



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE RADIACIONES NO IONIZANTES EN
SISTEMAS DE TRANSFORMACIÓN DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN**

Freddy Danilo Martínez Godoy

Asesorado por el Ing. Francisco Javier González López

Guatemala, abril de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE RADIACIONES NO IONIZANTES EN
SISTEMAS DE TRANSFORMACIÓN DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

FREDDY DANILO MARTÍNEZ GODOY

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ABRIL DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Ing. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Byron Armando Cuyan Culajay
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE RADIACIONES NO IONIZANTES EN SISTEMAS DE TRANSFORMACIÓN DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 21 de octubre de 2011.

Freddy Danilo Martínez Godoy

Guatemala, 18 de febrero de 2015

Ingeniero Guillermo Puente
Director de Escuela Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ing. Puente:

Por este medio me permito informarle que he revisado el trabajo de graduación del estudiante FREDDY DANILO MARTINEZ GODOY, con carné 2005-15970, titulado: **EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE RADIACIONES NO IONIZANTES EN SISTEMAS DE TRANSFORMACIÓN DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN.**

El mencionado trabajo llena los requisitos para dar mi aprobación en mi calidad de Asesor y Coordinador del Área de Potencia. El autor y mi persona somos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Atentamente,



Ing. Francisco Javier González López
Colegiado No. 2364
Coordinador del Área de Potencia
Asesor





Ref. EIME 13. 2015
Guatemala, 24 de febrero 2015.

Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE RADIACIONES NO IONIZANTES EN SISTEMAS DE TRANSFORMACIÓN DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN, del estudiante, Freddy Danilo Martínez Godoy, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Francisco Javier González López
Coordinador Área Potencia



STO



REF. EIME 13. 2015.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; **FREDDY DANILO MARTÍNEZ GODOY** titulado: **EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE RADIACIONES NO IONIZANTES EN SISTEMAS DE TRANSFORMACIÓN DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 9 DE MARZO 2015.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE RADIACIONES NO IONIZANTES EN SISTEMAS DE TRANSFORMACIÓN DE DISTRIBUCIÓN EN MEDIA TENSIÓN**, presentado por el estudiante universitario: **Freddy Danilo Martínez Godoy**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Angel Roberto Sic García
Decano

Guatemala, 14 de abril de 2015



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- | | |
|---------------------|--|
| Dios | Por darme la vida y sabiduría para poder cumplir con una meta más en mi vida. |
| Mis padres | Por todo el apoyo, la confianza y por creer en mi para cumplir con este sueño. |
| Mis abuelos | Por todos sus consejos y sabiduría, especialmente a mi abuela Marta Rodríguez. |
| Mis hermanos | Por ser un ejemplo y compartir este éxito en mi vida. |
| Mis amigos | Por apoyarme en la culminación de mi carrera. |

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por haberme brindado todos los conocimientos necesarios para mi vida, y haberme albergado todos estos años.
Facultad de Ingeniería	Por toda mi formación académica.
Mis amigos de la Facultad	Por haberme apoyado en mis estudios.
Transportista Eléctrica Centroamericana (TRELEC)	Por haberme dado todas las herramientas para la realización de mi trabajo de graduación.
Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA)	Por el apoyo con la realización de mis mediciones en campo. En especial agradecimiento a Rodolfo Sopino y a Julio Pascual.
Mi asesor	Ing. Francisco González por todo su apoyo incondicional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.....	1
1.1. Características físicas de los campos electromagnéticos.....	1
1.1.1. Campo eléctrico.....	2
1.1.2. Campo magnético.....	4
1.2. Onda.....	4
1.2.1. Campo cercano	7
1.2.2. Campo cercano reactivo	8
1.2.2.1. Campo cercano reactivo radiante	8
1.2.2.2. Campo cercano radiante	8
1.2.3. Campos lejanos.....	9
2. RADIACIONES.....	11
2.1. Clasificación de las radiaciones electromagnéticas.....	11
2.1.1. Radiación ionizante	11
2.1.2. Radiación no ionizante	12
2.2. Fuentes productoras de radiaciones no ionizantes	13
2.2.1. Fuentes naturales de campos electromagnéticos...	13

2.2.2.	Fuentes de campos electromagnéticos generados por el hombre	13
2.2.3.	Fuentes de campos electromagnéticos de baja frecuencia.....	14
3.	MARCO REGULATORIO.....	21
3.1.	Código de salud en RNI	21
3.2.	Límites de exposición Acuerdo Gubernativo No. 8-2011 Guatemala.....	21
3.3.	IEEE Standard 644-1994	24
3.4.	Agentes reguladores	25
3.5.	Comisión internacional para la protección contra la radiación no ionizante (ICNIRP).....	25
3.6.	Normativa de exposición de campos electromagnéticos.....	26
3.6.1.	Recomendaciones para limitar la exposición a los campos electromagnéticos (IRCNIIRP)	27
3.6.1.1.	Restricciones básicas.....	27
3.6.1.2.	Niveles de referencia.....	29
3.6.1.3.	Posibles efectos en la salud debido a la exposición de campos electromagnéticos	32
3.6.2.	Posibles efectos de los campos eléctricos	33
3.6.3.	Posibles efectos de los campos magnéticos	33
3.6.4.	Estudios epidemiológicos y biofísicos	34
4.	NORMATIVAS PARA LA MEDICIÓN DE CAMPO ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO	39
4.1.	Procedimientos para la medición de intensidad de campo eléctrico y magnético.....	40

4.2.	Procedimientos para la medición de campo eléctrico.....	40
4.2.1.	Procedimiento para medición de intensidad de campo eléctrico en las cercanías de una línea de transmisión	41
4.2.2.	Perfil lateral.....	42
4.2.3.	Perfil longitudinal	44
4.3.	Procedimientos para mediciones de campo magnético	45
4.4.	Medición en subestaciones	46
4.5.	Instrumentos de medición de RNI	47
4.5.1.	Procedimiento para la medición de campo eléctrico y magnético con el equipo HI-3604	49
4.5.2.	La orientación de HI-3604 para la medición de la fuerza vertical de campo eléctrico	50
5.	EVALUACIONES EN CAMPO	53
5.1.	Medición en subestación El Milagro	53
5.1.1.	Consideraciones antes de las mediciones.....	54
5.1.2.	Diagrama unifilar.....	55
5.1.3.	Mediciones en subestación El Milagro.....	56
5.2.	Medición en subestación Santa María Cauqué	67
5.2.1.	Consideraciones antes de las mediciones.....	68
5.2.2.	Diagrama unifilar.....	69
5.2.3.	Mediciones en subestación Santa María Cauque...	70
6.	RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS EVALUACIONES.....	81
	CONCLUSIONES	85
	RECOMENDACIONES	87
	BIBLIOGRAFÍA	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Onda electromagnética	5
2.	Camino que lleva de la exposición a la enfermedad	35
3.	Medición perfil lateral	43
4.	Medición de perfil lateral componente vertical de intensidad de campo eléctrico	43
5.	Forma para medir el campo eléctrico	50
6.	Diagrama unifilar subestación El Milagro	55
7.	Puntos de medición subestación El Milagro	57
8.	Gráfica de resultados campo magnético	61
9.	Gráfica de resultados campo eléctrico	62
10.	Medición campo eléctrico entrada línea 69 kV	64
11.	Medición campo eléctrico barra 13,8 kV	65
12.	Medición campo magnético salida circuitos 13,8 kV	65
13.	Medición campo magnético colindancia 1 subestación El Milagro	66
14.	Medición campo magnético colindancia 2 subestación El Milagro	66
15.	Medición campo eléctrico colindancia 3 subestación El Milagro	67
16.	Diagrama unifilar subestación Santa María Cauqué	69
17.	Puntos de medición subestación Santa María Cauqué	70
18.	Gráfica de resultados de campo magnético	74
19.	Gráfica de resultados campo eléctrico	74
20.	Medición campo eléctrico entrada de línea 69 kV	76
21.	Medición campo magnético pórtico de entrada 69 kV	77
22.	Medición campo eléctrico barra de 13,8 kV	78

23.	Medición campo magnético barra 13,8 kV	79
24.	Medición campo eléctrico salida circuitos 13,8 kV	80

TABLAS

I.	Distancia de inicio del campo	10
II.	Intensidades de campo eléctrico a aparatos eléctricos.....	17
III.	Valores de campos magnéticos a aparatos eléctricos	18
IV.	Límites de exposición	22
V.	Límites en función de corriente de contacto	24
VI.	Restricciones básicas para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos para frecuencias de hasta 10 GHz	29
VII.	Niveles de referencia para exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos.....	31
VIII.	Niveles de referencia para exposición poblacional a campos eléctricos y magnéticos.....	31
IX.	Datos de subestación El Milagro	53
X.	Datos de calibración del equipo	58
XI.	Tabla de datos subestación El Milagro	58
XII.	Tabla de resultados subestación El Milagro	59
XIII.	Análisis estadístico de resultados obtenidos del campo magnético	63
XIV.	Análisis estadístico de resultados obtenidos del campo eléctrico.....	63
XV.	Datos de subestación Santa María Cauqué	68
XVI.	Datos de calibración del equipo	71
XVII.	Tabla de datos subestación Santa María Cauqué	71
XVIII.	Tabla de resultados subestación Santa María Cauqué	72
XIX.	Análisis estadístico de resultados obtenidos del campo magnético	75
XX.	Análisis estadístico de resultados obtenidos del campo eléctrico.....	75

XXI. Comparación de valores obtenidos para campo eléctrico en subestación El Milagro	81
XXII. Comparación de valores obtenidos para campo magnético en subestación El Milagro	81
XXIII. Comparación de valores obtenidos para campo eléctrico en subestación Santa María Cauqué	82
XXIV. Comparación de valores obtenidos para campo magnético en subestación Santa María Cauqué	82

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ADN	Acido desoxi-ribonucleico
SAR	Absorción Específica de Energía
A	Amperios
A/m	Amperios por metro
a.m.	Antes del medio día
E	Campo eléctrico
B	Campo magnético
q	Carga
cm	Centímetros
σ	Conductividad eléctrica
IC	Corriente de Contacto
IL	Corriente en extremidades
J	Densidad de corriente
S	Densidad de potencia
L	Dimensión más larga de la antena fuente
d	Distancia
Rff	Distancia al inicio de la región de campo lejano
r	Distancia de la fuente
eV	Electrón-Volt
f	Frecuencia
IF	Frecuencia Intermedia
F	Fuerza eléctrica
GHz	Giga Hertz

°C	Grados centígrados
Hz	Hertz
kHz	Kilo Hertz
kV/m	Kilo Volt por metro
Rnf	Límite de la región de campo cercano
Λ	Longitud de onda
MHz	Mega Hertz
m	Metro
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
μT	Micro Tesla
mA	Mili amperio
mG	Mili gauss
mT	Mili tesla
p.m.	Pasado medio día
V	Potencial eléctrico
T	Tesla
v	Velocidad de propagación

GLOSARIO

AMM	Administrador del Mercado Mayorista.
ANSI	American National Standards Institute.
CEM	Campos electromagnéticos.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala S. A.
ELF	Frecuencia Extremadamente Baja.
ICNIRP	Comisión Internacional para la Protección contra Radiaciones No Ionizantes.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
RNI	Radiaciones No Ionizantes.
GPS	Sistema de Posicionamiento Global.
TRELEC	Transportista Eléctrica Centroamericana.

rms

Valor cuadrático medio.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se realizó un estudio sobre los niveles de las radiaciones no ionizantes en sistemas de transformación de media tensión. Se realizaron mediciones en los departamentos de Escuintla y Sacatepéquez dentro de las subestaciones, El Milagro y Santa María Cauqué así como en la periferia de la misma para evaluar si los niveles que se presentaban eran mayores a los que se recomiendan en el Acuerdo Gubernativo 8-2011 Guatemala y las Normas ICNIRP.

En el capítulo 1 se dan a conocer los tipos de campos electromagnéticos que existen, los cuales son los que generan las radiaciones no ionizantes en líneas de transmisión así como en las subestaciones eléctricas.

En el capítulo 2 se presenta la clasificación de las radiaciones electromagnéticas según a la frecuencia en la que se encuentren, así como las fuentes naturales que las generan.

En el capítulo 3 y 4 se dan a conocer los efectos provocados en la salud al estar expuestos a niveles de radiaciones no ionizantes superiores a los recomendados; así como las normativas internacionales y el acuerdo gubernativo nacional que indican los niveles máximos permitidos para dicha exposición.

En el capítulo 5 se presentan las evaluaciones de radiaciones no ionizantes que se realizaron en campo y el análisis para verificar si los niveles evaluados están dentro de los valores permitidos.

OBJETIVOS

General

Realizar una evaluación y medición de las radiaciones no ionizantes en sistemas de transformación de distribución en media tensión.

Específicos

1. Mostrar los fundamentos de los campos electromagnéticos.
2. Presentar los fundamentos de las radiaciones.
3. Presentar el marco regulatorio de las radiaciones no ionizantes vigente en Guatemala.
4. Explicar las normativas para la medición de campo eléctrico y magnético.
5. Realizar las evaluaciones en campo.
6. Exponer los resultados obtenidos en las evaluaciones en campo.

INTRODUCCIÓN

Las radiaciones no ionizantes en la actualidad tienen un papel muy importante dentro de la sociedad guatemalteca debido a que la población se ha opuesto, a la construcción de líneas de transmisión o subestaciones eléctricas en las cercanías de comunidades, por falta de información.

Actualmente existe el marco nacional el Acuerdo Gubernativo 8-2011, que indica los niveles máximos permitidos para el personal que se ve expuesto a la radiación y los niveles para las personas que viven en las cercanías de una fuente productora de este tipo de radiaciones. Con base en esta problemática social se procedió a realizar en el presente trabajo mediciones en sistemas de transformación de media tensión, para evaluar si los niveles de radiaciones que se emiten en estas fuentes productoras afectan la salud de quienes se ven expuestos.

Para realizar estas mediciones de radiaciones no ionizantes se tomó como base la Norma IEEE-644-1994, la cual indica el protocolo que se debe realizar para poder evaluar estos niveles y todas las consideraciones que se deben tomar para que las lecturas que se midan no sean alteradas por ningún ente externo.

Se realizaron mediciones en dos subestaciones ubicadas en los departamentos de Escuintla y Sacatepéquez, con características distintas en cuanto a la dimensión del terreno, las entradas de las líneas de 69 kV y la salida de los circuitos de distribución.

1. CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Un campo electromagnético es un campo físico de tipo tensorial, producido por aquellos elementos cargados eléctricamente, que afecta a partículas con carga eléctrica.

Para un sistema de referencia, el campo electromagnético se divide en 2 tipos de campos, en una parte eléctrica y en una magnética. Esta clasificación depende del observador, así un observador en movimiento relativo respecto al sistema de referencia medirá efectos eléctricos y magnéticos diferentes a un observador en reposo respecto a dicho sistema. Esto ilustra la relatividad de lo que se denomina parte eléctrica y parte magnética del campo electromagnético. Como consecuencia de lo anterior se tiene que ni el vector campo eléctrico ni el vector de inducción magnética se comportan como magnitudes físicas de tipo vectorial, sino que juntos constituyen un tensor para el cual si existen leyes de transformación físicamente esperables.

1.1. Características físicas de los campos electromagnéticos

Las características físicas de los campos electromagnéticos (campos eléctricos y magnéticos) de las ondas de las redes de energía eléctrica se ubican entre las ondas de frecuencias extremadamente bajas (ELF) que están en la banda de 0,03 – 0,3 kHz.

1.1.1. Campo eléctrico

El campo eléctrico es un campo físico que es representado mediante un modelo que describe la interacción entre cuerpos y sistemas con propiedades de naturaleza eléctrica. Se describe como un campo vectorial en el cual una carga eléctrica puntual de valor q sufre los efectos de una fuerza eléctrica dada por la siguiente ecuación:

$$F = q E$$

En los modelos actuales, el campo eléctrico se incorpora, junto con el campo magnético, en campo tensorial cuatridimensional denominado campo electromagnético.

Los campos eléctricos pueden tener su origen tanto en cargas eléctricas como en campos magnéticos variables. Las primeras descripciones de los fenómenos eléctricos, como la ley de Coulomb, solo tenían en cuenta las cargas eléctricas, pero las investigaciones de Michael Faraday y los estudios posteriores de James Clerk Maxwell permitieron establecer las leyes completas, en las que también se tiene en cuenta la variación del campo magnético.

Esta definición general indica que el campo no es directamente medible, sino que lo que es observable es su efecto sobre alguna carga colocada en su seno.

La intensidad de campo eléctrico puede expresarse también en términos del potencial eléctrico V , que con frecuencia es más fácil y más útil medir, debido a que es mucho menos dependiente de la geometría física de un sistema dado (ej. la ubicación y los tamaños de los conductores).

