



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL PROVOCADO  
POR LAS RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI), EN EL SECTOR DE SAN JOSÉ VILLA  
NUEVA, CORRESPONDIENTE AL TRAMO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN NUEVA  
INCIENSO-GUATEMALA SUR 230 KV**

**Luis Alberto Flores Cermeño**

Asesorado por el M.A. Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Saenz

Guatemala, mayo de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL PROVOCADO  
POR LAS RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI), EN EL SECTOR DE SAN JOSÉ VILLA  
NUEVA, CORRESPONDIENTE AL TRAMO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN NUEVA  
INCIENSO-GUATEMALA SUR 230 KV**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LUIS ALBERTO FLORES CERMEÑO**

ASESORADO POR EL M.A. ING. NICOLÁS DE JESÚS GUZMÁN SAENZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, MAYO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|            |  |
|------------|--|
| DECANO     | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco     |
| VOCAL I    | Ing. Angel Roberto Sic García          |
| VOCAL II   | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez |
| VOCAL III  | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa    |
| VOCAL IV   | Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova         |
| VOCAL V    | Br. Henry Fernando Duarte García       |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López      |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|            |                                    |
|------------|------------------------------------|
| DECANO     | Ing. Angel Roberto Sic García      |
| EXAMINADOR | Ing. Julio Rolando Barrios Archila |
| EXAMINADOR | Ing. José Guillermo Bedoya Barrios |
| EXAMINADOR | Ing. Bayron Armando Cuyán Culajay  |
| 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:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL PROVOCADO  
POR LAS RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI), EN EL SECTOR DE SAN JOSÉ VILLA  
NUEVA, CORRESPONDIENTE AL TRAMO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN NUEVA  
INCIENSO-GUATEMALA SUR 230 KV**

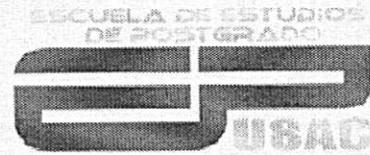
Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 30 de marzo de 2016.

**Luis Alberto Flores Cermeño**



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226



ADSE-MEAPP-016-2015

Guatemala, 04 de abril de 2016.

Director  
José Francisco González López  
Escuela de Ingeniería Eléctrica  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del (la) estudiante **Luis Alberto Flores Cermeño** carné número **2008-19114**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Energía y Ambiente**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

**MSc. Nicolás Guzmán**  
Ingeniería civil y Sanitaria, Col. 4540

*"Id y Enseñad a Todos"*

**Ing. Juan C. Fuentes M.**  
M.Sc. Hidrología  
Colegiado No. 2,504

MA. Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Saenz  
Asesor (a)

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M.  
Coordinador de Área  
Desarrollo social y energético

MSc. Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo  
/la



REF. EIME 42. 2016.  
Guatemala, 28 de ABRIL 2016.

FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística de su Proyecto de Graduación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL PROVOCADO POR LAS RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI), EN EL SECTOR DE SAN JOSÉ VILLA, CORRESPONDIENTE AL TRAMO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN NUEVA INCIENSO - GUATEMALA SUR 230 KV**, presentado por el estudiante universitario Luis Alberto Flores Cermeño, considerando que el protocolo es viable para realizar el Diseño de Investigación procedo aprobarlo, ya que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ingeniería.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

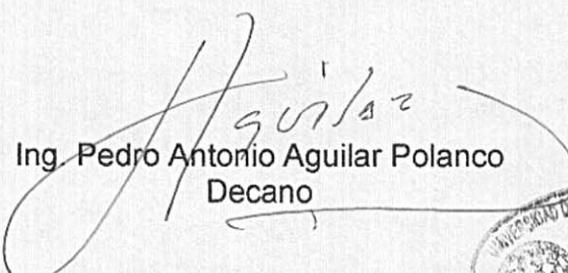
Ing. Francisco Javier González López  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

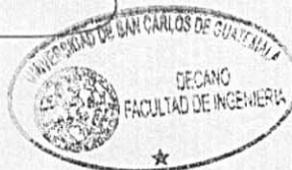




El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL PROVOCADO POR LAS RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI), EN EL SECTOR DE SAN JOSÉ VILLA NUEVA, CORRESPONDIENTE AL TRAMO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN NUEVA INCIENSO-GUATEMALA SUR 230 KV**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Alberto Flores Cermeño**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, mayo de 2016

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por su amor incondicional, misericordia y hacer su voluntad en mi vida.
- Mis padres** Edgar Flores y Zilda Cermeño de Flores, por el sacrificio y esmero para hacer este sueño realidad.
- Mis hermanos** Edgar Ricardo y William Eduardo Flores Cermeño, por el cariño, apoyo y consejo que siempre me han dado.
- Mis amigos** Por todos los momentos, experiencias y triunfos compartidos en cada etapa de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

|   |   |
|---|---|
| <b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>   | Por ser la casa de estudios que me permitió formarme como profesional.                                |
| <b>Facultad de Ingeniería</b>                   | Por ser el camino para alcanzar el éxito.   |
| <b>Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica</b> | Por brindarme todos los conocimientos técnicos y científicos.   |
| <b>Mis padrinos</b>                             | Ing. Ricardo Méndez y Licda. Edna Nohemí Yac, por ser una constante fuente de inspiración en mi vida. |
| <b>Mi asesor</b>                                | M.A. Ing. Nicolás Guzmán, por todo el apoyo brindado en la realización de este documento.             |
| <b>En general</b>                               | A todas aquellas personas que se esfuerzan y esmeran para que cada día sea el mejor.                  |

## ÍNDICE GENERAL

|  |     |
|--|-----|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....   | V   |
| GLOSARIO .....   | VII |
| RESUMEN.....   | IX  |
| INTRODUCCIÓN .....   | XI  |
| <br>   |     |
| 1. ANTECEDENTES .....  | 1   |
| <br>   |     |
| 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....  | 5   |
| 2.1. Descripción del problema .....  | 5   |
| <br>   |     |
| 3. JUSTIFICACIÓN .....   | 7   |
| <br>   |     |
| 4. OBJETIVOS .....   | 9   |
| <br>   |     |
| 5. ALCANCE .....   | 11  |
| 5.1. Límites.....  | 12  |
| <br>   |     |
| 6. MARCO TEÓRICO.....  | 13  |
| 6.1. Origen de los campos electromagnéticos y fuentes<br>artificiales de ELF ..... | 13  |
| 6.1.1. Campo eléctrico.....  | 13  |
| 6.1.2. Campo magnético.....  | 14  |
| 6.2. Espectro electromagnético en líneas de transmisión .....                      | 15  |
| 6.2.1. Radiación ionizante .....   | 16  |
| 6.2.2. Radiación no ionizante (RNI).....   | 16  |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 6.3.     | Marco regulatorio .....   | 17 |
| 6.3.1.   | Marco normativo.....  | 17 |
| 6.3.2.   | Código de Salud.....  | 18 |
| 6.3.3.   | Organizaciones internacionales .....  | 18 |
| 6.4.     | Equipo de medición de las RNI .....   | 20 |
| 6.5.     | Procedimientos de medición de campo eléctrico y magnético.....                      | 21 |
| 6.6.     | Fenómenos físicos .....   | 23 |
| 6.6.1.   | Efecto Ferranti.....  | 23 |
| 6.6.2.   | Efecto Corona .....   | 24 |
| 6.7.     | Efectos en el ambiente por el campo eléctrico y magnético.....                      | 25 |
| 6.8.     | Criterios generales para limitar la exposición del campo eléctrico y magnético..... | 26 |
| 6.9.     | Límites en líneas aéreas de alta tensión .....                                      | 27 |
| 6.10.    | Límites generales al campo eléctrico y magnético.....                               | 28 |
| 7.       | CONTENIDO DEL INFORME .....   | 29 |
| 8.       | METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....   | 31 |
| 8.1.     | Tipo de investigación.....  | 31 |
| 8.2.     | Definición de variables .....   | 31 |
| 8.3.     | Fases de la investigación .....   | 32 |
| 8.3.1.   | Primera fase .....  | 33 |
| 8.3.2.   | Segunda fase .....  | 33 |
| 8.3.2.1. | Evaluación del impacto ambiental .....  | 34 |
| 8.3.2.2. | Medición de campos electromagnéticos .....  | 34 |
| 8.3.3.   | Tercera fase .....  | 34 |
| 8.3.4.   | Cuarta fase.....  | 35 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 8.3.5. | Quinta fase .....  | 36 |
| 9.     | TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....   | 37 |
| 9.1.   | Análisis descriptivo .....   | 37 |
| 9.2.   | Media (promedio) .....   | 37 |
| 9.3.   | Mediana.....   | 38 |
| 9.4.   | Desviación estándar .....  | 38 |
| 9.5.   | Varianza .....   | 39 |
| 9.6.   | Análisis de correlación de datos .....   | 39 |
| 9.7.   | Límites de exposición .....  | 40 |
| 9.8.   | Criterios a utilizarse para la interpretación de los valores<br>establecidos como límites..... | 40 |
| 10.    | CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....  | 43 |
| 11.    | RECURSOS .....   | 45 |
| 12.    | BIBLIOGRAFÍA .....   | 47 |



