



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

**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**

Gabriel Armando Velásquez Velásquez

Asesorado por el Ing. Francisco Javier González López

Guatemala, junio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**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

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

GABRIEL ARMANDO VELÁSQUEZ VELÁSQUEZ
ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, JUNIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

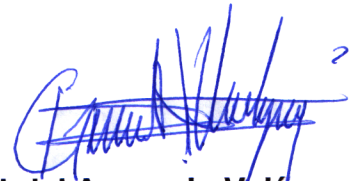
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González López
EXAMINADOR	Ing. Natanael Requena Gómez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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, 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

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 28 de septiembre de 2012.



Gabriel Armando Velásquez

Guatemala, 04 de abril de 2013

Inga. Sigrid Calderón de León
Unidad de EPS
Directora

Respetable Ingeniera:

Por medio de la presente, envío a usted el informe final correspondiente a la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), titulado "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"

Este trabajo fue desarrollado por el estudiante **Gabriel Armando Velásquez Velásquez**, por la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con carné No. **2008 18938**, quien fue asesorado por el suscrito.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley, solicito darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular me es grato suscribirme.

Atentamente,



Ing. Francisco Javier Gonzalez López
Ingeniero Electricista, Colegiado No. 2364
Jefe del Laboratorio de Metrología Eléctrica CII



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

UNIDAD DE EPS

Guatemala, 30 de mayo de 2013.
Ref.EPS.DOC.633.05.13.

Inga. Sigrid Alitza Calderón de León
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Calderón de León.

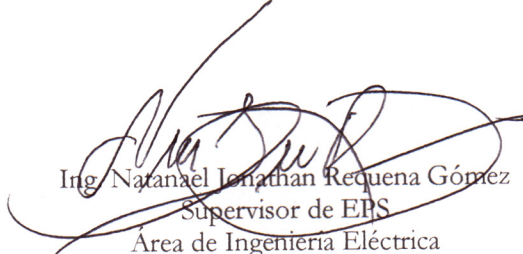
Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Gabriel Armando Velásquez Velásquez** de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con carné No. **200818938**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“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”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Eléctrica

c.c. Archivo
NJRG/ra



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 39.2013
Guatemala, 9 de MAYO 2013.

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, MEDICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS
RADIACIONES NO IONIZANTES EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN
DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LOS VOLTALJES DE 400 kV. EN
BASE A LA REGULACIÓN DE GUATEMALA EN EL
DEPARTAMENTO DE RNI DEL MINISTERIO DE ENERGÍA Y
MINAS”, del estudiante Gabriel Armando Velásquez Velásquez
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



S/O

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

UNIDAD DE EPS

Guatemala 30 de mayo de 2013.
Ref.EPS.D.414.05.13.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Puente Romero.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"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"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Gabriel Armando Velásquez Velásquez**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Francisco Javier González López y supervisado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Inga. *Sigrid Alitza Calderón León*
Directora Unidad de EPS DIRECCIÓN



SACdL/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 39. 2013.

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; GABRIEL ARMANDO VELÁSQUEZ VELÁSQUEZ titulado: “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”, procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 10 DE JUNIO 2,013.

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.440-2013

E l 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, 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**, presentado por el estudiante universitario **Gabriel Armando Velásquez Velásquez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, junio de 2013

/cc

Mi primo		Franty Ernesto Miranda, más que ser mi primo, eres mi hermano, gracias por ser uno de los ejemplos a seguir.
Mi novia		Karen Rodríguez Conzuegra, gracias por su comprensión, amor y apoyo incondicional.
Mis tíos		Gracias por ser una importante influencia en mi carrera, este triunfo también se los dedico a ustedes.
Mis primos		Que este triunfo les exhorte a seguir luchando por sus metas trazadas, yo pude con la mía.
Familia Contreras	Castellanos	Gracias porque en ustedes encontré a mi segunda familia, por su apoyo incondicional y porque nunca podre pagarles todo lo que han hecho por mí, mil gracias.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por abrirme sus puertas y los ojos al bello y maravilloso mundo del saber.
Facultad de Ingeniería	Por darme el conocimiento, forjarme y enseñarme que todo es posible de realizar.
Dirección General de Energía (MEM)	Por darme las herramientas necesarias para salir adelante.
Mis amigos de la EIME	Elviramaría Castellanos, Josué García, Erick Pérez, Marvin Padilla, Eliú González, Juan Soria, Ricardo Vásquez, Edy Girón etc. Por compartir conmigo sus conocimientos.
Mis amigos del colegio Don Bosco	David Ochoa, Christian Figueroa, etc. Por ser grandes amigos y estar ahí.
Elviramaría Castellanos y Josue García	Por ser más que una amiga, ser una hermana y un gran amigo. Este triunfo les sirva de ejemplo para seguir luchando por lo que añoran.
Ing. Francisco González	Por más que ser un catedrático, ser un amigo y proporcionarme su apoyo incondicional, este triunfo no hubiese sido posible sin su ayuda. Mil gracias.

Licda. Mildred de Mendoza	Por ser una persona muy especial en mi camino y brindarme su apoyo incondicional.
Compañeros de trabajo del Depto. de Desarrollo Energético	Por recogerme sin ningún conocimiento laboral, brindarme su apoyo e interés en verme hecho todo un profesional.
Inga. Guisela Gaitán e Ing. Manfredo Reyes	Por brindarme su apoyo en los cálculos estadísticos.
Ing. Guillermo Puente	Por el apoyo brindado en la realización del EPS, sin su ayuda incondicional, no hubiese sido posible la realización del proyecto.
Señor Albaro Magaña	Por brindarme su amistad y ser el piloto que facilitó la realización del proyecto.
Señor Marvin Padilla y Jorge Gallina	Por brindarme su amistad y conocimientos de Radiaciones No Ionizantes.
Ing. Edgar Chaj e Ing. Edwin Girón	Por el apoyo técnico brindado en la realización del EPS, sin su ayuda incondicional, no hubiese sido posible la realización del proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Información sobre la institución	1
1.1.1. DGE-MEM	1
1.1.2. Departamento de Radiaciones No Ionizantes	3
1.2. Información de las comunidades.....	4
1.2.1. Ubicación y localización.....	7
1.2.2. Límites y colindancias.....	10
1.2.3. Poblaciones	10
1.3. Radiaciones.....	14
1.3.1. Radiaciones No Ionizantes (RNI).....	15
1.3.2. Radiaciones Ionizantes (RI).....	16
1.3.3. Código de Salud	16
1.3.4. IEEE Standard 644-1994.....	16
1.3.5. Marco normativo	17
1.3.6. Organizaciones internacionales (OMS, ICNIRP) ..	19
1.3.7. Proyecto CEM.....	20
1.3.8. Efectos en la salud	21
1.3.9. Aspectos epidemiológicos	23