La diferencia de potencial V entre dos puntos en un campo eléctrico E está definido por $V = W/q$, donde W es el trabajo realizado por el campo para causar el movimiento de una carga q entre dos puntos. El trabajo realizado es:

$$W = Fd,$$

donde d es la separación entre los dos puntos, lo que se deduce que:

$$E = V/d$$

En la práctica, la unidad utilizada para la intensidad de campo eléctrico es el voltio por metro (Vm^{-1}).

Los campos eléctricos ejercen fuerzas sobre partículas cargadas. En un material eléctricamente conductor, tal como el tejido vivo, estas fuerzas originarán cargas en movimiento que provocarán que fluya una corriente eléctrica.

La corriente eléctrica puede ser expresada en términos de la intensidad de corriente I que es el flujo de cargas por unidad de tiempo pero frecuentemente es especificada por la densidad de corriente J , que es un parámetro más informativo y expresa la magnitud de la corriente que fluye a través de una unidad de superficie perpendicular a su dirección y es directamente proporcional a E en una amplia variedad de materiales. Por lo tanto:

$$J = \sigma E$$

La unidad SI de la densidad de corriente es el amperio por metro cuadrado (Am^{-2}) y σ es la conductividad eléctrica del medio cuya unidad es el siemens por metro (Sm^{-1})¹.

¹ Curso Gestión ambiental de las Radiaciones No Ionizantes. p. 149.

1.1.2. Campo magnético

Estos campos son producidos por cargas eléctricas, pero únicamente cuando están en movimiento. Los campos magnéticos ejercen fuerzas sobre otras cargas, solo cuando están en movimiento. Las cantidades vectoriales fundamentales que describen un campo magnético son la intensidad de campo magnético H y la densidad de flujo magnético B , que también suele ser llamada inducción magnética.

“La magnitud de la fuerza F que actúa sobre una carga eléctrica q en movimiento con una velocidad v en dirección perpendicular a un campo magnético de densidad de flujo B está dado por la siguiente ecuación:

$$F=qvB$$

Donde, la dirección de F , v y B son mutuamente perpendiculares. En el caso de que la dirección de v fuera paralela a B , F sería cero, lo que significa que un campo magnético no realiza un trabajo físico, porque la fuerza de Lorentz, generada por su interacción con una carga en movimiento es siempre perpendicular a la dirección del movimiento”².

1.2. Onda

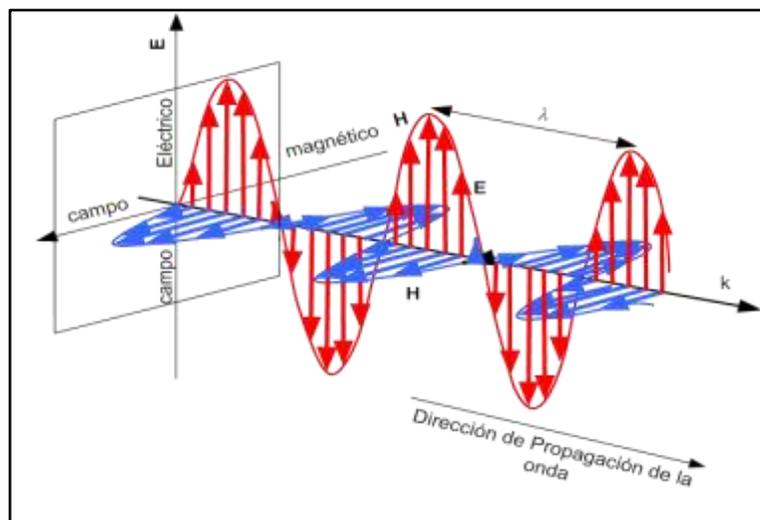
Las ecuaciones de Maxwell son el fundamento de la teoría clásica de los campos electromagnéticos. Estas ecuaciones son el fundamento de la teoría de la propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio libre, en el aire, en el agua y en la tierra, en líneas de transmisión, en guías de ondas, y explican el funcionamiento de las antenas; pero para la propagación en sistemas

² Curso Gestión ambiental de las radiaciones No Ionizantes. p. 149.

complejos, tales como los cuerpos de seres humanos y de animales, son difíciles de resolver.

Las ideas básicas de la propagación de onda están ilustradas en la siguiente figura. La distancia entre las crestas o entre los valles de una onda sinusoidal es definida como la longitud de onda y usualmente es denotada por λ .

Figura 1. **Onda electromagnética**



Fuente: Curso Gestion ambiental de las Radiaciones No Ionizantes. p. 149.

“La longitud de onda y frecuencia (el número de ondas que pasan a través de un punto dado en una unidad de tiempo) denotado por f , están relacionadas y determinan las características de la radiación electromagnética. La frecuencia, la longitud de onda y la velocidad de propagación están relacionadas y a

excepción de la frecuencia, que dependen de las características eléctricas del medio en que la onda se propaga³.

$$\lambda = v/f$$

Donde:

λ : es la longitud de onda

v : es la velocidad de propagación, que es igual a la velocidad de la luz y c es la velocidad de la luz en el vacío o en el aire ($c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ en el aire)

f : es la frecuencia

Comúnmente se utilizan dos modelos aproximados de la propagación de las ondas: el modelo de onda esférica y el modelo de onda plana.

La onda esférica es una buena aproximación para algunas ondas electromagnéticas que ocurren. Sus frentes de onda tienen superficies esféricas en donde cada cresta y depresión tiene una superficie esférica. En cada superficie esférica, los campos E y H son constantes. Los frentes de ondas se propagan radialmente hacia afuera de la fuente, E y H son ambos tangenciales a las superficies esféricas. Este modelo de propagación es utilizado básicamente para distancias medias con respecto a la longitud de onda de la fuente.

Tanto E y H se atenúan en forma proporcional a $1/r$, donde r es la distancia de la fuente.

³ Gestión ambiental de las Radiaciones No Ionizantes. p. 149.

1.2.1. Campo cercano

En regiones que se encuentran muy cercanas a las fuentes, los campos E y H son llamados campos cercanos. En los campos cercanos los campos E y H no son necesariamente perpendiculares y están desacoplados, de hecho, no siempre son caracterizados convenientemente por las ondas. Con frecuencia son de naturaleza menos propagante y por consiguiente son llamados campos de borde (periféricos), campos de inducción, campos cercanos reactivos, o modos evanescentes. Los campos cercanos con frecuencia varían rápidamente en el espacio y la evaluación de su propagación es complicada, ya que los máximos y mínimos de los campos E y H no ocurren en los mismos puntos a lo largo de la dirección de propagación.

En la región de campo cercano del haz principal, la densidad de potencia puede alcanzar un máximo antes de que comience a decrecer con la distancia y la estructura del campo electromagnético puede ser altamente no homogénea y habrá variaciones substanciales de la impedancia de onda plana de 377 ohmios y podría haber campos eléctricos puros en algunas regiones y campos magnéticos puros en otras.

“Las exposiciones en el campo cercano son más difíciles de especificar porque se deben medir separadamente el campo eléctrico y el campo magnético y porque los patrones de los campos son mucho más complicados; en esta situación la densidad de potencia ya no es una cantidad apropiada para expresar las restricciones a la exposición”⁴.

Las expresiones matemáticas para campos cercanos generalmente contienen términos en $1/r$, $1/r^2$, $1/r^3$ y otros de orden superior, donde r es la

⁴ Gestión ambiental de las Radiaciones No Ionizantes. p. 149.

distancia de la fuente al punto en el cual el campo es determinado. Los objetos localizados cerca de las fuentes podrían afectar fuertemente la naturaleza de los campos cercanos.

1.2.2. Campo cercano reactivo

Es el espacio que rodea a la antena emisora y donde predomina el campo reactivo. Esta región normalmente se extiende hasta una longitud de onda de la fuente.

1.2.2.1. Campo cercano reactivo radiante

Es una región de tránsito en la cual el campo radiante toma valores importantes respecto del campo reactivo, se extiende hasta algunas longitudes de la fuente.

1.2.2.2. Campo cercano radiante

Es la región que se encuentra situada entre el campo cercano reactivo y la región de campo lejano donde predomina el campo de radiación (región intermedia). Aunque la radiación no se propaga como una onda plana, los componentes eléctrico y magnético pueden considerarse normales. En esta región existe únicamente si L es grande en comparación con λ . A nivel local tiene las mismas características que los campos lejanos (región de Fraunhofer).

1.2.3. Campos lejanos

Cuando existen grandes distancias entre el receptor y la fuente que lo emite, la contribución de los términos $1/r^2$, $1/r^3$ y de orden mayor son muy pequeñas comparados con la correspondiente al término $1/r$ en relación a la magnitud del campo, lo que implica una diferencia importante respecto de los campos cercanos, por lo que los campos son llamados campos lejanos. Estos campos son aproximadamente ondas esféricas que pueden a su vez ser aproximados en una región limitada de espacio por ondas planas. Usualmente es más fácil realizar mediciones en campos lejanos que en campos cercanos y los cálculos para la absorción son mucho más fáciles en el campo lejano que en el de campo cercano.

En la región de campo lejano:

Los vectores E y H y la dirección de propagación son mutuamente perpendiculares.

La fase de los campos E y H son las mismas, y el cociente de las amplitudes E/H es constante a través del espacio. En espacio libre, la relación $Z_0 = E/H = 377$ ohmios es conocida como impedancia característica del espacio libre.

La densidad de potencia de la onda en el eje de propagación, es decir la potencia por unidad de área normal a la dirección de propagación, está relacionada a los campos eléctricos y magnéticos por la expresión:

$$S = EH = E^2/377 = H^2 \cdot 377$$

El límite entre las regiones de campo cercano y campo lejano con frecuencia se toma como:

$$R_{ff} = 2L^2 / \lambda$$

donde:

R_{nf} : límite de la región de campo cercano

R_{ff} : distancia al inicio de la región de campo lejano

r es la distancia de la fuente

L es la dimensión más larga de la antena fuente

λ es la longitud de onda de los campos

El límite entre el campo cercano y las regiones de campo lejano no está muy definido porque la atenuación de los términos de órdenes mayores a $1/r$ es gradual conforme la distancia a la fuente aumenta.

En las frecuencias atribuidas a las redes de energía eléctrica, las distancias límites entre el campo cercano y el campo lejano se muestran a continuación.

Tabla I. **Distancia de inicio del campo**

Frecuencia	Longitud de onda (λ) (m)
50 Hz	6×10^6
60 Hz	5×10^6

Fuente: elaboración propia.

2. RADIACIONES

La radiación es una forma de energía en movimiento que está presente en todo alrededor ya sea de forma natural o artificial. En cada momento de la vida se está expuesto a diversas formas de radiación de las cuales la principal es la energía solar electromagnética, que incluye las ondas infrarrojas, la luz visible y las ondas ultravioletas. Aplicaciones tan comunes como la electricidad, la radio y la televisión son fuentes de radiaciones que afectan en el día a día.

2.1. Clasificación de las radiaciones electromagnéticas

Los cuantos de luz de ondas con frecuencias más altas (longitudes de onda más cortas) transportan más energía que los de las ondas de menor frecuencia (longitudes de onda más largas). De acuerdo a esto, los campos electromagnéticos pueden estar en el grupo de las radiaciones ionizantes o no ionizantes dependiendo de la frecuencia en la que se encuentren.

2.1.1. Radiación ionizante

Este tipo de radiación contiene suficiente energía para causar ionización, separando electrones de los átomos o moléculas. Su interacción con la materia puede cambiar las reacciones químicas del cuerpo, lo que puede dañar los tejidos biológicos incluyendo efectos sobre el ADN (ácido desoxi-ribonucleico) y el material genético del cuerpo humano. Los rayos gamma y los rayos X son formas de radiación ionizante. Este tipo de radiación son los que al estar expuesto el ser humano le pueden causar graves daños a la piel y a los órganos internos. Por lo que se debe evitar cualquier contacto con los mismos.

2.1.2. Radiación no ionizante

Este tipo de radiaciones son todas aquellas ondas electromagnéticas cuyas frecuencias se extienden desde 0 Hz hasta aproximadamente 3×10^{15} Hz, frecuencia en la cual la energía del fotón iguala a 2×10^{-18} J o 12,4 eV y se hace comparable a la energía de enlace de los electrones con los átomos, por lo que antes de esa frecuencia, las ondas electromagnéticas no tienen la suficiente energía como para romper los enlaces atómicos.

Entre las RNI de las ondas electromagnéticas se incluyen los campos estáticos (resonancia nuclear magnética) de los campos de baja frecuencia (redes de energía eléctrica, trenes, entre otros), la radiofrecuencia (telecomunicaciones, diatermia quirúrgica, entre otros), los campos de microondas (telecomunicaciones, radar, hornos microondas), la radiación infrarroja, la luz visible, la radiación ultravioleta, entre otros.

Los efectos que tienen las RNI sobre el cuerpo humano dependen de la frecuencia para inducir corrientes o causar un efecto de calentamiento, pero los niveles a los que están expuestos los trabajadores y la población, usualmente no son suficientes para causar algún daño en los tejidos. Los efectos de las radiaciones no ionizantes son muy diferentes a los de las radiaciones ionizantes que si pueden causar graves daños a la salud.

Según datos de la Organización Mundial de la Salud, los campos electromagnéticos no ionizantes (radiaciones no ionizantes) pueden clasificarse en grupos de acuerdo a la frecuencia en la que se encuentren: campos eléctricos y magnéticos estáticos, campos de frecuencia extremadamente Baja (ELF), campos de frecuencia intermedia (IF) y campos de frecuencias altas (radiofrecuencia).

2.2. Fuentes productoras de radiaciones no ionizantes

Se puede decir que todas las radiaciones electromagnéticas pueden ser generadas por fuentes naturales o por fuentes artificiales (generadas por el hombre).

2.2.1. Fuentes naturales de campos electromagnéticos

Se producen campos eléctricos por la acumulación de cargas eléctricas en determinadas zonas de la atmósfera por efecto de las tormentas. El campo magnético terrestre provoca la orientación de las agujas de los compases en dirección norte-sur, los pájaros y los peces lo utilizan para orientarse.

2.2.2. Fuentes de campos electromagnéticos generados por el hombre

Además de las fuentes que se generan de manera natural, en el espectro electromagnético hay también fuentes generadas por el hombre (fuentes artificiales) y que surgen como respuesta a las necesidades de los seres humanos para realizar análisis médicos, la energía eléctrica que se genera y se consume para usos domésticos, estos van asociados a campos electromagnéticos de frecuencia baja. Además, diversos tipos de ondas de radio de frecuencia más alta se utilizan para transmitir información, ya sea por medio de antenas de televisión, estaciones de radio o estaciones base de telefonía móvil.

2.2.3. Fuentes de campos electromagnéticos de baja frecuencia

La transmisión de electricidad a larga distancia se realiza mediante líneas eléctricas de alta tensión. Estas tensiones altas se reducen mediante transformadores para la distribución local a hogares y empresas.

Las instalaciones de transmisión y distribución de electricidad, el cableado y los aparatos eléctricos domésticos, generan un nivel de fondo de campos eléctricos y magnéticos de frecuencia de red (60Hz) en el hogar. En los hogares que no están situados cerca de líneas de conducción eléctrica la inducción magnética puede estar alrededor de 0,2 μ T.

Los campos magnéticos de los lugares situados directamente bajo las líneas de conducción eléctrica son mucho más intensos. Las densidades de flujo magnético a nivel del suelo pueden ser del orden de hasta varios μ T. La intensidad del campo eléctrico bajo las líneas de conducción eléctrica puede ser de hasta 10 kV/m.

“La intensidad de los campos (eléctricos y magnéticos) se reduce al aumentar la distancia a las líneas eléctricas o a los equipos que emitan radiación. 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.

Las paredes de las casas reducen sustancialmente la intensidad de campo eléctrico con respecto a la existente en el exterior de ellas, pero no ocurre lo mismo con el campo magnético”⁵.

⁵ Gestión ambiental de las Radiaciones No Ionizantes. p. 149.

A las frecuencias de 50/60 Hz, los campos eléctricos y magnéticos de origen natural tienen intensidades muy bajas del orden de 0,0001 V/m y 0,01 μ T, respectivamente.

La exposición de las personas a los campos ELF proviene en su mayor parte, de la generación, transmisión y utilización de la energía eléctrica. Se indican a continuación las procedencias de los campos ELF y los valores máximos que pueden llegar a alcanzar en los núcleos de población, en el hogar y en el lugar de trabajo.

En los núcleos de población la energía eléctrica se distribuye desde las estaciones generadoras hasta los núcleos urbanos, mediante líneas de transmisión de alto voltaje. Para dar conexión a las líneas de distribución de las viviendas el voltaje se reduce mediante transformadores.

Bajo las líneas de transmisión del tendido aéreo, los campos eléctricos y magnéticos pueden llegar a alcanzar el orden de los 10 kV/m y los 30 μ T respectivamente. En las inmediaciones de las estaciones y subestaciones estos valores pueden llegar a ser mucho más elevados.