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

|    |                                 |    |
|----|---------------------------------|----|
| 1. | Espectro electromagnético ..... | 15 |
| 2. | Cronograma .....                | 43 |

### TABLAS

|      |   |    |
|------|---|----|
| I.   | Campo electromagnético en la línea de transmisión .....                                 | 33 |
| II.  | Datos de monitoreo .....  | 35 |
| III. | Tabla de resultados .....   | 35 |
| IV.  | Niveles de referencia para exposición laboral o campos eléctricos y<br>magnéticos ..... | 40 |
| V.   | Recursos del proyecto .....   | 45 |



## GLOSARIO

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>AC</b>             | Corriente alterna.  |
| <b>CEM</b>            | Campos electromagnéticos.   |
| <b>Concyt</b>         | Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.   |
| <b>Derecho de vía</b> | Franja de terreno ubicada a lo largo de cada línea eléctrica, la cual coincide con el trazo topográfico de la línea y puede variar de acuerdo con la topología de la línea. |
| <b>Fonacyt</b>        | Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología.   |
| <b>ICNIRP</b>         | Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizantes.   |
| <b>IEEE</b>           | Institute of Electrical and Electronics Engineers.  |
| <b>IRPA</b>           | Asociación Internacional para la Protección contra la Radiación.  |
| <b>INIRC</b>          | Comité Internacional para las Radiaciones No Ionizantes.  |

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>Longitud de onda</b> | Representa la distancia entre dos valles o crestas en una onda completa.    |
| <b>MEM</b>              | Ministerio de Energía y Minas.  |
| <b>NTP</b>              | Nota Técnica de Prevención.   |
| <b>NTDROID</b>          | Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución. |
| <b>OMS</b>              | Organización Mundial de la Salud.   |
| <b>ONG</b>              | Organización No Gubernamental.  |
| <b>RNI</b>              | Radiación No Ionizante.   |
| <b>Senacyt</b>          | Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología.                                |
| <b>SAR</b>              | Índice de Absorción Específica de Energía.                                  |
| <b>UNEP</b>             | Programa de Naciones Unidas para el Ambiente.                               |

## RESUMEN

En Guatemala, el continuo aumento de la población ha generado una creciente demanda de energía eléctrica, y con ello, la obligación de construir redes más robustas para satisfacer esta demanda; como consecuencia de esto, existe una constante interacción entre la población y las estructuras de alta tensión en diferentes puntos del país.

Comprendiendo que se está expuesto a radiaciones constantemente como producto de esta interacción, en los últimos años se ha manifestado una gran preocupación social respecto a los posibles efectos que estas tienen sobre el medio ambiente; ya que, las radiaciones electromagnéticas o radiaciones no ionizantes no poseen la suficiente frecuencia de oscilación y potencia para extraer electrones.

Es por ello, que este estudio surge debido a la necesidad de evaluar el impacto ambiental provocado por una línea de transmisión, así como de los niveles de campos electromagnéticos presentes en el derecho de vía de las líneas de transmisión.

Como se trata de instalaciones lineales, los impactos de las líneas de transmisión ocurren, principalmente, dentro o cerca del derecho de vía, cuando es mayor el voltaje de la línea, se aumenta la magnitud e importancia de los mismos.

Por tanto, la principal razón de esta investigación es formar una base teórica y práctica, la cual permita evaluar el impacto ambiental provocado por

las radiaciones no ionizantes (RNI), en el sector de San José Villa Nueva, correspondiente al tramo de la línea de transmisión nueva Incienso-Guatemala Sur 230 kV, esto con el fin de aportar propuestas concretas que sirvan como punto de partida para nuevas investigaciones que contribuyan a minorar los impactos que estas producen en su entorno, y beneficien a la sociedad como al bienestar ambiental del país.

## INTRODUCCIÓN

Las radiaciones no ionizantes engloban todas las radiaciones y los campos del espectro electromagnético que no tienen suficiente energía para ionizar la materia. Dentro de los campos electromagnéticos se pueden distinguir aquellos generados por las líneas de transmisión de alta tensión o por campos eléctricos estáticos, las ondas de radiofrecuencia utilizadas por las estaciones de radio en sus transmisiones y las microondas utilizadas en electrodomésticos, y en el área de las telecomunicaciones llegan a ser un ejemplo de ello. Comprendiendo que se está expuesto a estas radiaciones constantemente, en los últimos años se ha manifestado una gran preocupación social respecto a los posibles efectos que estas tienen sobre el medio ambiente; ya que, las radiaciones electromagnéticas no poseen la suficiente frecuencia de oscilación y potencia para extraer electrones.

En Guatemala, el continuo aumento de la población ha generado una creciente demanda de energía eléctrica, y con ello, la obligación de construir redes más robustas para satisfacer esta demanda; como consecuencia de esto, las áreas de derecho de vía o de paso de las líneas de transmisión son mayores, ya que interactúan con la sociedad o sectores de la población en diferentes puntos del país. Por tal razón, un factor a tomar en cuenta es la sobrepoblación, dado que esto obliga a las personas de diversos sectores a invadir o habitar en cercanías o lugares donde los derechos de paso de las líneas son violados y las libranzas de seguridad infringidas, atentando con la vida de los pobladores o personas aledañas a las estructuras de alta tensión.

Dentro de los Acuerdos Gubernativos, el Decreto No. 08-2011 y 313-2011, posee *Reglamento para el Establecimiento y Control de los Límites de Radiaciones No Ionizantes y sus Reformas*, este sirve de base para el control de los niveles de las RNI, en Guatemala. Cabe destacar que los límites de RNI son los establecidos por la OMS, los cuales son utilizados como plataforma en las normativas de control de más de 30 países, según el Código de Salud Decreto No. 90-97, artículo 209.

En el primer capítulo, se desarrolla una descripción sobre la radiación electromagnética y campos electromagnéticos; comprendiendo su interpretación, origen, comportamiento, marco normativo, entes reguladores y métodos de medición; esto con el fin de poseer una amplia perspectiva, y así establecer y determinar el impacto ambiental que estas generan.

En el segundo capítulo, se analiza e interpreta la exposición a los campos electromagnéticos comprendiendo fenómenos físicos y criterios necesarios para limitar la exposición a los mismos; este será basado en una comparación de una línea de transmisión con otra línea de transmisión de topológica parecida, lo cual permitirá estudiar el impacto ambiental que cada una de las mismas provoca.

Y en el tercer capítulo, se realiza la interpretación y análisis de resultados, lo cual permite establecer soluciones, propuestas de mitigación y reducción del impacto ambiental provocado por las RNI en el derecho de paso de una línea de transmisión.

## 1. ANTECEDENTES

En Guatemala, se han realizado escasas investigaciones sobre las radiaciones no ionizantes generadas por las líneas de transmisión.

Sin embargo, una de ellas es el “Informe del estudio de los niveles estimados de radiación no ionizante RNI en la subestación Guate-Oeste”, Puente, Gonzáles & Kanell (2012), donde los expertos de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizaron mediciones a las RNI emitidas por las líneas de transmisión de 230 kV, 69 kV y por las subestaciones Escuintla II y Guate Este.

Posteriormente, se obtuvieron resultados donde se demostró que los niveles de RNI que emiten las subestaciones Escuintla II, Guate Este y las líneas de transmisión en donde se realizaron las mediciones, cumplen con las leyes, normas legales y de salud establecidas en Guatemala. Un claro aporte de esta investigación fue la constatación que en los puntos de medición, se cumple con un amplio margen de seguridad, en relación a los niveles máximos de RNI para la población en general.