1.3.10.	Aspectos biofísicos.....	23
1.3.11.	Conclusiones de organismos científicos.....	24
1.4.	Equipo de medición para RNI	25
1.4.1.	Generalidades del instrumento.....	25
1.4.2.	Procedimientos de medición de campo eléctrico y magnético.....	27
2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	31
2.1.	Generalidades.....	31
2.1.1.	Campo eléctrico	31
2.1.2.	Campo magnético	32
2.1.3.	Diferencias y similitudes entre los campos eléctricos y magnéticos	33
2.1.4.	Mediciones de los campos electromagnéticos	34
2.1.5.	Ondas electromagnéticas.....	34
2.1.6.	Campos de Frecuencia Extremadamente Baja (ELF)	36
2.1.7.	Ecuaciones de Maxwell.....	37
2.1.8.	Sistema eléctrico.....	37
2.1.9.	Línea de transmisión	42
2.1.10.	Parámetros primarios de la línea.....	44
2.1.11.	Fuerzas mecánicas de la estructura tipo: EA4W22MA, Remate	45
2.1.12.	Fuerzas mecánicas de la estructura tipo: EA4W22MA, Cadenas V, Suspensión	46
2.1.13.	Siluetas de las estructura de línea de transmisión de 400 kV	47
2.1.14.	Intensidad de corriente por hora en la línea de 400 kV	52

	2.1.15.	Efecto Ferranti	54
	2.1.16.	Efecto Corona.....	54
2.2.		Protocolos	56
	2.2.1.	Procedimientos para la medición campos eléctricos	56
	2.2.2.	Procedimientos para la medición de campos magnéticos	62
	2.2.3.	Protocolo de trabajo según el Departamento de RNI del Ministerio de Energía y Minas.....	65
2.3.		Monitoreos.....	69
	2.3.1.	Análisis estadístico para planificación de monitoreos.....	70
	2.3.2.	Planificación de los monitoreos	72
	2.3.3.	Monitoreos.....	77
	2.3.4.	Análisis de los monitoreos.....	99
2.4.		Cálculos y comparaciones	100
	2.4.1.	Gráficas estadísticas	100
	2.4.2.	Interpretación de las estadísticas	102
	2.4.3.	Comparación de las RNI medidas con los límites	103
	2.4.4.	Modelo con un comportamiento lineal	105
	2.4.5.	Extrapolación para la mayor cantidad de corriente.....	107
3.		FASE DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE.....	111
	3.1.	Público a capacitar.....	111
	3.2.	Medios didácticos.....	112
	3.2.1.	¿Qué ofreció la Dirección General de Energía? .	113
	3.2.2.	¿Qué ofrecieron los alcaldes municipales?	116

3.2.3.	¿Qué ofreció la Universidad de San Carlos de Guatemala?.....	116
3.3.	Presentación de resultados en la Dirección General de Energía.....	118
3.4.	Capacitación a las comunidades	119
3.5.	Capacitación en la Universidad de San Carlos de Guatemala.....	120
3.6.	Resultados de las capacitaciones.....	121
	CONCLUSIONES.....	123
	RECOMENDACIONES.....	125
	BIBLIOGRAFÍA.....	127
	APÉNDICES.....	129
	ANEXOS.....	131

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación LT 400 kV en San Marcos	11
2.	Ubicación LT 400 kV en Quetzaltenango	12
3.	Ubicación LT 400 kV en Quetzaltenango y Retalhuleu	13
4.	Ubicación LT 400 kV en Retalhuleu	14
5.	Forma de medir campo eléctrico, en la cual se muestra la paleta para realizar las mediciones de RNI.....	28
6.	Onda electromagnética y sus principales características físicas.....	35
7.	Sistema eléctrico.....	39
8.	Interconexiones	42
9.	Estructura de línea de transmisión de 400 kV.....	43
10.	Silueta básica EA4B22CA.....	48
11.	Silueta fundamental suspensión EA4A22MA	49
12.	Vista perfil EA4A22MA	50
13.	Silueta fundamental tensión EA4X22MA.....	51
14.	Vista planta EA4X22MA	52
15.	Perfil lateral de la intensidad de campo eléctrico	59
16.	Vista aérea típica con alturas de objetos.....	60
17.	Ubicación según Atlas CNEE	73
18.	Ubicación según Google Earth.....	74
19.	Ubicación según Google Maps.....	78
20.	Entrada a una arenera en Santa María el Naranjo, San Marcos.....	79
21.	Espera de tráileres bajo la LT de 400 kV, comunidad La Virgen, San Marcos	81

22.	Comunidad El Tiesto, San Marcos.....	82
23.	Tomando medidas con el HI-3604 en Villa Flores, Quetzaltenango	84
24.	Finca Juatunco, Quetzaltenango	85
25.	Comunidad La Ayuda, Quetzaltenango	87
26.	Comunidad La Esmeralda, Quetzaltenango	89
27.	Comunidad Bolívar, Quetzaltenango	91
28.	Colomba, Quetzaltenango	93
29.	Barrio San José el Xau	94
30.	Las Cardonas, Retalhuleu.....	96
31.	Santa Joaquina, Retalhuleu	97
32.	Aldea La Toma, Retalhuleu.....	99
33.	Gráfica de resultados de campo eléctrico	101
34.	Gráfica de resultados de campo magnético.....	102
35.	Modelo matemático del campo eléctrico	106
36.	Modelo matemático del campo magnético.....	107
37.	Capacitación al público	112
38.	Medios didácticos utilizados.....	113
39.	Equipo HI – 3604	114
40.	Medios proporcionados.....	115
41.	Alumnos capacitándose sobre RNI.....	118
42.	Entrega de resultados a la DGE-MEM.....	119
43.	Entrega de trifoliales a las comunidades	120
44.	Capacitación en la Universidad de San Carlos de Guatemala.....	121
45.	Capacitación a los alumnos de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica	122

