geométricos y operativos de la línea, de modo que una adecuada distribución física de la configuración de la torre puede disminuir la intensidad de la radiación generada dentro y en el borde de la servidumbre de la línea.

El segundo antecedente corresponde a una revista del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) en el 2009, titulada: *Líneas de Transmisión y Campos Electromagnéticos* publicada en nuestro país. El objetivo de este artículo es aplicar el principio de precaución y dar un seguimiento de las investigaciones científicas acerca de los campos eléctricos y campos magnéticos, además de mantener informada a la población de qué son las radiaciones de baja frecuencia creadas por las líneas de alta tensión y sus posibles efectos a la salud pública, además de como esa institución define las rutas de la red de alta tensión por donde haya menor cantidad de población, donde atiende las sobre evaluación de riesgos y realiza un constante monitoreo de las condiciones de sus líneas de transmisión de alta tensión

Este trabajo brinda información sobre lo que son los campos electromagnéticos los cuales se forman de campo eléctrico y campo magnético y de la preocupación de la población de sobre su exposición a las intensidades de estos campos en términos de salud pública.

También detalla las restricciones en las servidumbres de las líneas de transmisión y la información que brinda la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre los límites de exposición que esta recomienda a la ciudadanía en su zona de exposición pública y, lo más importante para esta tesis: da información sobre los límites de exposición en la zona ocupacional, las cuales se adoptan de la recomendación internacional de la ICNIRP que, por sus siglas en inglés significa “Comisión Internacional de Protección Radiológica de las Radiaciones no ionizantes”. Esto es muy importante para la seguridad de los operarios técnicos en líneas

energizadas, para saber en qué zona estarían y no permanecer en la zona de rebasamiento más de lo necesario.

Este mismo le informa a la población cuando el ICE realiza actividades para cuando desarrolle obras en la red de líneas de transmisión. Donde se define Campos magnéticos: Son líneas de fuerzas invisibles producidas por la corriente eléctrica en movimiento.

El tercer antecedente corresponde a una tesis en grado de licenciatura de la Universidad Central de Costa Rica (UC) en el año 2018, de Vargas Rivera, titulada *Medición del campo electromagnético en las barras de distribución de una subestación para verificar el cumplimiento del decreto ejecutivo N° 41065*, dicha tesis cuenta con exquisita información. Para este caso porque se detalla sobre campos electromagnéticos, componentes de una red de transmisión que se puede asociar a una red de media tensión, se detalla sobre el decreto ejecutivo 41065 donde el mismo posee pormenorizada información sobre la exposición de campos electromagnéticos, en zona ocupacional, se documenta un procedimiento realizado por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) para la correcta medición de campos electromagnéticos utilizando equipos isotrópicos tipo NARDA modelo EFA 300, donde se explica detalladamente el proceso e indicaciones para la medición de campos electromagnéticos de baja frecuencia de fuentes artificiales. La ventaja de esta investigación es que fueron mediciones realizadas en subestaciones del Área Metropolitana, donde también se busca la seguridad de los técnicos que trabajan en subestaciones en mantenimiento y operación de las mismas. La información suministrada en esta investigación sobre el Decreto Ejecutivo No41065, el cual establece en nuestro país los valores límites para la exposición humana a campos electromagnéticos (CEM) de radiaciones no ionizantes, los cuales se adoptan de la recomendación internacional de la ICNIRP.

El primer antecedente internacional, se menciona Aponte, et al. (2007) con el artículo titulado *Medición de Campos Electromagnéticos en la Ciudad de Cali, Colombia*. Este trabajo

trata de mediciones de Campos Electromagnéticos en instalaciones de radio y telecomunicaciones, de igual manera son producidos por fuentes artificiales en estos CEM de baja frecuencia, se encuentran dos componentes diferentes y apartados, el componente eléctrico, y el componente magnético. El objetivo de este trabajo es realizar mediciones de campos electromagnéticos en 50 puntos dentro de la ciudad de Cali-Colombia y de informar a la población, esto por la preocupación pública causada por el aumento en las instalaciones de estaciones base de telefonía celular y los temores de posibles efectos nocivos para la salud pública al exponerse a radiaciones de baja frecuencia y que estos no excedan los límites de exposición de campos electromagnéticos y cuantificar los niveles en el medio ambiente de la ciudad establecidos por la ICNIRP (Comisión Internacional para la Protección de las Radiaciones No Ionizantes)

El segundo antecedente internacional corresponde a un trabajo presentado por Quinto (2009) titulado *Mitigación de los efectos sobre la salud de campos electromagnéticos producidos por redes eléctricas*, donde tiene por objetivo comprender y analizar los efectos de los campos electromagnéticos de distintas frecuencias sobre la salud humana, con el fin de conocer los estudios realizados por diferentes organismos dedicados a este tema y desarrollar y validar una formulación que permita, por un lado, analizar el campo electromagnético creado por redes eléctricas y evaluar la validez de las técnicas de mitigación con el fin de reducir los efectos sobre la salud. Este trabajo se realizó con una metodología cuantitativa donde se revisaron publicaciones y sus posibles efectos que producen los campos electromagnéticos en diferentes redes eléctricas y cuáles son las más dañinas.

El tercer antecedente es el trabajo realizado por Rivadeneira Lichardi (2013) con el trabajo titulado *Estudio de compatibilidad de los campos electromagnéticos de frecuencia industrial en el sistema de transmisión en alta tensión del noroeste argentino, en función de la evolución del sistema eléctrico*. Esta investigación trata sobre los campos electromagnéticos

generados por equipos y líneas eléctricas y sus efectos sobre la salud de las personas y el medio ambiente. En el mismo se presentan los resultados de mediciones de campos eléctricos y magnéticos, realizados durante varios años en las proximidades de las subestaciones y líneas eléctricas de alta tensión en el noroeste argentino, y la evaluación de los niveles de campos magnéticos en el ambiente con el crecimiento del sistema de transmisión de energía eléctrica. Se analiza el crecimiento de la potencia transmitida, la expansión de las instalaciones y su relación con los valores de CEM de frecuencia industrial alrededor de las instalaciones.

La investigación se da por la presencia de las líneas de alta tensión y subestaciones de transporte y distribución eléctrica en zonas urbanas y rurales, que han hecho que surjan cuestionamientos y preocupaciones sobre los riesgos e impactos ambientales, y de aquellos que puedan afectar a las personas y seres vivos por la emisión de los campos electromagnéticos, especialmente los campos magnéticos de baja frecuencia (50/60 Hz), utilizados tanto en la industria como en el hogar.

## **Proyecciones**

### ***Alcances de la investigación***

Obtener una medición de campos electromagnéticos CEM en líneas de media tensión, en los circuitos de distribución, industrial y residenciales de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz.

El proyecto va enfocado a campos electromagnéticos y sus efectos sobre salud pública.

### ***Limitaciones***

1. Acceso a la distancia de los conductores energizados de donde se pretende realizar la medición.
2. Acceso al equipo debidamente calibrado.
3. Condiciones climatológicas.

## Capítulo II

### Marco teórico

#### Compañía de Fuerza y Luz (C.N.F.L)

Según la página de la C.N.F.L (2022, p. 1) se indica:

Somos la empresa pública que distribuye y comercializa la energía eléctrica en la “Gran Área Metropolitana” de Costa Rica, fundada mediante el Contrato Ley N° 2 denominado “Contrato Eléctrico” del 8 de abril de 1941 (modificado a través de la Ley N° 4197 del 20 de setiembre de 1968 y de la Ley N° 4977 del 19 de mayo de 1972). De igual forma, nos regimos por lo establecido en la Ley de “Fortalecimiento y Modernización de las Entidades Públicas del Sector de Telecomunicaciones” N° 8660 del 13 de agosto de 2008 y el resto del ordenamiento jurídico aplicable.

Nuestra área de cobertura corresponde a 932,49 km<sup>2</sup>, en la que se registra un total de electrificación de 100%, para un total de 605.407 servicios facturados (clientes) a inicios de 2023.

Según la página de la C.N.F.L (2022, pp. 7-9) menciona un poco acerca de la historia de esta:

La Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A. (CNFL), nació en 1941, fruto de un esfuerzo político por nacionalizar los servicios eléctricos a la ciudadanía, dejando atrás la propiedad privada y garantizando la cobertura total, incluyendo a los grupos sociales menos favorecidos económicamente.

Desde entonces, el norte de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A. de Costa Rica ha sido brindar un servicio de calidad a todos los sectores de la población de la Gran Área Metropolitana (GAM), definida geográficamente como la zona de cobertura.

El servicio en forma expedita y la atención pronta de los requerimientos al cliente, forman parte vital del quehacer de la CNFL, al igual que el interés por preservar el planeta con una gestión ambiental responsable interna y externamente...

El 8 de abril de 1941, en la historia de Costa Rica quedaría plasmado el nacimiento de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, con el “ejecútese” a la Ley No. 2.

El sustento jurídico para esta fusión se promulgó en la Ley No.2 del 8 de abril de 1941, con el Contrato Ley conocido como Contrato Eléctrico de 1941.

Está legalmente constituida como Sociedad Anónima inscrita en el Registro de la Propiedad y su vigencia está garantizada hasta el año 2107 (Ley 8660, Ley de Fortalecimiento y Modernización de las Entidades Públicas del Sector Telecomunicaciones, artículo 54, alcance 31 de La Gaceta 156, del 13 de agosto de 2008).

Con el fin de marcar sus ámbitos de acción y establecer una política de coordinación de esfuerzos, en 1970 el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A. suscribieron un Convenio para la Prestación Mutua de Servicios, el cual entró en vigencia el 1 de julio de 1971, con el aval de la Contraloría General de la República.

La CNFL es la principal empresa distribuidora de electricidad en Costa Rica y su área de servicio abarca 932,49 km<sup>2</sup>, donde registra una electrificación total del 100%.

Para su sistema de generación, cuenta con diez (10) subestaciones elevadoras.

Para su sistema de distribución de electricidad, dispone de veintiuna (21) subestaciones reductoras para su sistema de distribución aéreo; tres (3) subestaciones para su sistema de distribución subterráneo, tres (3) patios de interruptores y dos (2) subestaciones móviles como respaldo.

## Redes de distribución eléctrica

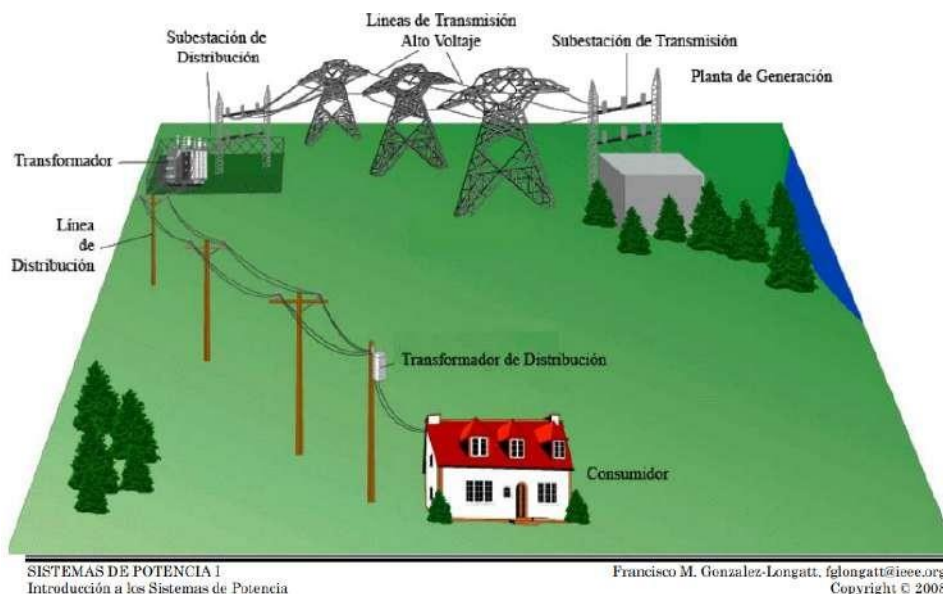
Vargas Rivera (2018, p. 16) indica:

Para el año 1882, Thomas Alva Edison inauguró la que sería considerada más adelante como la primera central de generación de energía en el mundo, esto en Estados Unidos. Era capaz de alimentar a aproximadamente 400 lámparas cada una, con un consumo 83 W. Por otra parte, y en la misma época, la estación “Holborn Viaduct Generating Station” en Londres, fue la primera en Reino Unido en proveer las necesidades de los consumidores de forma general, en vez de satisfacer las cargas individualmente. En este caso, se utilizó un generador de apenas 60 kW que corría gracias a un motor de vapor (Weedy, et al., 2012)

Desde entonces, la tecnología y la sociedad han avanzado a pasos agigantados, pues estas redes de distribución eléctrica dispararon una revolución industrial que aún sigue en su curso.

Es así como se debe definir lo que es un ‘Sistema de Potencia’, el cual se considera el conjunto de elementos que van a constituir a la red eléctrica de potencia, para lo que debe generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica hasta los usuarios en corriente alterna, esto por razones históricas y de eficiencia (Matulic, 2003)

Finalmente, el último paso en los sistemas de potencia corresponde a la distribución, que es la encargada de manejar los circuitos a Baja Tensión, es decir, maneja los ramales que se conectan a las industrias, hogares e iluminación urbana; entre otras opciones. Las líneas de baja tensión son normalmente a 240 V, como es en el caso de la línea de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz usada para esta práctica (Matulic, 2003). En la figura 1.

**Figura 1***Sistema de transmisión de electricidad*

Nota: Figura tomada de González-Longatt (2008), en la presentación Introducción a los Sistemas de Potencia (p. 7).

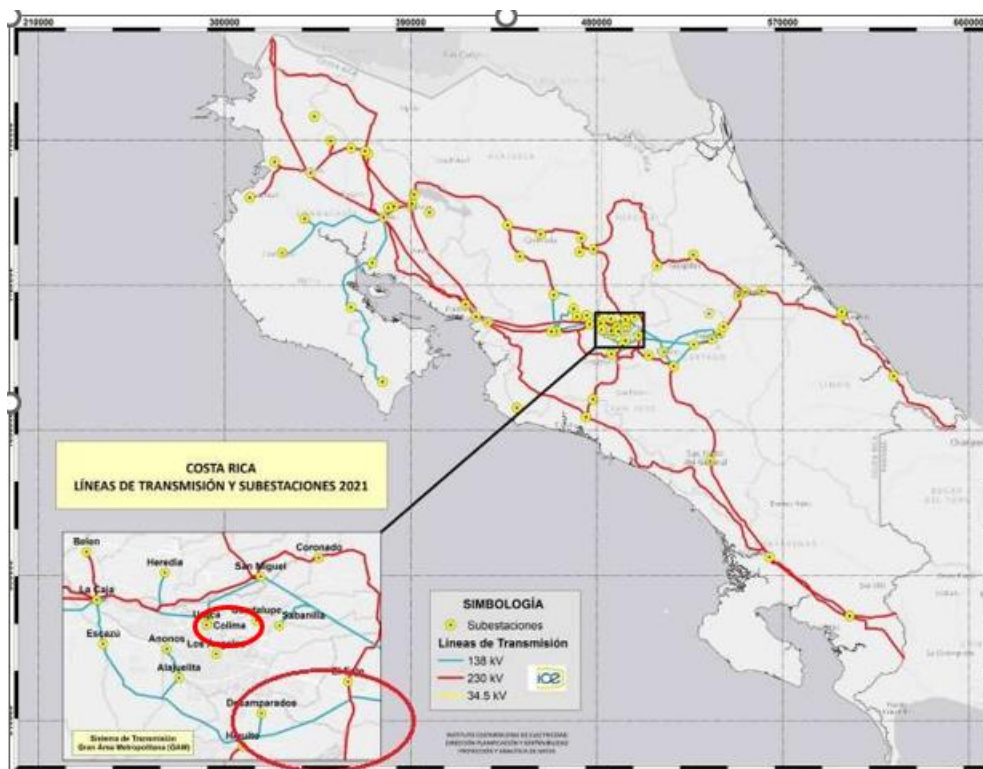
**Sistema de transmisión en Costa Rica**

Vargas Rivera (2018, p. 16) indica:

El Sistema de Transmisión de Costa Rica se extiende desde Peñas Blancas hasta Paso Canoas y desde Puerto Limón en el Caribe hasta Santa Cruz, en la Península de Nicoya. Es decir, cubre las cuatro fronteras del país, cubierto por el SEN (Sistema Eléctrico Nacional). El sistema nacional, a diciembre del 2021, estaba conformado de 2, 986 km de líneas de transmisión repartidas la mayoría en las propias del ICE y un 20 % del SIEPAC. De éstas, 2378 km corresponden a enlaces en 230 kV y 608 km a enlaces de 138 kV (Grupo ICE,2023b). En la siguiente figura se aprecia la distribución de estas líneas a lo largo y ancho del país:

**Figura 2**

*Sistema de líneas de transmisión en Costa Rica*



Nota: Figura tomada de Grupo ICE (2023, b)

En la figura anterior, la zona demarcada en rojo es alrededor de Desamparados, y subestación Colima, que serán los lugares de estudio y medición de campos electromagnéticos. Por otro lado, la distribución y comercialización de la energía eléctrica en Costa Rica se encuentra organizada en ocho empresas de servicio público, cuya responsabilidad es garantizar la distribución de energía en la totalidad del terreno que abarcan. Aquí, se encuentra incluida la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), la cual, en la siguiente figura, se aprecia que representa un total del 32 % de las ventas por electricidad en el país.

**Figura 3**

*Distribución porcentual de total de electricidad vendida por empresa distribuidora*



Nota: Figura tomada de Grupo ICE (2023, b)

### **Campo eléctrico**

Vargas Rivera (2018, p. 16) indica:

Son líneas de fuerza no visible que son producto de diferencias de potencial. Con bastante facilidad el campo eléctrico se puede bloquear y el mismo disminuye conforme aumenta la distancia de la fuente emisora. Su medición está en voltios por metro (V/m).

Los campos eléctricos se producen por la presencia de cargas eléctricas. Tienen su origen en la diferencia de Voltaje, o tensión, cuanto más elevado sea el voltaje, más fuerte será el campo que resulta. La intensidad del campo eléctrico (E) se mide en Voltio/metro.

Un campo eléctrico existe, aunque no haya corriente. Todo aparato conectado, aunque no esté encendido, genera un campo eléctrico en el aire que lo rodea que es proporcional a la tensión

de la fuente a la que está conectado. Los campos eléctricos se debilitan con la distancia al foco emisor. Algunos materiales como la madera o el metal apantallan sus efectos. Por consiguiente, las paredes, los edificios y los árboles reducen la intensidad de los campos eléctricos de las líneas de conducción eléctrica situadas en el exterior de las casas. Cuando las líneas de conducción eléctrica están enterradas en el suelo, los campos eléctricos que generan no pueden detectarse en la superficie.

La intensidad del campo eléctrico la podemos calcular de la siguiente manera.