Otras investigaciones realizadas son parte del trabajo de graduación de tres estudiantes de la Escuela de Mecánica Eléctrica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La primera investigación realizada como trabajo de graduación es el *Estudio de radiación por campos electromagnéticos dentro del área de derecho de vía de las líneas de transmisión eléctrica en el departamento de Guatemala,*

Fuentes (2005), la cual da a conocer que los niveles máximos para campo eléctrico y magnético, medidos en el área de derecho de vía de las líneas de transmisión, no superan las recomendaciones establecidas para seguridad del público en general y trabajadores ocupacionales en los circuitos de la línea de Escuintla a Guatemala Sur, en los circuitos de 138 kV para la línea de Jurún Marinalá a Guatemala Sur y en el circuito de 69 kV para la línea de Guatemala Sur-Guadalupe 1.

La segunda de ellas es la investigación *Evaluación, medición y caracterización de las Radiaciones No Ionizantes en líneas de transmisión de energía eléctrica en los voltajes de 400 kV. Con base en la regulación de Guatemala en el Departamento de RNI del Ministerio de Energía y Minas*, Velásquez (2013), la cual da a conocer el primer estudio en Guatemala de Radiaciones No Ionizantes en líneas de transmisión de 400 kV, específicamente en la Interconexión de Guatemala con México; dicho estudio fue respaldado por la Universidad de San Carlos de Guatemala y la Dirección General de Energía, del Ministerio de Energía y Minas, mismo que dio a conocer que al medir las radiaciones no ionizantes en la línea de transmisión de 400 kV en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango y Retalhuleu, se cumple con los límites del Reglamento para el Establecimiento y Control de los Límites de Radiaciones No Ionizantes y sus Reformas (Acuerdos Gubernativos No. 008-2011 y No. 313-2011).

El tercer trabajo de graduación, es la investigación *Evaluación de los niveles de radiaciones no ionizantes en sistemas de transformación de distribución en media tensión*, Martínez (2015), la cual da a conocer un estudio sobre los niveles de las radiaciones no ionizantes en sistemas de transformación de media tensión, para el cual 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, esto con el fin de evaluar si los niveles que se presentaban eran mayores a los que se recomiendan en el Acuerdo Gubernativo 8-2011 de Guatemala y las Normas ICNIRP.

Finalmente, como punto de partida y base fundamental para las investigaciones anteriormente descritas, es la investigación *Determinación de los niveles de exposición poblacional a las radiaciones no ionizantes en líneas de conducción de energía eléctrica en la ciudad de Guatemala*, Gutiérrez (2007), misma apoyada por el Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (Concyt), Secretaria Nacional de Ciencias y Tecnología (Senacyt), Fondo Nacional de Ciencias y Tecnología (Fonacyt) y la Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas; la cual tuvo como propósito determinar los niveles de exposición poblacional a radiaciones no ionizantes emitidas por las líneas de transmisión eléctrica de alto voltaje en el rango de frecuencia de los 60 Hertzios.

Esto como parte de las medidas de prevención y de investigación, necesarios para dar cumplimiento a lo dispuesto en el Acuerdo Gubernativo 90-97, Código de Salud, relativo a la fijación de los límites máximos permisibles que debe realizar el Ministerio de Energía y Minas, a través de su dependencia competente que es la Dirección General de Energía, en función de proteger a la población de Guatemala a la exposición a radiaciones no ionizantes.



## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1. Descripción del problema**

En los últimos años las redes de energía eléctrica en Guatemala se han expandido considerablemente, aunado a ello, se encuentra el potente crecimiento poblacional de los sectores que poseen escasos recursos, dando como resultado un hacinamiento poblacional, donde los residentes de estas áreas precarias se ven en la necesidad de interactuar con líneas de transmisión, infringiendo así las libranzas o distancias mínimas de seguridad, atentando con la vida de los pobladores o personas aledañas a las estructuras de alta tensión.

Es por ello, que se plantea la interrogante ¿Qué impacto podría producirse en el medio ambiente, provocado por una línea de transmisión y sus radiaciones no ionizantes?, esto debido a la interacción constante del entorno social y ambiental con las líneas de transmisión en operación y emitiendo radiaciones no ionizantes, las cuales irrumpen en distintos componentes ambientales tales como el aire, agua, suelo, geomorfología, fauna, flora, vegetación, entre otros.

Es importante evaluar el impacto ambiental que una línea de transmisión puede provocar y sus consecuencias en la matriz energética, para con ello generar propuestas que mitiguen las afecciones en los diferentes elementos ambientales y proponer métodos de compensación ambiental.

¿Puede evaluarse el impacto ambiental provocado por las radiaciones no ionizantes (RNI), en el sector de San José Villa Nueva, correspondiente al tramo de línea de transmisión nueva Incienso–Guatemala Sur 230 kV.? Para responder esta interrogante es necesario investigar sobre el impacto y los efectos provocados por la construcción de una línea de transmisión de tan alta tensión, así como de sus radiaciones no ionizantes.

Con la finalidad de ofrecer una respuesta a la interrogante principal, se elaboran cinco preguntas secundarias básicas:

- ¿Podrían establecerse los componentes aire, agua, suelo, geomorfología, fauna, flora, vegetación, entre otros, afectados por la construcción y las radiaciones no ionizantes (RNI) irradiadas en una línea de transmisión en operación?
- ¿Pueden evaluarse los niveles de radiación no ionizante en el derecho de vía de una línea de transmisión y basarse en una nota técnica de prevención (NTP)?
- ¿Es posible y necesario evaluar propuestas de mitigación para disminuir el impacto ambiental producido en una línea de transmisión de 230 kV?
- ¿Es posible medir el efecto de las radiaciones no ionizantes en el derecho de vía de una línea de transmisión?
- ¿Las mediciones de radiación no ionizante en la línea de transmisión cumplirán con los parámetros establecidos en las NTP?

### **3. JUSTIFICACIÓN**

La presente investigación se realizará en función a la línea de investigación de la Maestría en Energía y Ambiente de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Universidad de San Carlos de Guatemala, la cual está basada en la gestión y políticas energéticas ambientales, contemplando la evaluación de impactos ambientales en el sector energético y aspectos institucionales y legales, como la elaboración de proyectos energéticos y manejo ambiental en el sector energético.

El estudio surge debido a la necesidad de evaluar el impacto ambiental provocado por una línea de transmisión, así como de los niveles de campos electromagnéticos presentes en el derecho de vía de las líneas de transmisión; la principal razón de esta investigación es formar una base teórica y práctica, la cual permita evaluar el impacto ambiental provocado por las radiaciones no ionizantes (RNI), en el sector de San José Villa Nueva, correspondiente al tramo de la línea de transmisión nueva Incienso-Guatemala Sur 230 kV, esto con el fin de aportar propuestas concretas que sirvan como punto de partida para nuevas investigaciones que contribuyan a minorar los impactos que estas producen en su entorno y beneficien a la sociedad como al bienestar ambiental del país.

Se dice que existe un impacto ambiental, cuando una acción o actividad produce una alteración, favorable o desfavorable, en el medio o en alguno de los componentes del mismo, por ello se debe tener en mente que las líneas de transmisión eléctrica son instalaciones lineales que afectan los recursos naturales y socioculturales.

Como se trata de instalaciones lineales, los impactos de las líneas de transmisión ocurren, principalmente, dentro o cerca del derecho de vía, cuando es mayor el voltaje de la línea se aumenta la magnitud e importancia de los impactos, y se necesitan estructuras de soporte y derechos de vía cada vez más grandes, aumentando a la vez los impactos operacionales; por tales motivos la Organización Mundial de la Salud (OMS), ha comisionado a instituciones de renombre internacional como lo es la Comisión Internacional para la Protección ante Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), para que realice investigaciones sobre el impacto que tienen las radiaciones no ionizantes (RNI).

En Guatemala, se encuentra vigente el *Reglamento para el Establecimiento y Control de los Límites de Radiaciones No Ionizantes*, el cual sirve de base para el control de los niveles de las RNI en el país, por lo tanto, es de suma importancia el analizar y estudiar este tipo de impactos producidos por las líneas de transmisión en operación como al momento de su construcción.

## **4. OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar el impacto ambiental provocado por las radiaciones no ionizantes (RNI), en el sector de San José Villa Nueva, correspondiente al tramo de la línea de transmisión nueva Incienso-Guatemala Sur 230 kV.