TABLAS

I.	Ubicación y localización de las comunidades a la línea de transmisión (LT) de 400 kV	8
II.	Características técnicas	44
III.	Datos mecánicos de la estructura EA4W22MA para remate.....	45
IV.	Datos mecánicos de la estructura EA4W22MA para suspensión.....	46
V.	Corriente en amperios de la LT de 400 kV	53
VI.	Comunidades aledañas a la línea de transmisión de 400 kV a una distancia menor a 311.7 metros	72
VII.	Tabla de datos comunidad Santa María el Naranjo, San Marcos.....	79
VIII.	Tabla de datos comunidad La Virgen, San Marcos	80
IX.	Tabla de datos comunidad El Tiesto, San Marcos	82
X.	Tabla de datos comunidad Villa Flores, Quetzaltenango	83
XI.	Tabla de datos finca Juatunco, Quetzaltenango.....	85
XII.	Tabla de datos comunidad La Ayuda, Quetzaltenango	86
XIII.	Tabla de datos comunidad La Esmeralda, Quetzaltenango	88
XIV.	Tabla de datos comunidad Bolívar, Quetzaltenango	90
XV.	Tabla de datos Colomba, Quetzaltenango	92
XVI.	Tabla de datos barrio San José el Xau, Retalhuleu.....	94
XVII.	Tabla de datos Las Cardonas, Retalhuleu	95
XVIII.	Tabla de datos Santa Joaquina, Quetzaltenango.....	97
XIX.	Tabla de datos aldea La Toma, Retalhuleu.....	98
XX.	Tabla de resultados	100
XXI.	Tabla de Límites de Radiaciones No Ionizantes para la f de 60 Hz	104
XXII.	Tabla de promedio de resultados	104
XXIII.	Extrapolación para la corriente máxima	108

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
A/m	Amperios por metro
E	Campo eléctrico
B	Campo magnético
ELF	Campos de Frecuencia Extremadamente Baja
CEM	Campos electromagnéticos
CA2	Carretera CA-2
UTM	Coordenadas UTM
f	Frecuencia
FEB	Frecuencia Extremadamente Baja
FI	Frecuencia Intermedia
GHz	Giga Hertz
°C	Grados Centígrados
hab/km²	Habitantes por kilómetros cuadrados
Hz	Hertz
hddd°mm'ss.s"	Horas, minutos y segundos
kHz	Kilo Hertz
km	Kilómetros
km²	Kilómetros cuadrados
kV/m	Kilovolt sobre metro
kV	Kilovoltio
LT	Línea de Transmisión
±	Más menos

MHz	Mega Hertz
MW	Mega Watts
m	Metro
msnm	Metro sobre el nivel del mar
ms	Metros por segundo
μT	Micro Tesla
mT	Mili teslas
mA/m	Miliamperio sobre metro
mA/m²	Miliamperios sobre metro cuadrado
ANSI	Normas ANSI
N	Newton
N/m	Newton sobre metro
N/m³	Newton sobre metro cúbico
Pa	Pascales
Pza	Pieza
%	Porcentaje
P	Presión
RNI	Radiaciones No Ionizantes
RAD	Radianes
RF	Radiofrecuencias
RMS	Revoluciones en metros sobre segundo
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SNI	Sistema Nacional Interconectado
T	Tesla
v	Velocidad de propagación
V	Voltaje
V/m	Voltios por metro

GLOSARIO

Alarma social	Actitud en la población, generada por la ausencia o mala información, la cual puede crear inconformidad, desconcierto o conflictos en un área geográfica determinada en donde se desarrollan proyectos energéticos.
AMM	Administrador del Mercado Mayorista
Atlas de la CNEE	Software en el cual se encuentran los proyectos de electricidad en Guatemala, hecho por la CNEE.
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica
Comunidad	Conjunto de personas que viven en un determinado lugar.
DGE-MEM	Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas
ETCEE	Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica

ICNIRP	Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizantes
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
Incertidumbre	Parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores.
INDE	Instituto Nacional de Electrificación
INIRC	Comité Internacional para las Radiaciones No Ionizantes.
IRPA	Asociación Internacional para la Protección contra la Radiación.
Monitoreo	Actividad encaminada a realizar una actividad encomendada.
OMS	Organización Mundial de la Salud
Protocolo	Conjunto de procedimientos para realizar el trabajo deseado.
Puesta a tierra	Procedimiento que se emplea para evitar el paso de corriente por un fallo del aislamiento de los conductores activos.

SIEPAC

Sistema de Interconexión Eléctrica de los Países de América Central

UNEP

Programa de Naciones Unidas para el Ambiente.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación da a conocer el primer estudio de Radiaciones No Ionizantes en líneas de transmisión, específicamente en la Interconexión de Guatemala con México, realizado por la Universidad de San Carlos de Guatemala y la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas, para el desarrollo del país.

En el capítulo 1, se da a conocer información por medio de la cual se iniciaría la investigación de Radiaciones No Ionizantes en Guatemala, tanto los efectos en la salud, como en formas y procedimientos de realizar las mediciones, así como también el estudio de las comunidades aledañas a la línea de transmisión de 400 kV, en las cuales se realizarían los monitoreos.

En el capítulo 2, se presentan generalidades eléctricas y parámetros técnicos, los cuales ayudaron a la caracterización de la línea de transmisión de 400 kV, así como también se presentan estudios estadísticos para determinar los monitoreos que se debían realizar en el tramo de la línea, seguidamente se dan a conocer los monitoreos, resultados y modelos matemáticos obtenidos.

En el capítulo 3, se dan a conocer las capacitaciones que se brindaron a las comunidades cercanas a la línea de transmisión de 400 kV, así como también a los alumnos de la Universidad de San Carlos de Guatemala y la presentación de los resultados de los límites de Radiaciones No Ionizantes en la línea de transmisión de 400 Kv a la Dirección General de Energía.

OBJETIVOS

General

Realizar una evaluación, medición y caracterización de las RNI 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.

Específicos

1. Evaluar los estudios y avances de las RNI tanto nacional como internacionalmente, para compararla entre sí.
2. Medir las RNI en las comunidades aledañas a la línea de 400 kV en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango y Retalhuleu.
3. Caracterizar la línea de transmisión de 400 kV así como, se llevará a cabo un inventario de las comunidades aledañas a la línea de transmisión de 400 kV.
4. Capacitar e informar sobre RNI con el fin de disminuir la alarma social.

INTRODUCCIÓN

Las Radiaciones No Ionizantes, hoy en día en Guatemala, están tomando importancia, debido a la relación que existe entre dichas radiaciones con el cuerpo humano.

El Ministerio de Energía y Minas por medio de la Dirección General de Energía, previendo denuncias por este tipo de radiaciones, da a conocer el presente trabajo en el cual se detalla los resultados de las mediciones de los límites de Radiaciones No Ionizantes en la línea de transmisión de 400 kV, que corresponde a la interconexión con México; en Guatemala, la subestación de Los Brillantes es a donde llega esta línea de transmisión en el departamento Retalhuleu, el tramo de la línea pasa por los departamentos de Retalhuleu, Quetzaltenango y San Marcos.

Para poder realizar los monitoreos de los límites de Radiaciones No Ionizantes, se procedió a realizar el protocolo de mediciones que el Departamento de Radiaciones No Ionizantes, basado en la Norma IEEE 644 - 1994.