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

Dónde:

E= Intensidad del campo eléctrico.

q= carga. (C)

r= Distancia. (m)

K= constante de proporcionalidad

### **Densidad de flujo magnético conocido como campo magnético.**

Alonso Fustel, et al. (2011, p. 8) lo definen de la siguiente manera:

Los campos magnéticos tienen su origen en las corrientes eléctricas y se producen cuando las cargas eléctricas están en movimiento. Su intensidad se mide en amperios por metro (A/m), aunque en las investigaciones sobre campos electromagnéticos, se suele utilizar una magnitud relacionada; la inducción magnética, densidad de flujo magnético o campo B que se mide en teslas (T) y en el Sistema Cegesimal en Gauss (G).

Al contrario que los campos eléctricos, los campos magnéticos sólo aparecen cuando se pone en marcha un aparato eléctrico y fluye la corriente. Todo aparato conectado a una

red eléctrica generará en torno suyo, si está encendido y circula la corriente, un campo magnético proporcional a la intensidad de la corriente de la fuente que lo alimenta.

Al igual que los campos eléctricos, los magnéticos son más intensos en los puntos cercanos a su origen y su intensidad disminuye rápidamente conforme aumenta la distancia a la fuente. Los materiales comunes, como las paredes de los edificios, no bloquean los campos magnéticos.

La densidad de flujo magnético, conocida como campo magnético, se puede calcular de la siguiente manera:

$$BL = \mu NI$$

$$B = \mu \frac{N}{L} I$$

$$B = \mu n I$$

Donde:

B= Campo magnético del centro del solenoide.

$\mu$  = Permeabilidad magnética.

N= Número de espiras del solenoide.

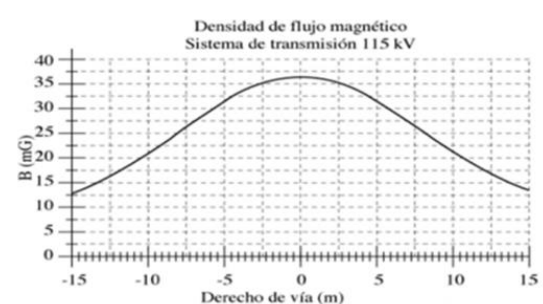
I= Corriente que circula.

L= longitud total del solenoide.

En la figura 4, se muestra la distribución del campo magnético calculado a 0,3 m sobre el nivel de tierra.

#### Figura 4

*Densidad del flujo magnético (B) generado por la línea de transmisión y calculado a una altura de 0,3 m*



Nota: Figura tomada de Vargas Rivera, Y. (2018), titulada Medición del campo electromagnético en las barras de distribución de una subestación para verificar el cumplimiento del decreto ejecutivo N° 41065. [Tesis de licenciatura, Universidad Central] (p. 18).

#### Campos electromagnéticos

Parker (1993, p. XX) menciona:

La transmisión de la electricidad a través de grandes distancias se realiza por medio de líneas eléctricas de alta tensión. Las líneas de transmisión y de distribución de la corriente junto con el cableado y aparatos eléctricos domésticos generan el nivel de fondo de campos eléctricos y magnéticos de frecuencia de red, a la combinación de dichos campos se le denomina campo electromagnético

Por otra parte, Hewitt (1998, p. XX) expresa:

La unidad de campo magnético en el sistema internacional es el tesla (T). Un tesla se le denomina el campo magnético que ejerce una fuerza de 1N (newton) sobre una carga de 1 C (culombio) que se mueve a velocidad de 1m/s dentro del campo y perpendicularmente a las líneas de campo.

Los CEM son áreas de energía que rodean a los dispositivos eléctricos y se originan por el movimiento de cargas eléctricas. Son una combinación de ondas eléctricas y magnéticas que se desplazan simultáneamente y se propagan a la velocidad de la luz (c)

### **Compatibilidad electromagnética**

Ferrer i Arnau (2002, p. 13) lo define como:

la compatibilidad electromagnética como la habilidad de un sistema de no causar interferencias electromagnéticas a otros equipos, pero al mismo tiempo ha de ser insensible a las emisiones que pueden causar otros sistemas. Una interferencia electromagnética es la emisión de energía electromagnética que degrada o perjudica la calidad de una señal o el funcionamiento de un sistema (Decreto 001 N°2714=2013. Montevideo, Uruguay, 28 de febrero de 2014)

### **Radiaciones electromagnéticas**

Son aquellos procesos en que se da energía con la forma de ondas que se propagan a través de cualquier medio material. Estas ondas se diferencian entre ellas por su valor de frecuencia, cuanto mayor sea su energía mayor es la frecuencia de radiación (Torres y Alzate, 2006).

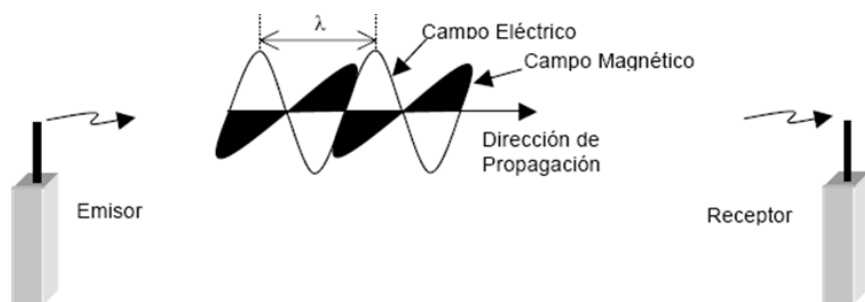
Alonso Fustel, et al. (2011, p. 9) indica:

Al igual que cualquier otro fenómeno ondulatorio, la radiación electromagnética se caracteriza por su longitud de onda y su frecuencia. La longitud de onda ( $\lambda$  en metros) es la distancia que existe entre los puntos correspondientes a un ciclo completo de la onda electromagnética. La frecuencia es el “número de oscilaciones completas” que pasan por un determinado punto por unidad de tiempo y se mide en hertzios (Hz). La longitud de

onda ( $\lambda$ ) y la frecuencia ( $f$ ) de una señal electromagnética están relacionadas a través de  $\lambda \times f = c$ . Como el valor de  $c$  es fijo, las señales de baja frecuencia tienen una longitud de onda muy larga, mientras que, en las señales de frecuencia alta, la longitud de onda será corta (figura 5)

**Figura 5**

*Radiaciones electromagnéticas*



Nota: figura tomada de Alonso Fustel, E., García Vázquez, R. y Onaindia Olalde, C. (2011).

Campos electromagnéticos y efectos en salud (p. 9).

[https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/salud\\_amb\\_campos\\_electrom/es\\_def/adjuntos/CEM\\_cast.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/salud_amb_campos_electrom/es_def/adjuntos/CEM_cast.pdf)

Alonso Fustel, et al. (2011, p. 9) expresa:

La diferencia entre unos campos y otros está en la frecuencia, cuanto más elevada es su frecuencia mayor es la cantidad de energía que transporta la onda. El espectro electromagnético abarca una gama muy amplia de frecuencias, de más de 15 órdenes de magnitud.

La radiación electromagnética se puede clasificar en dos grandes grupos, según la energía que transporte y por sus efectos en los tejidos (figura 8)

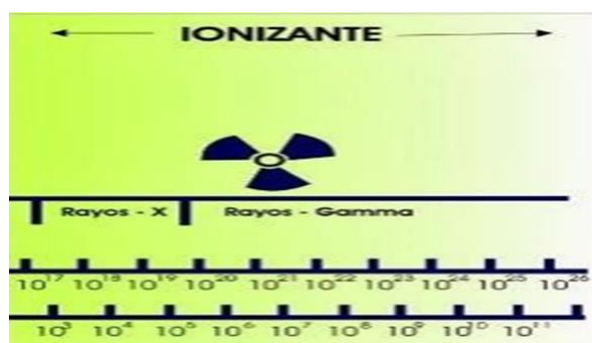
## Radiaciones ionizantes

Vargas Rivera (2018, p. 19) indica “existen las radiaciones ionizantes que son las de alta frecuencia, que superan  $10^{17}$  Hz, que producen la ionización de los átomos cuando interaccionan con la materia radioactiva”, quiere decir que origina partículas con cargas, capaz de romper los enlaces entre las moléculas, se encuentran en la zona del espectro con frecuencias más altas, son radiaciones altamente energéticas y producen efectos nocivos sobre los tejidos.

Alonso Fustel, et al. (2011, p. 9) menciona los siguientes ejemplos de radiaciones ionizantes como: “son los rayos X y la radiación gamma que emiten los materiales radioactivos. Estas radiaciones pueden ser nocivas para los tejidos. De acuerdo con la intensidad de la radiación se establecen dosis de tolerancia y dosis de seguridad”.

### Figura 6

#### *Radiaciones ionizantes*



Nota: Figura tomada de Vargas Rivera, Y. (2018), titulada Medición del campo electromagnético en las barras de distribución de una subestación para verificar el cumplimiento del decreto ejecutivo N° 41065. [Tesis de licenciatura, Universidad Central] (p. 20).

## Radiaciones no ionizantes

Estas son las radiaciones de menor energía, no ionizantes, así como lo indica Vargas Rivera (2018, p. 20) “que son incapaces de ionizar la materia incluso a intensidades altas. Estas radiaciones se clasifican por el tamaño de la longitud de su onda, pues su medida en frecuencia

es dificultosa”. Abarcan el espectro de frecuencias que se extiende entre los campos estáticos o no variables con el tiempo (0 Hz) hasta frecuencias de 300 GHz ó  $3 \times 10^{11}$  Hz. (ICNIRP, 2017).

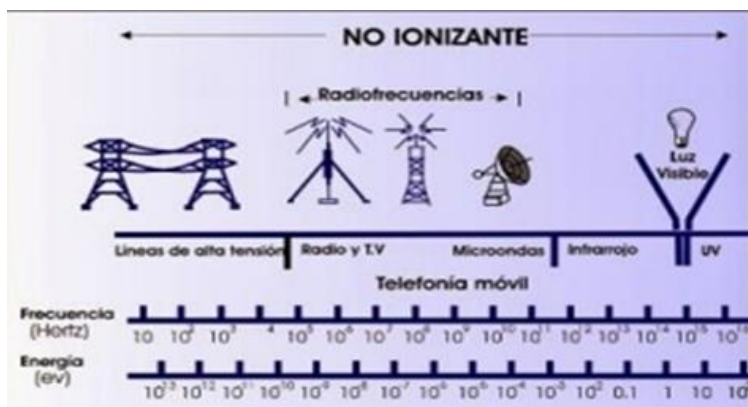
Entre ellas están:

- Radiación ultravioleta (10-400nm)
- Radiación infrarroja (780nm-1mm) y luz visible (400-780nm)
- Microondas (1mm-1m)
- Radiofrecuencias y Radiaciones Electromagnéticas de Baja, Media y Alta

frecuencia (abarcen longitudes de onda desde 1m hasta >10 km). Vargas Rivera (2018, p. 20)

## Figura 7

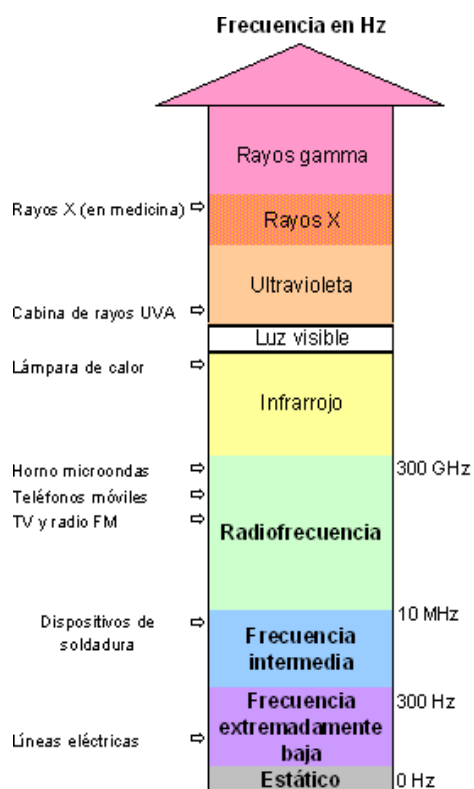
### *Radiaciones no ionizantes*



Nota: Figura tomada de Vargas Rivera, Y. (2018), titulada Medición del campo electromagnético en las barras de distribución de una subestación para verificar el cumplimiento del decreto ejecutivo N° 41065. [Tesis de licenciatura, Universidad Central] (p. 21).

## Figura 8

### Espectro electromagnético



Nota: Figura tomada de Alonso Fustel, E., García Vázquez, R. y Onaindia Olalde, C. (2011).

Campos electromagnéticos y efectos en salud (p. 9).

[https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/salud\\_amb\\_campos\\_electrom/es\\_def/adjuntos/CEM\\_cast.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/salud_amb_campos_electrom/es_def/adjuntos/CEM_cast.pdf)

### Campos electromagnéticos estáticos y campos variables con el tiempo.

Alonso Fustel, et al. (2011, pp. 9-10) explican los tipos de corrientes eléctricas, así como las frecuencias de cada uno.

Hay dos tipos de corrientes eléctricas: continua y alterna. La continua fluye de un punto a otro siempre en el mismo sentido y la alterna cambia de sentido de forma alternativa un número de veces por segundo. La corriente de uso habitual en viviendas es alterna debido a su facilidad de transformación, transporte y distribución. Sin embargo, algunas

aplicaciones industriales como la electrólisis y ciertos aparatos domésticos como los acumuladores utilizan corriente continua.

Los campos estáticos (0 Hz) son campos que no varían en el tiempo. Se originan cuando la corriente eléctrica que fluye es continua. Se producen campos eléctricos estáticos por la acumulación de cargas eléctricas en determinadas zonas de la atmósfera por efecto de las tormentas. El campo magnético terrestre es también un campo estático y provoca la orientación de las agujas de las brújulas en dirección Norte-Sur y los pájaros y los peces lo utilizan para orientarse.

Las corrientes alternas forman campos electromagnéticos variables en el tiempo. Las corrientes alternas invierten su sentido de forma periódica. En la mayoría de los países de Europa la corriente alterna cambia de sentido con una frecuencia de 50 ciclos por segundo, o 50 hertzios (en EE. UU. 60 Hz)

En los campos de frecuencias extremadamente bajas (hasta 300 Hz), los campos eléctricos y magnéticos actúan independientemente y se miden por separado por lo que se describen en términos de la intensidad de campo eléctrico (E) y la inducción magnética o densidad de flujo magnético (B).

En las frecuencias de radio y de microondas (entre 10 MHz y 300 GHz), los campos eléctricos y magnéticos se consideran conjuntamente como los dos componentes de una onda electromagnética. La intensidad de estos campos se describe mediante la densidad de potencia, que se calcula como el producto de la amplitud del campo eléctrico por la intensidad del campo magnético y se mide en vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ).

### **Campos electromagnéticos de alta frecuencia**

Son los campos que incluyen los rayos gamma y los rayos x. estos se encuentran ubicados dentro del espectro electromagnético en la radiación ionizante y pueden causar daños al ADN o a las células directamente (Nuccetelli, et al, 2013).

## Campos electromagnéticos de baja frecuencia

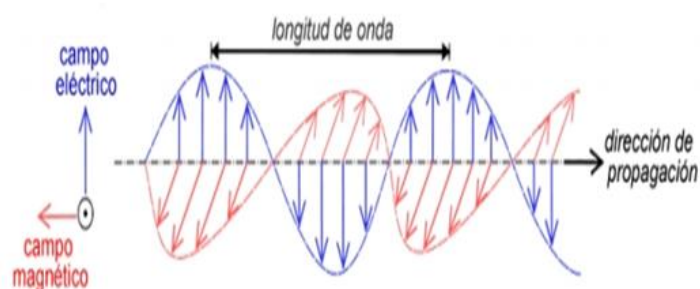
Son los campos que incluyen las líneas de transmisión y aparatos, ondas de radios, radiación infrarroja, microondas y luz visible y varían en el tiempo. Estos se encuentran ubicados dentro del espectro electromagnético en la radiación no ionizante y es conocido que no causan daño al ADN o las células. A frecuencias bajas, los CEM exteriores excitan pequeñas corrientes circulantes en lo interno del organismo. En casi todos los medios, las corrientes provocadas en el interior del organismo son demasiado pequeñas para causar efectos notorios (ICNIRP, 2017).

En estos CEM de baja frecuencia, se encuentran dos componentes diferentes y apartados, el componente eléctrico, y el componente magnético. Las técnicas utilizadas para la medición y blindar los campos eléctricos y los campos magnéticos son diferentes. (ICNIRP, 2017)

En la figura 9, se muestra como los componentes eléctricos y magnéticos forman una onda electromagnética entera.

### Figura 9

*Onda eléctrica y magnética en los CEM de baja frecuencia.*



Nota: Figura tomada de Vargas Rivera, Y. (2018), titulada Medición del campo electromagnético en las barras de distribución de una subestación para verificar el cumplimiento del decreto ejecutivo N° 41065. [Tesis de licenciatura, Universidad Central] (p. 22).

### **Campos electromagnéticos no ionizantes en relación con el cáncer**

En diversos estudios epidemiológicos, se ha llegado a la posibilidad que existe una relación entre la exposición a los campos magnéticos no ionizantes y la posible causa en niños de 12 a 14 años que desarrollen cáncer. Los campos magnéticos son el componente de los CEM no ionizantes que generalmente se estudian en relación con sus posibles efectos para la salud. Las investigaciones en su mayor parte se han centralizado en los tumores de encéfalo y de la leucemia, estos dos siendo los cánceres más comunes en los niños. En varios estudios realizados se examina la relación de vivir cerca de la zona de servidumbre de las líneas de transmisión y subestaciones con estos dos tipos de cáncer. A pesar de estos estudios realizados, la presencia o no de efectos cancerígenos es muy debatida, en cualquier caso, si los CEM producen realmente un efecto de riesgo de cáncer, este según estudios será pequeño. Los resultados presentados hasta hoy en día crean muchas contradicciones, pero no se han encontrado grandes incrementos en niños y adultos de riesgos de cáncer. Se realizan hoy en día esfuerzos de indagación para estudios de la relación entre los CEM y el cáncer, se realizan estudios en busca de posibles efectos que causen cáncer de los campos de frecuencia de la red eléctrica, aunque menos profundos que en la década de los 90 (ICNIRP, 2017).

### **Efectos de los campos asociados a frecuencias extremadamente bajas sobre los seres humanos**

Torres Muñoz (2016, pp. 2-3) indica:

Según el informe “Extremely Low Frequency Fields ” (ELF, “Campos de extremadamente bajas frecuencias”) de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la exposición a los campos magnéticos producidos por los tendidos eléctricos residenciales (cuyas frecuencias son 50 o 60 ciclos por segundo (Hz)) no varía significativamente en el mundo.

La exposición cotidiana de un ser humano a los campos eléctricos y magnéticos está dominada por las frecuencias de los omnipresentes tendidos eléctricos residenciales e industriales. El valor promedio de los campos magnéticos en los “trabajos eléctricos” (aquellos relacionados directamente con la electricidad; instaladores eléctricos o personal de subestaciones eléctricas, por ejemplo) es mayor que aquellos encontrados en trabajos de oficina. Las exposiciones más altas corresponden a soldadores eléctricos, conductores de trenes eléctricos y operadores de máquinas de coser.