En el hogar la intensidad de los campos eléctricos y magnéticos dependerá de diversos factores, como la distancia a que se encuentren las líneas o subestaciones de suministro de la zona, el número y tipo de aparatos eléctricos que se utilicen, o la configuración y situación de los cables eléctricos en la vivienda.

En la mayoría de los electrodomésticos utilizados, los campos eléctricos no suelen ser mayores de 500 V/m, en tanto que los campos magnéticos no sobrepasan, por lo general, los 150 μ T. En ambos casos, estos niveles pueden

ser bastante mayores a muy corta distancia, pero disminuyen rápidamente al alejarse.

En el lugar de trabajo todos los equipos y cables eléctricos utilizados en las instalaciones industriales generan campos eléctricos y magnéticos. Los técnicos que mantienen las líneas de transmisión y de distribución pueden estar expuestos a campos eléctricos y magnéticos muy intensos.

En las estaciones y subestaciones generadoras pueden existir campos eléctricos superiores a 25 kV/m y campos magnéticos superiores a 2 mT. Los soldadores pueden estar expuestos a campos magnéticos de hasta 130 mT. Cerca de los hornos por inducción y de las baterías electrolíticas de uso industrial, los campos magnéticos pueden superar los 50 mT.

En las oficinas, los trabajadores están expuestos a campos mucho menores cuando utilizan aparatos del tipo de las fotocopiadoras o los monitores de vídeo.

“Los campos electromagnéticos variables en el tiempo que producen los aparatos eléctricos son un ejemplo de campos de frecuencia extremadamente baja (FEB, o ELF, en inglés), con frecuencias generalmente de hasta 300 Hz. Otras tecnologías producen campos de frecuencia intermedia (FI), con frecuencias de 300 Hz a 10 MHz, y campos de radiofrecuencia (RF), con frecuencias de 10 MHz a 300 GHz. Los efectos de los campos electromagnéticos sobre el organismo no solo dependen de su intensidad sino también de su frecuencia y energía. Las principales fuentes de campos de ELF son la red de suministro eléctrico y todos los aparatos eléctricos”⁶.

⁶ Gestión ambiental de las Radiaciones No Ionizantes. p. 149.

A continuación se listan intensidades de campo eléctrico típicas medidas cerca de electrodomésticos (a una distancia de 30 cm).

Tabla II. **Intensidades de campo eléctrico a aparatos eléctricos**

Electrodoméstico	Intensidad del campo eléctrico (V/m)
Receptor estereofónico	180
Hierro	120
Frigorífico	120
Batidora	100
Tostadora	80
Secador de pelo	80
Televisor de color	60
Cafetera eléctrica	60
Aspiradora	50
Horno eléctrico	8
Bombilla	5
Valor límite recomendado	5000

Fuente: Oficina federal alemana de seguridad radiológica (Bundesamt für Strahlenschutz, BfS), 1999.

La intensidad del campo no depende del tamaño, complejidad, potencia o ruido que hace el electrodoméstico. Las intensidades de los campos magnéticos pueden ser muy diversas, incluso entre aparatos aparentemente similares. Por ejemplo en las casas se utilizan equipos que generan campos magnéticos, como las secadoras de pelo que generan campos magnéticos muy intensos mientras que otros aparatos apenas lo producen. Estas diferencias de intensidad del campo magnético están relacionadas con el diseño del producto.

En el cuadro siguiente se muestra valores típicos de campos magnéticos correspondientes a diversos aparatos eléctricos comunes en los hogares y

lugares o centros de trabajo. Las mediciones se tomaron en Alemania y todos los aparatos funcionan con electricidad a 50 Hz de frecuencia. Cabe mencionar que los niveles de exposición efectivos varían considerablemente dependiendo del modelo del electrodoméstico y de la distancia al mismo.

Tabla III. **Valores de campos magnéticos a aparatos eléctricos**

Aparato eléctrico	A una distancia de 3 cm (μT)	A una distancia de 30 cm (μT)	A una distancia de 1 m (μT)
Secador de pelo	6 – 2000	0,01 – 7	0,01 – 0,03
Máquina de afeitar eléctrica	15 – 1500	0,08 – 9	0,01 – 0,03
Aspiradora	200 – 800	2 – 20	0,13 – 2
Luz fluorescente	40 – 400	0,5 – 2	0,02 – 0,25
Horno de microondas	73 – 200	4 – 8	0,25 – 0,6
Radio portátil	16 – 56	1	< 0,01
Horno eléctrico	1 – 50	0,15 – 0,5	0,01 – 0,04
Lavadora	0,8 – 50	0,15 – 3	0,01 – 0,15
Hierro	8 – 30	0,12 – 0,3	0,01 – 0,03
Lavavajillas	3,5 – 20	0,6 – 3	0,07 – 0,3
Computadora	0,5 – 30	< 0,01	
Frigorífico	0,5 – 1,7	0,01 – 0,25	<0,01
Televisor de color	2,5 - 50	0,04 – 2	0,01 – 0,15

Fuente: Oficina federal alemana de seguridad radiológica (Bundesamt für Strahlenschutz, BfS), p. 251.

El cuadro ilustra dos puntos importantes, en primer lugar, la intensidad del campo magnético que rodea a todos los aparatos disminuye rápidamente conforme se aleja del mismo. En segundo lugar, la mayoría de los electrodomésticos no se utilizan muy cerca al cuerpo.

3. MARCO REGULATORIO

3.1. Código de salud en RNI

En Guatemala existe un código de salud que habla sobre las exposiciones de las personas a RNI, así como de las fuentes radiactivas y equipo generador de radiaciones. En el artículo 206 del Código de Salud se indica el cumplimiento de las disposiciones que dicte el Ministerio de Energía y Minas a través de la autoridad del Departamento de RNI.

En el artículo 209 del Código de Salud se indica la exposición de las radiaciones ionizantes y las no ionizantes que se emiten y en el cual hace la referencia que ninguna persona por razones de ocupación, ni la población en general, debe ser sometida al riesgo de exposición de radiaciones ionizantes y no ionizantes que exceda los límites máximos permitidos internacionalmente y los fijados a nivel nacional por el Ministerio de Energía y Minas.

3.2. Límites de exposición Acuerdo Gubernativo No. 8-2011 Guatemala

En el 2011 en Guatemala se hizo el Acuerdo Gubernativo No. 8-2011, en el cual se indican los niveles máximos de exposición ocupacional a los cuales pueden las personas estar sometidas sin que tengan ningún tipo de peligro. En el capítulo III de este acuerdo gubernativo se indican dichos valores máximos permisibles. Estos se describen a continuación:

Tabla IV. Límites de exposición

Rango de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Intensidad de campo magnético (A/m)	Densidad de flujo magnético (μ T)	Densidad de potencia (W/m^2)
Hasta 1 Hz	---	3.2×10^4	4×10^4	---
1 – 8 Hz	10,000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	---
8 Hz – 25 Hz	10,000	$4,000 / f$	$5,000 / f$	---
0.025 – 0.8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	---
0.8 – 3 kHz	$250 / f$	5	6.25	---
3 – 150 kHz	87	5	6.25	---
0.15 – 1 MHz	87	$0.73 / f$	$0.92 / f$	---
1 – 10 MHz	$87 / f^{0.5}$	$0.73 / f$	$0.92 / f$	---
10 – 400 MHz	28	0.073	0.092	2
400 – 2,000 MHz	$1.375 f^{0.5}$	$0.0037 f^{0.5}$	$0.0046 f^{0.5}$	$f / 200$
2 – 300 GHz	61	0.16	0.20	10

Fuente: Acuerdo Gubernativo No. 8-2011, Guatemala.

Estos límites están en función de campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo, expresados como valores cuadráticos medios, medidos en campos no perturbados. Este acuerdo contempla los criterios que deben utilizarse para la interpretación de los valores establecidos como límites en el Artículo 8-2022, los cuales indican lo siguiente:

- “ f ” se refiere a la frecuencia y debe ser expresado de acuerdo con el rango de frecuencias que le corresponde.
- Para frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz; los valores de densidad de potencia, intensidad de campo eléctrico, intensidad de campo magnético y densidad de flujo magnético deben estar promediados para un período cualquiera de seis minutos.

- Para valores que excedan los 100 kHz, los límites pueden ser excedidos en intensidades de campo eléctrico pico, siempre y cuando el promedio de las intensidades de campo no lo haga.
- Entre 100 kHz y 10 MHz, los valores pico para las intensidades de campo deben obtenerse por medio de interpolación entre 1,5 veces el valor pico a 100 kHz y 32 veces el valor pico a 10 MHz.
- Para frecuencias que excedan los 10 MHz se sugiere que el valor pico equivalente de la densidad de potencia (S) de onda plana, promediado sobre el ancho del pulso, no exceda 1000 veces el límite establecido para la densidad de potencia o que la intensidad de campo no sea excedida en más de 32 veces.
- Para frecuencias que excedan los 10 GHz, los valores de densidad de potencia, intensidad de campo eléctrico, intensidad de campo magnético y densidad de flujo magnético, deben promediarse sobre un período cualquiera de $68 / f$ 1,05 minutos, y f debe expresarse en GHz.
- Para frecuencias menores de 1 Hz deben considerarse como estáticos los campos eléctricos. No debe ocurrir percepción de carga eléctrica en superficies para intensidades de campo menores de 25 kV/m. Deben evitarse descargas eléctricas que causen estrés o incomodidad.

Este acuerdo también contempla los límites en función de la corriente de contacto, los cuales son los que se muestran a continuación:

Tabla V. **Límites en función de corriente de contacto**

Rango de frecuencias	Corriente de contacto (mA)
Hasta 2.5 kHz	0.5
2.5 – 100 kHz	0.2 f
100 kHz – 110 MHz	20

Fuente: Acuerdo gubernativo No. 8-2011, Guatemala.

3.3. IEEE Standard 644-1994

Esta norma indica sobre la manera en que se deben realizar las mediciones de intensidad del campo eléctrico y sus características generales. Da a conocer los parámetros que afectan la precisión de las mediciones de intensidad de campo eléctrico, así como también los procedimientos de campo eléctrico de medición de resistencia y los procedimiento para la medición de la intensidad de campo eléctrico cerca de las líneas eléctricas.

En esta norma también se hace referencia a lo que se debe tomar en cuenta para las precauciones y controles durante las mediciones de campo eléctrico.

Se contempla la medición del campo magnético, así como las características generales de los medidores que existen y características de funcionamiento. También indica los factores que afectan la precisión de las mediciones de campo magnético; los procedimientos que se deben seguir cerca de las líneas de transmisión, las medidas de precaución y todos los controles durante las mediciones de campo magnético.

3.4. Agentes reguladores

Hoy en día existen una serie de Normas Técnicas sobre límites de exposición y métodos de medición de campos eléctricos y magnéticos que han sido elaboradas por organismos competentes, con un adecuado soporte científico, aplicables tanto a la industria como a las líneas de transmisión, subestaciones, terminales de radiofrecuencias, entre otros.

Dentro de las principales agencias internacionales que más han promulgado las normativas de exposición a campos eléctricos y magnéticos están: la ICNIRP, OMS, IEEE. En Guatemala los organismos encargados para el control de las RNI son la Dirección General de Energía, el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

3.5. Comisión internacional para la protección contra la radiación no ionizante (ICNIRP)

La Comisión Internacional para la Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP), es un organismo vinculado a la Organización Mundial de la Salud, cuya función es la de investigar los peligros que se pueden asociar con las diferentes formas de radiaciones no ionizantes (RNI), y así proporcionar protección contra efectos adversos a la salud conocidos mediante la publicación de recomendaciones internacionales para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (CEM) en el rango de 0 a 300 GHz.

Para la emisión de las recomendaciones o guías ICNIRP en 1998, se discutieron resultados de laboratorio y epidemiológicos, criterios básicos de exposición y niveles de referencia para evaluación práctica del peligro y las recomendaciones presentadas se aplican a la exposición ocupacional y

poblacional. Las restricciones en estas recomendaciones se basan en datos científicos, el conocimiento disponible a la fecha, proporcionando una adecuada protección a la exposición de CEM variables en el tiempo.

Los principales efectos de las radiaciones no ionizantes sobre la salud humana analizados en las investigaciones realizadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), "ICNIRP" y la Unión Europea, para un individuo afectado por exposición constante durante aproximadamente 30 minutos a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos producidos por antenas de telefonía celular o los transformadores eléctricos de potencia son los siguientes: Efectos cardiovasculares y sobre el sistema nervioso central, choques eléctricos, quemaduras de piel, sobrecalentamiento de los tejidos nerviosos, pérdidas auditivas por las microondas o vibraciones de la fuente, cargas eléctricas superficiales y estimulación celular nerviosa y muscular⁷.

3.6. Normativa de exposición de campos electromagnéticos

La normativa española establece un límite de exposición máximo para el público de 100 microteslas (100,000 nanoteslas) para campos electromagnéticos de frecuencia de 50 Hz.

⁷ http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/278/4/Capitulo2_.p.

3.6.1. Recomendaciones para limitar la exposición a los campos electromagnéticos (ICNIRP)

En 1998 la ICNIRP publicó Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, Magnetic, and Electromagnetic fields (up to 300 GHz) (Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos de 0 a 300 GHz), la cual se convirtió en la normativa internacional más extendida para prevenir los posibles efectos de las radiaciones no ionizantes por exposición a campos eléctricos y magnéticos.

En la norma de la ICNIRP se considera una exposición ocupacional y poblacional, determinándose que a una exposición ocupacional están sometidos aquellos adultos entrenados para trabajar en contacto con fuentes emisoras de CEM y que tienen consciencia del potencial riesgo, para tomar precauciones a fin de minimizar su exposición. Mientras que el público general incluye todos los individuos que no pueden ser informados del potencial riesgo de su exposición o no pueden tomar control sobre su propia exposición. Además se presentaron dos clases de recomendaciones: restricciones básicas y niveles de referencia.

3.6.1.1. Restricciones básicas

“Estas restricciones se basan directamente en los efectos adversos sobre la salud de las personas debido a la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo y para evitar dichos efectos es necesario que estas restricciones no sean excedidas. Dependiendo de la frecuencia del campo se considera: la densidad de corriente (J), la tasa de absorción específica de energía (SAR) y la densidad de potencia (S) como cantidades físicas para especificar estas restricciones.

Tras establecer diversos factores de seguridad, la ICNIRP recomienda como restricción básica para el público, limitar la densidad de corriente en el rango de frecuencias de unos pocos Hz a 1kHz, para niveles de densidad de corriente inducida por encima de 100 mA m^{-2} , donde ya se tiene un efecto sobre el sistema nervioso central al superarse los umbrales para cambios agudos en la excitabilidad del sistema nervioso, por lo que para frecuencias de 4 Hz a 1KHz, la exposición ocupacional debería estar limitada a campos que induzcan densidades de corriente menores a 10 mA m^{-2} , mientras que para el público en general se aplica una restricción básica de exposición de 2 mA m^{-2} .

Los diferentes niveles de referencia para exposición poblacional y ocupacional resultan de los mayores factores de seguridad tomados para el público en general de 50, en lugar de 10 para exposición ocupacional”⁸.

⁸ http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/278/4/Capitulo2_.p.

Tabla VI. **Restricciones básicas para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos para frecuencias de hasta 10 GHz**

Características de la exposición	Rango de Frecuencias	Densidad de Corriente para cabeza y tronco (mA m^{-2}) (rms)	SAR promedio en todo el cuerpo (Wkg^{-1}) ¹⁾	SAR localizado cabeza y tronco (Wkg^{-1})	SAR localizado (extremidades) (Wkg^{-1})
Exposición ocupacional	Hasta 1 Hz	40	-	-	-
	1 - 4 Hz	40/f	-	-	-
	4 Hz - 1 kHz	10	-	-	-
	1 – 100 kHz	F/100	-	-	-
	100 kHz – 10 MHz	F/100	0.4	10	20
	10MHz – 10GHz	-	0.4	10	20
Exposición al público en general	Hasta 1 Hz	8	-	-	-
	1 - 4 Hz	8/f	-	-	-
	4 Hz – 1kHz	2	-	-	-
	1 – 100 kHz	F/500	-	-	-
	100 kHz – 10 MHz	F/500	0.08	2	4
	10 MHz – 10 GHz	-	0.08	2	4

Fuente: Comisión Internacional para la Protección contra radiaciones no ionizantes ICNIRP. p. 34.

3.6.1.2. Niveles de referencia

“Estos niveles se utilizan para comparación con valores medidos de cantidades físicas. El cumplimiento de los niveles de referencia de estas recomendaciones asegura el cumplimiento de las restricciones básicas. Las cantidades derivadas son la intensidad de campo eléctrico (E), la densidad de potencia (S) y las corrientes que fluyen a través de las extremidades (IL). Las cantidades que están dirigidas a la percepción y a otros efectos indirectos son las corrientes de contacto (IC) y, para campos pulsantes, la absorción de

energía específica (SA). Los valores medidos o calculados de cualquiera de estas cantidades se pueden comparar con los niveles de referencia. Si los valores medidos son más altos que los niveles de referencia, no necesariamente implica que las restricciones básicas son excedidas, pero si es necesario un análisis más detallado para evaluar el cumplimiento de las restricciones básicas.