Posteriormente se presentó una capacitación a las comunidades aledañas por el paso de la línea de transmisión de 400 kV, con el fin de disminuir la alarma social y de informar sobre las Radiaciones No Ionizantes a dichas comunidades, así como también se capacitó a los alumnos de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

Como parte del Ejercicio Profesional Supervisado, en el primer capítulo, se dará a conocer las investigaciones que se realizan para poder llevar a cabo el objetivo deseado.

1.1. Información sobre la institución

El presente informe se realizó con ayuda del Departamento de Radiaciones No Ionizantes en la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas (DGE-MEM).

1.1.1. DGE-MEM

“Conforme la Ley que regulaba las actividades del Organismo Ejecutivo, correspondía al Ministerio de Economía conocer todo lo relativo a los hidrocarburos, minas y canteras, pero por lo creciente y complejo de tales actividades fue necesario separar de dicho Ministerio, la Dirección General de Minería e Hidrocarburos, dando vida mediante el Decreto-Ley 57-78 a la Secretaría de Minería, Hidrocarburos y Energía Nuclear, adscrita a la Presidencia de la República.

Ante el crecimiento e importancia de las actividades relativas al desarrollo de la industria petrolera y minera, y el aprovechamiento del uso pacífico de la energía nuclear y de las fuentes nuevas y renovables de energía, cambió la denominación de tal Secretaría mediante el Decreto-Ley Número 86-83, llamándose Secretaría de Energía y Minas. No obstante que la Emisión de este

Decreto-Ley significó un avance para que dicha Secretaría cumpliera en mejor forma sus funciones, se hizo necesario contar con un órgano más especializado que atendiera y dinamizara el desarrollo en el Sector, dando lugar a que por medio del Decreto Ley No 106-83 de fecha 8 de septiembre de 1983, naciera a la vida política del país el MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, tomando vigencia a partir del 10 de Septiembre de ese mismo año. Este fue creado con la siguiente visión y misión.

VISION

Somos la institución rectora de los sectores energético y minero, que fomenta el aprovechamiento adecuado del los recursos naturales del país.

Conformamos un equipo de trabajo multidisciplinario capacitado que cumple con la legislación y la política nacional, propiciando el desarrollo sostenible; en beneficio de la sociedad.

MISIÓN

Propiciar y ejecutar las acciones que permitan la inversión destinada al aprovechamiento integral de los recursos naturales, que proveen bienes y servicios energéticos y mineros velando por los derechos de sus usuarios y de la sociedad en general.

De conformidad con las políticas de Gobierno, se creó la Dirección General de Energía, que es la dependencia que tiene bajo su responsabilidad el estudio, fomento, control, supervisión, vigilancia técnica y fiscalización del uso técnico de la energía de conformidad con el Decreto número 57-78 del Congreso de la República de Guatemala (Ley de Creación del Ministerio de

Energía y Minas) y sus reformas, y la Ley General de Electricidad contenida en el Decreto 93-96 del Congreso de la República de Guatemala, la cual tiene como función principal velar por el estricto cumplimiento de las leyes y reglamentos atinentes a sus funciones y atribuciones, formulando y coordinando las políticas de Estado y programas indicativos de las diversas fuentes energéticas. Con el objetivo principal de, consolidar la rectoría del Ministerio de Energía y Minas en materia energética e igualmente consolidar su autoridad reguladora en el control y supervisión radiológica y eléctrica.”¹

1.1.2. Departamento de Radiaciones No Ionizantes

“La Dirección General de Energía, creo el Departamento de Radiaciones No Ionizantes, que tiene como funciones y atribuciones, las siguientes:

- Asesorar y asistir al despacho de la Dirección en materia de Radiaciones No Ionizantes, en las actividades en las que se participe a nivel nacional a efecto de lograr una correcta coordinación interinstitucional; así como en el ámbito internacional para cumplir con los tratados asignados por Guatemala, en lo relativo a Radiaciones No Ionizantes.
- Elaborar proyectos de reglamentos, normas, planes y programas en materia de Radiación No Ionizantes y someterlos a consideración de la Dirección.
- Realizar o supervisar inspecciones de los equipos que emanan Radiaciones No Ionizantes, dentro de los límites máximos permisibles que se emitan en líneas de transmisión y subestaciones.

¹ Manual de Funciones. Dirección General de Energía. P. 15-16

- Someter a consideración de la dirección, la adopción de medidas y disposiciones que se estimen necesarias en situaciones de emergencia o de calamidad pública, a fin de prevenir o minimizar los daños a la salud, los bienes y el ambiente.
- Las demás que correspondan conforme a las leyes y reglamentos vigentes, que sean inherentes al cumplimiento de sus funciones.
- Verifica mediante trabajo de campo o de gabinete, individualmente o en forma conjunta con personal de la Unidad de Gestión Socioambiental del MEM, el cumplimiento de las recomendaciones contenidas en los estudios de mitigación y de evaluación de impacto ambiental, relacionados con las solicitudes de licencias en actividades donde se determine que tendrán efectos (no ionizantes), en los seres vivos y el medio ambiente
- Realiza, cuando es requerido, visitas técnicas y de campo relacionadas con las actividades del área de trabajo a su cargo
- Programa los períodos de tiempo y designa personal, para realizar comisiones de trabajo en el interior del país.
- Realizar investigaciones pertinentes para mantener los límites de Radiaciones No Ionizantes en sus rangos”.²

1.2. Información de las comunidades

Las mediciones de RNI, se realizaran en la línea de transmisión de 400kV, la cual abarca los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango y Retalhuleu.

² Manual de Funciones. Dirección General de Energía. P. 17-19

El departamento de San Marcos, se encuentra ubicado en la región suroccidental de Guatemala. Su extensión territorial es de 3.791 kilómetros cuadrados. La cabecera departamental se encuentra a una distancia de 252 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala.

Se puede mencionar que la población femenina es del 50,64%, la población masculina es del 49,36%, la población de área urbana es del 21,80%, la pobreza general es del 86,70%, la pobreza extrema 61,10%, la densidad poblacional es de 210 habitantes por km², la tasa de analfabetismo es del 46,15% y las viviendas con servicio de energía eléctrica son de 59,82%, los porcentajes presentados son basados en el total de la población.

Se habla el idioma español, el mam, excepto en cuatro municipios de la costa sur: Ocós, Ayutla, Catarina y Malacatán y el sipacapense, en el municipio de Sipacapa. También se habla el k'iche en los municipios de Ixhiguán y San José Ojetenam.

El departamento de San Marcos se encuentra dividido en 29 municipios que son: San Marcos, Ayutla, Catarina, Comitancillo, Concepción Tutuapa, El Quetzal, El Rodeo, El Tumbador, Ixchiguán, La Reforma, Malacatán, Nuevo Progreso, Ocós, Pajapita, Esquipulas Palo Gordo, San Antonio Sacatepéquez, San Cristóbal Cucho, San José Ojetenam, San Lorenzo, San Miguel Ixtahuacán, San Pablo, San Pedro Sacatepéquez, San Rafael Pie de la Cuesta, Sibinal, Sipacapa, Tacaná, Tajumulco y Tejutla.