### **Efectos de los campos magnéticos sobre el organismo humano**

Torres Muñoz (2016, p. 3) indica:

Dado que la permeabilidad a los campos magnéticos de los tejidos humanos es la misma que la del aire, el campo magnético en los tejidos es el mismo que en el exterior, esto significa que los cuerpos humanos o animales no perturban significativamente el campo (porque prácticamente no absorben su energía). Sin embargo, un campo magnético variable induce fuerzas que operan en direcciones opuestas sobre cargas negativas y positivas, generando así una diferencia de potencial eléctrico que puede inducir corrientes en un conductor y – dado que los fluidos orgánicos son soluciones electrolíticas (que contienen iones)– éstos pueden moverse y producir corrientes eléctricas en el organismo (efecto Faraday) que –a su vez– pueden afectar tejidos, órganos, organelos subcelulares y moléculas. La distribución del campo eléctrico inducido es afectada por la conductividad de los distintos órganos y tejidos.

## **Efectos biológicos y efectos sobre la salud**

Alonso Fustel, et al. (2011, pp. 13-14) en el documento Campos electromagnéticos y efectos en salud expresan:

Los efectos biológicos son respuestas medibles a un estímulo o cambio en el medio.

Estos cambios no son necesariamente perjudiciales para la salud. El organismo dispone de complejos mecanismos que le permiten ajustarse a las numerosas y variadas influencias del medio. El cambio continuo forma parte de nuestra vida, aunque los organismos no poseen mecanismos adecuados para compensar todos los efectos biológicos. Los cambios irreversibles que fuerzan al sistema durante largos periodos de tiempo pueden suponer un peligro para la salud.

Un efecto perjudicial para la salud es el que ocasiona una disfunción detectable de la salud de las personas expuestas o de sus descendientes.

Un efecto biológico se produce cuando la exposición a los CEM provoca una respuesta detectable en un sistema biológico. Un efecto biológico puede ser nocivo para la salud cuando sobrepasa 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.

Se ha tratado de estudiar las posibles interacciones de los CEM y los seres vivos, intentando entender los mecanismos biofísicos implicados en los efectos biológicos y

posteriormente valorar la importancia que estos efectos biológicos, detectados en el laboratorio, tienen en la salud en condiciones reales de exposición. También se ha investigado sobre si los efectos biológicos son transitorios o permanentes y si pueden tener aplicaciones terapéuticas o consecuencias negativas para la salud.

No se pone en cuestión que por encima de determinados umbrales los campos electromagnéticos puedan desencadenar efectos biológicos. La controversia que se plantea actualmente se centra en si bajos niveles de exposición a largo plazo pueden o no provocar respuestas biológicas e influir en el bienestar de las personas.

Alonso Fustel, et al. (2011, p. 14) en el documento Campos electromagnéticos y efectos en salud explican algunos efectos biológicos y efectos sobre la salud probados:

Los campos magnéticos de frecuencia inferior a 100 kHz, pueden inducir cargas o corrientes eléctricas en los tejidos expuestos. Si se trata de tejidos eléctricamente excitables como el nervioso o el muscular y de campos muy intensos, estas corrientes pueden entrañar perturbaciones ocasionales en el sistema nervioso.

Los campos electromagnéticos de frecuencia entre 100 kHz y 10 GHz, pueden inducir la absorción de la energía irradiada y provocar un aumento de la temperatura corporal. La profundidad de penetración de estos campos en los tejidos es mayor cuanto menor sea su frecuencia.

Para campos de frecuencias superiores a 10 GHz, la profundidad a la que penetran es muy pequeña, por lo que resultan absorbidos en gran medida por la superficie corporal y la energía depositada en los tejidos subyacentes es mínima.

Alonso Fustel, et al. (2011, pp. 14-15) en el documento Campos electromagnéticos y efectos en salud mencionan otros efectos estudiados a este tema:

- Algunas personas han atribuido un conjunto difuso de síntomas a la exposición de baja intensidad a campos electromagnéticos en el hogar. Los síntomas notificados incluyen dolores de cabeza, ansiedad, suicidios y depresiones, náuseas, fatiga y pérdida de la libido.

No se ha demostrado que la exposición a los niveles típicos de campos del medio aumente el riesgo de desenlaces adversos como abortos espontáneos, malformaciones, peso reducido al nacer y enfermedades congénitas.

- Se ha informado de casos de irritación ocular general y cataratas en trabajadores expuestos a niveles altos de radiación de radiofrecuencia y microondas, pero estudios realizados con animales no confirman la idea de que estos trastornos oculares se puedan producir a niveles que no son peligrosos por su efecto térmico. No hay pruebas de que se produzcan estos efectos a los niveles a los que está expuesta la población general.
- Algunas personas afirman ser "hipersensibles" a los campos eléctricos o magnéticos. Preguntan si los dolores, cefaleas, depresión, letargo, alteraciones del sueño e incluso convulsiones y crisis epilépticas pueden estar asociados con la exposición a campos electromagnéticos.
- Campos electromagnéticos y cáncer. A pesar de los numerosos estudios realizados, la existencia o no de efectos cancerígenos es muy controvertida.
- La evidencia epidemiológica en su conjunto sugiere que existen pequeños incrementos del riesgo de leucemia infantil asociados a la exposición a campos magnéticos de baja frecuencia en el hogar.

En el 2001 un grupo de trabajo conformado por científicos expertos de la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer de la OMS (IARC) revisó estudios relacionados con la carcinogenicidad de los campos eléctricos y magnéticos estáticos y de frecuencias extremadamente bajas (ELF). Usando la clasificación estándar de la IARC que pondera las evidencias en seres humanos, animales y de laboratorio, los campos magnéticos de ELF fueron clasificados como posibles cancerígenos en seres humanos basándose en estudios epidemiológicos de leucemia en niños.

A partir de todos los datos disponibles, la IARC (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer: órgano intergubernamental que forma parte de la Organización Mundial de la Salud de las Naciones Unidas) clasifica cada agente mediante un criterio científico que tiene en cuenta la evidencia obtenida en los estudios sobre humanos, en la experimentación animal y cualquier otro dato relevante

Torres Herrera (2021, p. 10) indica:

Grupo 2B: "El agente (o mezcla) es posiblemente carcinógeno para el ser humano."

"Las condiciones de la exposición conllevan exposiciones posiblemente carcinógenas para el ser humano. Esta categoría incluye agentes, mezclas o condiciones de exposición para los que existen pruebas limitadas de carcinogenicidad en humanos y pruebas insuficientes de carcinogenicidad en experimentación animal. También puede ser utilizada cuando existan pruebas inadecuadas de carcinogenicidad en humanos pero suficientes de carcinogenicidad en experimentación animal.

Ocasionalmente, un agente, mezcla o condición de exposición para los que existan pruebas inadecuadas de carcinogenicidad en humanos, pero limitadas de carcinogenicidad en animales de experimentación junto con otros datos significativos de

apoyo, puede ser incluido en este grupo." "Posiblemente carcinógeno para el ser humano", hay algunas pruebas de que puede causar cáncer a los humanos, pero de momento están lejos de ser concluyentes.

**Tabla 1**

*Clasificación de carcinógenos de la IARC según la evidencia científica*

<b>Grupo 1 Cancerígeno</b>	<b>Grupo 2A Probablemente Cancerígeno</b>	<b>Grupo 2B Posiblemente Cancerígeno</b>	<b>Grupo 3 No se clasifica</b>	<b>Grupo 4 Probablemente no Cancerígeno</b>
121 agentes, incluyendo:		322 agentes, incluyendo:	498 agentes, incluyendo:	
> Bebidas Alcohólicas	90 agentes, incluyendo:	> Combustible diésel	> Ácido acrílico	Un agente:
> Amianto	> Trabajo en peluquería	> Limpieza en seco	> Clorados en agua potable	> caprolactama
> Arsénico	> Petróleo refinado	> Trabajo de bomberos	> Productos para dar color al pelo	NOTA: Tener en cuenta que la Caprolactama es altamente tóxico y no debe ser considerado como "seguro", salvo para esta clasificación
> Benceno	> PCB	> Estireno	> Iluminación fluorescente	
> Formaldehído	>Gases de combustión de automotores diésel	> Trabajo en fabricación textil	> Campos Eléctricos de muy baja frecuencia	
> Radiación ionizante	> Lámparas bronceadoras	> Campos magnéticos de muybaja frecuencia	> Mercurio.	
> Consumo de tabaco		> Campos electromagnéticosde radiofrecuencia	> Sacarinas	
> Trabajo de pintor		> Polvos de talcos higiénicos.	> Café	
> Rayos UV solares				

**Nota:**

En el mes de mayo de 2011 la IARC, ha clasificado los campos electromagnéticos de radiofrecuencia como posibles cancerígenos para humanos, haciendo hincapié en los teléfonos móviles e inalámbricos.

### **Límites de exposición (para el público en general). Legislación en Europa.**

Alonso Fustel, et al. (2011, pp. 15-16) en el documento Campos electromagnéticos y efectos en salud muestra información sobre la legislación en Europa.

En Europa, la mayoría de las normas nacionales se basan en las directrices elaboradas por la Comisión Internacional de Protección contra la Radiaciones No Ionizantes (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP).

La ICNIRP es una organización no gubernamental, reconocida formalmente por la OMS, que, basándose en el análisis de estudios científicos realizados en todo el mundo, elabora unas directrices en las que establece límites de exposición recomendados. Estas directrices se revisan periódicamente y, en caso necesario, se actualizan.

Esta comisión publicó en 1998 unas directrices para limitar la exposición del público general y de los trabajadores a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables con el tiempo (hasta 300 GHz). (ICNIRP 1998)

Para el desarrollo de estas directrices, la ICNIRP únicamente tomó como base consideraciones biológicas y efectos comprobados como la estimulación de los músculos y nervios periféricos, descargas y quemaduras causadas por el contacto con objetos conductores, y el aumento en la temperatura en los tejidos resultante de la absorción de energía durante la exposición a los CEM, por lo que los límites propuestos se basan en efectos para la salud inmediatos y a corto plazo. Para posibles efectos a largo plazo como el cáncer, la ICNIRP consideró que los datos disponibles eran insuficientes para proporcionar una base para limitar la exposición.

En 2010 la ICNIRP publicó nuevas directrices para los CEM con frecuencias comprendidas entre 1 Hz y 100 kHz pero aún no ha producido cambios en la legislación europea. Para el rango de frecuencias entre 100 kHz y 300 GHz, este organismo ha

realizado una revisión de la evidencia científica en 2009. Para los campos estáticos, la ICNIRP ha publicado directrices en 2009 (ICNIRP publicaciones)

Basándose en las directrices de la ICNIRP de 1998, el Consejo de la Unión Europea publicó en 1999, la Recomendación (1999/519/CE) relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz).

Esta Recomendación establece un marco de restricciones básicas y niveles de referencia para limitar la exposición de los ciudadanos a fuentes artificiales de CEM incluyendo los campos estáticos, los campos de frecuencia extraordinariamente baja (FEB) y los campos de radiofrecuencias (RF) incluidas las microondas (ver anexo 1).

Para el establecimiento de las restricciones básicas se aplicaron factores de seguridad sobre los valores límites relacionados con los efectos agudos, tomando como base únicamente efectos sobre la salud conocidos y consideraciones biológicas. Los niveles de referencia permiten realizar la evaluación práctica de la exposición para determinar la probabilidad de que sobrepasen las restricciones básicas.

En esta recomendación no se contempla la exposición profesional ni la exposición con motivo de tratamientos médicos. Tampoco se incluyen los problemas de compatibilidad e interferencia electromagnética para instrumentos médicos.

## **Fuentes y niveles de exposición**

Alonso Fustel, et al. (2011, pp. 19) en el documento Campos electromagnéticos y efectos en salud mencionan sobre las fuentes y los niveles de exposición.

Los CEM son omnipresentes en nuestro entorno, tanto de fuentes naturales como de origen artificial.

Estamos constantemente expuestos a campos eléctricos y magnéticos estáticos naturales como el campo magnético terrestre o los campos eléctricos causados por cargas eléctricas presentes en las nubes, la electricidad estática que se produce cuando dos objetos se frotan entre sí o los campos eléctricos y magnéticos resultantes de los rayos. El campo magnético del núcleo terrestre oscila entre 30 y 70  $\mu\text{T}$  y está implicado en la orientación y migración de ciertas especies animales. El campo eléctrico natural varía según las condiciones meteorológicas desde unos pocos V/m hasta decenas de miles durante una tormenta.

De forma artificial la exposición a campos estáticos se produce, por ejemplo, con la Resonancia magnética que se utiliza en el diagnóstico médico. La exposición a CEM de frecuencia extremadamente baja (ELF), intermedia y radiofrecuencia se produce por exposición en las viviendas a todo tipo de electrodomésticos, y en el medio ambiente por antenas repetidoras de telefonía, líneas de conducción eléctrica, etc.

**Tabla 2***Fuentes y niveles de exposición*

Fuente	Exposición máxima típica de la población	
	Campo eléctrico (V/m)	Densidad de flujo magnético ( $\mu$ T)
Campos naturales	200	70 (campo magnético terrestre)
Red eléctrica (en hogares que no están próximos a líneas de conducción eléctrica)	100	0,2
Red eléctrica (bajo líneas principales de conducción eléctrica)	10 000	20
Trenes y tranvías eléctricos	300	50
Pantallas de televisión y ordenador (en la posición del usuario)	10	0,7
	Exposición máxima típica de la población Densidad de potencia ( $W/m^2$ )	
Transmisores de televisión y radio		0,1
Estaciones base de telefonía móvil		0,1
Radares		0,2
Hornos de microondas		0,5

Nota: figura tomada de Alonso Fustel, E., García Vázquez, R. y Onaindia Olalde, C. (2011).

Campos electromagnéticos y efectos en salud (p. 19).

[https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/salud\\_amb\\_campos\\_electrom/es\\_def/adjuntos/CEM\\_cast.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/salud_amb_campos_electrom/es_def/adjuntos/CEM_cast.pdf)

**Campos de frecuencia extremadamente baja (elf) hasta 300 hz***Instalaciones de transmisión y distribución de electricidad*

Alonso Fustel, et al. (2011, p. 21) en el documento Campos electromagnéticos y efectos en salud mencionan:

En los núcleos urbanos existe una presencia ubicua y creciente de CEM de frecuencias extremadamente bajas (ELF). Estos campos provienen mayoritariamente del transporte y uso de la energía eléctrica a las llamadas frecuencias industriales (50 Hz). La energía eléctrica de las estaciones generadoras es distribuida hacia los centros de población a través de líneas de transporte y distribución de alto voltaje. Mediante el empleo de

transformadores, se reduce el voltaje en las conexiones con las líneas de distribución doméstica.

Las exposiciones típicas a los CEM justo debajo de las líneas de transmisión son: 40  $\mu\text{T}$  bajo una línea de 400kV, 22  $\mu\text{T}$  bajo una línea de 275 kV y 7  $\mu\text{T}$  bajo una línea de 132kV (NRPB, 2001). Las exposiciones a 25 metros de distancia de estas mismas líneas serían de 8,4 y 0,5  $\mu\text{T}$ , respectivamente. Entre 50 m y 100 m de distancia la intensidad de los campos es normalmente equivalente a la de zonas alejadas de las líneas eléctricas de alta tensión. Además de los tendidos eléctricos se produce exposición debido a la corriente que fluye por la tierra, y por el uso de los aparatos eléctricos.

La disminución con la distancia es importante, la exposición decrece con el cuadrado de la distancia (SCENIHR 2009),

Estas instalaciones de transmisión y distribución de electricidad y el cableado y aparatos eléctricos domésticos generan el nivel de fondo de campos eléctricos y magnéticos de frecuencia de red en el hogar. En los hogares que no están situados cerca de líneas de conducción eléctrica la intensidad de este campo de fondo puede ser de 0,2  $\mu\text{T}$  y la intensidad de campo eléctrico suele ser menor de 30 V/m.

Además, las paredes de las casas reducen substancialmente la intensidad de campo eléctrico con respecto a la existente en lugares similares en el exterior de las casas.

**Tabla 3**

*Límites recomendados para la protección del público en general y niveles medios de exposición a campos de 50 Hz generados por las líneas distribución eléctrica, en España*

Restricción básicas	Nivel de referencia		Niveles medios de exposición			
			Bajo la línea		A 50 m	
Densidad de corriente (mA/m <sup>2</sup> )	Intensidad de campo eléctrico (E) (V/m)	Densidad de flujo magnético (μT)	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Densidad de flujo magnético (μT)	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Densidad de flujo magnético (μT)
2	5000	100 **	10 000	20-22	100	0,01-0,02

Nota: figura tomada de Alonso Fustel, E., García Vázquez, R. y Onaindia Olalde, C. (2011).

Campos electromagnéticos y efectos en salud (p. 22).

[https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/salud\\_amb\\_campos\\_electrom/es\\_def/adjuntos/CEM\\_cast.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/salud_amb_campos_electrom/es_def/adjuntos/CEM_cast.pdf)

Alonso Fustel, et al. (2011, p. 22) en el documento Campos electromagnéticos y efectos en salud mencionan:

Los niveles de referencia recomendados en Europa para la protección del público general ante exposiciones a campos de frecuencia industrial son de 5 kV/m para el campo eléctrico y de 100 μT para la densidad de flujo magnético.

\*\*10 μT según las recomendaciones de 2008, para la exposición en lugares donde permanezcan menores de 15 años durante más de 4 horas al menos un día a la semana. La producción/transformación/ conducción de energía eléctrica a frecuencia industrial (50Hz) sólo podrá contribuir con 5 μT a este nivel objetivo.

### *Zonas de exposición en torres*

El campo electromagnético generado por las líneas de transmisión puede causar riesgos y efectos nocivos asociados a la exposición a dichos campos, por lo que se da como medida preventiva para la salud pública, niveles de referencia ocupacional (tabla 4), al público (tabla 5) y los niveles máximos (tabla 6) para la exposición de campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo.

**Tabla 4**

*Niveles de referencia para la exposición ocupacional de campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo (valores eficaces sin perturbaciones)*

Intervalo de Frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico E(kV m <sup>-1</sup> )	Intensidad de campo magnéticoH (A m <sup>-1</sup> )	Densidad de flujo magnético B (T)
1Hz-8Hz	20	$1,63 \times 10^5/f^2$	$0.2/f$
8Hz-25 Hz	20	$2 \times 10^4/f$	$2,5 \times 10^{-2}/f$
25 Hz-300 kHz	$5 \times 10^2/f$	$8 \times 10^2$	$1 \times 10^{-3}$
300 Hz-3 kHz	$5 \times 10^2/f$	$2.4 \times 10^5/f$	$0,3/f$
3 kHz - 10 MHz	$1,7 \times 10^4$	80	$1 \times 10^{-4}$

Nota: Tabla tomada del Reglamento para regular la expansión a campos electromagnéticos de radiaciones no ionizantes en los sistemas de transmisión de energía eléctrica de alta tensión

N° 41065 -S-MINAE (Anexo III, tabla 1).