Para el rango de frecuencias hasta 1 kHz., los niveles de referencia de campo eléctrico para exposición ocupacional es de 10 kVm^{-1} para 50 Hz o $8,3 \text{ kVm}^{-1}$ para 60 Hz, incluido un margen prudencial de seguridad a fin de prevenir efectos de estimulación de las corrientes inducidas de contacto bajo todas las condiciones posibles. Para el público en general los niveles de referencia son 5 kVm^{-1} para 50 Hz o 4.2 kVm^{-1} para 60 Hz, con mayor margen de seguridad a fin de prevenir efectos adversos indirectos”⁹.

⁹ http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/278/4/Capitulo2_.p.

Tabla VII. **Niveles de referencia para exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos**

Rango de Frecuencia (MHz)	Intensidad de Campo Eléctrico (Vm ⁻¹)	Intensidad de Campo Magnético (Am ⁻¹)	Densidad de Flujo Magnético (μT)	Densidad de Potencia (W ⁻²)
Hasta 1 Hz	-	1.63 x 10 ⁵	2 x 10 ⁵	-
1 – 8 Hz	20000	1.63 x 10 ⁵ / f ²	2 x 10 ⁵ / f ²	-
8 – 25 Hz	20000	2 x 10 ⁴ / f	2.5 x 10 ⁴ / f	-
0.025 – 0.82 kHz	500 / f	20 / f	25 / f	-
0.82 – 65 kHz	610	24.4	30.7	-
0.065 – 1 MHz	610	1.6 / f	2 / f	-
1 – 10 MHz	610 / f	1.6 / f	2 / f	-
10 – 400 MHz	61	0.16	0.2	10
400 – 2000 MHz	3 f ^{0.5}	0.008 f ^{0.5}	0.01 f ^{0.5}	f / 40

Fuente: Comisión Internacional para la Protección contra radiaciones no ionizantes ICNIRP 198. p. 34.

Tabla VIII. **Niveles de referencia para exposición poblacional a campos eléctricos y magnéticos**

Rango de Frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico (Vm ⁻¹)	Intensidad de Campo Magnético (Am ⁻¹)	Densidad de Flujo Magnético (μT)	Densidad de Potencia (Wm ⁻²)
Hasta 1 Hz	-	3,2 x 10 ⁴	4 x 10 ⁴	-
1 – 8 Hz	10000	3,2 x 10 ⁴ / f ²	4 x 10 ⁴ / f ²	-
8 -25 Hz	10000	4000 / f	5000 / f	-
0.025 – 0.8 kHz	250 / f	4 / f	5 / f	-
0.8 – 3 kHz	250 / f	5	6,25	-
3 – 150 kHz	87	5	6,25	-
0.15 – 1 MHz	87	0,73 / f	0,92 / f	-
1 – 10 MHz	87 / f ^{0.5}	0,73 / f	0,92 / f	-
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 – 2000 MHz	1,375 f ^{0.5}	0,0037f ^{0.5}	0,0046 f ^{0.5}	f / 200

Fuente: Comisión Internacional para la Protección contra radiaciones no ionizantes ICNIRP – 1998. p. 34.

3.6.1.3. Posibles efectos en la salud debido a la exposición de campos electromagnéticos

Durante varios años han venido estableciendo debates sobre los efectos de los campos electromagnéticos de frecuencia industrial, principalmente de los campos magnéticos que son los que se introducen en el cuerpo humano, aceptando que cualquier efecto biológico por exposición a los campos de frecuencia industrial es debido a la corriente que estos inducen en el organismo, ya que los campos eléctricos a frecuencia industrial no pueden penetrar el cuerpo humano y pueden ser fácilmente apantallados.

En 1996 la Organización Mundial de la Salud OMS creó el Proyecto Internacional CEM, para la investigación y evaluación de los posibles efectos sobre la salud de los CEM en el rango de frecuencias de 0 a 300 Ghz.

En estos estudios se estableció que las diferentes ondas electromagnéticas pueden producir efectos biológicos que algunas veces pueden ser perjudiciales para la salud y en otras no, por lo que hay que tener muy en claro la diferencia entre ambas.

- La primera es un efecto biológico que se produce cuando la exposición a las ondas electromagnéticas provoca algún cambio fisiológico perceptible o detectable en un sistema biológico.
- La segunda es un efecto perjudicial para la salud que tiene lugar cuando el efecto biológico sobrepasa la capacidad normal de compensación del organismo y origina así algún proceso patológico.

“Las restricciones básicas y niveles de referencia establecidos, limitan el nivel de corriente que se puede inducir en el interior de un organismo, debido a

la exposición a campos electromagnéticos. Las corrientes naturales en el interior del organismo están entre 1 y 10 mA/m². Estudios han determinado que el umbral de corriente para producir efectos nocivos es de 100 mA/m², pero entre 10 a 100 mA, se pueden producir alteraciones biológicas no necesariamente nocivas. Las corrientes eléctricas pueden producir a su paso por el cuerpo daños en el sistema cardiovascular y en el sistema nervioso central¹⁰.

3.6.2. Posibles efectos de los campos eléctricos

De los estudios que se han realizado hasta la actualidad, se considera que si se exceptúa la debida estimulación que es producida por las diferentes cargas eléctricas que son inducidas en la superficie del cuerpo humano, los efectos en la salud son mínimos cuando la exposición a los campos no sean superiores a 20 Kv/m, e incluso hasta la actualidad no se ha podido demostrar que los campos eléctricos produzcan algún efecto sobre la reproducción o el desarrollo de los animales a intensidades superiores a los 100 Kv/m.

3.6.3. Posibles efectos de los campos magnéticos

Al igual que en los campos eléctricos, existen muy pocas pruebas experimentales verídicas que demuestren que los campos magnéticos a ELF afecten a la salud de las personas, concretamente a la fisiología y el comportamiento de las personas a los valores de campo magnético habituales en el medio que viven.

¹⁰ <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/278/4/> Consulta 11 de octubre de 2014.

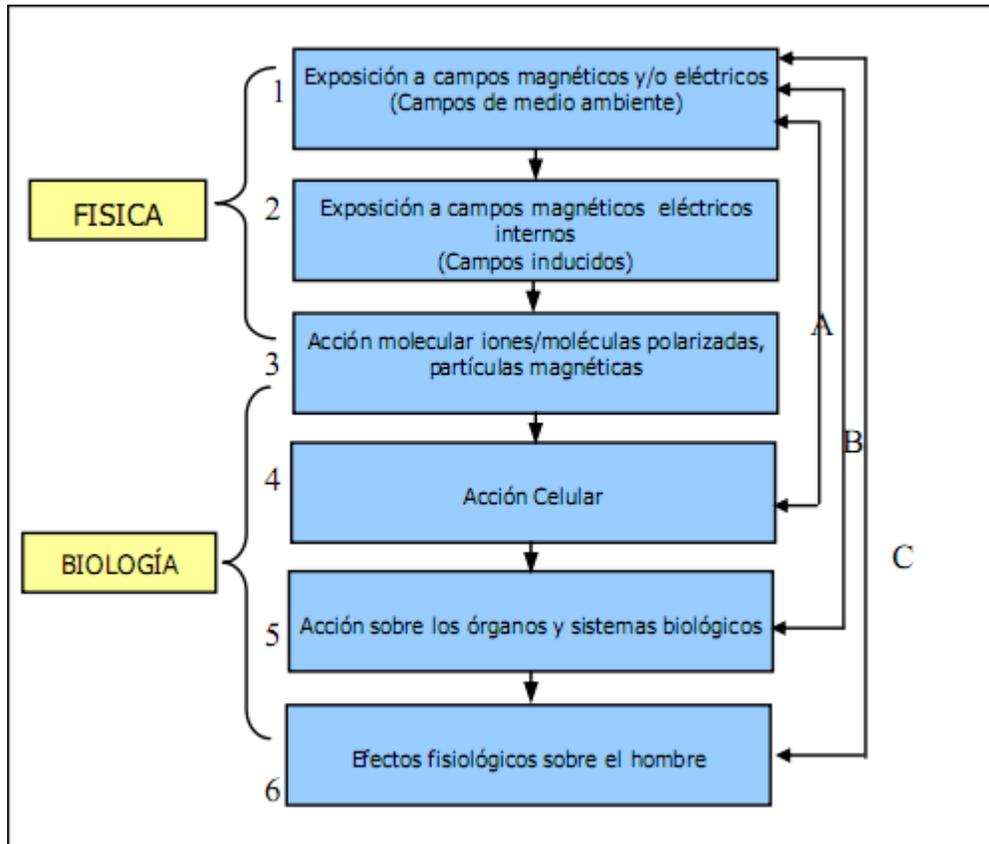
Algunos de los experimentos que se han realizado consisten en la exposición de campos magnéticos de hasta 5 mT durante varias horas en diferentes personas voluntarias. Es importante indicar que los efectos que esta exposición produjo sobre las diferentes personas fueron mínimos tras realizar diferentes pruebas como por ejemplo: pruebas clínicas fisiológicas de hematología, electrocardiografía, ritmo cardiaco, presión arterial o temperatura del cuerpo.

3.6.4. Estudios epidemiológicos y biofísicos

“En 1979 la población de Denver en Colorado, Estados Unidos se conmocionó tras un estudio realizado por Werheimer y Leeper, donde se publicó una vinculación entre la leucemia infantil y ciertas particularidades relacionadas con algunos tipos de enfermedades en personas por una hipotética relación entre la presencia de campos electromagnéticos producidos por las líneas de alta tensión y los cables que conectaban sus viviendas a la línea de distribución eléctrica, en este trabajo se observó que los niños considerados altamente expuestos, tenían dos veces más riesgo de desarrollar leucemia que niños menos expuestos. Estas conclusiones motivaron la realización de más de 1200 estudios para profundizar este resultado por parte de numerosas asociaciones científicas y medias en Europa y Estados Unidos”¹¹.

¹¹ http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/278/4/Capitulo2_.p. Consulta: 11 de octubre de 2014.

Figura 2. Camino que lleva de la exposición a la enfermedad



Fuente: WELTI, Reinaldo. *La interacción de campos electromagnéticos de EBF con sistemas biológicos*. p. 8.

“Los estudios se han realizado principalmente en dos ámbitos.

- Epidemiológicos: la epidemiología estudia estadísticamente si existe alguna relación entre un agente y una enfermedad, comparando la incidencia de la enfermedad en grupos de personas expuestas al agente y grupos de personas no expuestas. Los primeros estudios epidemiológicos que se realizaron indicaron la posibilidad de que las personas que residían en las cercanías de las fuentes o de las líneas

eléctricas de alta tensión tenían un mayor riesgo de contraer cáncer; pero estudios actuales sobre poblaciones mayores y metodologías más modernas para la medida de exposición concluyen que los campos eléctricos y magnéticos generados por las fuentes o por las líneas eléctricas no constituyen ningún riesgo para la salud pública.

Hoy en día todavía se conoce poco sobre la causa de cánceres específicos. Pero si se comprenden bien las fases del proceso de carcinogénesis, de tal manera que los estudios celulares y en animales puedan proporcionar información importante para determinar si los CEM pueden causar cáncer o contribuye a su desarrollo. El proceso de carcinogénesis va acompañado de una serie de daños en el material genéticos de las células y consta de las siguientes etapas.

- **Iniciación:** resultado de una serie de daños en el material genético de las células por agentes llamados genotóxicos, convirtiendo las células de normales a precancerosas.
- **Promoción:** convierte las células precancerosas a cancerosas. Esto hace que las células sean más vulnerables a los agentes genotóxicos.
- **Progresión:** constituye el desarrollo propiamente del tumor, así como del potencial para provocar la metástasis en otras zonas del organismo.
- **Biofísicos:** son estudios totalmente controlados en laboratorios. La experimentación de laboratorio tanto *in vitro*, exponiendo células y tejidos en cultivo, como en vivo, sobre animales, descartan una

relación con el proceso carcinogénico, respuesta inmunitaria, fertilidad, reproducción y desarrollo, alteraciones del sistema cardiovascular, comportamiento, concentración de iones de calcio en la membrana celular, entre otros. Además de afirmar rotundamente que no hay daño sobre el ADN de las células, que por lo tanto, no producen malformaciones o cáncer.

“Los únicos efectos nocivos de los campos eléctricos y magnéticos de frecuencia industrial que se han podido comprobar de los diferentes estudios realizados, son los efectos a corto plazo o agudos producidos por la densidad de corriente eléctrica que se induce en el interior del organismo debido a la exposición de campos electromagnéticos. Una elevada densidad de corriente inducida puede producir desde simples molestias como cosquilleos en la piel o chispazos al tocar un objeto expuesto, hasta contracciones musculares, en casos extremos arritmias, extrasístoles y fibrilación ventricular, pero con niveles de campo muy superiores a los generados por instalaciones eléctricas”¹².

¹² : http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/278/4/Capitulo2_.p. Consulta: 11 de octubre de 2014.

4. NORMATIVAS PARA LA MEDICIÓN DE CAMPO ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO

Establece los requisitos y métodos de medición de campos eléctricos y magnéticos a 60 Hz. Siguiendo los procedimientos establecidos en el estándar ANSI/IEEE 644-1994, estándar de procedimientos para medición de campos eléctricos y magnéticos desde líneas de transmisión de corriente alterna, impulsado por el Instituto Americano para Normas Nacionales.

Se determina que los sistemas de distribución y transmisión de energía eléctrica deberán cumplir con los requisitos técnicos mínimos establecidos en las regulaciones siguientes.

- Para la medición de campos electromagnéticos se deberán considerar aquellos sitios ubicados, sea a lo largo del recorrido de la línea de transmisión o en los límites físicos de una subestación eléctrica y que se encuentren viviendas o asentamientos humanos.
- Los sitios en donde se determine que se han excedido los niveles de referencia establecidos en las normativas internacionales como los que indica el Ministerio de Energía y Minas, sea para público en general o para personal ocupacionalmente expuesto.

4.1. Procedimientos para la medición de intensidad de campo eléctrico y magnético

El presente es un extracto de la Norma IEEE 644 Estándar Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines – 1994 (Procedimientos Estandar para Medición de campos Eléctricos y Magnéticos desde líneas de Transmisión de Corriente Alterna).

4.2. Procedimientos para la medición de campo eléctrico

Antes de empezar a realizar las mediciones, se deben considerar algunas características del terreno o del lugar que se va a medir, como por ejemplo:

- El plano debe estar libre de objetos que puedan producir interferencias, y si estos no pueden desplazarse, debe indicarse su ubicación y sus dimensiones.
- En ambientes exteriores la intensidad de campo eléctrico debe medirse en lugares donde exista una menor perturbación, como vegetación, murallas, otras líneas, entre otros. Generalmente existe un aumento del campo al acercarse a la parte de arriba de la vegetación aislante y una atenuación cerca de los costados.
- Si se realizan mediciones con humedad mayor al 80 por ciento debe considerarse una influencia sobre el valor medido, ya que la humedad puede formar una película de condensación superficial sobre la sonda, produciendo una corriente de fuga sobre los electrodos.

4.2.1. Procedimiento para medición de intensidad de campo eléctrico en las cercanías de una línea de transmisión

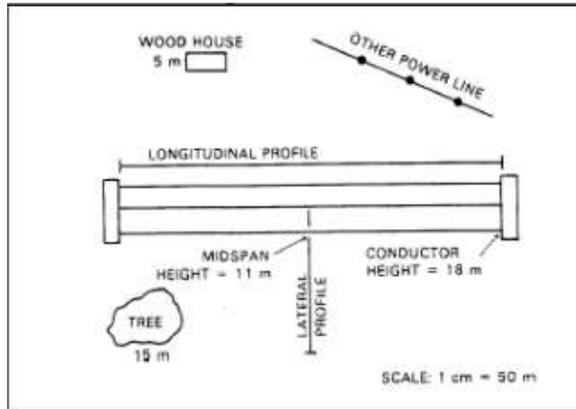
- Se recomienda colocar el aparato de medición sobre un elemento aislante, ya que las mediciones a nivel del suelo pueden influenciar notablemente el valor del campo eléctrico medido.
- El campo eléctrico bajo una línea de transmisión deberá medirse a una altura de 1 metro sobre el nivel del suelo. Si se realizan mediciones a otras alturas, estas deberán ser explícitamente indicadas.
- La sonda del medidor de intensidad de campo eléctrico deberá estar orientada para leer la componente vertical de la intensidad de campo eléctrico (E). Esta cantidad es comúnmente utilizada para caracterizar los efectos de inducción en objetos cercanos al nivel del suelo.
- La distancia entre el medidor de intensidad de campo eléctrico y el operador deberá ser de por lo menos 2,5 metros. Esta distancia reducirá los efectos de proximidad (sombra del campo eléctrico) entre el 1,5 y 3 por ciento, considerando un operador de 1,8 metros de altura. El error de proximidad depende de la altura del operador, de su distancia de la sonda y de la altura de la sonda sobre el suelo. Para asegurar un error menor al 3 por ciento en todos los casos, el operador debe situarse a más de 3 metros de la sonda.
- Para proporcionar una mayor descripción de la intensidad de campo eléctrico en un punto de interés, se deberán medir los valores máximo y mínimo de intensidad de campo en esa posición, ambos en el plano del campo elíptico.