De los cuales nos interesarán Ayutla y Pajapita, ya que por ellos pasa el tendido eléctrico de la línea de transmisión de 400 kV.

El departamento de Quetzaltenango, se encuentra ubicado en la región suroccidental, su fundación es de 1845, tiene una superficie total de 1.953 km² equivalentes al 1,8% del territorio nacional, el clima es templado y frío, la población total de 624.716 habitantes según el censo realizado en 2002 su densidad poblacional es de 319,88 hab/km². A nivel departamental el 60,57% de la población es indígena, porcentaje superior al observado a nivel nacional (41,9%); predomina el grupo étnico k'iche' y mam. El idioma oficial es el español, pero se también se habla el k'iche' y el mam.

Actualmente, la capital de Quetzaltenango se constituye en un lugar estratégico para el comercio y los servicios, así como, para la industria textil y licorera a nivel nacional. Otro sector que ha tenido un avance interesante en la ciudad es el sector de la construcción, ya que ha proliferado la industria de servicios para la construcción, debido al incremento de centros comerciales, colonias y condominios.

El departamento de Quetzaltenango, cuenta con 24 municipios que son: Quetzaltenango, Salcajá, Olintenpeque, San Carlos Sija, Sibilia, Cabricán, San Miguel Sigüilá, San Juan Ostuncalco, San Mateo, Concepción Chiquirichapa, Almolonga, Cantel, Huitán, Zunil, Colomba, San Francisco La Unión, El Palmar, Coatepeque, Génova, Flores Costa Cuca, La Esperanza, Palestina de los Altos, Cajolá y San Martín Sacatepéquez.

De los cuales interesa Colomba, Coatepeque, Génova y Flores Costa Cuca, ya que por ellos pasa el tendido eléctrico de la línea de transmisión de 400 kV.

El departamento de Retalhuleu. La cabecera departamental se encuentra a una distancia de 190 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala. Posee un

clima cálido todo el año ya que sus temperaturas van de los 22 a los 34 °C. El idioma oficial es el español, aunque se habla el k'iche' y el kaqchikel, la superficie total es de 1.856 km², el clima es cálido, la población total es de 304.168 habitantes, la densidad poblacional es de 163,88 hab/km².

Como se mencionó anteriormente el idioma oficial es el español, pero ancestralmente sus habitantes se han comunicado en k'iché, idioma que persiste a la fecha en el habla de los nativos mayas, sobre todo en municipios como San Andrés Villa Seca, San Felipe Retalhuleu, San Martín Zapotitlán, San Sebastián y Santa Cruz Muluá.

El departamento de Retalhuleu se encuentra dividido en 9 municipios, que son: Champerico, El Asintal, Nuevo San Carlos, Retalhuleu, San Andrés, Villa Seca, San Martín Zapotitlán, San Felipe, San Sebastián y Santa Cruz Muluá.

Del cual interesa El Asintal, Nuevo San Carlos, Retalhuleu, San Sebastian y Santa Cruz Muluá, ya que por ellos pasa el tendido eléctrico de la línea de transmisión de 400 kV.

1.2.1. Ubicación y localización

En la siguiente tabla se da a conocer la ubicación de las comunidades en coordenadas geodésicas, así como también la distancia que hay entre la comunidad y la línea de transmisión de 400 kV a la comunidad,

Tabla I. **Ubicación y localización de las comunidades a la línea de transmisión (LT) de 400 kV**

Departamento	Municipio	Comunidad	Ubicación	Distancia de la Línea de Transmisión de 400kV a la comunidad (Mts.)
San Marcos	Ayutla	El bordo	92°9'36.628"W 14°45'35.902"N	644
		Chaparral Anexo el Alamo	92°8'10.123"W 14°45'29.158"N	613
		Zanjon el Tiesto	92°7'48.226"W 14°45'30.091"N	722
		Santa Julia	92°6'30.664"W 14°44'21.148"N	190
	Pajapita	Las Vegas	92°5'27.992"W 14°42'37.393"N	240
		El recuerdo	92°5'22.823"W 14°42'27.227"N	275
		La Virgen	92°5'50.68"W 14°42'46.222"N	300
		El Naranja	92°5'19.972"W 14°41'22.956"N	168
Quetzaltenango	Coatepeque	La Esperanza	92°2'8.729"W 14°38'23.551"N	549
		El Porvenir	92°0'19.271"W 14°36'35.054"N	128
		San Benito la Paz	91°59'22.324"W 14°36'33.26"N	507
		Santa Teresa	91°58'51.074"W 14°35'51.965"N	257
		Cerro Grande	91°56'53.995"W 14°35'15.434"N	47
		Villa Flores	91°57'5.735"W 14°35'12.303"N	228
		La Ayuda	91°54'46.446"W 14°35'1.565"N	518
		Las Marias	91°53'12.707"W 14°34'28.077"N	168

Continuación de la tabla I.

Departamento	Municipio	Comunidad	Ubicación	Distancia de la Línea de Transmisión de 400kV a la comunidad (Mts.)
Quetzaltenango	Coatepeque	Valparaiso	91°52'39.336"W 14°34'6.619"N	312
	Flores Costa Cuca	La Esmeralda	91°53'48.531"W 14°34'55.475"N	109
	Genova	El Triunfo	91°52'39.336"W 14°34'6.619"N	433
		El Roble	91°48'11.413"W 14°33'47.049"N	417
	Colomba	Las Animas	91°48'11.413"W 14°33'47.049"N	200
Retalhuleu	El Asintal	Xab Sección No. 2	91°46'46.113"W 14°33'35.816"N	207
		Los Cardona	91°44'42.591"W 14°33'34.896"N	152
	Nuevo San Carlos	Concepción las Lomas	91°42'43.936"W 14°33'44.377"N	242
		Santa Joaquina	91°41'28.962"W 14°34'32.592"N	155
		Morazán	91°41'21.726"W 14°34'30.153"N	250
		Covadonga	91°41'15.461"W 14°34'48.504"N	298
	San Sebastián	Ocosito	91°39'42.49"W 14°35'1.833"N	352
		San Isidro	91°39'19.944"W 14°34'57.44"N	233
		Las Elviras	91°38'28.388"W 14°34'32.094"N	459
	Santa Cruz Muluá	Los Brillantes	91°37'53.028"W 14°34'20.43"N	290

Fuente: elaboración propia, con base en información del Atlas de la CNEE.