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=86529&nValor3=112286&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=86529&nValor3=112286&strTipM=TC)

**Tabla 5**

*Niveles de referencia para la exposición del público a campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo (valores eficaces sin perturbaciones)*

Intervalo de frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico E (kV m <sup>-1</sup> )	Intensidad de campo magnético H (A m <sup>-1</sup> )	Densidad de flujo magnético B (T)
1Hz-8Hz	5	$3,2 \times 10^4/f$	$4 \times 10^{-2}/f^2$
8 Hz-25 Hz	5	$4 \times 10^3/f$	$5 \times 10^{-3}/f$
25 Hz-50 Hz	5	$1,6 \times 10^2$	$2 \times 10^{-4}$
50 Hz-400 Hz	$2,5 \times 10^2/f$	$1,6 \times 10^2$	$2 \times 10^{-4}$
400 Hz-3 kHz	$2,5 \times 10^2/f$	$6,4 \times 10^4/f$	$8 \times 10^{-2}/f$
3 kHz-10 MHz	$8,3 \times 10^{-2}$	21	$2,7 \times 10^{-5}$

Nota: Tabla tomada del Reglamento para regular la expansión a campos electromagnéticos de radiaciones no ionizantes en los sistemas de transmisión de energía eléctrica de alta tensión N° 41065 -S-MINAE (Anexo III, tabla 2).

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=86529&nValor3=112286&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=86529&nValor3=112286&strTipM=TC)

**Tabla 6**

*Niveles de máximos para la exposición de campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo para Costa Rica*

Exposición	Intensidad de Campo		Densidad de flujo
	Eléctrico E(kV m-1)		magnético B (mG)
Ocupacional	8,33	1	10 000
Público	4,17	0,2	2 000

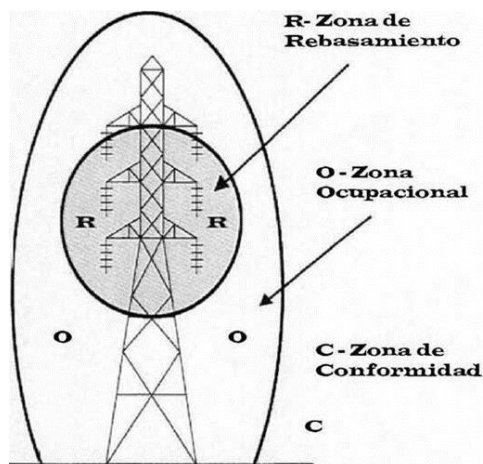
Nota: Tabla tomada del Reglamento para regular la expansión a campos electromagnéticos de radiaciones no ionizantes en los sistemas de transmisión de energía eléctrica de alta tensión N° 41065 -S-MINAE (Anexo III, tabla 3).

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=86529&nValor3=112286&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=86529&nValor3=112286&strTipM=TC)

En zonas de rebasamiento y ocupacional está prohibido el acceso a particulares, y sólo son accesibles en casos excepcionales. El procedimiento de evaluación de riesgos presentado en esta Recomendación se ocupa sobre todo de la exposición del público en general, y de los operarios en el ejercicio de sus actividades normales.

**Figura 10**

*Ilustración figurada de las zonas de exposición*



Nota: Figura tomada del Reglamento para regular la expansión a campos electromagnéticos de radiaciones no ionizantes en los sistemas de transmisión de energía eléctrica de alta tensión N° 41065 -S-MINAE (Anexo IV, figura 1).

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=86529&nValor3=112286&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=86529&nValor3=112286&strTipM=TC)

### ***Zona de rebasamiento***

Tal como se cita en el Reglamento para regular la expansión a campos electromagnéticos de radiaciones no ionizantes en los sistemas de transmisión de energía eléctrica de alta tensión N° 41065 -S-MINAE8 (2018, Anexo IV, parr. 1) menciona:

La zona de rebasamiento y la zona ocupacional no son accesibles a las personas, y sólo son accesibles en circunstancias excepcionales, como cuando hay una persona de pie inmediatamente delante de la antena. El procedimiento de evaluación de riesgos presentado en esta recomendación se ocupa sobre todo de la exposición del público en general, y de los operarios en el ejercicio de sus actividades normales

Es la zona donde la magnitud del campo electromagnético alcanza y supera los límites aplicables a la zona ocupacional y de conformidad, por lo tanto, es prohibido la permanencia en esta zona a cualquier persona en general.

Tal como se cita en el Reglamento para regular la expansión a campos electromagnéticos de radiaciones no ionizantes en los sistemas de transmisión de energía eléctrica de alta tensión N° 41065 -S-MINAE8 (2018, Capítulo II, parr. 22-23) menciona:

### ***Zona de conformidad***

Es la zona donde la magnitud del campo electromagnético está por debajo de los límites de las zonas de rebasamiento y ocupacional, por lo que es confiable y permitido el acceso al público en general.

### ***Zona ocupacional***

Es la zona donde la magnitud del campo electromagnético alcanza y supera la zona de conformidad, por lo que prohíbe la permanencia en esta zona al público en general, pero no alcanza los límites aplicables a una zona controlada para el acceso de operarios.

## Capítulo III

### Marco Metodológico

#### Enfoque de la investigación

Iglesias (2004) al proponer una metodología de investigación, propone que el enfoque cuantitativo, toma como centro de su proceso de investigación las mediciones numéricas, utiliza el análisis del proceso en forma de recolección de datos y los estudia para llegar a responder sus preguntas de investigación. Utiliza la recolección, la medición de parámetros, la obtención de frecuencias y estadígrafos de la población que investiga para llegar a probar las hipótesis establecidas previamente. En este enfoque se utiliza necesariamente el análisis estadístico; se tiene la idea de investigación, las preguntas, se formulan los objetivos, se derivan las hipótesis, se eligen las variables del proceso y mediante un proceso de cálculo se contrastan las hipótesis. Este enfoque es más bien utilizado en procesos que por su naturaleza puedan ser medibles o cuantificables.

#### Método de la investigación

El tipo de investigación será de carácter cuantitativo para determinar la magnitud y el análisis de los campos eléctricos y magnéticos en dos circuitos de distribución de media tensión con más carga eléctrica de la Compañía Nacional de Fuerza Y Luz, con el fin de verificar el cumplimiento con la normativa de los valores límites de CEM de la OMS y del decreto ejecutivo N° 41065.

#### Fuentes de la información

Fuentes primarias

“Constituyen el objetivo de la investigación bibliográfica o revisión de la literatura y proporcionan datos de primera mano”.

La información proporcionada es tomada por mediante pruebas realizadas por nosotros mismos en el campo.

#### Fuentes secundarias

Constituyen todas aquellas compilaciones, resúmenes y listados de referencias publicadas en el área del conocimiento en particular.

#### Fuentes terciarias

Consultas a profesionales en el campo de trabajo donde se van a realizar las mediciones.  
Reuniones con los funcionarios del Instituto Costarricense de Electricidad y Compañía Nacional de Fuerza y Luz.

## **Capítulo IV**

### **Análisis de resultados**

En este capítulo se presenta el análisis y los resultados obtenidos en la investigación para posteriormente dar las conclusiones y recomendaciones a la Compañía Nacional de fuerza y Luz. Proporcionando información oportuna de los niveles de campos electromagnéticos de baja frecuencia producidos por fuentes artificiales en líneas de distribución eléctricas de media tensión. Y su cumplimiento con la normativa de los valores límites de campos electromagnéticos (CEM) de la organización mundial de la salud (OMS) y consecuentemente con el decreto ejecutivo N° 41065.

#### **Situación actual**

Ante el decreto ejecutivo N° 41065 el Instituto Costarricense de Electricidad, así como las demás empresas de suministro eléctrico, se ven en la necesidad de resguardar el área ocupada por las subestaciones para garantizar la seguridad de las personas que se ven expuestas a los distintos campos electromagnéticos, ya demarcados y señalados por zonas mencionadas en el capítulo anterior.

En el caso de los operarios que laboran dentro de una subestación eléctrica y en líneas de distribución de media tensión energizadas, son los que se ven más expuestos a dichos campos, haciendo referencia principalmente a la zona ocupacional donde deberían estar ellos, o en la zona de rebasamiento, donde la condición ya no sería favorable para la salud de estos.

Se entiende además que aparte de los beneficios que conllevan los sistemas de transmisión de energía eléctrica en alta tensión, se han evidenciado las inquietudes en las personas que habitan cerca de las instalaciones de transmisión, por la incertidumbre que existe en relación con los posibles efectos en la salud humana y el ambiente, de los campos electromagnéticos.

## **Mantenimiento a subestaciones eléctricas**

Tomando en cuenta que las subestaciones eléctricas son un componente importante de los sistemas de potencia, además de ser los de mayor costo económico, y que la continuidad del servicio depende en gran parte de ellas; es necesario aplicar a estos sistemas (subestaciones) una adecuada Gestión de Mantenimiento. Esta gestión deberá observar al mantenimiento preventivo, englobando al mantenimiento predictivo, para revisar con cierta frecuencia el estado de los equipos, al mantenimiento correctivo para reparaciones o reemplazos preventivos, el cual debería tener cierta planificación para intervenciones de emergencia, y el mantenimiento proactivo, para el análisis y revisión periódica de la gestión, y para la evolución del mantenimiento y sus procedimientos. Todo esto interrelacionado entre sí, conformando de esta forma al Mantenimiento Integrado.

### **Mantenimiento preventivo a subestaciones**

El mantenimiento preventivo a subestaciones se divide en dos componentes:

**Inspección visual.** Este tipo de mantenimiento se efectúa en forma mensual, sin desenergizar la línea, no utiliza herramientas ni instrumentos en la mayor parte de los casos, y como su nombre lo indica consiste sólo en inspecciones visuales. Tiene la finalidad de revisar visualmente el estado exterior de los equipos.

**Mantenimiento preventivo programado o sistemático.** Consiste en una serie de pruebas a realizar en los equipos para verificar su estado. El trabajo tiene carácter preventivo, pero también engloba al mantenimiento predictivo, y en algunos casos al correctivo.

El mantenimiento predictivo interviene cuando al efectuar las pruebas al equipo, se llega a conocer su estado actual y es posible entonces, conocer el estado futuro o anticiparse a las posibles fallas. El mantenimiento preventivo sistemático se realiza generalmente con línea desenergizada, pero existen algunas técnicas que se pueden aplicar sin necesidad de desenergizar la línea. En la mayoría de las industrias el mantenimiento programado se efectúa en días en los que

la producción puede ser interrumpida, pero en el caso del servicio eléctrico, ya que su continuidad no puede ser interrumpida, estos trabajos se programan en días en los que el consumo de energía eléctrica es menor que los demás, lo que ocurre generalmente los fines de semana. También existen disposiciones de subestaciones que permiten que algunos equipos puedan ser desenergizados para trabajos de mantenimiento, sin que esto implique la interrupción del servicio eléctrico, pero de todos modos requerirá de una coordinación con los responsables de operación. Las técnicas de Mantenimiento Predictivo que se aplican en subestaciones, en base a recomendaciones de normas internacionales (IEC-76, IEC- 72), entre ellas la inspección termográfica.

Inspección termográfica infrarroja. Con el fin de detectar anomalías que muy a menudo no se pueden percibir a simple vista, se realiza una inspección a las instalaciones eléctricas, en la cual se capturan imágenes digitales y térmicas, detectando sobrecalentamiento por tortillería floja, superficies de contacto sucias o no uniformes, soldaduras agrietadas y desbalanceo generalmente, determinando la severidad del problema.

La inspección termográfica se realiza con equipo energizado, y es una actividad que abarca a toda la subestación, y un elemento necesario del mantenimiento preventivo- predictivo.

Para la termografía es necesario considerar los siguientes aspectos:

- Temperatura ambiente.
- La fase que se toma como fase de referencia.
- Si el equipo presenta anomalías cuando se efectúa la inspección termográfica

estas imágenes podrán ser analizadas luego en una PC.

- Tiempo correspondiente a la realización de la medición termográfica.

### **Procedimiento para la medición de los campos eléctricos y magnéticos**

En los últimos años se ha incrementado a nivel internacional y nacional la preocupación por supuestos efectos de los campos eléctricos y magnéticos sobre la salud humana. El enfoque

de esta preocupación se ha dirigido a las obras de transmisión: líneas y subestaciones. Sin embargo, ha sido en el primer tipo de obras donde se centran todos los cuestionamientos por su posible afectación a la salud de los seres humanos. Lo anterior debido quizás al voltaje con que estas operan el cual es superior a los 138000 voltios (138 kV) y que son obras lineales que abarcan desde unos pocos hasta centenas de kilómetros. Pasando en su trayecto por áreas rurales mayoritariamente y en menor grado por zonas urbanas o densamente pobladas.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) no se ha comprobado perjuicio alguno para la salud humana producido por los campos electromagnéticos. A nivel internacional se han realizado investigaciones científicas por reconocidas entidades las cuales han concluido que no se puede determinar una relación entre la presencia de los campos y el padecimiento de enfermedades.

El propósito de este procedimiento es dar los lineamientos generales, para la medición de los campos eléctrico y magnético en las subestaciones de Colima y Desamparados, para cumplir con los lineamientos institucionales y la legislación vigente aplicable.

Para dichas mediciones hicimos referencia a los siguientes documentos.

**Tabla 7***Documentos consultados*

Código	Nombre del documento o registro.
	Constitución Política de la República de Costa Rica y sus modificaciones
Decreto Ejecutivo N° 41965Salud-Minae	Reglamento para Regular Campos Eléctricos y Magnéticos en obras de Transmisión de Energía Eléctrica
Acuerdo Consejo Directivo, acta sesión 5388 (Art. 2), 19 marzo 2002.	Política y Principios que rigen la política ambiental del ICE
Nota Gerencia Electricidad 9110.55795.2002 del 1 noviembre 2002	Lineamientos ambientales del Sector Electricidad del ICE
Res: 02806-98 Sala Constitucional de la Corte Suprema de Justicia	Resolución número 02806-98 de la SALA Constitucional de la Corte Suprema de Justicia, dada en San José, a las catorce horas con treinta minutos del veintiocho de abril de mil novecientos noventa y ocho

Nota: Elaboración propia

**Lugares de medición**

Las mediciones tanto del campo eléctrico como del magnético se llevarán a cabo afuera de las subestaciones ya establecidas, cerca de la salida principal de los circuitos de media tensión de distribución con más carga eléctrica, donde por lo general los operarios realizan las labores de mantenimiento en líneas energizadas a contacto, instalación de postes, instalación o ampliación de nueva red eléctrica de distribución ya explicados en este capítulo. Sobre las condiciones de temperatura y humedad debe verificarse que cumplan con las especificaciones de operación y de calibración del equipo.

**Mantenimiento de circuitos en línea**

El mantenimiento en línea puede garantizar la ejecución de diversos tipos de actividades en los diferentes equipos de la red de baja y media tensión mientras el sistema esta energizado.

Esta forma de trabajo tiene muchos beneficios técnicos y económicos sin que el consumidor se vea perjudicado. Este método es llamado como el “futuro del mantenimiento” es beneficioso para todas las partes involucradas. Además de sus conocidos beneficios, desde el otro lado todos los riesgos relacionados con el personal de línea energizada deben ser tomados en consideración.

### **Figura 11**

*Izado de postes en línea energizada.*



Nota: Elaboración propia

### **Procedimiento para la medición de campos eléctricos**

- La medición del campo eléctrico se debe realizar en un sitio que cumpla con las condiciones establecidas en el punto 4.3 y colocando el medidor de campo a 1 metro sobre el nivel del suelo preferiblemente en un trípode de un material aislante. Las lecturas deben indicar la componente vertical de campo eléctrico porque esta es la cantidad que se usa para caracterizar los efectos de la inducción en objetos cercanos al nivel del suelo.
- En el caso de equipos isotrópicos tipo NARDA modelo EFA 300, el sensor es un cubo que no requiere que se ubique paralelo a los conductores.

- Para los equipos isotrópicos el sensor de campo eléctrico deberá colocarse en el trípode de material aislante a una altura de 1 metro con respecto al suelo y encenderlo. Posteriormente se conecta, mediante el cable de fibra óptica, al sensor de campo magnético y se verifica el cambio de unidades para proceder a realizar las mediciones.
- Esta medición debe de realizarse en un área despejada sin la proximidad de árboles, rocas grandes, tapias, cercas o cualquier otro objeto que introduzca el error de proximidad, esto por cuanto el campo eléctrico no puede atravesar los objetos. Si existiera cualquier tipo de obstáculos de los mencionados la medición preferiblemente se debe llevar a cabo a una distancia que sea tres veces o más la altura del objeto para evitar la perturbación del campo.
- La distancia entre el aparato de medición y el operador del instrumento o cualquier otro obstáculo debe ser de al menos 2,5 m, esta distancia va a reducir el error producido por el efecto de proximidad de un observador. Por lo tanto, es crítico que el usuario no sostenga el instrumento dado que eso alteraría la lectura del aparato, esto hace necesario observar las lecturas por medio del sensor remoto conectado con el cable de fibra óptica que permite al operador alejarse del instrumento de medición la distancia mencionada
- El observador va a introducir menos perturbación en la medición si se coloca en un punto de menor fuerza de los campos eléctricos, en otras palabras, se debe colocar en una posición más externa a las barras de distribución mientras se realiza la medición.

## Figura 12

### *Medición del campo eléctrico subestación Colima*



Nota: Elaboración propia

### **Procedimiento para la medición de campos magnéticos**

- La medición de campos magnéticos debe realizarse a 1 metro de altura sobre el nivel del suelo. Las mediciones a otras alturas de interés deben ser indicadas.
- La medición debe reportar el máximo flujo magnético leído por el instrumento.
- Para los equipos Isotrópicos, tipo NARDA modelo EFA 300, el sensor no necesariamente tiene que ser colocado de manera perpendicular a las barras de distribución. Puede ser colocado de manera horizontal, paralelo a la línea. Pero si es necesario cumplir con lo indicado en el primer punto de este apartado.
- Mientras se miden los campos magnéticos el operador puede sostener el aparato en sus manos ya que la naturaleza no magnética del cuerpo humano no produce perturbaciones de campo magnético y por lo tanto no interfiere con la operación del sensor.

### Figura 13

#### *Medición del campo magnético subestación Colima*



Nota: Elaboración propia

#### **Equipo de medición**

Las mediciones del campo eléctrico y campo magnético fueron llevadas a cabo por mi persona junto con el Ing. Alejandro Luna Baltodano quien pertenece al Proceso Expansión de la Red, ambos del Negocio de Transmisión.

Los valores fueron determinados a un metro y medio de altura sobre el nivel del suelo para lo cual se utilizó un equipo para medición de campos electromagnéticos (CEM) de la Marca NARDA modelo EFA-300, números de serie R-0012 (sensor de campo eléctrico) y T-0021 (medidor de campo magnético), similar al que se muestra en la siguiente imagen. Los certificados de calibración de los equipos utilizados están en el Anexo.

## Figura 14

### *Equipo de medición*



Nota: Figura tomada de Vargas Rivera, Y. (2018), titulada Medición del campo electromagnético en las barras de distribución de una subestación para verificar el cumplimiento del decreto ejecutivo N° 41065. [Tesis de licenciatura, Universidad Central] (p. 37).

Para determinar el valor de los campos magnéticos de baja frecuencia, se utiliza únicamente el sensor correspondiente indicado en la imagen anterior. Cuando se realiza la medición de campos eléctricos se utiliza el sensor remoto conectado por medio del cable de fibra óptica al sensor de campos magnéticos.