- En condiciones ideales donde las líneas de transmisión son horizontales y la superficie del suelo es lisa, el plano de la elipse es perpendicular a la dirección de los conductores. Para realizar mediciones en el plano de la elipse, la línea entre el observador y el aparato de medición debe ser paralela a los conductores. Se deberá rotar el medidor alrededor del sitio de medición, hasta determinar los valores máximos y mínimos de los componentes de campo con sus correspondientes direcciones. Se introduce menos perturbación si el operador se mantiene inmóvil en la región de menos campo eléctrico, durante el desarrollo de las mediciones.
- La distancia entre el medidor y aquellos objetos no permanentes en el sitio de medición, deberá ser por lo menos tres veces la altura del objeto a fin de medir los valores no perturbados de campo. La distancia entre el medidor y los objetos permanentes deberá ser de 1 metro o mayor para asegurar suficiente exactitud en la medición del campo eléctrico perturbado.

4.2.2. Perfil lateral

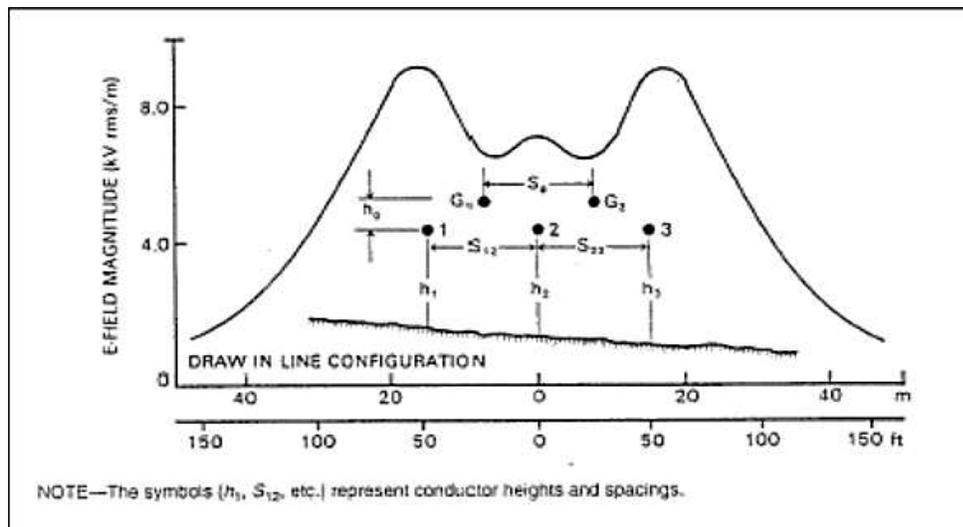
El perfil lateral de la intensidad de campo eléctrico, en un punto de interés a lo largo de un tramo de una línea de transmisión, deberá medirse en intervalos seccionados en una dirección normal a la línea a 1 metro sobre el nivel del suelo.

Figura 3. **Medición perfil lateral**



Fuente: IEEE Estandard Procedures for Measurement of Power Frecuency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines. p. 31.

Figura 4. **Medición de perfil lateral componente vertical de intensidad de campo eléctrico**



Fuente: IEEE Estandard Procedures for Measurement of Power Frecuency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines. p. 31.

Estas mediciones se deben de empezar a realizar desde el centro de la línea y deberán realizarse a una distancia lateral no menor a 30 metros del conductor. Estas mediciones deberán de realizarse por lo menos cinco mediciones espaciadas debajo de los conductores.

Una medición del perfil completo podría iniciarse en la región de interés más lejana de la ubicación del último conductor y avanzar progresivamente hasta el lado opuesto de la franja de servidumbre de la línea de transmisión. Las mediciones finales se deberán realizar en algunos puntos intermedios para obtener indicaciones de cambios en la altura de la línea, de la carga, o voltaje ocurridos durante la ejecución de la medición. La hora de medición debe registrarse periódicamente para facilitar la revisión de los datos recolectados junto con los registros de voltajes de línea y datos de carga de las subestaciones.

4.2.3. Perfil longitudinal

El perfil longitudinal de la intensidad de campo deberá medirse en la parte media del vano, donde se obtuvo la máxima lectura de intensidad de campo durante la medición en el perfil lateral, o en otros puntos de interés. Las mediciones se realizarán en paralelo con la línea de transmisión y 1 metro sobre el nivel del suelo.

Las mediciones del perfil longitudinal deberán realizarse al menos en cinco incrementos consecutivos separados de igual manera, desde un punto en la mitad del tramo de la línea de transmisión y avanzando para ambas direcciones, para una distancia total equivalente a un tramo de la línea.

4.3. Procedimientos para mediciones de campo magnético

Para la medición de campo magnético, existen menos errores debido a la perturbación, comparado con el campo eléctrico. El equipo de prueba se puede sujetar con un mango dieléctrico corto, sin que afecte los valores medidos. Los efectos de proximidad de dieléctricos y malos conductores, no magnéticos, se consideran como despreciables.

- Procedimiento para medición de campos magnéticos en las cercanías de las líneas de transmisión
 - El campo magnético bajo una línea de transmisión deberá medirse a una altura de 1 metro sobre el nivel del suelo. Si se realizan mediciones a otras alturas, estas deberán ser explícitamente indicadas.
 - Para medir los campos no perturbados, es decir en ausencia de persona y objetos con materiales magnéticos o conductores, estos deberán estar alejados del punto de medición a una distancia de tres veces la dimensión del objeto más grande.
 - Para obtener mediciones precisas en un ambiente perturbado, la distancia entre el equipo de prueba y los objetos magnéticos permanentes deberá ser por lo menos un metro.
 - Para obtener una descripción completa de los campos magnéticos en un punto de interés, deberán medirse los campos máximos y mínimos con sus orientaciones en el plano del campo elíptico.

Los medidores de campos con equipos de un solo eje deberán orientarse hasta detectar la lectura de mayor valor. Alternativamente, los medidores de campo con sonda de tres ejes pueden utilizarse para medir la resultante del campo magnético (valor eficaz, rms). Los componentes verticales y horizontales del campo pueden medirse también cuando sea necesaria una comparación con cálculos o para calcular los efectos separados de inducción en los límites de una propiedad u otros casos. Para cualquier situación, cuando se reporten los resultados de las mediciones, las cantidades a ser reportadas deberán estar claramente indicadas.

Debe tomarse en cuenta que la resultante de campo magnético, es igual al valor eficaz (rms) de la densidad de flujo magnético, independiente de las fases de sus componentes ortogonales. En caso donde el campo magnético permanece relativamente constante, puede utilizarse un medidor de un solo eje para determinar la resultante de campo magnético, esto mediante la medición de las componentes horizontal y vertical del campo.

- Perfil lateral y longitudinal

Deberán de seguirse los mismos procedimientos de medición de intensidad de campo eléctrico.

4.4. Medición en subestaciones

Para obtener el valor de intensidad de campo eléctrico y magnético en subestaciones debe realizarse la medición de la componente vertical y el valor rms de la resultante de campo eléctrico y magnético en cada punto, seleccionando al menos dos perfiles perpendiculares entre sí, que cubran la totalidad de la subestación, con una separación medida de 1 o 2 metros,

tratando de involucrar aquellos puntos más bajos de conexión y por donde se tenga mayor circulación de corriente.

Por ser la subestación un lugar donde se encuentran una gran cantidad de equipos eléctricos, la variación espacial del campo magnético es una de las características más importantes a determinar. Para conocer su variación en el espacio se emplea el método del mapeo, que consiste en realizar un recorrido a lo largo y ancho del sitio, identificando las zonas con iguales valores de campo.

4.5. Instrumentos de medición de RNI

Para poder realizar las mediciones en las subestaciones se utilizó el equipo HI-3604. Este es un equipo de medición de fuerzas de campo eléctrico y magnético. Está diseñado para la evaluación de estos campos que están asociados con la transmisión de energía eléctrica a 50 Hz y 60 Hz.

La lectura digital de la intensidad de campo eléctrico y magnético es proporcionada por un instrumento remotamente, a través de una fibra óptica especial de control remoto (Modelo HI-3616). El modelo HI-3604 encuentra aplicaciones en estudios de investigación de campo y del medio ambiente donde se requiere el conocimiento de la fuerza de los campos de frecuencia de potencia. Está diseñado para proporcionar a los ingenieros, higienistas industriales y de la salud, el personal de seguridad con una sofisticada herramienta para la investigación precisa de los entornos de frecuencia de energía eléctrica.

El equipo HI-3604 dispone de dos sensores conmutables para medir los campos eléctricos y magnéticos. Todas las funciones de selección y control de entrada de un teclado conmutador del panel frontal de la membrana.

La forma de onda de salida permite la observación y la evaluación de la forma de onda real que se mide. La función de registrador de datos captura hasta 112 lecturas de campo para su posterior revisión, utilizando los controles del panel frontal. La tecnología del microprocesador se incorpora en el HI-3604 para proporcionar el cambio automático de rango y puesta a cero automático del instrumento.

La medición de los campos eléctricos son detectados por un sensor de corriente de desplazamiento que consiste en dos discos separados por finas conductoras que están conectadas entre si eléctricamente. Cuando se sumerge en un campo eléctrico, la carga se redistribuye entre los dos discos paralelos tales que el campo eléctrico entre los dos discos se mantiene en cero. Esta redistribución de carga se refleja como una corriente de desplazamiento que puede ser medida y, posteriormente, relacionada con la intensidad de campo eléctrico externo. Este tipo de transductor tiene una respuesta de frecuencia plana y permite una medición precisa de los campos que tienen un contenido significativo armónico con energía a frecuencias superiores a la fundamental de 50 o 60 Hz.

Alrededor de las circulares de desplazamiento actuales los discos de detección, se encuentran una bobina que consta de varios cientos de vueltas de alambre de calibre fino. Cuando se coloca en un campo magnético alterno se induce una corriente en la bobina que es proporcional a la intensidad del campo magnético aplicado. La intensidad de campo magnético se determina entonces mediante la medición del voltaje desarrollado a través de los terminales de la bobina.

Mientras que una sentencia sin terminar, proporcionará una salida que es directamente proporcional a la frecuencia del campo magnético, el HI-3604 emplea circuitos de compensación electrónica que da lugar a una respuesta de frecuencia medida, que es plana en el rango de frecuencias de la importancia para las mediciones de frecuencia de potencia. Esta característica permite a los HI-3604 que se utilizan en entornos que tienen un contenido armónico significativo dar medidas exactas de los campos resultantes. La respuesta de banda ancha se requiere cuando los campos de medición tienen una distorsión significativa de armónicos, como puede ocurrir con la maquinaria eléctrica.

Las salidas de ambos transductores de campo miden la raíz cuadrática media (RMS) del detector. Cierta detección de RMS ofrece una evaluación precisa de los campos que tienen una variedad de formas de onda, incluyendo las formas de onda no sinusoidal. Así, si el campo que se mide es producida por una fuente cerca de onda sinusoidal pura, como una línea de transmisión de energía eléctrica o una fuente altamente no sinusoidal, como un atenuador estado sólido luz, el HI-3604 rendirá medidas consistentes de la RMS intensidades de campo.

4.5.1. Procedimiento para la medición de campo eléctrico y magnético con el equipo HI-3604

En el manual del equipo HI-3604 se indica que el dispositivo está encerrado en una caja de aluminio resistente para la protección de sus circuitos internos.

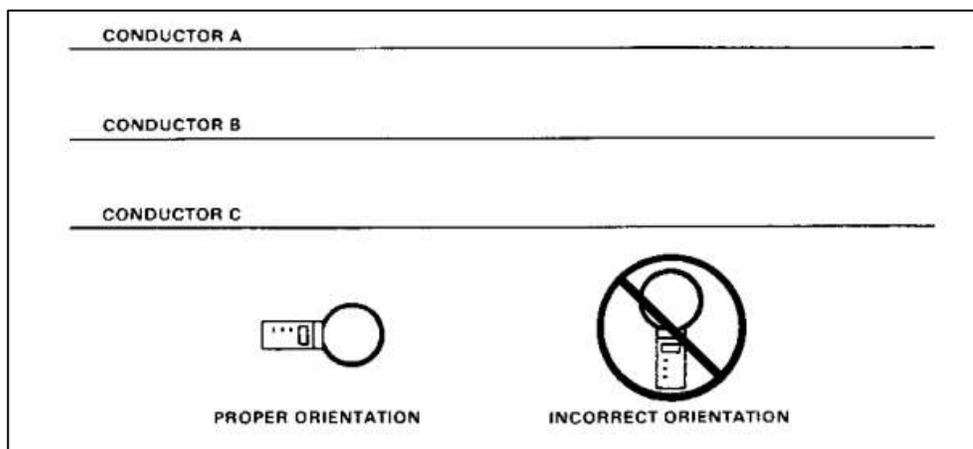
Dado al uso que se le dará al equipo HI-3604, cuenta con un sensor de campo que se extiende desde el módulo de lectura. La forma constructiva de este sensor es una placa de circuito impreso multicapa. Está bien asegurado

internamente a la carcasa de aluminio y tiene una dura capa de poliéster, pero está expuesto a un mayor potencial de daño físico a causa de su tamaño y ubicación. Se debe tener cuidado en el manejo del HI-3604 para evitar daños en el sensor, al golpear contra objetos o aplicar una fuerza excesiva a la paleta del sensor. Cuando el equipo no esté en uso, este se debe mantener en su caja protectora donde esté bien la paleta del sensor compatible.

4.5.2. La orientación de HI-3604 para la medición de la fuerza vertical de campo eléctrico

A continuación se mostrará la manera correcta de realizar las mediciones de (RNI) y cuál es la que no se debe usar para hacer dichas mediciones, esto con el propósito de que las mediciones que se realicen sean confiables. La imagen que se mostrará a continuación muestra la forma correcta y la incorrecta de realizar las mediciones.

Figura 5. Forma para medir el campo eléctrico



Fuente: Holaday Industries. *Manual HI-3604*. p. 11-25.

La intensidad de campo magnético se midió por medio de la orientación de la paleta perpendicular sensor a las líneas de campo (las flechas de orientación en la parte superior de la superficie de la paleta del sensor están destinadas a ayudar a alinear el sensor). En esta orientación, la sentencia de sensor está alineada de modo que el número máximo de líneas de campo magnético de flujo pasa a través de la abertura circular. Durante la realización de estas mediciones de campo magnético, el equipo HI-3604 puede ser manipulado por el operador. La naturaleza no magnética del cuerpo humano no perturba el campo magnético ni interfiere con la operación del sensor y estas no se ven afectadas cuando se tomen las lecturas directamente del mismo.

5. EVALUACIONES EN CAMPO

Las mediciones que se realizaron fueron en subestaciones eléctricas de transformación 69 Kv/13,8 Kv.

5.1. Medición en subestación El Milagro

La primera subestación en la cual se realizaron las mediciones de RNI se encuentra ubicada en el departamento de Escuintla, Guatemala. Esta es una subestación de transformación que cuenta con un total de 3 entradas de línea de 69 kV. Dos líneas de 69 kV entran de manera frontal a la subestación y una línea de 69 kV entra de manera lateral a la subestación. Dicha subestación cuenta con las siguientes características:

Tabla IX. **Datos de subestación El Milagro**

Nombre	El Milagro
Tipo subestación	Transformación
Nivel de tensión	69 kV / 13,8 kV
Líneas 69 Kv	3
Circuitos de 13,8 Kv	2
Ubicación	Escuintla

Fuente: Transportista Eléctrica Centroamericana.