### **Específicos**

1. Establecer los componentes ambientales afectados por la construcción, operación y mantenimiento de una línea de transmisión de 230 kV en el sector de San José Villa Nueva.
2. Evaluar los niveles de radiación no ionizante en el derecho de vía de la línea de transmisión, basados en la NTP 698: Campos electromagnéticos entre 0 Hz y 300 GHz, criterios ICNIRP para valorar la exposición laboral.
3. Diseñar medidas de mitigación y reducción del impacto ambiental provocado por la construcción, operación y mantenimiento de una línea de transmisión de 230 kV.



## 5. ALCANCE

La perspectiva en esta investigación se basa en una metodología con un enfoque descriptivo cuantitativo, a través de la cual permitirá de forma experimental evaluar el impacto ambiental provocado por las Radiaciones No Ionizantes (RNI), correspondiente al tramo de la línea de transmisión nueva Incienso-Guatemala Sur 230 kV, concretando resultados tales como:

- Ser una base teórica para el futuro análisis de fenómenos electromagnéticos en una línea de transmisión de alta y extra alta tensión.
- Conocer el impacto y las consecuencias que provocan las RNI irradiadas por una línea de transmisión de 230 kv, en un entorno social y ambiental.
- Comprender los diferentes componentes ambientales afectados por la constante emisión de RNI.
- Evaluar el deterioro provocado al medio ambiente por las RNI en una línea de transmisión, desde su construcción hasta su puesta en operación.
- La creación de propuestas para minimizar los impactos provocados por las RNI.
- Ser un punto de partida teórico para la mitigación de impactos ambientales al construir y operar una línea de transmisión.

La investigación pretende impactar en los ámbitos: académico, comercial, social, profesional, municipal y organizaciones no gubernamentales como se detalla a continuación:

- Habitantes de San José Villa Nueva

- Poblaciones invasivas rurales
- Estudiantes de universidades de Guatemala
- Ingenieros electricistas y otros profesionales
- Municipalidades departamentales
- Proyectos de inversión privados
- ONG con proyectos de inversión de electrificación

Empresas públicas o privadas dedicadas a la comercialización y transporte de energía.

Esto con el fin de que los resultados obtenidos serán de interés investigativo para profesionales y estudiantes, especialmente ingenieros electricistas y empresas dedicadas al mantenimiento y construcción de líneas.

### **5.1. Límites**

- La investigación abarca únicamente el sector de San José Villa Nueva correspondiente al tramo de línea en estudio.
- La investigación analizará los componentes ambientales tales como el aire, agua, suelo, geomorfología, fauna, flora y vegetación.

## **6. MARCO TEÓRICO**

### **6.1. Origen de los campos electromagnéticos y fuentes artificiales de ELF**

A la radiación emitida a baja frecuencia se le ha denominado como campos electromagnéticos. Su fuente radica en la existencia de fuerzas de campo de origen natural presentes en el medio ambiente y de origen artificial, tales como los originados en las líneas de transmisión de alta tensión.

Los campos electromagnéticos presentes en el medio ambiente o de origen natural son producidos por la acumulación de cargas en algunas zonas de la atmósfera; esto como consecuencia de las tormentas eléctricas. Por otro lado el planeta Tierra se encuentra rodeado de un campo magnético debido a sus polos (norte y sur) de  $50 \mu\text{T}$ , junto con un campo eléctrico estático de más o menos  $120 \text{ V/m}$ .

Los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja son los que abarcan un intervalo de frecuencias por encima al de los campos estáticos, es decir mayores a  $0 (>0 \text{ Hz})$ , hasta los  $300 \text{ Hz}$ .

#### **6.1.1. Campo eléctrico**

Un campo eléctrico se puede definir como un campo de fuerza que es creado por la repulsión o atracción de cargas eléctricas, estos campos eléctricos son generados por una diferencia de potencial independientemente si fluye corriente eléctrica o no. Por tanto, el campo eléctrico será más intenso

cuando mayor sea la diferencia de potencial y menor sea la distancia a la fuente de generación.

Los campos eléctricos estáticos son generados por cargas eléctricas fijas en el espacio, los cuales son medidos en voltios por metro (V/m), estos son conocidos también como campos electrostáticos debido a que no varían con respecto al tiempo, es decir que poseen una frecuencia de 0 Hz.

Los campos eléctricos pueden ser originados por cargas eléctricas, así como por campos magnéticos variables.

### **6.1.2. Campo magnético**

Un campo magnético se puede definir como un campo de fuerza creado como resultado del movimiento de cargas eléctricas, es decir, cuando fluye una corriente eléctrica, por tanto este flujo decrece con la distancia a la fuente que provoca el campo y aumenta en función de la intensidad de la corriente eléctrica, variando con el consumo de energía.

La fuerza, también llamada intensidad o corriente de un campo magnético es medida en Gauss (G) o Teslas (T).

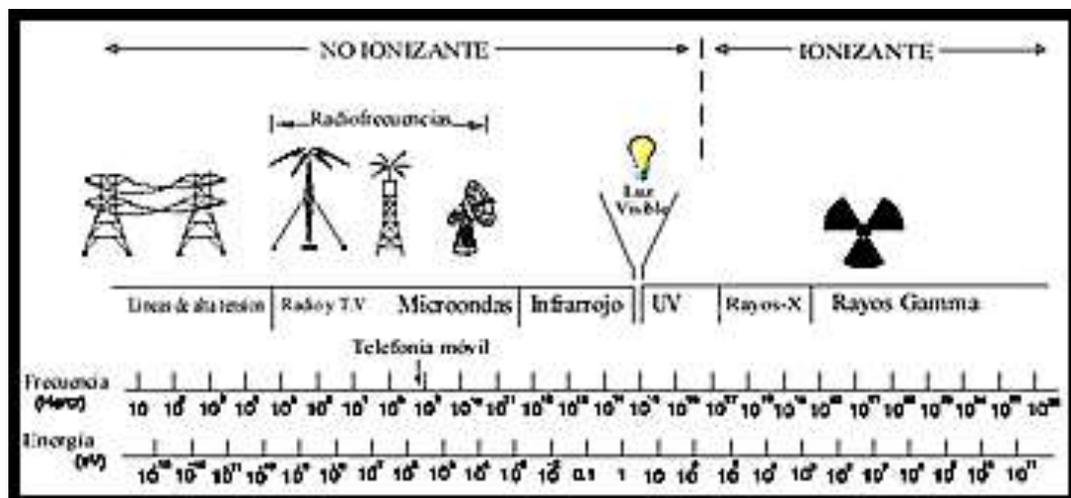
Los campos magnéticos estáticos son campos que no varían con respecto al tiempo, es decir que poseen una frecuencia de 0 Hz, estos campos pueden ser generados por un imán o por un flujo constante de electricidad.

## 6.2. Espectro electromagnético en líneas de transmisión

El espectro electromagnético es la distribución energética del conjunto de ondas electromagnéticas, las cuales tienen un espectro de emisión, está conformado por toda la gama de frecuencias, es decir desde las frecuencias con menor longitud de onda como los rayos gamma y rayos X, hasta los de mayor longitud de onda como las ondas de radio.

Este se puede dividir según la frecuencia y energía de las ondas electromagnéticas, el espectro electromagnético está formado por dos regiones de radiación, las cuales son la región no ionizante y la región ionizante.

Figura 1. Espectro electromagnético



Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MEM).

### **6.2.1. Radiación ionizante**

La radiación es toda la energía que es propagada en forma de ondas o partículas; un ejemplo de ella son las ondas radioeléctricas, la luz, el calor, microondas, entre otras.

La radiación ionizante es aquella radiación con la capacidad de desplazar los electrones de los átomos del material al que atraviesa, es decir produce partículas eléctricamente cargadas o iones, a esta colisión entre radiación ionizante y materia, que crea una transferencia de energía que libera al electrón de su átomo se le conoce como ionización.

La radiación ionizante puede producir reacciones químicas en los tejidos vivos, generando cambios en las células, provocando importantes daños en la piel o en los tejidos.

### **6.2.2. Radiación no ionizante (RNI)**

La RNI se puede definir como ondas de radiación de baja energía, es decir, como su nombre lo indica, son ondas que no tienen la capacidad de ionizar la materia o la capacidad de desplazar electrones de los átomos del material al que atraviesan.

Las RNI pueden dividirse en dos grupos, los cuales son las radiaciones electromagnéticas, al cual pertenecen las radiaciones generadas por líneas de corriente eléctrica (transmisión/distribución) o por campos eléctricos estáticos y las radiaciones ópticas, al cual pertenecen los rayos infrarrojos, la luz visible, y la radiación ultravioleta.