### **Recopilación de datos**

Para cumplir con el objetivo específico número uno, se realiza la investigación por medio del centro de control de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz para verificar en un lapso de dos meses verificar cuales son los circuitos de media tensión con más demanda eléctrica en este tiempo, para realizar las mediciones de los campos eléctricos y magnéticos se han escogido cinco circuitos de media tensión con más carga eléctrica de la CNFL (tabla 8)

**Tabla 8**

*Mediciones de los campos eléctricos y magnéticos se han escogido cinco circuitos de media tensión con más carga eléctrica de la CNFL)*

Subestación	Demanda (MVA)	Circuito de distribución	N° de circuito
Desamparados	29,730	Rio azul	402
Colima	26,669	Primer amor	301
Colima	21,059	Bo. Dent	309
Colima	20,935	Guadalupe 1	304
Colima	19,720	Guadalupe 2	303

Nota: Elaboración propia

Unas mediciones se realizaron en los circuitos de distribución dentro de la zona de seguridad de la subestación y otras, en la salida en vía pública en las aceras

Se han enumerado los puntos donde se hicieron las mediciones en cada subestación y salida de cada circuito y han sido anotados en un cuadro donde se especifica, el campo eléctrico y el campo magnético en cada uno.

De igual manera se representan los puntos donde se hicieron las mediciones en los planos unifilares de cada subestación trabajada.

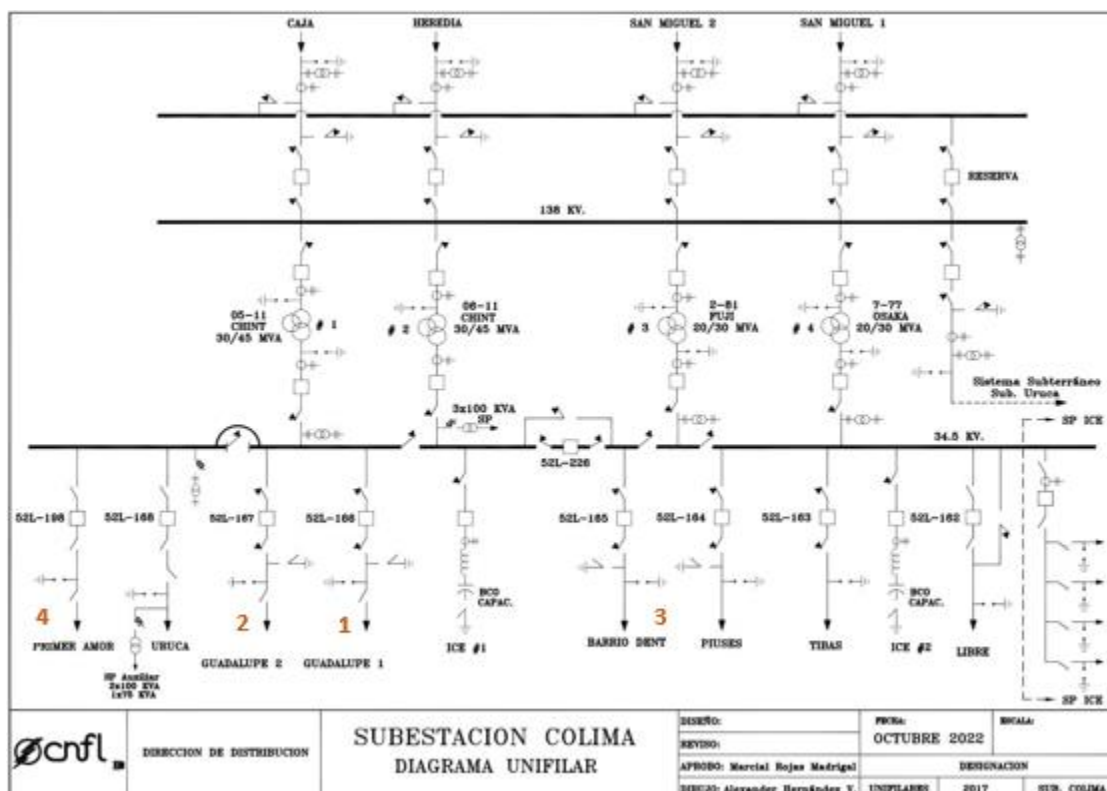
Las mismas son:

- Subestación de Colima
- La subestación Colima está ubicada en el cantón de Tibás, distrito Colima, en un terreno propiedad del ICE.
- El nivel de tensión es de 138/34,5 kV, con una capacidad de 150 MVA en dos transformadores de potencia de 45 MVA cada uno y dos transformadores de potencia de 30 MVA cada uno.

- La sección de media tensión es tipo exterior, compuesta por un sistema de barra principal seccionada, con ocho módulos de circuitos de distribución y un módulo de enlace de barras.
- La carga promedio es de 76,9 MW

**Figura 15**

*Diagrama unifilar subestación Colima*



Nota: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la tabla 9, se realizaron 4 mediciones, en los circuitos de: Guadalupe 1, Guadalupe 2, Barrio Dent y Primer Amor, para obtener los campos eléctricos y magnéticos en dichos circuitos con más carga eléctrica. Primero se hizo un recorrido por la subestación para analizar los puntos a trabajar y acordamos realizar dichas mediciones frente a las salidas de cada circuito, respetando la distancia de seguridad en subestaciones eléctricas de la CNFL.

En el punto 1, se toma la medición frente a la salida del circuito Guadalupe 1, a un metro de distancia sobre el nivel del suelo.

En el punto 2 se hace la medición frente a la salida del circuito Guadalupe 2, a un metro de distancia sobre el nivel del suelo.

En el punto 3 se realiza la medición frente a la salida del circuito Barrio Dent, a un metro de distancia sobre el nivel del suelo.

En el punto 4 se realiza la medición frente a la salida del circuito Primer Amor, a un metro de altura sobre el nivel del suelo.

A continuación, se presenta el resumen de los valores medidos en los puntos anteriormente explicados.

### **Tabla 9**

*Valores medidos en los puntos anteriormente explicados*

<b>Punto</b>	<b>Campo eléctrico (V/m)</b>	<b>Campo magnético (<math>\mu</math>T)</b>
1	225	3,38
2	191	4,40
3	210	6,60
4	215	9,80

Nota: Elaboración propia

### **Subestación de Desamparados**

La subestación de Desamparados está ubicada en el cantón de Desamparados, en El Porvenir, detrás del polideportivo.

El terreno es propiedad del ICE

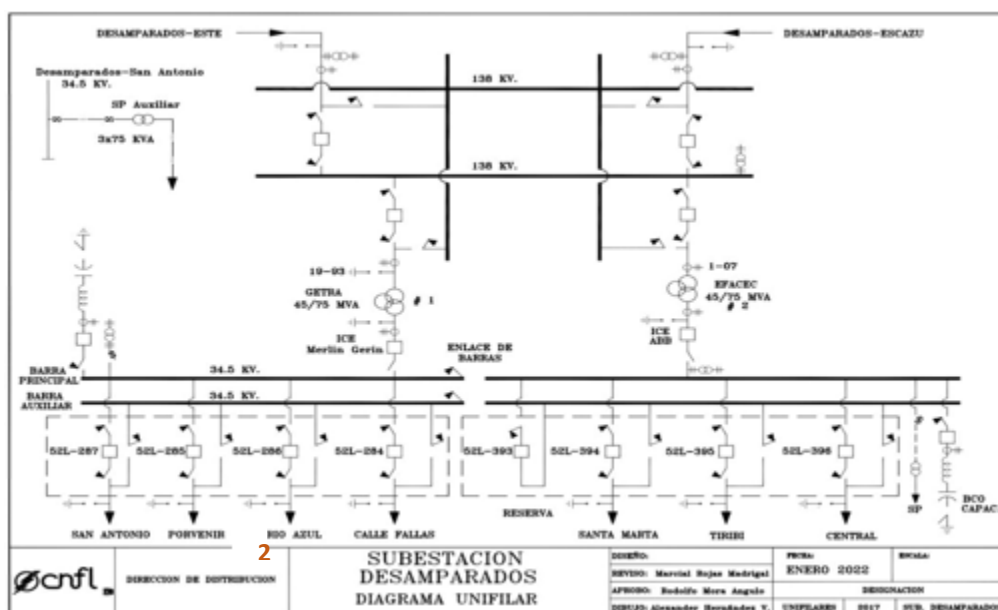
El nivel de tensión es de 138/34,5 kV, con una capacidad de 150 MVA en dos transformadores de potencia de 75 MVA cada uno.

La sección de media tensión es tipo exterior, compuesta por un sistema de barra principal seccionada, con ocho módulos de circuitos de distribución y un módulo de enlace de barras.

La carga promedio es de 55,9 MW

**Figura 16**

*Diagrama unifilar subestación Desamparados cambiar 2 por punto 5*



Nota: Elaboración propia

En el punto 5 se realiza la medición frente a la salida del circuito Rio Azul, a un metro de distancia sobre el nivel del suelo, en calle publica afueras de la subestación Desamparados en su salida subterránea en la acera.

**Tabla 10**

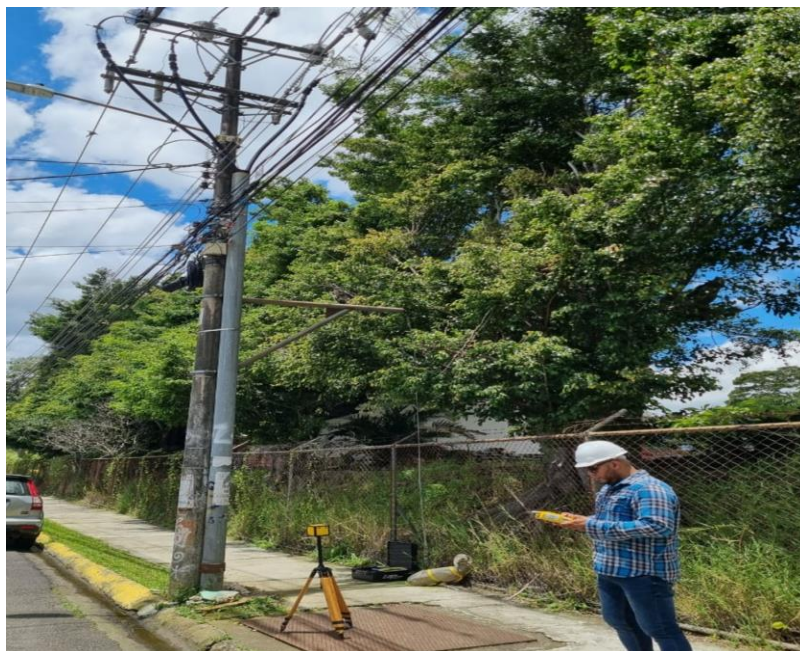
*Valores medidos en los puntos anteriormente explicados*

<b>Punto</b>	<b>Campo eléctrico (V/m)</b>	<b>Campo magnético (<math>\mu</math>T)</b>
5	27	3,5

Nota: Elaboración propia

**Figura 17**

*Medición de campos eléctricos, Desamparados*



Nota: Elaboración propia

**Tabla 11**

*Valores medidos en los puntos anteriormente explicados*

<b>Punto de medición</b>	<b>Coord. Geográficas</b>		<b>Coord. CRTM05</b>		<b>Campos</b>	
	Latitud	Longitud	Coord_X	Coord_Y	Eléctrico (V/m)	Magnético ( $\mu$ T)
<b>Guadalupe 1</b>	9,95189	84,0907	1100424,81	490055,241	225	3,38
<b>Guadalupe 2</b>	9,95189	84,09069	1100424,200	490045,200	191	4,40
<b>Barrio Dent</b>	9,95189	84,09055	1100424,8	490071,688	210	6,60
<b>Primer Amor</b>	9,9519	84,09089	1100425,92	490034,409	215	9,80
<b>Rio Azul</b>	9,88783	84,05473	1093339,15	493997,99	27	3,5

Nota: Elaboración propia

**Tabla 12**

*La información anterior dada fue recolectada en las siguientes horas los siguientes días*

Circuito de distribución	Día	Hora inicio	Hora final
Guadalupe 1	23/agosto/2023	09:40	09:48
Guadalupe 2	23/agosto/2023	09:50	09:57
Barrio Dent	23/agosto/2023	10:00	10:08
Primer Amor	23/agosto/2023	10:14	10:23
Rio Azul	23/agosto/2023	11:15	11:23

Nota: Elaboración propia

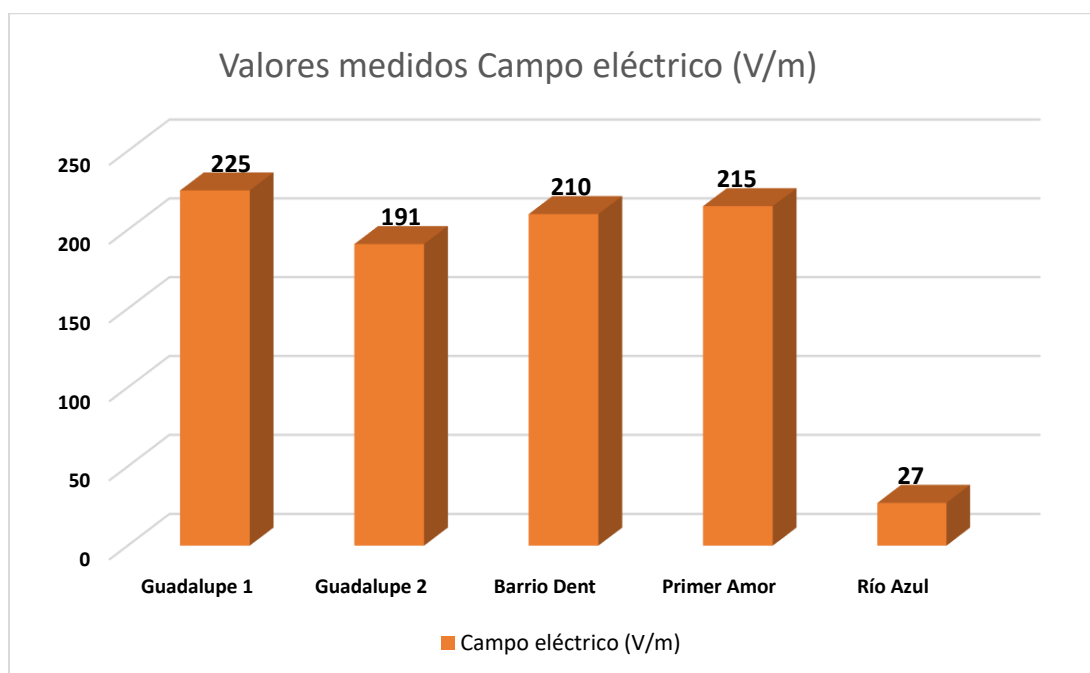
De acuerdo con el decreto el campo magnético no debe exceder los 10000 mG, y el campo eléctrico no debe exceder los 8,33 KV/m, que es equivalente a 8330 V/m, ambos medidos a un metro y medio de altura con respecto al suelo.

Analizando los puntos de medición realizados, y con los valores de referencia según el decreto, obtenemos:

Como se puede apreciar en la figura 15 los valores de campo eléctrico medidos en esta subestación están por debajo del valor permitido según el decreto estudiado.

### Figura 18

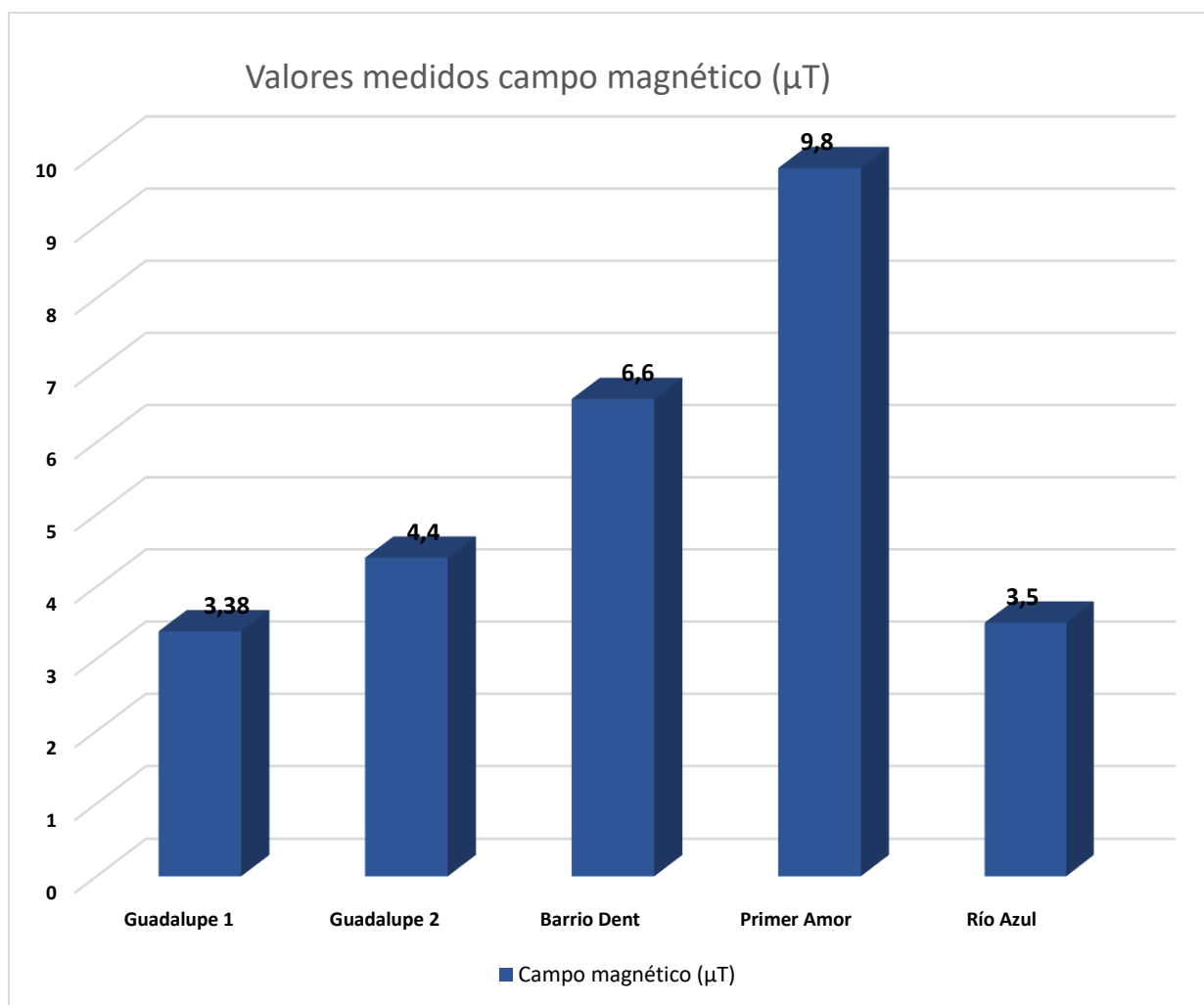
En la siguiente grafico se representan los valores medidos Campo eléctrico (V/m)



Nota: Elaboración propia

**Figura 19**

En la siguiente grafico se representan los valores medidos campo magnético ( $\mu T$ )



Nota: Elaboración propia

De acuerdo con el decreto el campo eléctrico no debe exceder los 8,33 kv/m, que es equivalente a 8330 V/m y el campo magnético no debe exceder los 10000 mG, ambos medidos a un metro y medio de altura con respecto al suelo.