1.2.2. Límites y colindancias

El departamento de San Marcos, colinda en el norte con el departamento de Huehuetenango, al oeste con el país de México, al sur limita con el océano Pacífico y al este colinda con los departamentos de Quetzaltenango y Retalhuleu.

El departamento de Quetzaltenango, colinda al norte con el departamento de Huehuetenango, al oeste con el departamento de San Marcos, al sur con el océano Pacífico y al este colinda con los departamentos de Totonicapán, Sololá y Suchitepéquez.

El departamento de Retalhuleu, colinda al norte con el departamento de Quetzaltenango, al oeste con los departamentos de Quetzaltenango y San Marcos, al sur con el océano Pacífico y al este colinda con el departamento de Suchitepéquez.

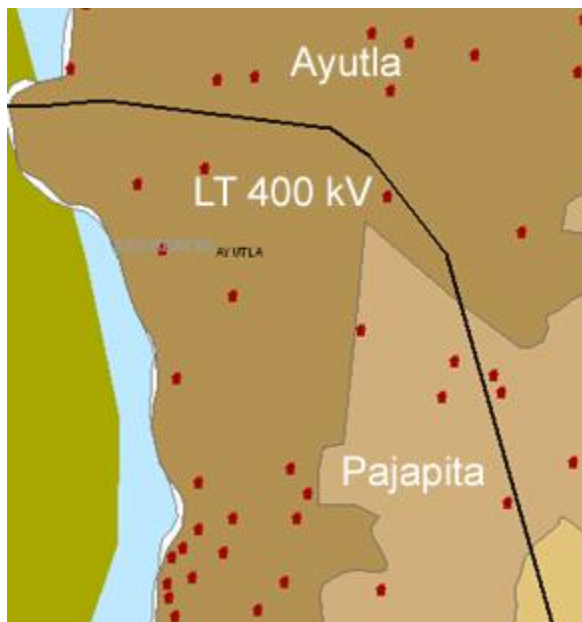
1.2.3. Poblaciones

- Departamento de San Marcos
 - Municipio de Ayutla
 - Comunidad El bordo
 - Comunidad Chaparral Anexo el Álamo
 - Comunidad Zanjón el Tiesto
 - Comunidad Santa Julia
 - Comunidad La Virgen
 - Municipio de Pajapita
 - Comunidad Las Vegas
 - Comunidad El recuerdo

- Comunidad La Virgen
- Comunidad El Naranjo

En la siguiente imagen se da a conocer un croquis de la ubicación de las comunidades del departamento de San Marcos y el tramo de la línea de transmisión de 400 kV, que pasa, sobre los municipios de Ayutla y Pajapita.

Figura 1. **Ubicación LT 400 kV en San Marcos**



Fuente: Atlas de la CNEE.

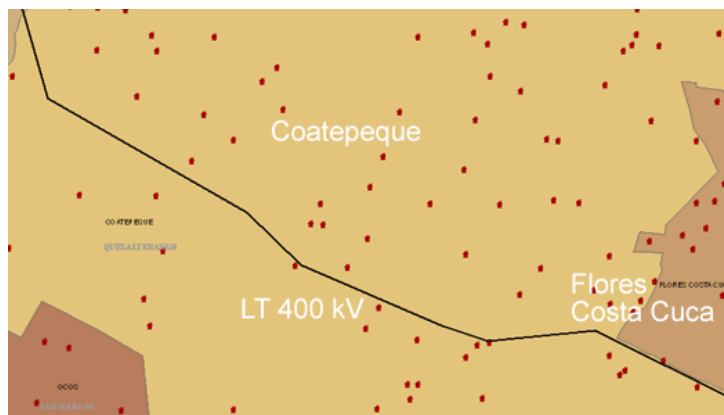
- Departamento de Quetzaltenango
 - Municipio de Coatepeque
 - Comunidad La Esperanza
 - Comunidad El Porvenir
 - Comunidad Santa Teresa
 - Comunidad Cerro Grande

- Comunidad Villa Flores
- Comunidad La Ayuda
- Comunidad Las Marias
- Comunidad Valparaíso
- Municipio de Flores Costa Cuca
 - Comunidad La Esmeralda

En la siguiente imagen se da a conocer un croquis de la ubicación de las comunidades del departamento de Quetzaltenango y el tramo de la línea de transmisión de 400 kV, que pasa, sobre los municipios de Coatepeque y Flores Costa Cuca.

- Municipio de Génova
 - Comunidad El Triunfo
 - Comunidad El Roble
- Municipio de Colomba
 - Comunidad Las Animas

Figura 2. **Ubicación LT 400 kV en Quetzaltenango**



Fuente: Atlas de la CNEE.

- Departamento de Retalhuleu
 - Municipio de El Asintal
 - Comunidad Xab Sección No. 2
 - Comunidad Los Cardona
 - Municipio de Nuevo San Carlos
 - Comunidad Concepción Pital o Concepción las Lomas
 - Comunidad Santa Joaquina
 - Comunidad Morazán
 - Comunidad Covadonga

En la siguiente imagen se da a conocer un croquis de la ubicación de las comunidades de los departamentos de Quetzaltenango y Retalhuleu, así como del tramo de la línea de transmisión de 400 kV, que pasa, sobre los municipios de Génova, Colomba, El Asintal y Nuevo San Carlos respectivamente en cada departamento.

Figura 3. **Ubicación LT 400 kV en Quetzaltenango y Retalhuleu**



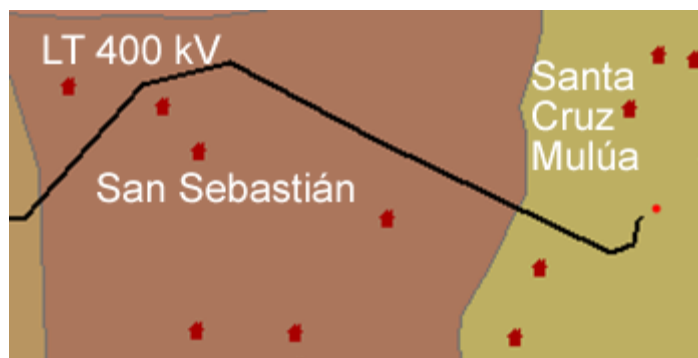
Fuente: Atlas de la CNEE.

- Municipio de San Sebastián
 - Comunidad Ocosito
 - Comunidad San Isidro

- Comunidad Las Elviras
- Municipio de Santa Cruz Muluá
 - Comunidad Los Brillantes

En la siguiente imagen se da a conocer un croquis de la ubicación de las comunidades del departamento de Retalhuleu y el tramo de la línea de transmisión de 400 kV, que pasa, sobre los municipios de San Sebastián y Santa Cruz Muluá.

Figura 4. **Ubicación LT 400 kV en Retalhuleu**



Fuente: Atlas de la CNEE.