### **6.3. Marco regulatorio**

Hoy en día existen normas técnicas, organismos internacionales, entre otros entes que regulan la exposición a campos eléctricos y magnéticos, mismos que han sido creados por organismos competentes y con un adecuado soporte científico.

#### **6.3.1. Marco normativo**

Ya son varios los organismos nacionales e internacionales que han formulado directrices con un importante soporte científico y de investigación, para el establecimiento de límites de exposición a campos electromagnéticos (CEM) en el trabajo y en los lugares de residencia.

La Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizantes (ICNIRP) fue la encargada de establecer límites de exposición a CEM, esta es una organización no gubernamental reconocida de forma oficial por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

El Proyecto Internacional CEM ha compilado una base de datos y normas de todo el mundo que limitan la exposición a CEM, es por ello que la OMS ha iniciado un proceso de armonización en todo el mundo de las normas sobre campos electromagnéticos y la Unión Europea, siguiendo el consejo del Comité Científico Director, se basó en ICNIRP para elaborar la Recomendación del Consejo Europeo relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos de 0 Hz a 300 GHz (Velásquez, 2013, p. 20).

En el 2011, se crea el Acuerdo Gubernativo No 313-2011 en Guatemala, donde se reformó el Acuerdo Gubernativo No. 8-2011, en el cual se manifiestan

los niveles máximos de exposición a la población en general y a trabajadores a los cuales puede estar una persona sin presentar complicaciones en su salud, esto descrito claramente en el capítulo III de este mismo acuerdo.

La Norma IEEE Standard 644-1994 da a conocer la manera correcta de cómo realizar las mediciones de campo eléctrico y magnético, los parámetros que afectan la precisión al momento de realizar las mediciones, la medición de resistencia y describe las características generales de los medidores de intensidad de campo eléctrico y magnético cerca de las líneas eléctricas. Esta norma también hace referencia de notas importantes a tomar en cuenta para controles y las debidas precauciones durante dichas mediciones.

### **6.3.2. Código de Salud**

En Guatemala fue creado un código de salud que regula la exposición de las personas a RNI, este es el artículo 206 del Código de Salud, donde se expresa el cumplimiento de las disposiciones que indique el Ministerio de Energía y Minas a través de la autoridad del Departamento de RNI.

En el Decreto No. 90-97 artículo 209 del mismo Código de Salud se habla de la exposición a las radiaciones ionizantes y las no ionizantes, en el cual manifiesta que ninguna persona por razones de ocupación, ni la población en general, debe ser expuesta a radiaciones ionizantes y no ionizantes donde se excedan los límites máximos permitidos por el Ministerio de Energía y Minas.

### **6.3.3. Organizaciones internacionales**

La Organización Mundial de la Salud (OMS) es la autoridad directiva y coordinadora en asuntos de sanidad internacional en el Sistema de las

Naciones Unidas. Es el organismo de las Naciones Unidas (ONU), especializado en tratar políticas de prevención, promoción e intervención en la salud a nivel mundial. La OMS tiene el mandato de evaluar los riesgos para la salud pública y ofrecer asesoramiento y asistencia técnica en eventos de salud pública, incluidos los relacionados con la radiación, es por ello que para cumplir esta labor, la OMS colabora con expertos independientes y otros organismos de las Naciones Unidas.

La ICNIRP es una comisión científica independiente creada por la Asociación Internacional de Protección contra la Radiación (IRPA), para fomentar la protección contra la RNI en beneficio de las personas y del medio ambiente. Es la encargada de proporcionar orientación científica y recomendaciones sobre protección contra la exposición a RNI, elabora directrices y límites internacionales de exposición a RNI independientes y con fundamento científico, y representa a los profesionales de la protección contra la radiación de todo el mundo mediante su estrecha relación con la IRPA.

La Asociación Internacional para la Protección contra la Radiación (IRPA) formó un grupo de trabajo para RNI, el cual examinó los problemas suscitados en el campo de la protección contra los tipos de las mismas RNI. Esta en cooperación con la División de Salud Ambiental de la OMS, la IRPA/INIRC desarrolló documentos sobre criterios de salud en relación a las RNI, como parte del Programa de Criterios de Salud Ambiental de la OMS beneficiado por Programa de Naciones Unidas para el Ambiente (UNEP), (Velásquez, 2013, p. 20).

El Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)), es una asociación mundial de ingenieros dedicada a la estandarización y el desarrollo en áreas técnicas.

IEEE es una de las organizaciones líderes en la creación de estándares en el mundo, la misma realiza sus estándares y mantiene sus funciones a través de la Asociación de Estándares, abarcando una amplia gama de industrias como la energía, biomedicina y salud, tecnología de la información, las telecomunicaciones, el transporte, la nanotecnología, la seguridad de la información, entre otras. La Norma IEEE 644-1994, Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines, es una de ellas, la cual da a conocer los protocolos que deben de realizarse para evaluar los niveles de campo eléctrico y campo magnético correctamente, así como de las consideraciones para obtener una buena medición de dichos campos.

#### **6.4. Equipo de medición de las RNI**

El HI-3604 es un sistema de medición de fuerzas de campo, mismo diseñado para la evaluación de campos eléctricos y magnéticos que están asociados con frecuencias de transmisión de 50 y 60 Hz en energía eléctrica y líneas de distribución.

Tiene la capacidad de medir la intensidad del campo eléctrico y magnético en cualquier punto del espacio, El HI-3604 puede aplicarse a estudios de investigación de campo y del medio ambiente donde se requiere el conocimiento de la fuerza de los campos de frecuencia de potencia. Algunas de sus características más importantes siguientes:

- Fabricante: Holaday Industries Inc
- Medidor de campo eléctrico y campo magnético
- Marca: ELF Survey Meter
- Modelo: HI – 3604

- Rango de frecuencia: 30 – 2 000 Hz
- Respuesta de frecuencia: +/- 2,0 dB (30 – 2000 Hz)
- Sensibilidad de campo eléctrico: 1 V/m – 200 kV/m
- Sensibilidad de campo magnético: 0,2 mG – 20 G

### **6.5. Procedimientos de medición de campo eléctrico y magnético**

Para realizar una correcta medición de campo eléctrico y magnético es de suma importancia tomar en cuenta las siguientes características, basadas en la Norma IEEE 644 Estándar Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines – 1994:

Para campo eléctrico

- El área o lugar donde se va a realizar la medición debe ser relativamente plana y estar libre de objetos que provoquen interferencias.
- Con el fin de medir la intensidad de campo eléctrico sin perturbaciones el área donde se va a realizar la medición debe ser libre de otras líneas de alta tensión, torres, arboles, vallas, hierba alta, u otras irregularidades.
- Es importante tomar en cuenta que la influencia de la vegetación en el área o lugar donde se está realizando la medición de campo eléctrico es significativo, debido a que las perturbaciones pueden depender notablemente del contenido de agua en la vegetación.

Para realizar una correcta medición de intensidad de campo eléctrico en las cercanías de una línea de transmisión, se sugiere tomar en cuenta las siguientes recomendaciones.

- La respuesta de ciertos medidores de intensidad de campo eléctrico está influenciada por altos niveles de contenido armónico, por ello se recomienda colocar el aparato de medición sobre un elemento aislante.
- El campo eléctrico bajo una línea de transmisión debe ser medido a una altura de un metro sobre el nivel del suelo. Si se realizan mediciones a otras alturas de interés deben detallarse y aclararse.
- La sonda del medidor de intensidad de campo eléctrico debe estar orientada para leer la componente vertical de la intensidad de campo eléctrico (E). Esta cantidad es a menudo 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 (8 pies). Esta distancia reducirá el efecto de proximidad (sombra del campo eléctrico E) entre el 1,5 y 3 %.
- Para proporcionar una descripción más completa de la fuerza de campo eléctrico en un punto de interés, se deben medir los valores máximo y mínimo de intensidad de campo y en el plano del campo elíptico.
- La línea del observador debe ser paralela a los conductores. Se debe rotar el medidor alrededor del sitio de medición, hasta determinar los valores máximos y mínimos de los componentes de campo con sus correspondientes direcciones. El observador puede generar menos perturbaciones al estar de pie en el región de más baja intensidad de campo eléctrico mientras se realiza la medición.
- La distancia entre el medidor y objetos no permanentes en el área de medición, debe de ser de al menos tres veces la altura del objeto con el fin de medir el valor de campo imperturbable. La distancia entre el medidor y los objetos permanentes deberá ser de un metro o mayor para asegurar suficiente precisión en la medición del campo eléctrico perturbado.