Analizando los puntos de medición realizados, y con los valores de referencia según el decreto, obtenemos:

Como se puede apreciar en la tabla 13 los valores de campo eléctrico medidos en los cinco circuitos media tensión, están por debajo del valor permitido según el decreto estudiado.

**Tabla 13**

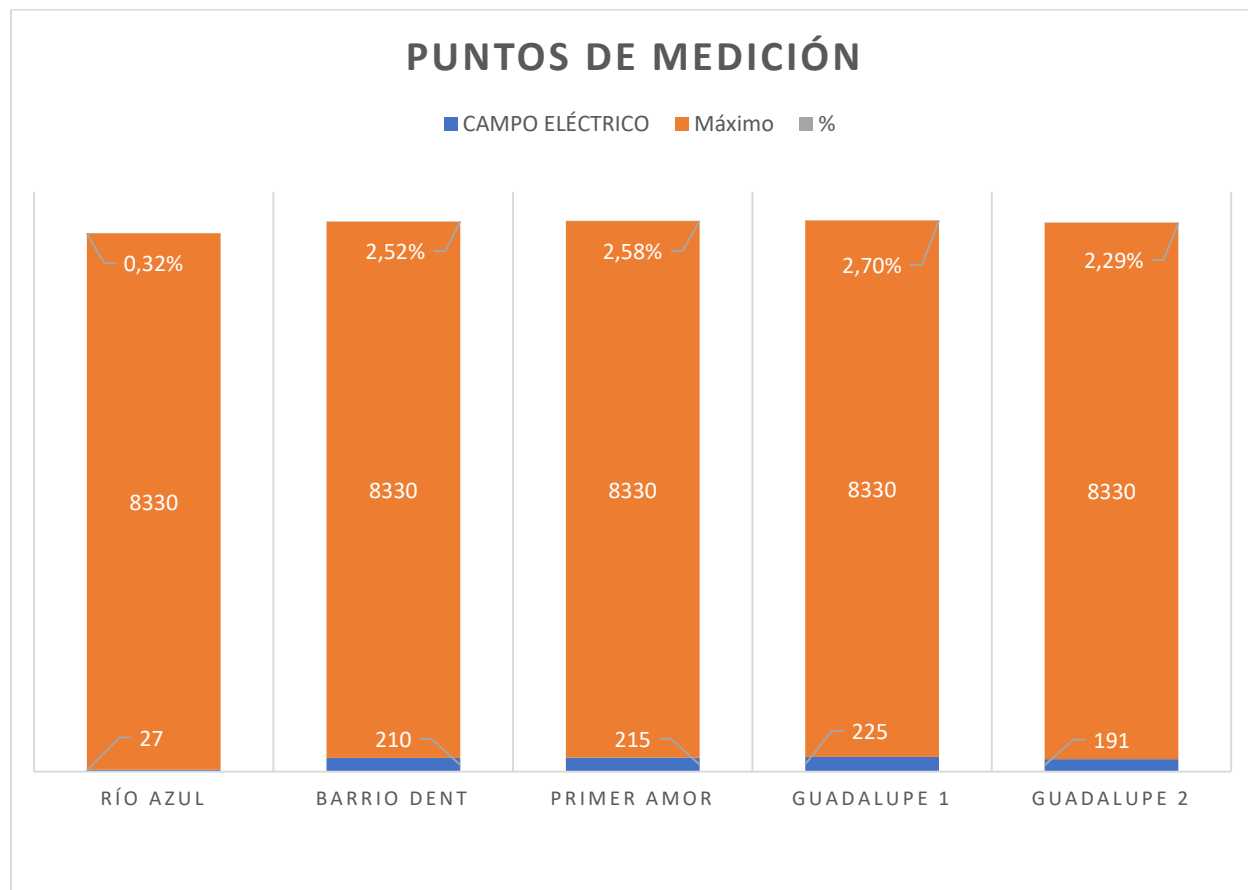
*Porcentajes de los campos eléctricos teniendo como valor límite permitido 8330 v/m*

<b>PUNTO DE MEDICIÓN</b>	<b>CAMPO</b>	
	<b>ELÉCTRICO(v/m)</b>	<b>%</b>
<b>Río Azul</b>	27	0,3241%
<b>Barrio Dent</b>	210	2,5210%
<b>Primer Amor</b>	215	2,58103%
<b>Guadalupe 1</b>	225	2,70108%
<b>Guadalupe 2</b>	191	2,29291%

Nota: Elaboración propia

**Figura 20**

*Gráficos de los porcentajes de los campos eléctricos, teniendo como valor límite permitido 8330 v/m*



Nota: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la tabla 13 los valores de campo magnéticos medidos en los cinco circuitos media tensión, están por debajo del valor permitido según el decreto estudiado

**Tabla 14**

*Porcentajes de los campos magnéticos teniendo como valor límite permitido 1000  $\mu$ T*

<b>PUNTO DE MEDICIÓN</b>	<b>CAMPO MAGNÉTICO</b>	<b>%</b>
<b>Río Azul</b>	3,5	0,35%
<b>Barrio Dent</b>	6,6	0,66%
<b>Primer Amor</b>	9,8	0,98%
<b>Guadalupe 1</b>	3,38	0,338%
<b>Guadalupe 2</b>	4,40	0.44%

Nota: Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestra que los resultados de las mediciones del campo magnético no tienen relación con la intensidad de la carga de los circuitos de distribución, donde pueden incidir factores como: la altura de los conductores, la hora en que se tomó la muestra y al cambio de recorrido de circuitos de distribución de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz por circuitos de respaldo.

**Tabla 15**

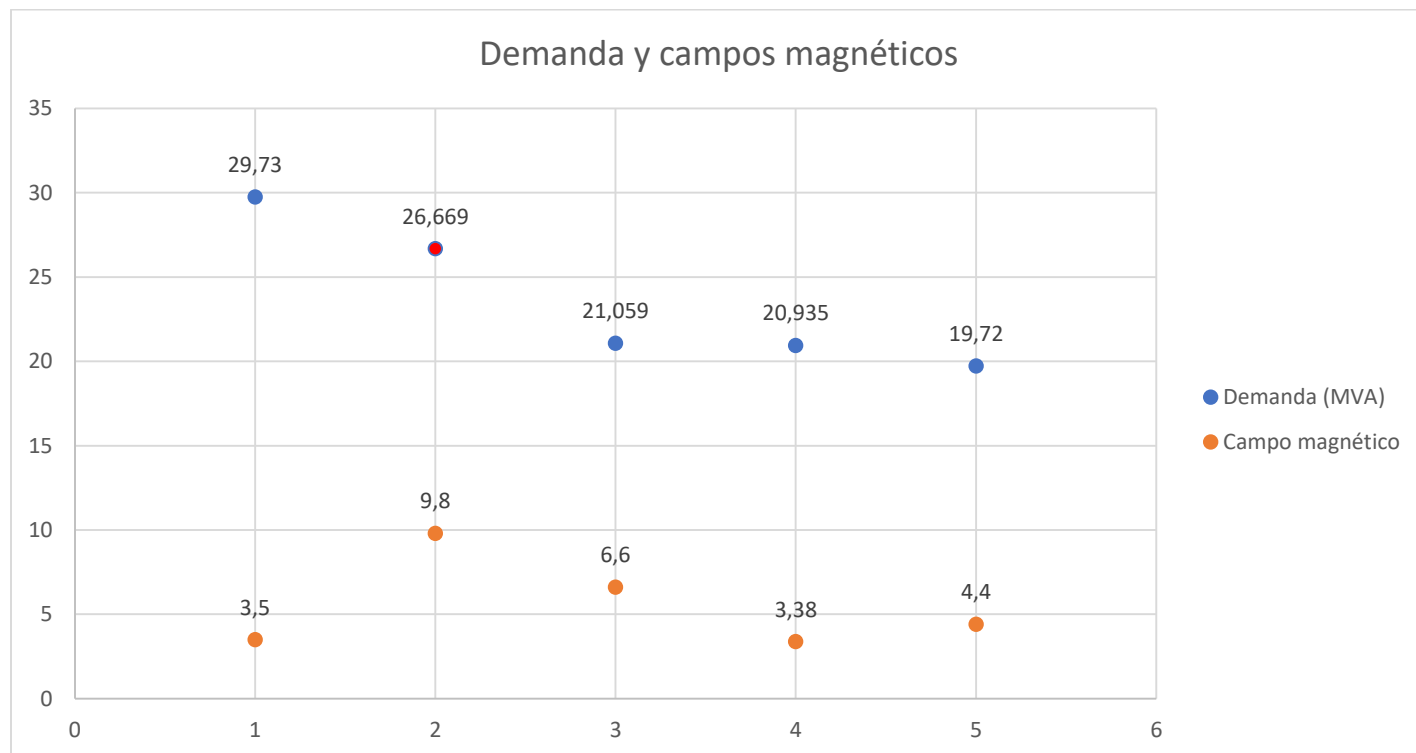
*Mediciones del campo magnético*

<b>Circuito de distribución</b>	<b>Demanda (MVA)</b>	<b>Campo magnético</b>
Río azul	29,73	3,5
Primer amor	26,669	9,8
Bo. Dent	21,059	6,6
Guadalupe 1	20,935	3,38
Guadalupe 2	19,72	4,4

Nota: Elaboración propia

**Figura 21**

*Gráfica entre la intensidad de carga y el campo magnético en los valores de los cinco circuitos analizados*



Nota: Elaboración propia

En la siguiente grafica podemos apreciar que no existe relación entre la intensidad de carga y el campo magnético en los valores de los cinco circuitos analizados

**Tabla 16**

*Porcentajes de los campos eléctricos, para el público teniendo como valor límite permitido 8330*

*v/m*

<b>PUNTO DE MEDICIÓN</b>	<b>CAMPO ELÉCTRICO(v/m)</b>	<b>%</b>
<b>Río Azul</b>	27	0,65%
<b>Barrio Dent</b>	210	5,04%
<b>Primer Amor</b>	215	5,16%
<b>Guadalupe 1</b>	225	5,40%
<b>Guadalupe 2</b>	191	4,58%

Nota: Elaboración propia

**Tabla 17**

*Porcentajes de los campos magnéticos, para el público teniendo como valor límite permitido*

*1000  $\mu$ T*

<b>PUNTO DE MEDICIÓN</b>	<b>CAMPO MAGNÉTICO</b>	<b>%</b>
<b>Río Azul</b>	3,5	0,18%
<b>Barrio Dent</b>	6,6	0,33%
<b>Primer Amor</b>	9,8	0,49%
<b>Guadalupe 1</b>	3,38	0,17%
<b>Guadalupe 2</b>	4,40	0,22%

Nota: Elaboración propia

## Capítulo V

### Conclusiones y Recomendaciones

#### 5.1 Conclusiones

Este trabajo de investigación tenía como objetivo principal el comprender y analizar los efectos de los campos electromagnéticos de baja frecuencia en circuitos de media tensión sobre la salud humana, Se realizó una búsqueda informativa relacionada con radiaciones electromagnéticas y afectaciones al estado de salud. El resultado de la búsqueda refleja la actualidad del tema y la importancia que se presta por los sistemas de salud a este aspecto que muchos han llamado la "epidemia del desarrollo científico-tecnológico". Se confirma en muchas investigaciones la fuerte relación entre radiaciones electromagnéticas y cáncer.

Después de realizar las mediciones de los campos magnéticos y campos eléctricos se puede obtener que no hay relación entre el campo magnético y la intensidad de la carga de los circuitos, esto varía en la distancia relacionada a la altura de los cables con respecto al suelo, la hora en que se realizó la medición de los campos magnéticos.

Entre los circuitos con más carga eléctrica se identificaron 2 circuitos y estos suministran electricidad a la red subterránea del centro de San José, donde la distancia a exposición a campos electromagnéticos disminuiría considerablemente de 2m a 5m de distancia.

La mayoría de los organismos científicos han expresado que, cumpliendo con los límites recomendados, no existen riesgos para la salud pública, por exposiciones a los campos electromagnéticos generados por las instalaciones eléctricas. Los únicos efectos conocidos y comprobados son los de corto plazo, quedando en discusión los efectos a largo plazo.

Debido a los interrogantes que todavía existen y en consecuencia con los principales organismos internacionales y nacionales se deben mantener abiertas las líneas de investigación sobre esta materia.

Aun así, todas estas investigaciones advierten sobre posibles afecciones a la salud, puesto que ninguna de las dos posiciones en cuestión se llega a comprobar con totalidad. Es así que

cabe resaltar la importancia en cuanto a prevención de exposiciones prolongadas a estas radiaciones y de este modo evitar posibles enfermedades a largo plazo.

## 5.2 Recomendaciones

En primer lugar, es recomendable que se dé continuidad a este proyecto, pues si bien es cierto no habían antecedentes de mediciones de campos electromagnéticos en la red eléctrica de media tensión en la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), es una tarea sumamente extensa, especialmente si se quiere modelar toda la red de distribución eléctrica aérea y red subterránea donde queda la interrogante de que disminuye la distancia a exposiciones a los CEM, a en un futuro por posibles demandas de usuarios sobre exposición al público a estos campos electromagnéticos. Ante la circunstancia de una posible nueva práctica profesional, algunas recomendaciones para éstas serían las siguientes:

Un criterio que se utilizó es que no hubo relación entre la intensidad de carga eléctrica y el campo magnético, que es al que se le debe de dar más importancia ya que este no puede ser bloqueado, en caso de red subterránea su distancia de exposición será alrededor de 2 a 5 metros.

Está próximo a entrar en nuestro país la tecnología 5G donde se deben de medir y analizar las exposiciones de campos electromagnéticos generados por fuentes de torres de telefonía celular.

El Estado debe garantizar un elevado nivel de protección de la salud contra la exposición a los campos electromagnéticos, adoptando un marco de restricciones básicas y niveles de referencia definidos y aplicando medidas en relación con las fuentes o prácticas que den lugar una exposición del público a campos electromagnéticos.

Se debe pedir al estado que proporcionen en un formato apropiado la información pertinente al público sobre el impacto sanitario de los campos electromagnéticos y las medidas adoptadas a tal fin. Asimismo, se les recomienda a que fomenten la investigación en relación con los efectos de los campos electromagnéticos sobre la salud humana.



## Referencias

- Alonso Fustel, E., García Vázquez, R. y Onaindia Olalde, C. (2011). Campos electromagnéticos y efectos en salud.  
[https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/salud\\_amb\\_campos\\_electrom/es\\_def/ad\\_juntos/CEM\\_cast.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/salud_amb_campos_electrom/es_def/ad_juntos/CEM_cast.pdf)
- Aponte, G., Escobar, A., Pinedo, C. y Arizabaleta, G. (2007). Medición de Campos Electromagnéticos en la Ciudad de Cali, Colombia. *Información tecnológica*, 18(3), 39-47. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642007000300006>
- Araya Padilla, E. A. (2016). Reducción de la radiación electromagnética en líneas de alta tensión. *Ingeniería. Revista de la Universidad de Costa Rica*, 16 (1), 41-51.  
<https://doi.org/10.15517/ring.v16i1.643>
- Barrantes, E. R. (2007). *Investigación: un camino al conocimiento*. Editorial de la UNED
- Compañía de Fuerza y Luz. (2022). *¿Quiénes somos?*.  
[https://www.cnfl.go.cr/contenido/documentos/transparencia/informacion-institucional/cnfl-quienes\\_somos.pdf](https://www.cnfl.go.cr/contenido/documentos/transparencia/informacion-institucional/cnfl-quienes_somos.pdf)
- Ferrer, L. (2020). Introducción a la compatibilidad electromagnética. A: Jornades de Conferències d'Enginyeria Electrònica. "VIII Jornades de Conferències d'Enginyeria Electrònica". Terrassa. <http://hdl.handle.net/2117/13082>
- Grupo ICE. (2023). *Quiénes somos historia del ICE*. <https://www.grupoice.com>

Grupo ICE. (2023b). Informe ejecutivo del plan de expansión de la generación 2022 – 2040.

<https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/741c8397-09f0-4109-a444-bed598cb7440/Plan+de+Expansio%CC%81n+de+la+Generacio%CC%81n+2022-2040.pdf>

González - Longatt, F. M. (2008). Introducción a los sistemas de potencia.

[https://fglongatt.org/OLD/Archivos/Archivos/SP\\_I/PPT-IntroSP.pdf](https://fglongatt.org/OLD/Archivos/Archivos/SP_I/PPT-IntroSP.pdf)

Hewitt, P. (1998). *Física conceptual*. Addison Wesley Longman.

Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (2009). Líneas de transmisión y campos

electromagnéticos. Tercera edición.

<https://www.yumpu.com/es/document/read/43987829/lineas-de-transmision-y-campos-electromagneticos-grupo-ice>

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. (1998). Icnirp Guidelines for

Limiting. Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields up to 300 GHz. (1998). *Health Physics*, 74 (4), 494-522.

<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>

Matulic, I. (2003). Introducción a los Sistemas Eléctricos de Potencia. *Acta Nova*, 2(2), 208-215.

[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1683-07892003000100005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892003000100005&lng=es&tlng=es).

Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica. (2018). *Reglamento para regular la expansión a campos electromagnéticos de radiaciones no ionizantes en los sistemas de transmisión*

*de energía eléctrica de alta tensión. Decreto Ejecutivo No 41065 –S- MINAE.*

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_norma.aspx?param1=Normativa&Valor1=1&Valor2=86529&Valor3=112286&strTipM=FN](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=Normativa&Valor1=1&Valor2=86529&Valor3=112286&strTipM=FN)

Nucetelli, C. Risica, S. Alessandro, M D. Trevisi, R (2013). Corrigendum: Natural radioactivity in building material in the European Union: robustness of the activity concentration index I and comparison with a room model. *Journal of Radiological Protection*, 33 (1), 340-356. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0952-4746/33/1/259>

OMS, Organización Mundial De La Salud. (1999). *¿Qué son los campos electromagnéticos?, publicado por la Oficina Regional de la OMS para Europa.* <https://itmacem.unlp.edu.ar/campos-electromagneticos#:~:text=Son%20aquellas%20que%20transportan%20energ%C3%ADa,caracter%C3%ADstica%20importante%20de%20los%20mismos.>

Parker, S.P. (1993). *Encyclopedia of Physics*. Second edition. Mcgraw-Hill,

Quinto Vicuña, I. H. (2009). *Mitigación de los efectos sobre la salud de campos electromagnéticos producidos por redes eléctricas*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3561/Quinto%20Vicu%C3%B1a.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rivadeneira Lichardi, A. F. (2013). *Estudio de compatibilidad de los campos electromagnéticos de frecuencia industrial en el sistema de transmisión en alta tensión del noroeste argentino, en función de la evolución del sistema eléctrico*. [Tesis de licenciatura,

Universidad Tecnológica Nacional].

<https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/4316/8%20Tesis%20Rivadeneira.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Torres, J. I. y Alzate, L. H. (2006). Efectos de las radiaciones electromagnéticas no ionizantes en sistemas biológicos. *Revista Médica De Risaralda*, 12(2), 44-54.