5.1.1. Consideraciones antes de las mediciones

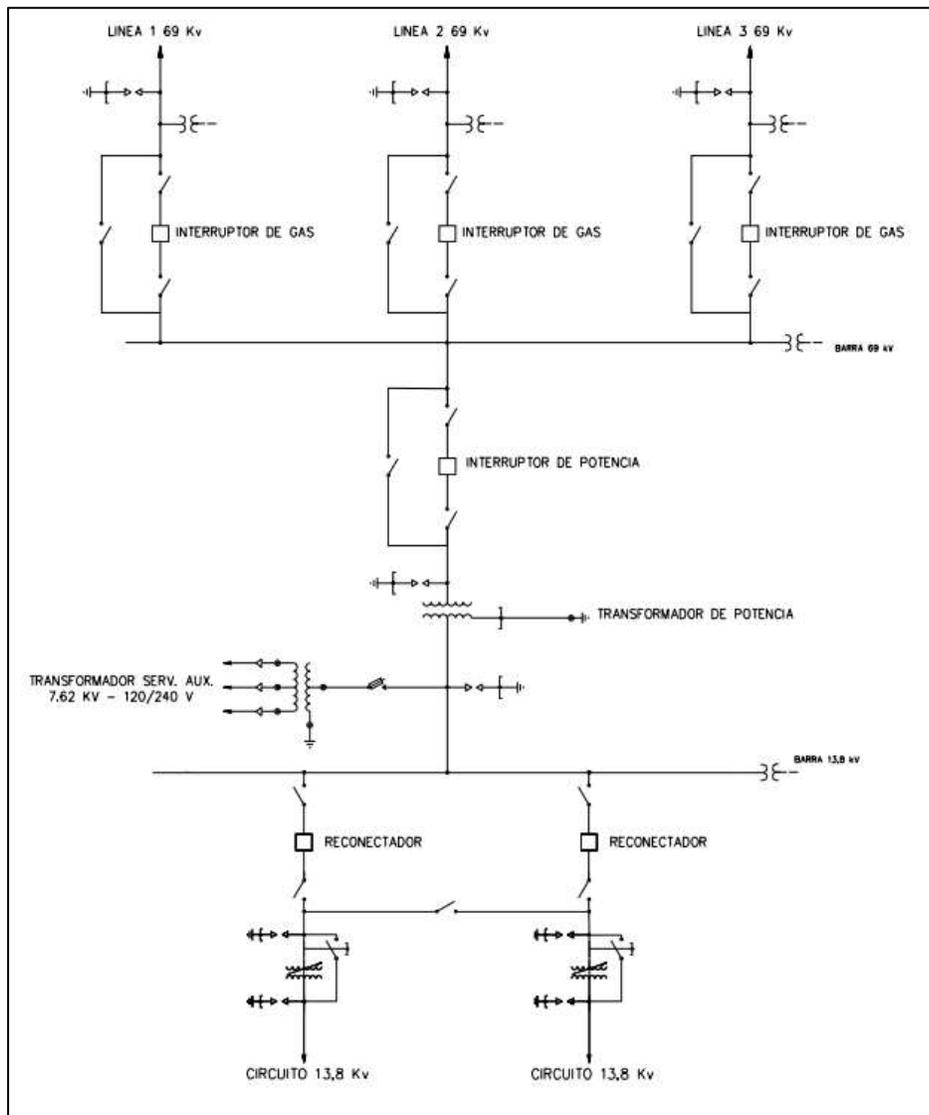
Antes de realizar las mediciones se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- Ubicación de las coordenadas geográficas mediante un GPS.
- Proceder al encendido del equipo y fijación de las unidades de medición es de acuerdo al manual del equipo que se utilizará para dicha medición.
- Realizar la calibración correspondiente del equipo de medición de acuerdo al manual del equipo que se utilizará para dicha medición.
- Medición del campo magnético. Se debe tomar como mínimo un tiempo de 6 minutos por cada punto de medición y las consideraciones anteriormente descritas.
- Después de terminar las mediciones del campo magnético se procede a realizar las mediciones del campo eléctrico y se repiten todos los pasos anteriores.

5.1.2. Diagrama unifilar

A continuación se ilustra el diagrama unifilar de la subestación El Milagro, el cual fue donde se hicieron las primeras mediciones.

Figura 6. Diagrama unifilar subestación El Milagro



Fuente: Transportista Eléctrica Centroamericana.

5.1.3. Mediciones en subestación El Milagro

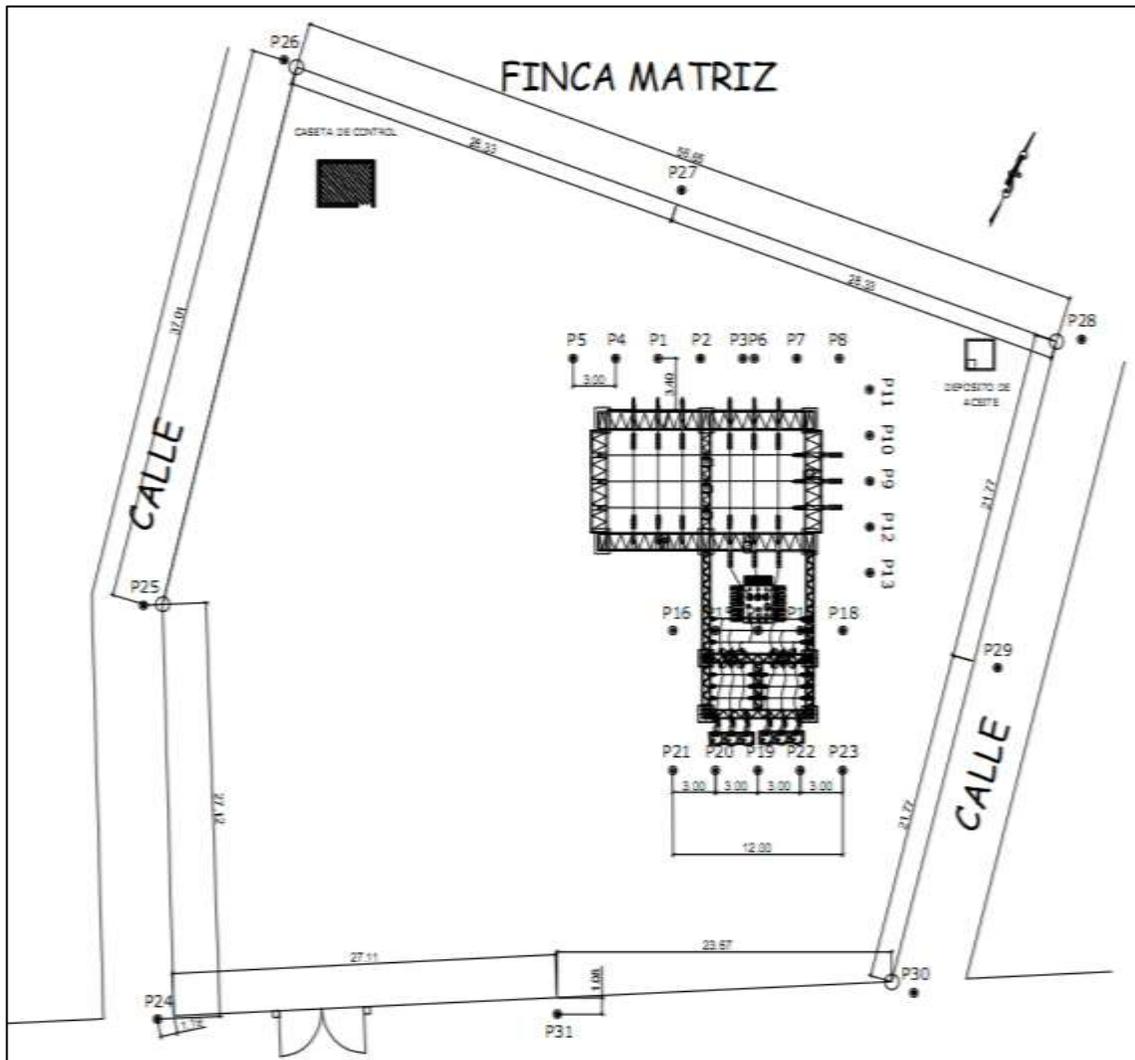
Se hicieron un total de 31 puntos de medición, tanto internos a la subestación como en la periferia de la misma, tomando en cuenta todos los pasos y las recomendaciones de la norma. Para las mediciones en las líneas se tomó como referencia la fase centro y se midió en este punto, seguidamente se midieron 2 puntos a 3 y 6 m de distancia hacia la derecha y luego se ubicó en la referencia que era la fase centro y se midieron 2 puntos a 3 y 6 m de distancia hacia la izquierda. Estas mediciones se repitieron en las 3 entradas de línea de dicha subestación.

También se hicieron mediciones debajo de la barra de 13,8 kV entre el transformador de potencia y el reconectador automático. Se tomó como referencia la fase centro del juego de barras y se midieron 2 puntos a 3 y 6 m de distancia hacia la derecha y luego se ubicó en la referencia que era la fase centro y se midieron 2 puntos a 3 y 6 m de distancia hacia la izquierda. Para la medición en la salida de los circuitos de 13,8 kV de igual manera se realizaron en total 5 mediciones, aquí se tomó como referencia la mitad de los 2 cuerpos de la salida de los circuitos, se procedió a medir 2 puntos a 3 y 6 m de distancia hacia la derecha, luego se ubicó en la referencia y se midieron 2 puntos a 3 y 6 m de distancia hacia la izquierda.

Seguidamente se hicieron mediciones en la periferia de la subestación para detectar los niveles de RNI que había en las cercanías de la misma, siempre tomando en cuenta todas las consideraciones.

A continuación se indicará en un plano los diferentes puntos que se tomaron en cuenta, tanto puntos internos como externos a la subestación para medir los niveles de campo magnético y campo eléctrico.

Figura 7. Puntos de medición subestación El Milagro



Fuente: Transportista Eléctrica Centroamericana.

La calibración se hizo con base en el manual del equipo, los cuales se calibraron con los siguientes parámetros:

Tabla X. Datos de calibración del equipo

Calibración Flujo Magnético	rango de 125 mG a 11.25G
Calibración Campo Eléctrico	desde 1000V/m a 19.15 kV/m

Fuente: elaboración propia.

Una vez que se hizo la calibración del equipo para empezar a tomar las mediciones correspondientes en los puntos que se identificaron se procedió a tomar datos sobre la ubicación de la subestación, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla XI. Tabla de datos subestación El Milagro

LONGITUD (O)	LATITUD(N)	ALTURA SUBESTACION m.s.n.m	TEMPERATURA en °C	FECHA	RANGO DE TENSION
90° 58" 13´	14° 8" 59´	36	29 a 32	04/11/2014	69 kV / 13, 8 kV

Fuente: elaboración propia.

Para el caso de la columna donde está la temperatura se dejó el rango en el cual oscilaba la temperatura cuando se tomaron las lecturas, ya que se hicieron dichas mediciones en horario de 8:00 a.m. a 5:00 p.m. y la variación al final fue que la temperatura bajo 3 °c.

En la siguiente tabla se mostrarán los datos que se obtuvieron durante el muestreo y toma de datos en la subestación.

Tabla XII. **Tabla de resultados subestación El Milagro**

PUNTOS DE MEDICIÓN	DISTANCIA MEDICIÓN (metros)	CAMPO ELÉCTRICO (V/m) a 60 Hz	FLUJO DE CAMPO (A/m) a 60 Hz	ALTURA LÍNEAS O EQUIPOS A MEDIR	HORA INICIO	HORA FINALIZACIÓN
P1	0 (Referencia)	530	0,0835	11,40 metros	08:00	08:13
P2	3 (Derecha)	312	0,0635	11,40 metros	08:15	08:28
P3	6 (Derecha)	122	0,0684	11,40 metros	08:30	08:43
P4	3 (Izquierda)	143	0,0521	11,40 metros	08:46	08:59
P5	6 (Izquierda)	72	0,1261	11,40 metros	09:00	09:12
P6	0 (Referencia)	462	0,0786	11,40 metros	09:15	09:28
P7	3 (Derecha)	120	0,0681	11,40 metros	09:30	09:34
P8	6 (Derecha)	80	0,0603	11,40 metros	09:37	09:51
P9	0 (Referencia)	540	0,0556	9,70 metros	09:52	10:05
P10	3 (Izquierda)	326	0,0623	9,70 metros	10:08	10:23
P11	6 (Izquierda)	270	0,0254	9,70 metros	10:26	10:39
P12	3 (Derecha)	218	0,0615	9,70 metros	10:42	10:56
P13	6 (Derecha)	175	0,038	9,70 metros	11:00	11:15
P14	0 (Referencia)	145	0,404	5,70 metros	11:18	11:32
P15	3 (Izquierda)	109	1,25	5,70 metros	11:36	11:50
P16	6 (Izquierda)	106	0,0854	5,70 metros	11:55	12:09

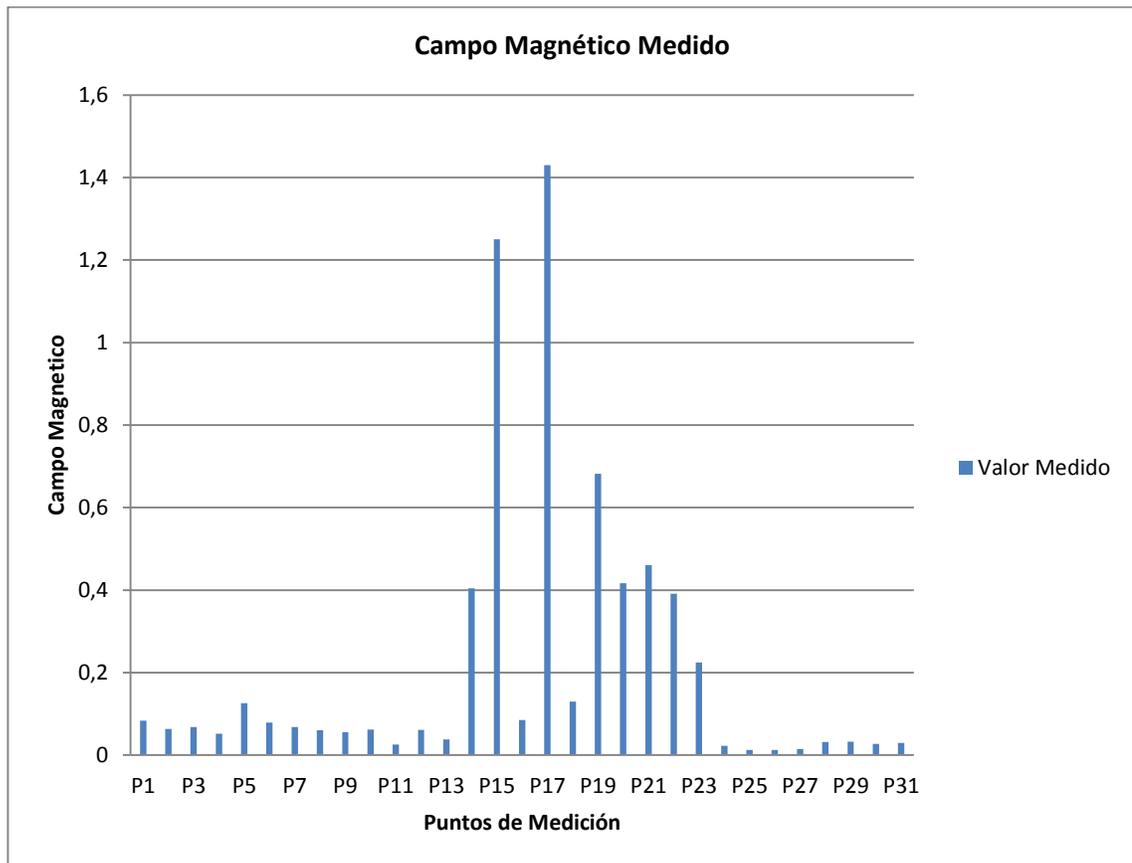
Continuación de la tabla XII.

P17	3 (Derecha)	119	1,43	5,70 metros	12:15	12:29
P18	6 (Derecha)	105	0,13	5,70 metros	12:34	12:50
P19	0 (Referencia)	227	0,682	6,40 metros	12:55	13:10
P20	3 (Izquierda)	135	0,417	6,40 metros	14:05	14:20
P21	6 (Izquierda)	80,9	0,461	6,40 metros	14:25	14:39
P22	3 (Derecha)	192	0,391	6,40 metros	14:43	14:58
P23	6 (Derecha)	283	0,225	6,40 metros	15:02	15:22
P24	Afuera Subestación	4,51	0,0223	N/A	15:36	15:51
P25	Afuera Subestación	1,52	0,0128	N/A	15:55	16:10
P26	Afuera Subestación	1,98	0,0124	N/A	16:14	16:29
P27	Afuera Subestación	1,53	0,0152	N/A	16:32	16:47
P28	Afuera Subestación	1,42	0,0318	N/A	16:51	17:05
P29	Afuera Subestación	1,54	0,0326	N/A	17:10	17:25
P30	Afuera Subestación	4,35	0,0275	N/A	17:30	17:44
P31	Afuera Subestación	0,943	0,0298	N/A	17:48	18:03

Fuente: elaboración propia.