Para realizar una correcta medición de campo magnético en las cercanías de una línea de transmisión, se sugiere tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El campo magnético bajo líneas de alta tensión debe ser medido a una altura de un metro sobre el nivel del suelo. Las mediciones realizadas en otras alturas de interés deberán indicarse de forma explícita.
- El operador puede permanecer cerca de la sonda, los objetos permanentes que contienen materiales magnéticos o conductores no magnéticos, deberán estar alejados del punto de medición, a una distancia de tres veces la dimensión del objeto más grande, esto con el fin de medir campos no perturbados.
- La distancia entre la sonda y objetos magnéticos permanentes debe no ser inferior a un metro, con el fin de medir con precisión el campo magnético no perturbado.
- Para proporcionar una descripción más completa del campo magnético en un punto de interés, deben medirse los campos máximos y mínimos con sus orientaciones en el plano del campo elíptico.

## **6.6. Fenómenos físicos**

Cuando una línea de alta tensión se encuentra en operación en ella se producen distintos fenómenos físicos.

### **6.6.1. Efecto Ferranti**

Para comprender este efecto, es necesario comprender que una línea de transmisión conduce una cantidad importante de corriente eléctrica o corriente de carga, si una línea con estas características se encuentra en circuito abierto

o muy ligeramente cargada, en el extremo final se tendrá una tensión mayor que en el extremo inicial, a este efecto de aumento de tensión en el extremo de la carga o final se le denomina efecto Ferranti.

Este efecto es producido por la caída de tensión a través de la inductancia de toda la línea, debido a que esta caída de tensión afecta al voltaje del extremo inicial, el voltaje del extremo final se vuelve más grande.

El efecto capacitivo de una línea es constante y este no depende de la carga, por lo tanto el efecto Ferranti será directamente proporcional a la longitud de la línea y cuanto mayor sea el voltaje aplicado.

#### **6.6.2. Efecto Corona**

Este efecto es producido cuando el campo eléctrico o gradiente de potencial alcanza y supera la rigidez dieléctrica del aire, ionizando el aire alrededor del cable y haciéndolo conductor, esto provoca descargas locales que se manifiestan en forma de pequeñas chispas creando un aro luminoso del cual proviene su nombre.

Este efecto produce pérdidas de energía, un zumbido fácilmente perceptible, ruido sobre señales de radio y televisión en cercanías de una línea de transmisión con este fenómeno, produce ozono y en presencia de humedad, ácido nitroso el cual corroe los conductores cuando el fenómeno es muy intenso.

## **6.7. Efectos en el ambiente por el campo eléctrico y magnético**

Todas las líneas de transmisión no importando su nivel de tensión generan a su alrededor campos eléctricos y magnéticos variables. Para cada nivel de tensión, la intensidad del campo eléctrico puede variar de un tipo de línea a otra, esto debido a las características de la línea, es decir, el número de circuitos que esta posea y su disposición geométrica. De la misma forma, el campo magnético es variable según la intensidad de corriente que circula en función de la demanda de potencia.

La exposición a campos eléctricos y magnéticos ha aumentado continuamente durante los últimos años, esto debido a la creciente demanda de energía eléctrica y al constante avance de las tecnologías, es decir, se vive inmersos a una combinación compleja de campos eléctricos y magnéticos. En el organismo humano se crean corrientes eléctricas muy pequeñas como consecuencia de las reacciones químicas de las funciones del cuerpo, incluso, esto sin que existan campos eléctricos externos.

Los campos eléctricos de frecuencias extremadamente bajas (Guatemala a 60 Hz) influyen en el organismo humano, como en cualquier otro material formado por partículas cargadas, es decir, cuando un campo eléctrico atraviesa un material conductor, afecta la distribución de las cargas eléctricas en la superficie creando una corriente que lo atraviesa hasta el suelo.

Los campos magnéticos de frecuencia baja inducen corrientes circulantes en el organismo dependiendo de la intensidad del campo magnético externo, es decir, si el campo externo es intenso, estas corrientes pueden afectar nervios, músculos y afectar proceso biológicos.

Los campos eléctricos y magnéticos en su totalidad inducen tensiones eléctricas y corrientes en los organismos, por ello es importante enfatizar que las tensiones y corrientes inducidas justo debajo de una línea de transmisión de alta tensión son muy pequeñas, comparadas a los umbrales de seguridad establecidos internacionalmente.

### **6.8. Criterios generales para limitar la exposición del campo eléctrico y magnético**

El objetivo principal de estos límites establecidos en las guías del ICNIRP es formar criterios que permitan proteger a la población de los efectos adversos de la salud, así como de los efectos directos como los indirectos de la exposición de campos electromagnéticos.

Estos límites están basados en los efectos a corto plazo, efectos inmediatos consecuencia de las corrientes inducidas en el organismo por la exposición a campos electromagnéticos, así como de descargas parciales y quemaduras.

Para establecer criterios que determinen las restricciones básicas a los campos electromagnéticos en función de la frecuencia se emplean las siguientes cantidades físicas:

- Entre 0 y 1 Hz se proporcionarán restricciones básicas de la inducción magnética para campos magnéticos estáticos (0 Hz) y de la densidad de corriente para campos variables en el tiempo de frecuencia  $\leq 1$  Hz, con el fin de prevenir los efectos sobre el sistema cardiovascular y el sistema nervioso central.

- Entre 1 Hz y 10 MHz se proporcionan restricciones básicas de la densidad de corriente para prevenir los efectos sobre las funciones del sistema nervioso.
- Entre 100 kHz y 10 GHz se proporcionan restricciones básicas del SAR para prevenir la fatiga calorífica de cuerpo entero y un calentamiento local excesivo de los tejidos. En la gama de 100 kHz a 10 MHz se ofrecen restricciones de la densidad de corriente y del SAR.
- Entre 10 y 300 GHz se proporcionan restricciones básicas de la densidad de potencia, con el fin de prevenir el calentamiento de los tejidos en la superficie corporal o cerca del ella.

#### **6.9. Límites en líneas aéreas de alta tensión**

En Guatemala fue creada una normativa con el fin de establecer todos los requerimientos necesarios para el diseño y operación de instalaciones de distribución, estas son las Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDROID).

En estas normas se hace referencia a la importancia de las distancias o libranzas verticales de seguridad entre conductores y el nivel del suelo, para las cuales son establecidas las siguientes condiciones:

- Para tensiones entre 22 y 470 kV, deberá incrementarse 0,01 m por cada kV en exceso de 22 kV. Todas las distancias para tensiones mayores de 50 kV deben ser basadas en la máxima tensión de operación.
- Para tensiones mayores de 50 kV, la distancia adicional del inciso anterior deberá aumentarse tres por ciento (3 %) por cada 300 m de altura de exceso de 1 000 m sobre el nivel del mar.

Las distancias o libranzas de seguridad establecidas en esta norma, toman en cuenta las emisiones de campos electromagnéticos por el propio conductor, haciendo que estas sean seguras en su totalidad para el público en general.

#### **6.10. Límites generales al campo eléctrico y magnético**

El avance de la tecnología y el desarrollo de la sociedad ha invadido de aparatos y de diferentes máquinas eléctricas, aunado a esto, el consumismo de las mismas ha inducido a las personas a una inmersión en campos eléctricos y campos magnéticos, por lo que establecer recomendaciones para limitar la exposición de trabajadores y del público en general al campo eléctrico y magnético ha sido un factor de mucha importancia en diferentes países.

Para una frecuencia como la de Guatemala de 60 Hz las recomendaciones para la exposición laboral y público en general, con respecto a la exposición de campos eléctricos y magnéticos son: 10 kV/m, 500  $\mu$ T; 5 kV/m y 100  $\mu$ T. La restricción básica basada en la densidad de corriente de 10 mA/m<sup>2</sup>, asegura la protección, debajo de este nivel los efectos adversos no existen. Sin embargo, los niveles de referencia son proporcionados como medidas de comparación con respecto a valores medidos físicamente.