<https://doi.org/10.22517/25395203.985>

Torres Herrera, R. (2021). *Base de datos de agentes considerados cancerígenos (benceno, nitrometano, tetracloruro de carbono, Cloroformo, óxido de etileno e hidrazina) según carex presentes en la región del Biobío*. [Tesis de ingeniería, Universidad Técnica Federico Santa María].

<https://repositorio.usm.cl/server/api/core/bitstreams/d8d6a41e-28f9-4772-a32f-98f7674ea762/content>

Torres Muñoz, R. (2016). *Efectos sobre la salud humana de los campos eléctricos y magnéticos de extremadamente bajas frecuencias*.

<https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/24093/2/Efectos%20sobre%20la%20salud%20humana%20de%20los%20campos%20el%C3%A9ctricos%20y%20magn%C3%A9ticos%20ELF.pdf>

Vargas Rivera, Y. (2018). *Medición del campo electromagnético en las barras de distribución de una subestación para verificar el cumplimiento del decreto ejecutivo N° 41065*. [Tesis de licenciatura, Universidad Central].

Weedy, B., Cory, B., Jenkins, N., Ekanayake, J., y Strbac, G. (2012). Electric power systems, fifth edition.

[https://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=JkQdhXtGBtYC&oi=fnd&pg=PP9&dq=power+systems&ots=qRTQif7D1G&sig=iuCg0VRriwrq59-xovLLOuw9Bzk&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=JkQdhXtGBtYC&oi=fnd&pg=PP9&dq=power+systems&ots=qRTQif7D1G&sig=iuCg0VRriwrq59-xovLLOuw9Bzk&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

## Anexos

## Anexos 1: Certificado de calibración



**APTOMET**  
macht Messung verlässlich

**Kalibrierzertifikat / Certificate of Calibration**

**Zertifikat / Certificate** 2204250900

**Kunde / Customer** Negocio Transmisión  
Instituto Costarricense de Electricidad  
San José  
Costa Rica



Schweizerischer Kalibrierdienst  
Service suisse d'étalonnage  
Servizio svizzero di taratura  
Swiss Calibration Service



International Laboratory  
Accreditation Cooperation  
Mutual Recognition Arrangement

**Auftragsnummer** 22-2099  
Order Number

**Auftragsdatum** 22.04.2022  
Order Date

**Kalibriergegenstand / Calibration Object**

<b>Gerätebezeichnung</b> Model / Object	EM Field Analyzer	<b>Prüfmittel Nr.</b> Inventory No.	IM-789
<b>Hersteller</b> Manufacturer	Narda	<b>Serien Nr.</b> Serial No.	T-0020

**Umgebungsbedingungen / Environmental Conditions**

<b>Temperatur</b> Temperature	23.0 °C ± 1 °C	<b>Rel. Luftfeuchtigkeit</b> Rel. Humidity	37.7 % ± 5 %
----------------------------------	----------------	---	--------------

**Kalibrierergebnis / Calibration Result**

<b>Resultat</b> Result	passed	<b>Anlieferung</b> Incoming	O.K.
<b>Bemerkungen</b> Remarks	-		

**Ort der Kalibrierung** Gümligen  
Place of Calibration

**Kalibrierdatum** 25.04.2022  
Date of Calibration

**Ausgabedatum** 25.04.2022  
Date of Issue

**Kalibriert von:** Markus Tschopp  
Calibrated by:

**SCS-Laborleiter:** Markus Tschopp  
Head of SCS-Laboratory:

*Markus Tschopp* *Markus Tschopp*

Dieses Kalibrierzertifikat dokumentiert die Rückführbarkeit auf nationale Normale zur Darstellung der physikalischen Einheit (SI). Die Kalibrierergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf den genannten Kalibriergegenstand. Messresultate, Messunsicherheiten mit Vertrauensbereich und Messverfahren sind auf den folgenden Seiten aufgeführt und Teil des Zertifikates. Der Inhalt dieses Zertifikats darf nur in vollständiger Form veröffentlicht werden.

This certificate of calibration documents the traceability to national standards which realize the physical units of measurements (SI). The calibration results refer exclusively to the noted calibration object. The measurements, the uncertainties with confidence probability and calibration methods are given on the following pages and are part of the certificate. It may not be published or forwarded other than full.

---

Hauptsitz / headquarters APTOMET AG Worbstrasse 201 CH-3073 Gümligen	Zweigstelle / branch APTOMET AG Luppenstrasse 3 CH-8320 Fehraltorf	Tel. 0848 058 058 Fax +41 31 934 06 01	calibration@aptomet.ch www.aptomet.ch	Seite / page	1/5
---	---	---	--	--------------	-----

akkreditiertes Labor SCS 0058

### 1. Performance test results summary

When assessing compliance with the tolerance, the measurement uncertainty is not taken into account according to ILAC-G8:03/2009 (known as shared risk).

The tolerance is based on the manufacturer's specifications.

Description of results (status)	Number of measurements
Total	57
"passed" (p)	47
"failed" (f)	0
"no statement" (ns)	10

- The measured values are within the tolerance (p).
- The measured values are outside the tolerance (f).
- No statement possible – no tolerance available (ns).

### 2. Measuring uncertainties confidence range

The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor  $k = 2$ , which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95 %.

### 3. Range of calibration

The following measuring ranges are tested: EM field and E field.

**Kalibrierzertifikat / Certificate of Calibration**  
 Certificate No: 2204250900



**4. Measuring procedure**

**General**

DUT = Device under test.

The measurement procedure and the uncertainty calculation are carried out according to the calibration instruction of Aptomet KA0030. The measurements are carried out after the value stabilized.

**Maintenance**

The general condition of the DUT is checked.

**EM field**

The DUT is placed in a homogeneity field of a Helmholtz coil for the EM-Field.

**E field**

The DUT is placed in a homogeneity field of a E field cell for the E-Field.

**5. Remarks**

- Measurements are done with the internal EM field sensor.
- E field measurements are done in combination with the E-Field Sensor 2245/90.31  
 Serial number: R-0014  
 The sensor is connected to the probe input of the DUT with an optical cable.

**6. Calibration equipment**

**Reference standards**

Description	Model	Manufacturer	Inventory No.	Certificate No.
Calibrator	5700A	Fluke	18097	2112150900
Transconductance Amplifier	52120A	Fluke	80240	2004060900
Programmable AC Source	61504	Chroma	80043	2108270900
Multimeter	34461A	Keysight	80663	2107130802
Temperatur / Feuchte Datalogger	LEN TempFeu	Aptomet	80633	2202042601

**Working device and facilities**

Description	Model	Manufacturer	Inventory No.
Helmholtz Coil $\varnothing$ 0.8m	2 x 10Wdg.	Aptomet	177877
Resistor	4 $\Omega$	Egaton	127870
E-Field cell	1.5x1.5x0.75 m	Aptomet	80138
Messwandler	VK 20	Moser + Glaser	80135

**Kalibrierzertifikat / Certificate of Calibration**  
Certificate No: 2204250900



**Results**

**1. Maintenance**

Characteristics	Expected	Condition	Remark
Switches, Push-buttons, Case, Cables	O.K.	✓	
Display, LED	O.K.	✓	
Accus	O.K.	✓	Capacity: 100 %, very hot after loading!
Warmup-time before calibration	≥0.10h	✓	
HW-Version		1	
SW-Version		02.04	

**2. EM field with internal B-Field Sensor**

Characteristics	Reference	DUT	Deviation	± Tolerance	Uncertainty	Status
<b>2.1 Isotropy</b>						
Filter 50 Hz, Auto-Range	in $\mu$ TRMS	in $\mu$ TRMS	in $\mu$ TRMS	in $\mu$ TRMS	in $\mu$ TRMS	
Offset Error + Residual Field in the Lab	0.00	0.02	0.02	-	0.13	(ns)
X-Axis, 50 Hz	10.00	9.82	-0.18	0.50	0.31	(p)
Y-Axis, 50 Hz	10.00	9.86	-0.14	0.50	0.31	(p)
Z-Axis, 50 Hz	10.00	9.99	-0.01	0.50	0.31	(p)
<b>2.2 Frequency response</b>						
Filter 5 Hz ... 2 kHz, AUTO Range	in $\mu$ TRMS	in $\mu$ TRMS	in $\mu$ TRMS	in $\mu$ TRMS	in $\mu$ TRMS	
Offset Error + Residual Field in the Lab	0.00	0.16	0.16	-	0.23	(ns)
X -Axis, 16.7 Hz	10.00	9.86	-0.14	0.50	0.41	(p)
X -Axis, 50 Hz	10.00	9.84	-0.16	0.50	0.41	(p)
X -Axis, 150 Hz	10.00	9.80	-0.20	0.50	0.41	(p)
X -Axis, 250 Hz	10.00	9.78	-0.22	0.50	0.41	(p)
X -Axis, 450 Hz	10.00	9.75	-0.25	0.50	0.41	(p)
X -Axis, 1000 Hz	10.00	9.57	-0.43	0.50	0.41	(p)
Filter 5 Hz ... 32 kHz, AUTO Range	in $\mu$ TRMS	in $\mu$ TRMS	in $\mu$ TRMS	in $\mu$ TRMS	in $\mu$ TRMS	
Offset Error + Residual Field in the Lab	0.00	0.19	0.19	-	0.27	(ns)
X -Axis, 50 Hz	10.00	9.83	-0.17	0.50	0.45	(p)
X -Axis, 2000 Hz	10.00	10.00	0.00	0.50	0.45	(p)
<b>2.3 Linearity</b>						
Filter 60 Hz, Auto-Range	in $\mu$ TRMS	in $\mu$ TRMS	in $\mu$ TRMS	in $\mu$ TRMS	in $\mu$ TRMS	
Offset Error + Residual Field in the Lab	0.00	0.02	0.02	-	0.13	(ns)
X-Axis, 60 Hz	1.00	0.98	-0.02	0.05	0.15	(p)
	5.00	4.92	-0.08	0.25	0.22	(p)
	10.00	9.83	-0.17	0.50	0.31	(p)
	30.00	29.44	-0.56	1.50	0.70	(p)
	50.00	49.11	-0.89	2.50	1.10	(p)
	100.00	98.00	-2.00	5.00	2.00	(p)
	200.00	196.40	-3.60	10.00	3.80	(p)
Filter 5 Hz ... 2 kHz, Auto Range	in $\mu$ TRMS	in $\mu$ TRMS	in $\mu$ TRMS	in $\mu$ TRMS	in $\mu$ TRMS	
Offset Error + Residual Field in the Lab	0.00	0.20	0.20	-	0.13	(ns)
X-Axis, 400 Hz	1.00	0.99	-0.01	0.05	0.15	(p)
	5.00	4.88	-0.12	0.25	0.22	(p)
	10.00	9.75	-0.25	0.50	0.31	(p)
	30.00	29.21	-0.79	1.50	0.67	(p)
	50.00	48.58	-1.42	2.50	1.05	(p)
	100.00	97.20	-2.80	5.00	2.00	(p)

**Kalibrierzertifikat / Certificate of Calibration**  
Certificate No: 2204250900



**3. E field with E-Field Sensor BN 2245/90.31**

Characteristics	Expected	DUT	Deviation	± Tolerance	Uncertainty	Status
<b>Isotropy</b>						
Filter 5 Hz ... 2 kHz, Auto-Range	in V/m	in V/m	in V/m	in V/m	in V/m	
Offset Error + Residual Field in the Lab	0.00	0.12	0.12	-	0.12	(ns)
X-Axis, 50 Hz	50.00	49.85	-0.15	2.20	0.92	(p)
Y-Axis, 50 Hz	50.00	49.65	-0.35	2.20	0.92	(p)
Z-Axis, 50 Hz	50.00	49.17	-0.83	2.20	0.92	(p)
<b>Frequency response</b>						
Filter 5 Hz ... 2 kHz, Auto Range	in V/m	in V/m	in V/m	in V/m	in V/m	
Offset Error + Residual Field in the Lab	0.00	0.64	0.64	-	0.12	(ns)
X-Axis, 16.7 Hz	50.00	49.75	-0.25	2.20	0.92	(p)
X-Axis, 50 Hz	50.00	49.87	-0.13	2.20	0.92	(p)
X-Axis, 150 Hz	50.00	49.89	-0.11	2.20	0.92	(p)
X-Axis, 450 Hz	50.00	49.75	-0.25	2.20	0.92	(p)
Filter 5 Hz ... 32 kHz, Auto Range	in V/m	in V/m	in V/m	in V/m	in V/m	
Offset Error + Residual Field in the Lab	0.00	3.97	3.97	-	4.70	(ns)
X-Axis, 1 kHz	50.00	50.01	0.01	6.00	5.50	(p)
X-Axis, 2 kHz	50.00	49.97	-0.03	6.00	5.50	(p)
X-Axis, 10 kHz	50.00	49.68	-0.32	6.00	5.50	(p)
X-Axis, 20 kHz	50.00	48.19	-1.81	6.00	5.50	(p)
X-Axis, 30 kHz	50.00	38.21	-11.79	-	5.50	(ns)
<b>Linearity</b>						
Filter 50 Hz, Auto-Range	in V/m	in V/m	in V/m	in V/m	in V/m	
Offset Error + Residual Field in the Lab	0.00	0.12	0.12	-	0.12	(ns)
X-Axis, 50 Hz	5.00	5.43	0.43	0.85	0.20	(p)
	10.00	10.36	0.36	1.00	0.28	(p)
	30.00	30.13	0.13	1.60	0.60	(p)
	50.00	49.90	-0.10	2.20	0.92	(p)
	80.00	79.54	-0.46	3.10	1.40	(p)
	100.00	99.31	-0.69	3.70	1.80	(p)
	500.00	498.71	-1.29	15.70	8.20	(p)
	in kV/m	in kV/m	in kV/m	in kV/m	in kV/m	
	1.00	0.99	-0.01	0.03	0.02	(p)
	5.00	4.99	-0.01	0.15	0.08	(p)
	10.00	9.98	-0.02	0.30	0.16	(p)
	15.00	14.95	-0.05	0.45	0.24	(p)
	20.00	19.89	-0.11	0.60	0.32	(p)

## **Anexos 2: Decreto Ejecutivo N° 41065.**

DECRETO EJECUTIVO No 41065 -S-MINAE EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA LA MINISTRA DE SALUD, Y EL MINISTRO DE AMBIENTE Y ENERGÍA

En uso de las facultades que les confieren los artículos 50, 140 incisos 3), 18) y 146 de la Constitución Política; 25 inciso 1), 27 inciso 1), 28 inciso 2) acápite b) de la Ley No.

6227 del 2 de mayo de 1978 "Ley General de la Administración Pública"; 1, 2, 4, 7, 18, 37 de la Ley No. 5395 del 30 de octubre de 1973 "Ley General de Salud"; 2 y 6 de la Ley No. 5412 del 8 de noviembre de 1973 "Ley Orgánica del Ministerio de Salud"; Ley No. 7554 del 4 de octubre de 1995 "Ley Orgánica del Ambiente"; Ley No. 7447 del 03 de noviembre de 1994, "Ley de Regulación del Uso Racional de la Energía"; Ley No. 7152 del 05 de junio de 1990 "Ley Orgánica del Ministerio del Ambiente, Energía", Conversión del Ministerio de Industria, Energía y Minas, al Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas; Ley No. 7593 del 09 de agosto de 1996 "Ley de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos"; Ley No. 8839 del 24 de junio del 2010 "Ley para la Gestión Integral de Residuos".

### **CONSIDERANDO:**

1 °- Que es deber del Estado velar por la salud de la población, así como por la utilización racional de los recursos naturales y del medio ambiente, con el fin de proteger y mejorar la calidad de vida de los habitantes del territorio nacional.

2°- Que el Ministerio de Salud es competente para adoptar todos aquellos actos necesarios para la protección de la salud. La Ley General de Salud establece, además, que toda persona, natural

o jurídica, queda sujeta a los mandatos de esa ley, de sus reglamentos y de las órdenes generales y particulares, ordinarias y de emergencia, que las autoridades de salud dicten en el ejercicio de sus competencias orgánicas.

3°- Que el Estado debe definir políticas nacionales de ordenamiento territorial, en materia de desarrollo sostenible.

4 °- Que es función de las Municipalidades elaborar un plan regulador en las áreas geográficas de su jurisdicción, como instrumento de planificación local que define los usos de la tierra, vías de circulación e instalación de servicios públicos.

5°- Que el desarrollo nacional experimentado por el país en las últimas décadas, principalmente en el campo industrial, ha provocado un incremento en la demanda de energía eléctrica, con una clara tendencia al crecimiento.

6°- Que los beneficios de los sistemas de transmisión de energía eléctrica en alta tensión están claramente evidenciados; sin embargo, se han despertado inquietudes en los habitantes de las zonas aledañas a las instalaciones de transmisión, por la incertidumbre generada en relación con los posibles efectos en la salud humana y el ambiente, de los campos eléctricos y magnéticos.

7°- Que los sistemas de transmisión de energía eléctrica en alta tensión constituyen un servicio público.

8°- Que se reconoce la existencia de estándares internacionales que establecen niveles de exposición de las personas a los campos electromagnéticos de radiaciones no ionizantes, propuestos por la Comisión Internacional de

Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) y niveles de emisión de radiaciones no ionizantes provenientes de dispositivos

9°- Que tanto la Organización Mundial de la Salud, como la Asociación Internacional para la Protección Radiológica, la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante, el Proyecto Internacional CEM, la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer, con el fin de proteger la salud de todas las personas, han establecido límites para la protección contra la exposición a campos eléctricos y magnéticos.

10°- Que la Ley General de Salud prevé el ejercicio de la potestad reglamentaria para fijar límites con respecto a la exposición a los campos eléctricos y magnéticos de radiaciones no ionizantes en la población, por parte del Ministerio de Salud.

11°- Que se hace necesario actualizar el Decreto Ejecutivo No.29296-SALUD-MINAE, del 25 de enero del 2001 "Reglamento para Regular Campos Eléctricos y Magnéticos en Obras de Transmisión de Energía Eléctrica" para que sean acorde a la realidad actual.

12°- Que de conformidad con lo establecido en el artículo 12 bis del Decreto Ejecutivo No. 37045 del 22 de febrero de 2012 y su reforma "Reglamento a la Ley de Protección al Ciudadano del Exceso de Requisitos y Trámites Administrativos", esta regulación cumple con los principios de mejora regulatoria, de acuerdo con el informe No. DMR- AR-INF-059-17 emitido por la Dirección de Mejora Regulatoria del Ministerio de Economía, Industria y Comercio.

P  
O  
R  
T  
A  
N  
T  
O  
,  
D  
E  
C  
R  
E  
T  
A  
N  
:

“REGLAMENTO PARA REGULAR LA EXPOSICIÓN A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE RADIACIONES NO IONIZANTES EN LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ALTA TENSIÓN”.

## CAPÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES

**Artículo 1 °- Objetivo.** El presente reglamento tiene como objetivo establecer requisitos y criterios tendientes a proteger la salud del personal técnico y de la población en general, de los potenciales riesgos y efectos nocivos asociados a la exposición de los campos electromagnéticos de radiaciones no ionizantes, que puedan derivarse de la explotación y uso de los sistemas de transmisión de energía eléctrica en alta tensión, como medida preventiva para la salud pública, así como las condiciones ambientales a considerar en las etapas de planificación, diseño, construcción, mantenimiento, operación y desmantelamiento de tales instalaciones.