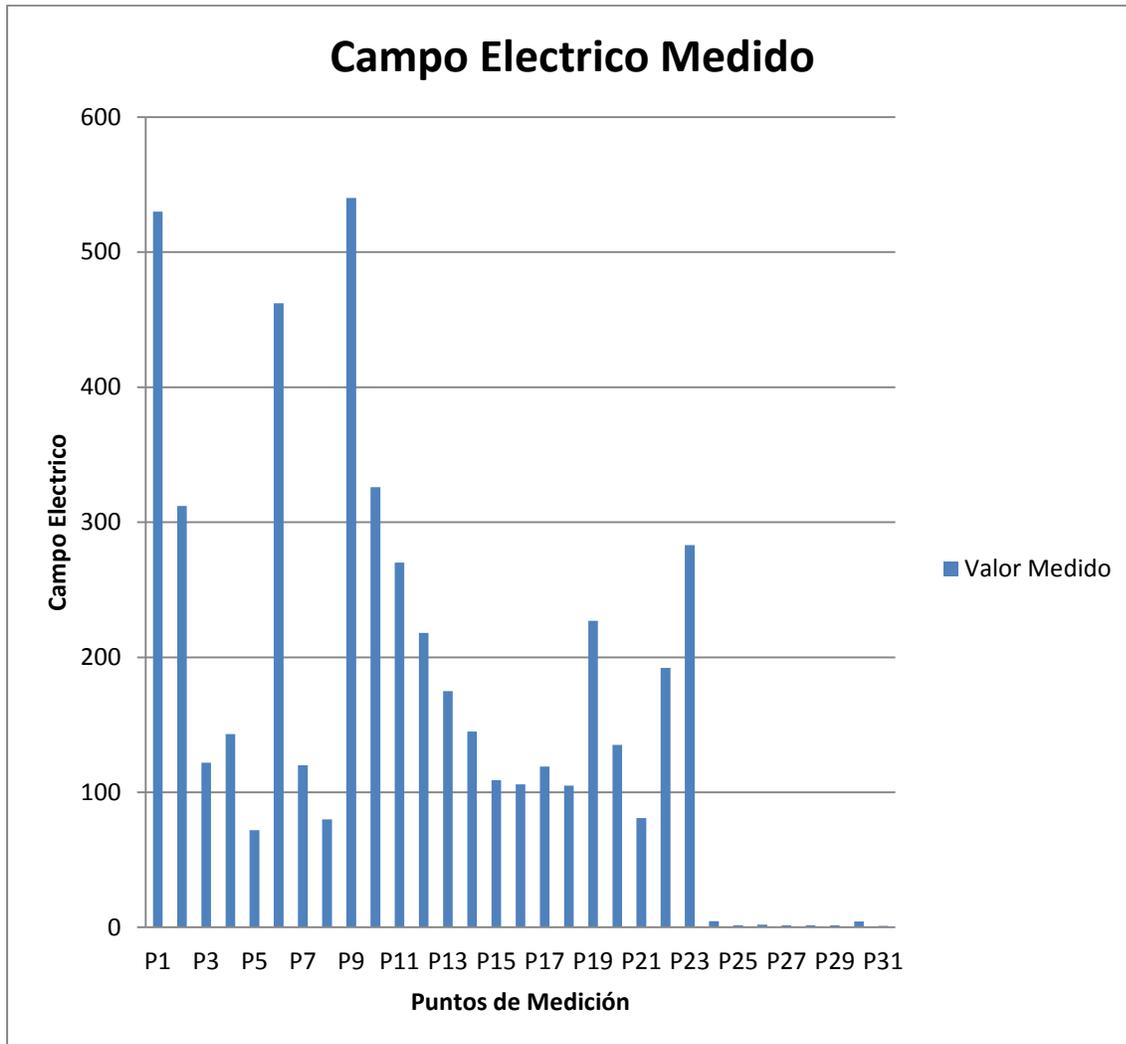
En la siguiente gráfica se tabularon los datos obtenidos en la medición que se realizó en la subestación, tanto de campo magnético como de campo eléctrico, los cuales muestran lo siguiente:

Figura 8. **Gráfica de resultados campo magnético**



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Gráfica de resultados campo eléctrico



Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla se puede realizar un análisis estadístico para los resultados obtenidos de las mediciones de campo magnético y campo eléctrico, para poder visualizar cuales han sido los datos más relevantes que se obtienen después de la medición.

Tabla XIII. **Análisis estadístico de resultados obtenidos del campo magnético**

Media	0,21399
Error típico	0,063747742
Mediana	0.0629
Desviación estándar	0,349160764
Varianza de la muestra	0,121913239
Curtosis	6,401385788
Coefficiente de asimetría	2,556865435
Rango	1,4176
Mínimo	0,0124
Máximo	1,43
Suma	6,4197
Cuenta	30
Nivel de confianza (95.0%)	0,130378772

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Análisis estadístico de resultados obtenidos del campo eléctrico**

Media	145,3231
Error típico	25,14552632
Mediana	119,5
Desviación estándar	137,7277199
Varianza de la muestra	18968,92482
Curtosis	1,409663613
Coefficiente de asimetría	1,198625213
Rango	539,057
Mínimo	0,943
Máximo	540
Suma	4359,693
Cuenta	30
Nivel de confianza (95.0 %)	51,4283758

Fuente: elaboración propia.

En las siguientes imágenes se muestran las ubicaciones de algunos puntos de medición que se realizaron, tanto dentro como fuera de la subestación, para obtener los datos de campo eléctrico y magnético.

Figura 10. **Medición campo eléctrico entrada línea 69 kV**



Fuente: subestación El Milagro.

Figura 11. **Medición campo eléctrico barra 13,8 kV**



Fuente: subestación El Milagro.

Figura 12. **Medición campo magnético salida circuitos 13,8 kV**



Fuente: subestación El Milagro.

Figura 13. **Medición campo magnético colindancia 1 subestación El Milagro**



Fuente: subestación El Milagro.

Figura 14. **Medición campo magnético colindancia 2 subestación El Milagro**



Fuente: subestación El Milagro.

Figura 15. **Medición campo eléctrico colindancia 3 subestación El Milagro**



Fuente: subestación El Milagro.

5.2. **Medición en subestación Santa María Cauqué**

La segunda subestación en la cual se realizaron las mediciones de RNI está ubicada en el departamento de Sacatepéquez, Guatemala. Esta es una subestación de transformación que cuenta con una entrada de línea de 69 kV y 2 salidas de circuitos de 13,8 kV. En el siguiente cuadro se indican las características generales de la subestación:

Tabla XV. **Datos de subestación Santa María Cauqué**

Nombre	Santa María Cauque
Tipo Subestación	Transformación
Nivel de Tensión	69 kV / 13,8 kV
Líneas 69 Kv	1
Circuitos de 13,8 Kv	2
Ubicación	Sacatepéquez

Fuente: Transportista Eléctrica Centroamericana.

5.2.1. Consideraciones antes de las mediciones

Antes de realizar las mediciones se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

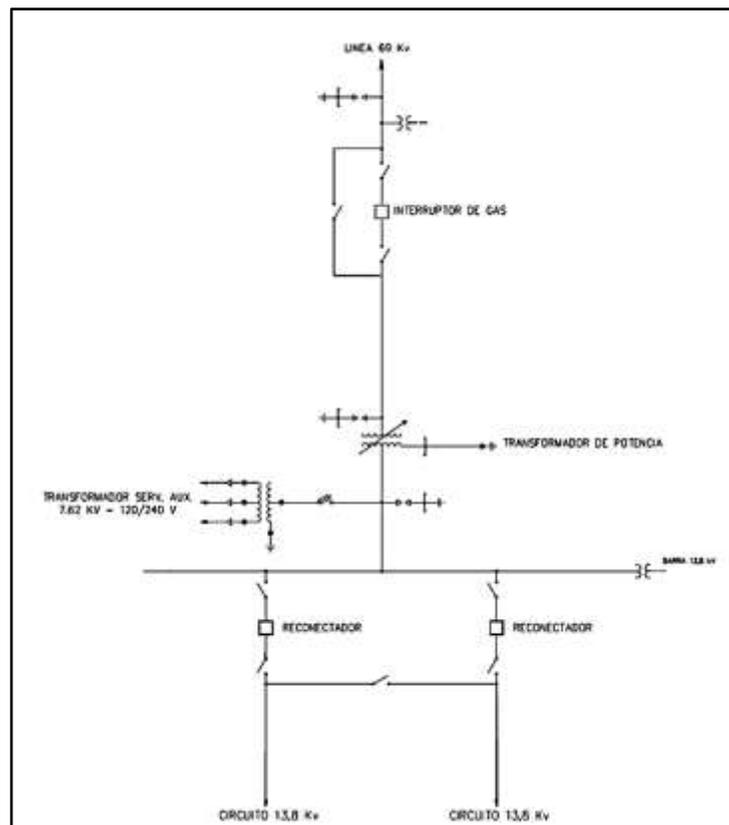
- Ubicación de las coordenadas geográficas mediante un GPS.
- Proceder al encendido del equipo y fijación de las unidades de medición esto es de acuerdo al manual del equipo que se utilizará para dicha medición.
- Realizar la calibración correspondiente del equipo de medición de acuerdo al manual del equipo que se utilizará para dicha medición.
- Medición del campo magnético. Se debe tomar como mínimo un tiempo de 6 minutos por cada punto de medición y las consideraciones anteriormente descritas.

- Después de terminar las mediciones del campo magnético se procede a realizar las mediciones del campo eléctrico y se repiten todos los pasos anteriores.

5.2.2. Diagrama unifilar

A continuación se ilustra el diagrama unifilar de la subestación Santa María Cauqué, el cual fue la segunda subestación donde se hicieron las mediciones.

Figura 16. Diagrama unifilar subestación Santa María Cauqué

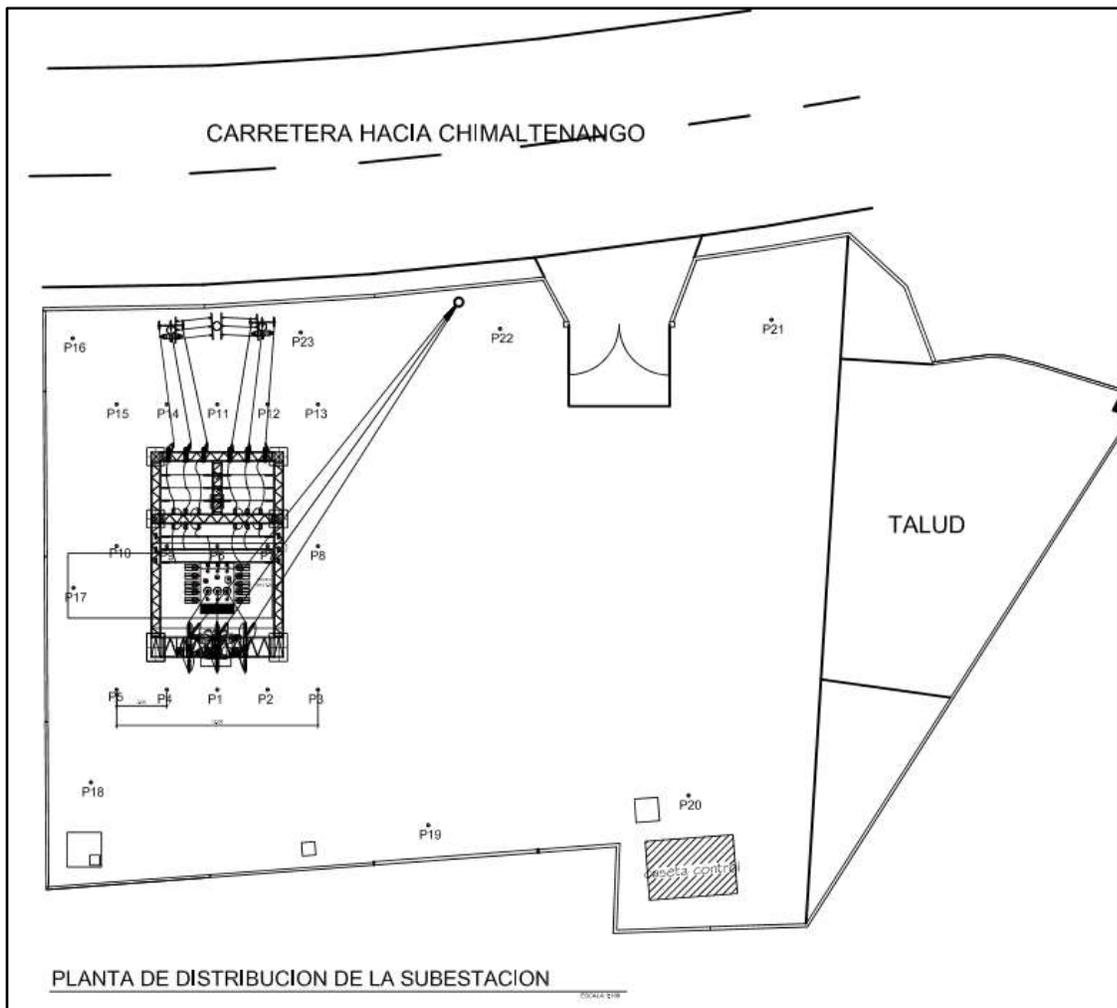


Fuente: Transportista Eléctrica Centroamericana.

5.2.3. Mediciones en subestación Santa María Cauque

Se realizaron un total de 23 puntos de medición internos a la subestación tomando en cuenta todos los pasos y las recomendaciones de la norma. A continuación se indicará en un plano los puntos que se tomaron de referencia para realizar las mediciones tanto de campo eléctrico como magnético.

Figura 17. Puntos de medición subestación Santa María Cauqué



Fuente: Transportista Eléctrica Centroamericana.

La calibración del equipo se realizó en conformidad a lo que indica el manual del mismo. Se realizaron los ajustes y calibraciones tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla XVI. **Datos de calibración del equipo**

Calibración Flujo Magnético	rango de 125 mG a 11,25G
Calibración Campo Eléctrico	desde 1000V/m a 19,15 kV/m

Fuente: elaboración propia.

Seguidamente se procedió a realizar las lecturas de ubicación de la subestación así como datos climatológicos, los cuales se muestran a continuación.

Tabla XVII. **Tabla de datos subestación Santa María Cauqué**

LONGITUD (O)	LATITUD(N)	ALTURA SUBESTACIÓN m.s.n.m	TEMPERATURA °C	FECHA	RANGO DE TENSIÓN EN kV
90° 42" 36´	14° 39" 36´	1 838	18 a 22	05/11/2014	69 / 13,8

Fuente: elaboración propia.

La variación de temperatura en la cual osciló durante el tiempo que duraron las mediciones fue de 4 grados Celsius, en el horario de 8:00 a 16:00 horas.

Después que se tomaron las lecturas que se muestran en la tabla anterior se procedió a realizar las mediciones de campo magnético eléctrico, en los

puntos que se habían definido para realizar dichos muestreos, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla XVIII. Tabla de resultados subestación Santa María Cauqué

PUNTOS DE MEDICIÓN	DISTANCIA MEDICIÓN (metros)	CAMPO ELÉCTRICO (V/m) a 60 Hz	FLUJO DE CAMPO MAGNÉTICO (A/m) a 60 Hz	HORA INICIO	HORA FINALIZACIÓN
P1	0 (Referencia)	335	0,537	8:10	8:14
P2	3 (Derecha)	690	0,481	8:17	8:30
P3	6 (Derecha)	278	0,132	8:35	8:49
P4	3 (Izquierda)	724	0,412	8:51	9:05
P5	6 (Izquierda)	218	0,619	9:07	9:21
P6	0 (Referencia)	537	0,798	9:26	9:41
P7	3 (Izquierda)	423	0,62	9:45	9:59
P8	6 (Izquierda)	312	0,511	10:05	10:18
P9	3 (Derecha)	510	0,532	10:22	10:37
P10	6 (Derecha)	387	0,425	10:41	10:57
P11	0 (Referencia)	427	0,72	11:05	11:20
P12	3 (Izquierda)	415	0,65	11:25	11:39
P13	6 (Izquierda)	397	0,58	11:43	11:58
P14	3 (Derecha)	402	0,63	12:05	12:15
P15	6 (Derecha)	377	0,51	12:20	12:37
P16	Limite Terreno area de la subestación	320	0,52	12:42	12:57

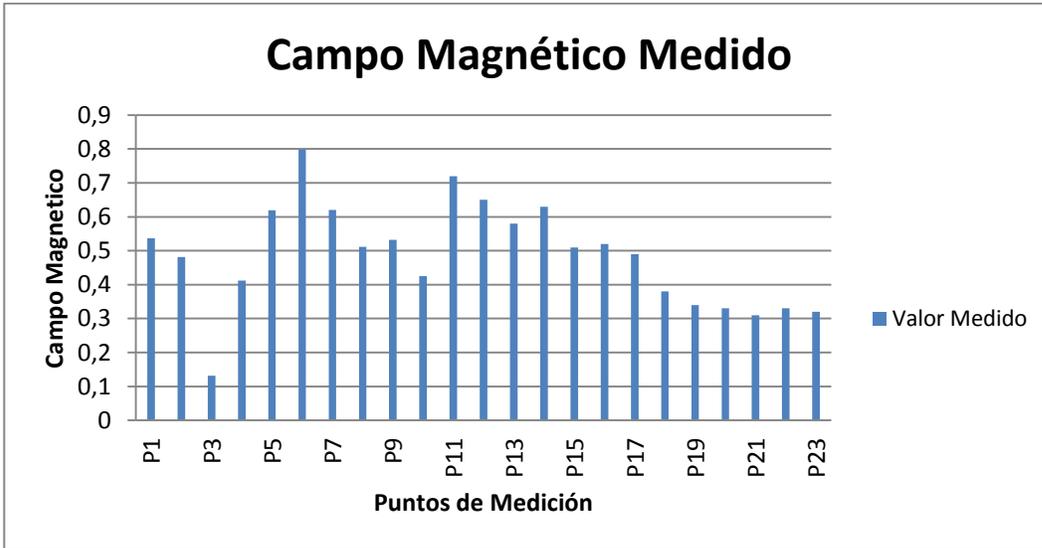
Continuación de la tabla XVIII.