## 7. CONTENIDO DEL INFORME

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORES

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### 1. MARCO CONCEPTUAL

- 1.1. Origen de los campos electromagnéticos y fuentes artificiales de ELF
  - 1.1.1. Campo eléctrico
  - 1.1.2. Campo magnético
- 1.2. Espectro electromagnético en líneas de transmisión
  - 1.2.1. Radiación ionizante
  - 1.2.2. Radiación no ionizante (RNI)
- 1.3. Marco regulatorio
  - 1.3.1. Marco normativo
  - 1.3.2. Código de Salud
  - 1.3.3. Organizaciones internacionales
- 1.4. Equipo de medición de las RNI
- 1.5. Procedimientos de medición de campo eléctrico y magnético
- 1.6. Fenómenos físicos

- 1.6.1. Efecto Ferranti
    - 1.6.2. Efecto Corona
  - 1.7. Efectos en el ambiente por el campo eléctrico y magnético
  - 1.8. Criterios generales para limitar la exposición al campo eléctrico y magnético
  - 1.9. Límites en líneas aéreas de alta tensión
  - 1.10. Límites generales al campo eléctrico y magnético
- 
- 2. DATOS Y MEDICIONES
  - 3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
  - 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y PROPUESTAS DE MITIGACIÓN

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

## **8. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **8.1. Tipo de investigación**

El tipo de estudio a utilizar en esta investigación tiene un enfoque cuantitativo y descriptivo, con el cual se pretende inspeccionar los diferentes impactos ambientales originados en una línea de transmisión de alta tensión, así como de las RNI que esta irradia a su entorno, esto con el fin de evaluar y plantear propuestas que mitiguen estas afecciones al medio ambiente y así contribuir al bienestar ambiental.

Al describir esta investigación, mediante un análisis teórico y práctico del desarrollo de los procesos empleados para obtener los resultados de métodos analíticos y de campo, se logrará que tanto el estudiante como el profesional o cualquier persona individual, perteneciente a cualquier entidad u organización, tenga la capacidad de analizar e interpretar de forma clara y objetiva la importancia y necesidad de mitigar el impacto ambiental provocado por líneas de transmisión de alta tensión.

### **8.2. Definición de variables**

A continuación se describen las variables a utilizar, según la metodología a emplear en esta investigación:

- Intensidad de campo eléctrico  $E$  (kV/m): es una magnitud vectorial que representa la fuerza eléctrica que actúa por unidad de carga y tiene la

misma dirección y sentido que la fuerza eléctrica que actúa sobre dicha carga.

- Intensidad de campo magnético.  $H$  (A/m): es una magnitud vectorial que representa la fuerza magnética, misma que es generada por cargas en movimiento o corrientes eléctricas.
- Densidad de corriente por inducción de  $E$  (J mA/m<sup>2</sup>): es una magnitud que representa la cantidad de líneas de fuerza eléctrica que atraviesan una carga.
- Densidad de corriente por inducción de  $H$  (J mA/m<sup>2</sup>): es una magnitud que representa la cantidad de líneas de fuerza magnética que atraviesan una carga.
- Distancia al eje de la línea (metros, m): es la distancia del eje de la línea al punto exacto donde se está realizando la medición.

Los parámetros definidos anteriormente serán de gran utilidad para esta investigación, debido que a través de los mismos es posible determinar los niveles de exposición a los campos electromagnéticos.

De la misma forma la obtención de datos producto de la medición de estos parámetros es muy importante, debido a que serán la base para elaborar un análisis estadístico.

### **8.3. Fases de la investigación**

La investigación se dividirá en fases las cuales permitirán realizar el estudio de una mejor forma. Estas se muestran a continuación.

### 8.3.1. Primera fase

En esta fase se pretende establecer un punto de partida teórico, el cual permita fundamentar cada etapa de la investigación, a través de estudios previos afines como tesis, libros, investigaciones, estudios de impacto ambiental, reportes, entre otros. Esto con el fin de realizar una investigación exitosa.

### 8.3.2. Segunda fase

En esta se pretende realizar una evaluación técnica, a través de la cual puedan inspeccionarse todos los aspectos y escenarios físicos, que permitan plantear bases y criterios, para la realización de la investigación, tales como un plan de visitas, mediciones, encuestas, entre otros.

El modelo de tabla a utilizar para tabular los datos obtenidos de las mediciones para las diferentes distancias del eje de la línea, se muestra a continuación:

Tabla I. **Campo electromagnético en la línea de transmisión**

| Distancia del eje de la línea, [m] | E [kv/m] | J mA/m <sup>2</sup> por inducción de E | H [A/m] | J mA/m <sup>2</sup> por inducción de H |
|------------------------------------|----------|--|---------|--|
|                                    |          |  |         |  |
|                                    |          |  |         |  |
|                                    |          |  |         |  |
|                                    |          |  |         |  |

Fuente: elaboración propia.

La fase 2 conllevará las siguientes subfases:

#### **8.3.2.1. Evaluación del impacto ambiental**

Se recabará toda la información necesaria como la definición de obras físicas, superficie, localización, monto de inversión, mano de obra, vida útil, descripción cronológica, justificación de la localización, fecha de ejecución del proyecto, entre otros. Esto con el fin de determinar el impacto ambiental que la construcción y operación de una línea de transmisión puede ocasionar.

#### **8.3.2.2. Medición de campos electromagnéticos**

El equipo HI-3604 es un equipo de medición de fuerzas de campo eléctrico y magnético, tal equipo ha sido diseñado para la medición de estos campos que son concebidos en la transmisión de energía eléctrica a 50 y 60 Hz.

#### **8.3.3. Tercera fase**

Esta consiste en compilar toda la información obtenida a través de visitas de campo, estudios, mediciones, fichas técnicas, entre otros.

Para los datos recolectados se utilizará estadística descriptiva, es decir, que se utilizarán promedios y desviaciones estándar para presentar las tablas de resultados.

El modelo de tabla a utilizar para tabular los datos obtenidos para los diferentes monitoreos, se muestra a continuación.

Tabla II. **Datos de monitoreo**

| COORDENADAS    |  |
|----------------|--|
| UTM            |  |
| Hddd°mm'ss.s'' |  |
| Voltaje:       |  |
| Altura (msnm): |  |
| Temperatura:   |  |

Fuente: elaboración propia.

#### 8.3.4. Cuarta fase

El fin de esta fase es analizar y procesar todos los datos recabados, a través de métodos estadísticos y técnicas de análisis de datos, esto con el propósito de evaluar los mismos, para así, determinar las condiciones de los impactos o afecciones que estos tienen al medio ambiente.

El modelo de tabla a utilizar para tabular los resultados finales, se muestra a continuación:

Tabla III. **Tabla de resultados**

| Mediciones de campos |        |                 |        |
|----------------------|--------|-----------------|--------|
| Campo eléctrico      |        | Campo magnético |        |
| Medido               | Máximo | Medido          | Máximo |
|                      |        |                 |        |
|                      |        |                 |        |
|                      |        |                 |        |

Fuente: elaboración propia.

### **8.3.5. Quinta fase**

Esta fase tiene como fin crear una propuesta de planes de mitigación, que ayuden a disminuir las afecciones que producen un impacto en el medio ambiente, para así contribuir a un mejor bienestar ambiental.

## 9. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para interpretar los datos recolectados es necesario realizar análisis estadísticos, para ello se aplicarán las siguientes técnicas:

### 9.1. Análisis descriptivo

Un análisis descriptivo básicamente tiene como función principal brindar una idea de la forma que tienen los datos, es decir, controlar la presencia de posibles errores, valores fuera de rango y valores perdidos.

### 9.2. Media (promedio)

Se calculará como el promedio de las mediciones de campo eléctrico y de campo magnético, es decir, el cociente entre la suma de todas las mediciones y el número total de ellas. Para ello se utilizará la siguiente fórmula:

$$\tilde{x} = \frac{\sum_i^n x_i}{n}$$

Donde

|             |                       |
|-------------|-----------------------|
| $\tilde{x}$ | valor promedio        |
| $x_i$       | $i$ -ésima medición   |
| $n$         | número total de datos |

### 9.3. Mediana

Esta se calculará como el valor que divide el total de mediciones de campo eléctrico y de campo magnético, es decir, la medida que ocupará la posición central, donde la mitad de los datos serán menores y la mitad de los datos serán mayores.

### 9.4. Desviación estándar

Debido a que es importante determinar la dispersión o variabilidad de las mediciones a realizar de campo eléctrico y de campo magnético, se calculará a través de la siguiente fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_i^n |\tilde{x} - x_i|}{n - 1}}$$

Donde

- $S$  desviación estándar
- $x_i$   $i$ -ésima medición
- $n$  número total de datos
- $\tilde{x}$  valor promedio

## 9.5. Varianza

Será el promedio del cuadrado de las distancias entre cada medición de campo eléctrico, campo magnético y la media del conjunto de mediciones a realizar. Para ello se utilizará la siguiente fórmula:

$$S^2 = \frac{\sum_i^n |\tilde{x} - x_i|}{n - 1}$$

Donde

$S$  desviación estándar

$x_i$   $i$ -ésima medición

$n$  número total de datos

$\tilde{x}$  valor promedio

## 9.6. Análisis de correlación de datos

Un análisis de correlación de datos tiene como fin principal plantear un modelo de la relación que existe entre una variable dependiente y una o más variables independientes.