**Artículo 2°- Ámbito de aplicación.** La aplicación del presente reglamento es obligatoria en el territorio nacional a personas físicas y jurídicas, públicas o privadas que se encuentren habilitados para la explotación y uso de los sistemas de transmisión de energía eléctrica en alta tensión.

## CAPÍTULO II DEFINICIONES Y NOMENCLATURAS

**Artículo 3°-** Para efectos del presente Reglamento se entenderá por:

1. **Alta tensión:** Tensión utilizada para el suministro eléctrico, cuyo valor eficaz (rms) es superior a 100 kV (100 000 voltios).
2. **Campo eléctrico:** Espacio alrededor de un cuerpo eléctricamente cargado, en el cual una carga eléctrica puede experimentar una influencia mecánica.
3. **Campo magnético:** Espacio próximo a una corriente eléctrica, en el que pueden detectarse las fuerzas debidas a dicha corriente.
4. **CEM:** Abreviatura para campos eléctricos y magnéticos o campos electromagnéticos.
5. **Dirección de Área Rectora de Salud:** Constituye el nivel político- operativo del ministerio de Salud, encargado de la ejecución de las funciones rectoras y de provisión de servicios de salud. Participa, juntamente con los niveles central y regional, en la determinación, formulación y ejecución de las políticas, reglamentos, normas, lineamientos, directrices, planes, proyectos, procedimientos y sistemas que aseguren la implementación del marco estratégico institucional.
6. **ECA.** Ente Costarricense de Acreditación.
7. **Exposición:** Término empleado en la protección radiológica que en su sentido general significa la acción de someter, estar sometido o expuesto, tanto personas como material, a las radiaciones; sinónimo de irradiación.
8. **Exposición ocupacional:** Es la exposición que se aplica a situaciones en las que las personas están expuestas como consecuencia de su trabajo.
9. **Exposición al público:** Es aquella a la que está expuesta la población en general.

10. **Gauss (G):** La unidad para determinar la densidad de flujo magnético equivalente a 0001 Tesla.
11. **ICNIRP:** International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection por sus siglas en inglés Comisión Internacional de Protección Radiológica de las Radiaciones no ionizantes.
12. **Infraestructura de transmisión:** Conjunto de elementos (subestaciones y líneas de transmisión) que conforman una red de transmisión.
13. **Instalaciones u Obras de transporte de energía eléctrica:** Las redes y subestaciones que operan a alta tensión, requeridas para el transporte de energía eléctrica. Para los efectos de este reglamento se entenderá que los límites de la densidad del campo eléctrico y magnético se referirán a aquellas obras de transmisión de energía eléctrica con valores de voltaje de alta tensión.
14. **Radiaciones no ionizantes (RNI).** Son todas las radiaciones y campos del espectro electromagnético que no tengan normalmente suficiente energía para producir la ionización de materia; caracterizado por frecuencias menores a 3000 GHz.
15. **Servidumbre de paso para líneas de transmisión:** Franja de terreno que permite colocar las estructuras y conductores de una línea de transmisión en terrenos pertenecientes a terceros, facilita la operación en forma segura, define la zona ocupacional e incluye la zona de rebasamiento (según Anexo IV).
16. **Tensión:** Presión o fuerza que una fuente de suministro de energía eléctrica ejerce sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito eléctrico cerrado, dando origen al flujo de una corriente eléctrica.
17. **Tesla (T):** Unidad de medida de la densidad de flujo magnético establecido por el Sistema Internacional de Unidades, equivale a 10 000 Gauss, las magnitudes habituales son del orden de millonésimas de tesla o micro tesla ( $\mu\text{T}$ ).
18. **Transporte:** Transmisión de energía a través de redes eléctricas de alta tensión.
19. **Valor eficaz (rms):** Raíz cuadrada del valor medio de los cuadrados de los valores instantáneos alcanzados durante un ciclo completo de la onda de voltaje de corrientes.
20. **Voltios por metro (V/m):** Unidad normalizada de la densidad del campo eléctrico.
21. **Zona de conformidad:** Es la zona donde la exposición potencial al campo electromagnético está por debajo de los límites aplicables a la exposición ocupacional/controlada y a la exposición no controlada del público en general. Ver Anexo IV.
22. **Zona ocupacional:** Es la zona donde la exposición potencial al campo electromagnético está por debajo de los límites aplicables a la exposición controlada/ocupacional, pero sobrepasa los límites aplicables

a la exposición nocontrolada del público en general. Ver Anexo IV.

23. **Zona de rebasamiento:** Es la zona donde el campo electromagnético sobrepasa los límites de exposición ocupacional, y por tanto debe restringirse el acceso a los operarios y al público en general. Ver Anexo IV.

### CAPÍTULO III COMPETENCIAS

**Artículo 4°-** Para la aplicación del presente reglamento el Ministerio de Salud tiene las siguientes competencias:

- a) Garantizar el cumplimiento de las disposiciones establecidas en la Ley General de Salud y lo dispuesto en el presente reglamento.
- b) Tramitar y ordenar a los operadores de los sistemas de transmisión de energía eléctrica de alta tensión, ejecutar las mediciones según los anexos III y IV, a través de una empresa acreditada y las correcciones de los incumplimientos al presente reglamento. Notificar al MNAE, ARESEP y Municipalidades para que en materia de sus competencias regulatorias intervengan.
- c) Atender las consultas y denuncias, a través de las Direcciones de Áreas Rectoras de Salud, en lo relacionado con:
  1. Coordinar con un ente acreditado por el ECA. las mediciones de los CEM, a los sistemas de transmisión de energía eléctrica en alta tensión y en caso de incumplimiento debe aplicar las medidas especiales establecidas en la Ley General de Salud.
  2. Realizar un informe final de las mediciones del inciso c. I del presente artículo, que contenga la información contenida en el ANEXO II, del presente reglamento, el cual será entregado al interesado.
- d) Promover la realización de campañas de información con el fin de comunicar a la población sobre los estudios y recomendaciones que emiten los organismos internacionales relacionado con los campos electromagnéticos.

El Ministerio de Ambiente y Energía tiene las siguientes competencias:

Garantizar el cumplimiento de las disposiciones establecidas en la Ley Orgánica del Ambiente y lo dispuesto en el presente reglamento.

Elaborar y actualizar normas y regulaciones para atender las solicitudes de nuevos sistemas de transmisión de energía eléctrica en alta tensión, de forma que pueda evaluar estos proyectos.

## CAPÍTULO IV MEDICIONES

**Artículo 5°- De las mediciones.** Las mediciones se realizarán aplicando lo establecido por la ICNIRP en la "Guía para limitar la exposición a los campos eléctrico y magnéticos variables en el tiempo, 1 Hz-100 kHz" (GUIDE LINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS, 1 HZ - 100 KHZ) y posteriores modificaciones y que se encuentran en la página WEB de los Ministerios de Salud y de Ambiente y Energía.

**Artículo 6°- De los equipos.** La calibración y su respectiva vigencia para los equipos utilizados en las mediciones, debe estar verificada según el procedimiento acreditado por ECA, cada dos años.

**Artículo 7°- responsables de realizar las mediciones.** Cualquier entidad autorizada e inscrita en el Ministerio de Salud para este propósito, acreditada por el ECA y con Permiso Sanitario de Funcionamiento vigente, puede realizar mediciones de los parámetros contenidos en las tablas del ANEXO III del presente reglamento. Dicho permiso sanitario de funcionamiento será verificado a lo interno del Ministerio de Salud, a través de las Áreas Rectoras de Salud.

**Artículo 8°- Del informe.** Le corresponde al Ministerio de Salud recopilar la información de las mediciones y realizar un informe final, que contenga como mínimo la información contenida en el ANEXO II, del presente reglamento, el cual será entregado al interesado. Si las lecturas sobrepasan los límites del ANEXO III del presente reglamento se girará la orden sanitaria correspondiente.

**Artículo 9°- Señalización para la seguridad de las personas.** Para efectos de seguridad de las personas, el prestatario de Sistemas de Transmisión de Energía de Alta de Tensión deberá instalar las señales del ANEXO I, que adviertan la presencia de dichos sistemas.

## CAPÍTULO V MANTENIMIENTO

**Artículo 10°- Actividades de mantenimiento.** Las actividades normales de mantenimiento deben efectuarse de tal manera que se mitiguen los impactos al ambiente y respetar los límites ocupacionales que se encuentran en la Tabla 1 del Anexo III.

## CAPÍTULO VI DE LOS LÍMITES DE EXPOSICIÓN A LOS CAMPOS ELÉCTRICOS, MAGNÉTICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS

**Artículo 11°- Se establecen los límites de referencia,** basados en la Directriz de la ICNIRP "Guía para limitar la exposición a los campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo, 1 Hz- 100 kHz" (Guide lines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields 1Hz- 100KHz) y sus posteriores modificaciones, según las Tablas 1 y 2 que se encuentran en el ANEXO III, del presente reglamento.

**Artículo 12°- Medidas de seguridad laboral.** Los prestatarios del servicio público deben proveer a todo trabajador que labore en operaciones de montaje, mantenimiento de sistemas de Transmisión de Energía de Alta Tensión, o que se encuentre expuesto a una fuente de campos eléctricos y magnéticos, de capacitación y entrenamiento, de modo que se garantice el conocimiento de los valores establecidos en la categoría de exposición ocupacional, según las tablas del ANEXO III del presente reglamento. Así como las medidas de seguridad e higiene en el trabajo aplicables.

**Artículo 13°- Planes y procedimiento de salud ocupacional.** Los prestatarios del servicio público deben asegurar que las medidas de protección de los trabajadores expuestos a campos eléctricos y magnéticos sean tomadas en cuenta desde las etapas de diseño y operación en los lugares de trabajo. Se deben incorporar estas medidas en apartados específicos de los Programas de Salud Ocupacional, que deben cumplir con lo establecido por el Ministerio de

Trabajo y Seguridad Social por intermedio del Consejo de Salud Ocupacional. Estos programas deben actualizarse cada dos años.

**Artículo 14°-** Los prestatarios del semc10 público deben realizar una evaluación para clasificar la exposición potencial al CEM, según las zonas de conformidad, ocupacional o de rebasamiento. La clasificación de las zonas de exposición debe realizarse de conformidad con el Anexo IV.

## **CAPÍTULO VII SERVIDUMBRES**

**Artículo 15°- Ancho de servidumbre de paso para líneas de transmisión:** El ancho de servidumbre de paso para líneas de transmisión se determinará en consideración a la seguridad de las personas y de la infraestructura de transmisión, así como a la distancia requerida para mantener la magnitud de los campos eléctricos y magnéticos para exposiciones permanentes. Ver Anexo IV.

### **Artículo 16°- Limitaciones en la servidumbre de paso para líneas de transmisión.**

Por razones de seguridad de sistemas de transmisión de energía de alta tensión y en razón de las necesarias previsiones para expansión y labores de operación y mantenimiento, en las servidumbres, el propietario afectado no debe:

- a) Construir o tener ningún tipo de estructura o edificación sobre el nivel del suelo.
- b) Sembrar cultivos que periódicamente puedan ser quemados.
- c) Permitir vegetación que alcance más de tres metros de altura.
- d) Efectuar movimientos de tierra que eleven o alteren el perfil del terreno.
- e) Almacenar materiales combustibles, inflamables o explosivos.

## **CAPÍTULO VIII DISPOSICIONES FINALES**

**Artículo 17°- Actualización de los límites permisibles.** El Ministerio de Salud actualizará los límites para campo electromagnético, establecidos en este reglamento, cuando la Organización Mundial de la Salud demuestre que estos límites deben variar, para proteger la salud pública.

**Artículo 18°- Derogatorias.** Deróguese el Decreto Ejecutivo No. 29296-SALUD-MINAE del 25 de enero del 2001 "Reglamento para Regular Campos Eléctricos y Magnéticos en Obras de Transmisión de Energía Eléctrica".

**Artículo 19°- Vigencia.** Rige a partir de su publicación en el Diario Oficial La Gaceta.

Dado en la Presidencia de la República, - San José, a los doce días del mes de febrero del año dos mil dieciocho.

### Anexos 3: Señalización requerida en los sistemas de transmisión de energía de alta de tensión



## EL ASCENSO A PERSONAS NO AUTORIZADAS

Esta señalización debe ser de un material resistente a la intemperie. Sus dimensiones, como mínimo, serán de 30 centímetros de ancho por 40 centímetros de alto. Se colocará a una altura mínima de 1,50 metros medidos desde el suelo hasta el centro de la señalización.

### ANEXO II

#### INFORMACIÓN REQUERIDA EN LOS INFORMES DE LAS MEDICIONES

1. Información del prestatario del servicio público: razón social, cédula física o jurídica.
2. Especificaciones técnicas del equipo utilizado para realizar las mediciones, marca modelo, serie.
3. Certificación de calibración vigente del equipo de medición, por un laboratorio acreditado.
4. Fecha y hora de las mediciones, condiciones climáticas temperatura y humedad.
5. Ubicación geográfica y dirección donde se realizan las mediciones. En coordenadas CRT 105, trazado para líneas de transmisión y polígonos para subestaciones, edificaciones o lotes.

6. Ubicación de los puntos medidos con respecto al sistema de transmisión de energía de alta de tensión, En coordenadas CRTM05.
7. Datos técnicos de operación del sistema de transmisión de energía de alta de tensión, que se midió (voltaje y corriente en los puntos medidos en momento de las mediciones).
8. Análisis de los resultados de las mediciones. Con base en las especificaciones dadas en el presente reglamento.
9. Recomendaciones.
10. Conclusiones.

### ANEXOIII

Tabla 1: Niveles de referencia para la exposición ocupacional de campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo (valores eficaces sin perturbaciones).

Intervalo de Frecuencia s	Intensidad de Campo Eléctrico E (kV m <sup>-1</sup> )	Intensidad de campo magnético H (A m <sup>-1</sup> )	Densidad de flujo magnético B (T)
1Hz-8Hz	20	$1.63 \times 10^5/f^2$	$0.2/f$
8Hz-25 Hz	20	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^{-2}/f$
25 Hz-300 kHz	$5 \times 10^2/f$	$8 \times 10^2$	$1 \times 10^{-3}$
300 Hz-3 kHz	$5 \times 10^2/f$	$2.4 \times 10^5/f$	$0.3/f$
3 kHz - 10 MHz	$1.7 \times 10^4$	80	$1 \times 10^{-4}$

Notas:

1. f: frecuencia en Hz.
2. Ver las secciones más abajo para recomendaciones sobre exposiciones de ondas no senoidales y de múltiples frecuencias.
3. Para prevenir efectos indirectos especialmente en campos eléctricos altos ver capítulo sobre "Medidas protectoras", de la Guía de la ICNIRP
4. En el ámbito de frecuencias sobre los 100 kHz, hay que considerar además los niveles de referencia de radio frecuencia específicos.

Tabla 2: Niveles de máximos para la exposición de campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo para Costa Rica.

Intervalo de frecuencia s	Intensidad de Campo Eléctrico E (kV m <sup>-1</sup> )	Intensidad de campo magnético H (A m <sup>-1</sup> )	Densidad de flujo magnético B (T)
1Hz-8Hz	5	$3.2 \times 10^4/f$	$4 \times 10^{-2}/f^2$
8 Hz-25 Hz	5	$4 \times 10^3/f$	$5 \times 10^{-3}/f$
25 Hz-50 Hz	5	$1.6 \times 10^2$	$2 \times 10^{-4}$
50 Hz-400 Hz	$2.5 \times 10^2/f$	$1.6 \times 10^2$	$2 \times 10^4$
400 Hz-3 kHz	$2.5 \times 10^2/f$	$6.4 \times 10^4/f$	$8 \times 10^{-2}/f$
3 kHz-10 MHz	$8.3 \times 10^{-2}$	21	$2.7 \times 10^{-5}$

Notas:

1. f: frecuencia en Hz.
2. Ver las secciones más abajo para recomendaciones sobre exposiciones de ondas no senoidales y de múltiples frecuencias.
3. En el ámbito de frecuencias sobre los 100 kHz, hay que considerar además los niveles de referencia de radio frecuencia específicos.

**Directriz:** "ICNIRP Guía para limitar la exposición a los campos eléctrico y magnéticos variables en el tiempo, 1 Hz-100 kHz (Guide lines for limiting exposure to time-varying in electric and magnetic fields 1Hz-100K Hz)".

Exposición	Intensidad de Campo Eléctrico E (kV m <sup>-1</sup> )	Densidad de flujo magnético B (mT)	Densidad de flujo magnético B (mG)
Ocupacional	8,33	1	10 000
Público	4,17	0,2	2 000

Notas:

1. Los valores de exposición al público no deben sobrepasar los límites indicados en esta tabla.
2. Deben ser medidos a un metro de altura del suelo y en el borde de la servidumbre de paso o límites perimetrales de las subestaciones.
3. Esta tabla es para Costa Rica que específicamente utiliza 60 Hz

## ANEXO IV

La zona de rebasamiento y la zona ocupacional no son accesibles a las personas, y sólo son accesibles en circunstancias excepcionales, como cuando hay una persona de pie inmediatamente delante de la antena. El procedimiento de evaluación de riesgos presentado en esta Recomendación se ocupa sobre todo de la exposición del público en general, y de los operarios en el ejercicio de sus actividades normales.

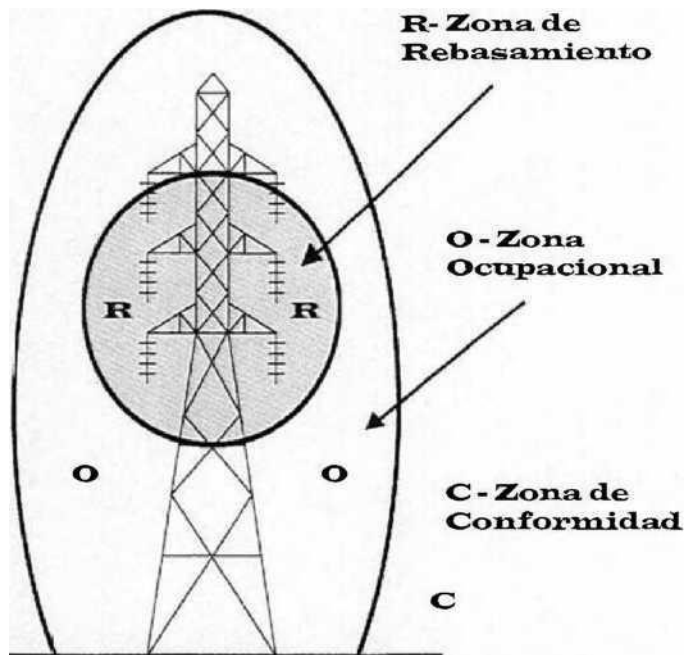


Figura 1 - Ilustración figurada de las zonas de exposición. Notas:

1. La servidumbre de la línea de transmisión debe tener un ancho tal que, en el borde de la misma y a un metro de altura, los valores de campo eléctrico y magnético no serán mayores a los estipulados en la Tabla 3 del Anexo III.
2. Para obras existentes, estos límites serán corroborados mediante la medición de los mismos.