P17	Limite Terreno area de la subestación	462	0,49	13:46	14:01
P18	Limite Terreno area de la subestación	435	0,38	14:07	14:22
P19	Limite Terreno area de la subestación	430	0,34	14:28	14:44
P20	Limite Terreno area de la subestación	412	0,33	14:50	15:05
P21	Limite Terreno area de la subestación	372	0,31	15:08	15:23
P22	Limite Terreno area de la subestación	321	0,33	15:29	15:45
P23	Limite Terreno area de la subestación	530	0,32	15:49	16:02

Fuente: elaboración propia.

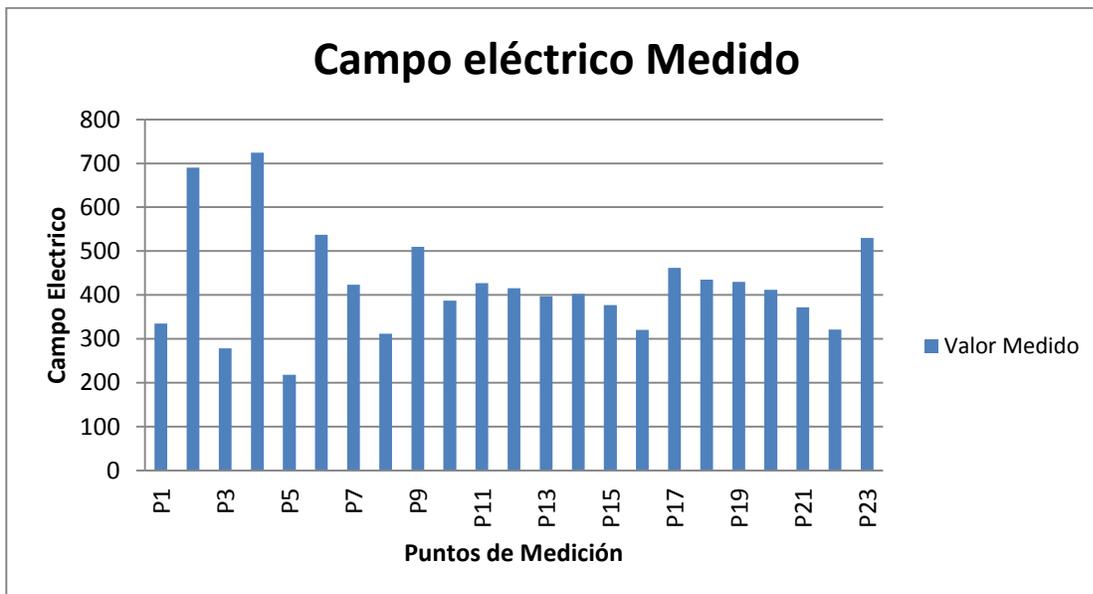
Después que se realizaron las mediciones correspondientes, se procedió a graficar los datos que se obtuvieron en cada punto de medición de la subestación, los cuales se muestran en la siguiente gráfica.

Figura 18. Gráfica de resultados de campo magnético



Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Gráfica de resultados campo eléctrico



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Análisis estadístico de resultados obtenidos del campo magnético**

Media	0,50135
Error típico	0,032156793
Mediana	0,5105
Desviación estándar	0,143809551
Varianza de la muestra	0,020681187
Curtosis	-0,776090699
Coefficiente de asimetría	0,307032045
Rango	0,488
Mínimo	0,31
Máximo	0,798
Suma	10,027
Cuenta	20
Nivel de confianza (95,0 %)	0,067304941

Fuente: elaboración propia.

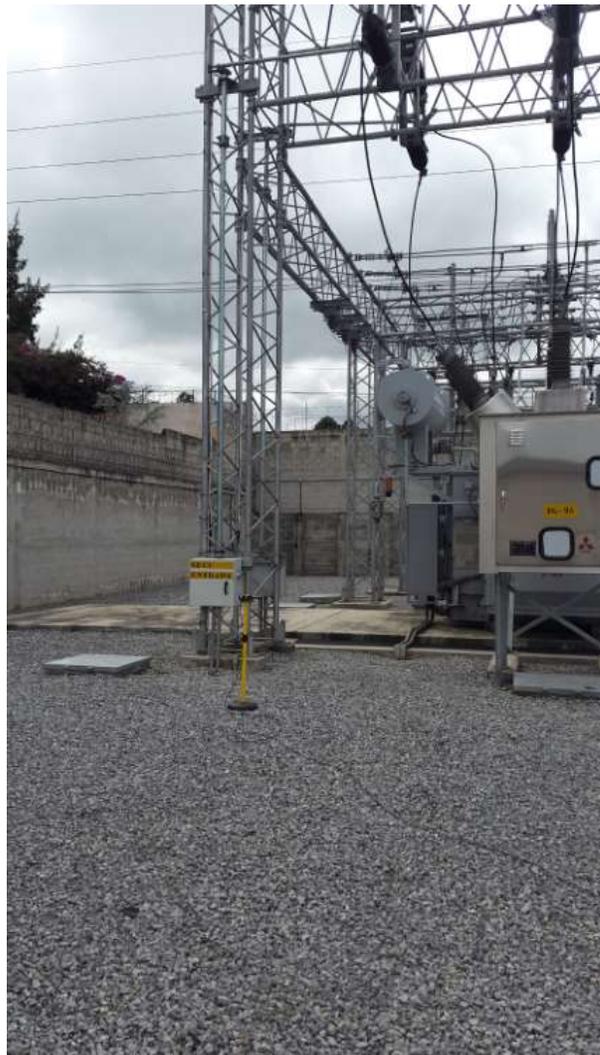
Tabla XX. **Análisis estadístico de resultados obtenidos del campo eléctrico**

Media	426,3181818
Error típico	25,44371484
Mediana	413,5
Desviación estándar	119,3416011
Varianza de la muestra	14242,41775
Curtosis	1,460497434
Coefficiente de asimetría	0,963443859
Rango	506
Mínimo	218
Máximo	724
Suma	9 379
Cuenta	22
Nivel de confianza (95,0 %)	52,91310165

Fuente: elaboración propia.

A continuación se mostrarán imágenes de algunos puntos de medición de campo eléctrico y magnético, que se realizaron dentro de la Subestación Santa María Cauqué:

Figura 20. **Medición campo eléctrico entrada de línea 69 kV**



Fuente: subestación Santa María Cauqué.

Figura 21. **Medición campo magnético p3rtico de entrada 69 kV**



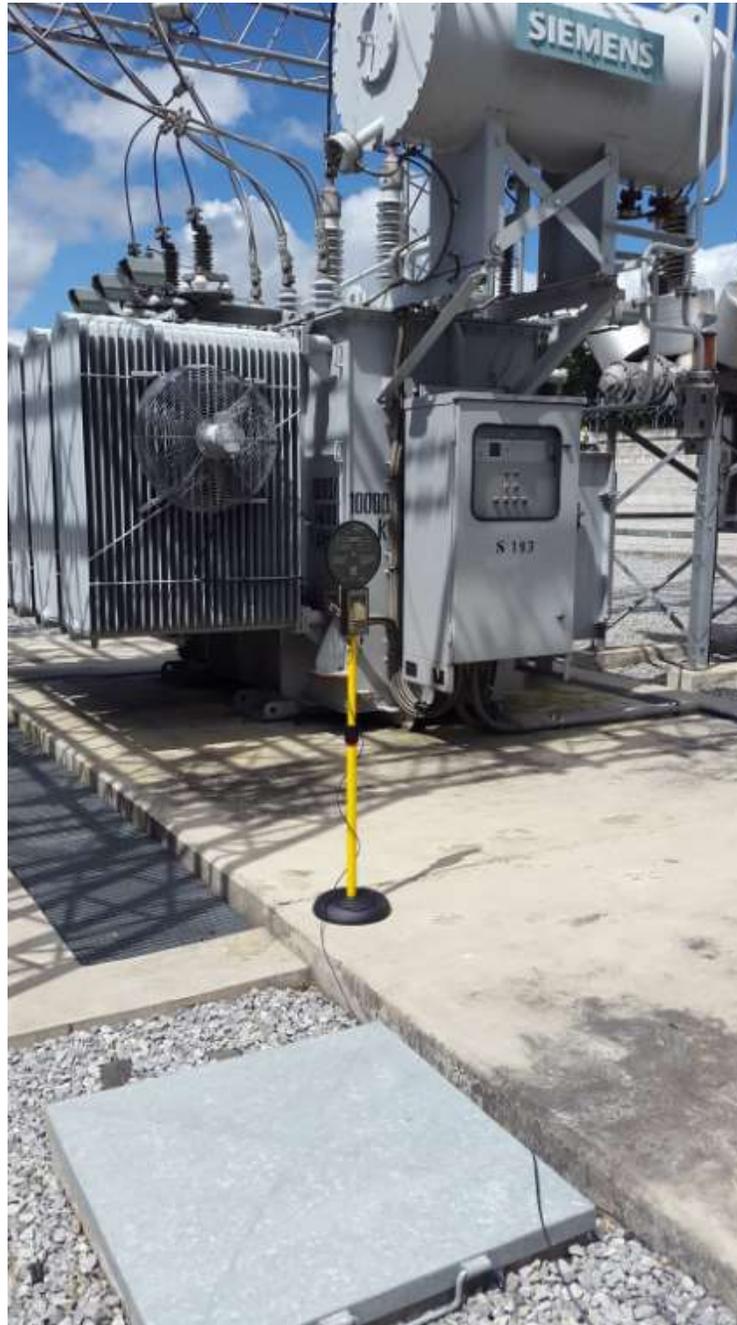
Fuente: subestaci3n Santa Mar3a Cauqu3.

Figura 22. **Medición campo eléctrico barra de 13,8 kV**



Fuente: subestación Santa María Cauqué.

Figura 23. **Medición campo magnético barra 13,8 kV**



Fuente: subestación Santa María Cauqué.

Figura 24. **Medición campo eléctrico salida circuitos 13,8 kV**



Fuente: subestación Santa María Cauqué.

6. RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS EVALUACIONES

Después de realizar las mediciones en la subestación El Milagro y en la subestación Santa María Cauque, se observa que los valores que se obtuvieron durante las mediciones están por debajo de los valores máximos permitidos por las normas ICNIRP y por el acuerdo gubernativo de Guatemala. Dichos valores se presentan a continuación.

Tabla XXI. **Comparación de valores obtenidos para campo eléctrico en subestación El Milagro**

Medición	Campo eléctrico (V/m)	% en relación al valor máximo permitido
Valor Mínimo	0,943	0.023 %
Valor Máximo	540	12.96 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Comparación de valores obtenidos para campo magnético en subestación El Milagro**

Medición	Intensidad Campo Magnético (H/m)	% en relación al valor máximo permitido
Valor Mínimo	0,0124	0.019 %
Valor Máximo	1,43	2.145 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Comparación de valores obtenidos para campo eléctrico en subestación Santa María Cauqué**

Medición	Campo Eléctrico (V/m)	% en relación al valor máximo permitido
Valor Mínimo	218	5.232 %
Valor Máximo	724	17.38 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Comparación de valores obtenidos para campo magnético en subestación Santa María Cauqué**

Medición	Intensidad Campo Magnético (H/m)	% en relación al valor máximo permitido
Valor Mínimo	0,31	0.465 %
Valor Máximo	0,798	1.197 %

Fuente: elaboración propia.

Se ve en estos cuadros que los resultados que se obtuvieron durante las mediciones de campo eléctrico e intensidad de campo magnético, están muy por debajo de los valores límites de exposición recomendados. Los valores se incrementan en las cercanías de los transformadores de potencia y debajo de las barras de 13,8 KV, a medida que se alejan de las fuentes productoras de

campos electromagnéticos, disminuyen los valores de campo eléctrico e intensidad de campo magnético. Cuando se realizaron mediciones en las afueras de la subestación El Milagro estos valores disminuyeron aún más, debido a que las subestaciones eléctricas en todo el perímetro del terreno de la subestación están construidas con un muro perimetral de 4 metros de altura y con malla en la parte superior del mismo y funciona como una barrera para que las radiaciones que se generan dentro de la subestación no salgan de la misma.

CONCLUSIONES

1. Los campos electromagnéticos son campos físicos que se dividen en dos campos, un campo que es eléctrico y otro campo que es magnético.
2. Las radiaciones son una forma de energía que se encuentran presentes en todo al rededor, ya sea de forma natural o de forma artificial, que se dividen en radiaciones ionizantes y radiaciones no ionizantes.
3. El marco regulatorio en Guatemala se establece en el Acuerdo Gubernativo No. 8-2011, en el cual se indican los niveles máximos de exposición ocupacional a los cuales pueden las personas estar sometidas sin que se tenga ningún tipo de peligro.
4. La normativa para la medición del campo eléctrico magnético establece los requisitos y métodos que se deben seguir para la medición de dichos campos. Siguiendo los procedimientos que se establecen en el estándar IEEE 644-1994.
5. Las evaluaciones se realizaron en subestaciones eléctricas de transformación con un nivel de tensión de 69 kV / 13,8 kV.
6. Al realizar las evaluaciones de radiaciones no ionizantes en las subestaciones de El Milagro y Santa María Cauqué se determinó que los valores obtenidos están muy por debajo de los límites máximos permitidos por el Acuerdo Gubernativo No.8-2011.

RECOMENDACIONES

1. El Ministerio de Energía y Minas debe brindar mayor información sobre los tipos de campos electromagnéticos.
2. El Ministerio de Energía y Minas debe brindar mayor información a la población en general sobre la clasificación de las radiaciones.
3. Difundir con periodicidad el marco regulatorio sobre las radiaciones no ionizantes vigente en Guatemala.
4. Dar a conocer las normativas para la medición de campo eléctrico y magnético.
5. Dar el seguimiento adecuado para continuar evaluando los niveles de radiaciones no ionizantes en campo.
6. Analizar las evaluaciones que se realicen para determinar si están dentro de los límites máximos permitidos.

BIBLIOGRAFÍA

1. APONTE, G; et al. *Evaluación del campo magnético al que están expuestos los trabajadores de subestaciones y circuitos energizados de las empresas de energía, empresa de energía del Pacífico SA EPSA E.S.P.* [en línea]. <<http://www.seeds.usp.br/pir/arquivos/congressos/CISEMALIE2005/cittes/transmision/CO%20-%20APONTE%20%20-%20EPSA%20%20CEM%20CACIER.pdf>>. [Consulta 6 de septiembre de 2014].
2. _____. *Medición de campos eléctricos y magnéticos en líneas y subestaciones colombianas.* [en línea]. <<http://www.seeds.usp.br/pir/arquivos/congressos/CISEMALIE2005/cittes/transmision/CO%20-%20APONTE%20%20-%20EPSA%20%20CEM%20CACIER.pdf>>. [Consulta 6 de septiembre de 2014].
3. Ecuador. Ministerio de Ambiente. *Normativas.* [en línea]. <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/278/4/Capitulo2_.pdf>. [Consulta: 22 de agosto de 2014].
4. Guatemala. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. *Reglamento para el establecimiento y control de los límites de radiaciones no ionizantes: Acuerdo Gubernativo 8-2011* [en línea]. <<http://www.mem.gob.gt/rni/acuerdo-gubernativo-no-08-2011/>>. [Consulta 3 de septiembre de 2014].

5. Holaday Industries. *Manual HI-3604*. [en línea]. <<http://www.ets-lindgren.com/manuals/hi-3604.pdf>>. [Consulta: 10 de septiembre de 2014].
6. *Seminario Radiaciones no Ionizantes*. [en línea]. Capítulos 1, 2, 3 y 4. <<http://www.mem.gob.gt/rni/>>. [Consulta: 13 de abril de 2014].
7. VELÁSQUEZ VELÁSQUEZ, Gabriel Armando. *Evaluación, medición y caracterización de las radiaciones no ionizantes en líneas de transmisión de energía eléctrica en los voltajes de 400 kv. en base a la regulación de Guatemala en el departamento de RNI del Ministerio de Energía y Minas*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Electricista. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 128 p.