Para esta investigación se utilizará la técnica de correlación lineal, misma que asume la existencia de una relación lineal entre una variable dependiente y una variable independiente.

## 9.7. Límites de exposición

En el siguiente cuadro se indican los niveles máximos de exposición en los cuales no existe ningún tipo de peligro.

Tabla IV. **Niveles de referencia para exposición laboral o campos eléctricos y magnéticos**

| Rango de frecuencias | Intensidad de campo eléctrico ( $V/m^{-1}$ ) | Intensidad de campo magnético ( $A/m^{-1}$ ) | Densidad de flujo magnético ( $\mu T$ ) | Densidad de potencia ( $Wm^2$ ) |
|----------------------|--|--|---|---------------------------------|
| Hasta 1 Hz           | --   | $3,2 \times 10^4$                            | $4 \times 10^4$                         | --                              |
| 1 – 8 Hz             | 10 000                                       | $3,2 \times 10^4 / f^2$                      | $4 \times 10^4 / f^2$                   | --                              |
| 8 – 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      | $1,375f^{0,5}$                               | $0,00337/f^{0,5}$                            | $0,0046/f^{0,5}$                        | $f/200$                         |
| 2 – 300 GHz          | 61   | 0,16   | 0,20                                    | 10                              |

Fuente: FERRER, Darío. *NTP 698: Campos electromagnéticos entre 0 Hz y 300 GHz: criterios ICNIRP para valorar la exposición laboral*. p. 4, 5.

Estos límites están en función de campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo, expresados como valores cuadráticos medios, medidos en campos no perturbados.

## 9.8. Criterios a utilizarse para la interpretación de los valores establecidos como límites

A continuación se presentan los criterios a utilizarse para la interpretación de los valores establecidos como límites.

- “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 1 000 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.



## 10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Figura 2. Cronograma

| CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES (GANTT) |                  |               |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------------------------------|------------------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ACTIVIDAD                         | DESCRIPCIÓN      | MESES DE 2016 |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|                                   |                  | MARZO         |          |          |          | ABRIL    |          |          |          | MAYO     |           |           |           | JUNIO     |           |           |           | JULIO     |           |           |           | OTRO      |           |           |           |
|                                   |                  | Semana 1      | Semana 2 | Semana 3 | Semana 4 | Semana 5 | Semana 6 | Semana 7 | Semana 8 | Semana 9 | Semana 10 | Semana 11 | Semana 12 | Semana 13 | Semana 14 | Semana 15 | Semana 16 | Semana 17 | Semana 18 | Semana 19 | Semana 20 | Semana 21 | Semana 22 | Semana 23 | Semana 24 |
| Fase I                            | Recabación       |               |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Fase II                           | Trabajo de Campo |               |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Fase III                          | Recopilación     |               |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Fase IV                           | Análisis         |               |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Fase V                            | Evaluación       |               |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>INFORME FINAL</b>              |                  |               |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |

Fuente: elaboración propia.



## 11. RECURSOS

Para el desarrollo del estudio es indispensable y de suma importancia contar con el mínimo de los recursos que se presentan a continuación, para determinar la factibilidad de la investigación.

Tabla V. Recursos del proyecto

| RECURSO             | DESCRIPCIÓN   | COSTO TOTAL (Q) |
|---------------------|---|-----------------|
| Asesor              | Horas de asesoría del profesional (presupuesto mínimo establecido por la Escuela de Postgrado). | 2 500,00        |
| Investigador        | Horas dedicadas para la elaboración de cada etapa de la investigación.                          | 0,00            |
| Costos de operación | Visitas técnicas, traslados en vehículos, parqueos, entre otros.                                | 1 000,00        |
| Insumos             | Costos de oficina, papelería y servicios.   | 2 000,00        |
| Gastos indirectos   | Tiempo de aire, viáticos, hospedaje.  | 1 000,00        |
| <b>TOTAL</b>        |   | <b>6 500,00</b> |

| EQUIPO               | DESCRIPCIÓN  | COSTO TOTAL (Q) |
|----------------------|--|-----------------|
| ETS- LINDGREN HI3604 | Equipo útil para medir campos eléctricos y magnéticos en líneas de alta tensión de 50/60 Hz (este equipo será prestado por EEGSA). | 0,00            |
| De Seguridad         | Cascos, guantes, gafas, botas dieléctricas.  | 2 500,00        |
| <b>TOTAL</b>         |  | <b>2 500,00</b> |

|                    |                   |
|--------------------|-------------------|
| <b>COSTO TOTAL</b> | <b>Q 9 000,00</b> |
|--------------------|-------------------|

Fuente: elaboración propia.

Cabe resaltar que para el desarrollo de esta investigación, se dispondrá con una fuente de financiamiento propia y que se cuenta con los recursos mencionados con anterioridad, es por ello que la investigación es factible y viable.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

1. ARRIETA CARDICHIS, P. V., (2012). *Propuesta de guía para la evaluación de impacto ambiental del ruido y campos eléctricos y magnéticos generados por las líneas eléctricas de alta tensión de corriente continua en el marco del SEIA*. Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ciencias, Chile.
2. CRUZ, V. M. (2009). *Riesgo para la salud por radiaciones no ionizantes de las redes de energía eléctrica en el Perú*. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
3. GALLIPOLITI, V. A. (s.f.). *Efectos ambientales asociados a líneas de transporte eléctrico*. Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.
4. GALLEGO DÍAZ, E. (s.f.). *Las radiaciones ionizantes: una realidad cotidiana*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
5. GIMÉNEZ, W., & Vargas Rivas, J. (2003). *Estimación del impacto ambiental que causarán las líneas del proyecto SIEPAC*, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.
6. IEEE Std 644-1994. *IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines*. USA.

7. KNAVE B. (S.F.). *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, radiaciones no ionizantes*. Instituto Nacional de seguridad e higiene en el trabajo, España.
8. MACEDO LAZO, M. A. (2012). *Tasa de absorción específica (SAR) de tejidos biológicos bajo distintas condiciones de exposición a radiaciones no ionizantes (RNI)*. Pontifica Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Perú.
9. NEGRETE LEAL, C. (2010). *Evaluación ambiental de líneas de transmisión eléctrica*. Universidad de Chile, Chile.
10. NTP 698. *Campos electromagnéticos entre 0 Hz y 300 GHz: criterios ICNIRP para valorar la exposición laboral*. España.
11. NTDOID. *Normas técnicas de diseño y operación de las instalaciones de distribución*. Guatemala.
12. PUENTE G., Y GONZALES F. (2012). *Informe del estudio de los niveles estimados de radiación no ionizante RNI en la subestación Guate-Oeste que actualmente está en construcción*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, Guatemala.
13. ROMERO CATAY, E. A., & TICSE TORRES, R. (S.F.) *Medición de radiaciones electromagnéticas no ionizantes en ctic*. Universidad Nacional de Perú, Lima Perú.

14. SABOYA RUIZ, A. P. (2008). *Diagnostico conceptual de la contaminación por radiaciones electromagnéticas no ionizantes en la ciudad de Bogotá*. Universidad Industrial de Santander, Bogotá.
15. SOLORIO ALVARADO, L. (2009). *Marco legal ambiental aplicable a la construcción de líneas de transmisión de energía eléctrica*. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales, Texcoco México.
16. TROYA MOSQUERA, M. C., & ZABALA NIÑO, J. (2008). *Influencia en la salud de la población expuesta a radiaciones no ionizantes con frecuencias comprendidas entre 0 Hz a 300 GHZ, revisión documental*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D.C.
17. VELÁSQUEZ FUENTES, J. E. (2005). *Estudio de radiación por campos electromagnéticos dentro del área de derecho de vía de las líneas de transmisión eléctrica en el departamento de Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala, p. 98.
18. VILLAGRANA MACÍA, J. C. (2009). *Prevención de riesgos a la salud humana: caso de la exposición a los CEM producidos por las líneas de alta tensión*. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México, D.F.

19. VELÁSQUEZ VELÁSQUEZ, G. A. (2013). *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.* Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, p. 150.