1.3. Radiaciones

En las últimas tres décadas ha ido en aumento el interés y la preocupación por los efectos sobre la salud de los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja, en las condiciones habituales de exposición, que vienen siendo las RNI.

El fenómeno de la radiación consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.

Si la radiación transporta energía suficiente como para provocar ionización en el medio que atraviesa, se dice que es una radiación ionizante. En caso contrario se habla de Radiación No Ionizantes. El carácter ionizante o no ionizante de la radiación es independiente de su naturaleza corpuscular u ondulatoria.

1.3.1. Radiaciones No Ionizantes (RNI)

Son formas de energía, consistentes en ondas eléctricas vibratorias que se transmiten a través del espacio, acompañadas perpendicularmente, por un cuerpo magnético vibratorio con movimiento ondulatorio.

Se denomina no ionizante porque su energía es insuficiente para romper enlaces químicos. Las RNI se caracterizan por poseer:

- Frecuencia (número de onda por unidad de tiempo, se mide en Hz).
- Longitud de onda (distancia entre dos puntos en fase de ondas adyacentes, se mide en metros).
- Energía (proporcional a la frecuencia, se mide en Joule).

Poseen muy baja energía, un millón de veces menor que la necesaria para romper enlaces químicos, por lo tanto, son incapaces de producir una ionización.

1.3.2. Radiaciones Ionizantes (RI)

Son aquellas radiaciones con energía suficiente para ionizar la materia, extrayendo los electrones de sus estados ligados al átomo. Pueden provenir de sustancias radiactivas, que emiten dichas radiaciones de forma espontánea, o de generadores artificiales, tales como los generadores de Rayos X y los aceleradores de partículas.

1.3.3. Código de Salud

El Código de Salud, habla sobre las exposiciones de las personas a RNI así como de las fuentes radiactivas, equipo generador de radiaciones. En su artículo 206 habla sobre el cumplimiento de las disposiciones que dicte el Ministerio de Energía y Minas a través de la autoridad competente, que en este caso, es el Departamento de RNI.

En el artículo 209 habla sobre la exposición de radiaciones. 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 de dosis establecidos internacionalmente y los fijados a nivel nacional por el Ministerio de Energía y Minas.

1.3.4. IEEE Standard 644-1994

Esta norma habla sobre la intensidad del campo eléctrico y sus características generales. También da a conocer los parámetros que afectan la precisión de las mediciones de intensidad de campo eléctrico, así como también se dan a conocer los procedimientos de campo eléctrico de medición de

resistencia y los procedimientos para la medición de la intensidad de campo eléctrico cerca de las líneas eléctricas.

Otro aspecto importante es que tiene contemplado las precauciones y controles durante las mediciones de campo eléctrico.

El campo magnético también se analiza en esta norma, así como las características generales de los medidores, la teoría y características de funcionamiento, los parámetros que afectan la precisión de las mediciones de campo magnético, los procedimientos de medición de campo magnético cerca de las líneas de transmisión, también contempla la verificación de las precauciones y controles durante las mediciones de campo magnético.

1.3.5. Marco normativo

Varios organismos nacionales e internacionales han formulado directrices que establecen límites para la exposición a Campos Electromagnéticos (CEM) en el trabajo y en los lugares de residencia. Los límites de exposición a CEM desarrollados por la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizantes (ICNIRP), una organización no gubernamental reconocida de forma oficial por la Organización Mundial de la Salud (OMS), se desarrollaron tras evaluar todas las publicaciones científicas revisadas por expertos, incluidos los efectos térmicos y no térmicos. Las normas se basan en evaluaciones de los efectos biológicos que, según se ha comprobado, producen consecuencias para la salud. La principal conclusión de las evaluaciones de la OMS es que, al parecer, las exposiciones a niveles de CEM no producen ninguna consecuencia conocida sobre la salud.

El Proyecto Internacional CEM ha compilado una base de datos de normas de todo el mundo que limitan la exposición a CEM.

Debido a que la disparidad de normas sobre CEM en todo el mundo ha ocasionado una creciente ansiedad de la sociedad en relación a la exposición a CEM por la introducción de tecnologías nuevas, la OMS ha iniciado un proceso de armonización en todo el mundo de las normas sobre campos electromagnéticos. El Proyecto Internacional CEM, en el que participan 54 países y 8 organizaciones internacionales, es una oportunidad única de reunir a los países para desarrollar un marco para la armonización de las normas sobre CEM y para fomentar el establecimiento de límites de exposición y otras medidas de control que proporcionen el mismo grado de protección de la salud a todas las personas.

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 (0 Hz a 300 GHz), 1999/519/CE, publicada en el Diario Oficial de las Comunidades Europeas en julio de 1999. Su objetivo es únicamente prevenir los efectos agudos (a corto plazo) producidos por la inducción de corrientes eléctricas en el interior del organismo, puesto que no existe evidencia científica de que los campos electromagnéticos estén relacionados con enfermedad alguna.

Tras establecer diversos factores de seguridad, el Consejo de la Unión Europea, recomienda como restricción básica para el público limitar la densidad de corriente eléctrica inducida a 2 mA/m^2 en sitios donde pueda permanecer bastante tiempo, y calcula de forma teórica unos niveles de referencia para el campo electromagnético de 50 Hz: 5 kV/m para el campo eléctrico y 100 T para

el campo magnético. Si el nivel de campo medido no supera este nivel de referencia se cumple la restricción básica y por lo tanto, la recomendación.

Como se indicó en el apartado anterior, las líneas eléctricas aéreas de alta tensión no generan un campo magnético superior a 100 μ T, incluso en el punto más cercano a los conductores. Sin embargo, en circunstancias muy determinadas sí puede haber un campo eléctrico por encima de 5 kV/m justo debajo de los conductores de algunas líneas de 400 kV; sin embargo, el campo eléctrico es detenido por paredes y techos, por lo que sería prácticamente nulo en el interior de un inmueble.

1.3.6. Organizaciones Internacionales (OMS, ICNIRP)

La Organización Mundial de la Salud (OMS) es la autoridad directiva y coordinadora de la acción sanitaria en el Sistema de las Naciones Unidas. Es la responsable de desempeñar una función de liderazgo en los asuntos sanitarios mundiales, configurar la agenda de las investigaciones en salud, establecer normas, articular opciones de política basadas en la evidencia, prestar apoyo técnico a los países y vigilar las tendencias sanitarias mundiales.

En el siglo XXI, la salud es una responsabilidad compartida, que exige el acceso equitativo a la atención sanitaria y la defensa colectiva frente a amenazas transnacionales.

Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizantes (ICNIRP), en 1974, la Asociación Internacional para la Protección contra la Radiación (IRPA) formó un grupo de trabajo para Radiaciones No Ionizantes, el cual examinó los problemas suscitados en el campo de la protección contra los varios tipos de Radiaciones No Ionizantes (RNI). En el Congreso de la IRPA en

París en 1977, este grupo de trabajo se convirtió en Comité Internacional para las Radiaciones No Ionizantes (INIRC).

En cooperación con la División de Salud Ambiental de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la IRPA/ INIRC desarrolló un número de documentos sobre criterios de salud en relación a las RNI, como parte del Programa de Criterios de Salud Ambiental de la OMS, auspiciado por Programa de Naciones Unidas para el Ambiente (UNEP).

1.3.7. Proyecto CEM

El Proyecto Internacional CEM tenía previsto completar en 2007 las evaluaciones de los riesgos para la salud de los CEM, ya que se prevé que las investigaciones en curso y propuestas proporcionarán en este plazo resultados suficientes para evaluar los riesgos para la salud de forma más categórica.

El proyecto evaluará los efectos sobre la salud y el medio ambiente de la exposición a campos eléctricos y magnéticos estáticos y variables en el tiempo, en el intervalo de frecuencias de 0 a 300 GHz Para los fines del proyecto, este intervalo se divide en: campos estáticos (0 Hz), de frecuencia extremadamente baja (FEB, >0 a 300 kHz), de frecuencias intermedias (FI, >300Hz a 10MHz) y de radiofrecuencia (RF, 10 MHz a 300 GHz).

El proyecto está ubicado en la Sede de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en Ginebra (Suiza), ya que es la única organización de las Naciones Unidas que tiene un mandato claro de investigar los efectos perjudiciales para la salud de la exposición de las personas a Radiaciones No Ionizantes. El proyecto CEM se gestiona desde la Unidad de Radiación e Higiene del Medio, cuyo plan de actuación para la protección contra la radiación

incluye actividades relativas a las radiaciones ionizantes y no ionizantes. Esta unidad forma parte del Grupo Orgánico de Desarrollo Sostenible y el Medio Ambiente de la OMS.

1.3.8. Efectos en la salud

La exposición a campos electromagnéticos no es un fenómeno nuevo. Sin embargo, en el siglo XX la exposición ambiental ha aumentado de forma continua conforme la creciente demanda de electricidad, el constante avance de las tecnologías y los cambios en los hábitos sociales han generado más y más fuentes artificiales de campos electromagnéticos. Todos están expuestos a una combinación compleja de campos eléctricos y magnéticos débiles, tanto en el hogar como en el trabajo, desde los que producen la generación y transmisión de electricidad, los electrodomésticos y los equipos industriales, a los producidos por las telecomunicaciones y la difusión de radio y televisión.

En el organismo se producen corrientes eléctricas minúsculas debidas a las reacciones químicas de las funciones corporales normales, incluso en ausencia de campos eléctricos externos. Por ejemplo, los nervios emiten señales mediante la transmisión de impulsos eléctricos. En la mayoría de las reacciones bioquímicas, desde la digestión a las actividades cerebrales, se produce una reorganización de partículas cargadas, incluso el corazón presenta actividad eléctrica, que los médicos pueden detectar mediante los electrocardiogramas.

Los campos eléctricos de frecuencia baja influyen en el organismo, como en cualquier otro material formado por partículas cargadas. Cuando los campos eléctricos actúan sobre materiales conductores, afectan a la distribución de las

cargas eléctricas en la superficie. Provocan una corriente que atraviesa el organismo hasta el suelo.

Los campos magnéticos de frecuencia baja inducen corrientes circulantes en el organismo. La intensidad de estas corrientes depende de la intensidad del campo magnético exterior. Si es suficientemente intenso, las corrientes podrían estimular los nervios y músculos o afectar a otros procesos biológicos.

Tanto los campos eléctricos como los magnéticos inducen tensiones eléctricas y corrientes en el organismo, pero incluso justo debajo de una línea de transmisión de electricidad de alta tensión las corrientes inducidas son muy pequeñas comparadas con los umbrales para la producción de sacudidas eléctricas u otros efectos eléctricos.

El principal efecto biológico de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia es el calentamiento. Este fenómeno se utiliza en los hornos de microondas para calentar alimentos. Los niveles de campos de radiofrecuencia a los que normalmente están expuestas las personas son mucho menores que los necesarios para producir un calentamiento significativo. Las directrices actuales se basan en el efecto calefactor de las ondas de radio. Los científicos están investigando también la posibilidad de que existan efectos debidos a la exposición a largo plazo a niveles inferiores al umbral para el calentamiento del organismo. Hasta la fecha, no se han confirmado efectos adversos para la salud debidos a la exposición a largo plazo a campos de baja intensidad de frecuencia de radio o de frecuencia de red, pero los científicos continúan investigando activamente en este terreno.

1.3.9. Aspectos epidemiológicos

La epidemiología estudia, aplicando métodos estadísticos, si existe algún tipo de asociación entre un determinado agente y una enfermedad; para ello se compara la incidencia de la enfermedad en grupos de personas expuestas al agente y grupos de personas no expuestas.

Algunos de los primeros estudios epidemiológicos parecían indicar la posibilidad de que las personas que residen cerca de líneas eléctricas de alta tensión tienen un mayor riesgo de contraer cáncer, y más concretamente leucemia infantil. Esto condujo a la realización de nuevos estudios con poblaciones mucho mayores y mejores metodologías de medida de la exposición y análisis de los resultados, con el objetivo de evaluar de forma mucho más precisa la verdadera incidencia en la salud.

Sin embargo, los estudios epidemiológicos realizados durante los últimos años concluyen de forma categórica que los campos eléctricos y magnéticos generados por las líneas eléctricas de alta tensión no suponen un riesgo para la salud pública, en particular no incrementan el riesgo de ningún tipo de cáncer.

1.3.10. Aspectos biofísicos

A pesar de los exhaustivos estudios llevados a cabo, no se ha descubierto un mecanismo biofísico de interacción que pudiera explicar cómo unos campos de tan baja frecuencia e intensidad como los generados por las instalaciones eléctricas podrían producir efectos nocivos a largo plazo (enfermedades) en los seres vivos.

Los únicos efectos nocivos conocidos y comprobados de los campos eléctricos y magnéticos de frecuencia industrial son los efectos a corto plazo (agudos) debidos a la densidad de corriente eléctrica que se induce en el interior de los organismos expuestos a campos electromagnéticos.

La densidad de corriente inducida por los campos de las instalaciones eléctricas de alta tensión está por debajo de la actividad eléctrica natural en el interior del cuerpo humano, que es debida a las pequeñas diferencias de tensión y corrientes eléctricas biológicas endógenas. Sin embargo, 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 y, en casos muy extremos, arritmias, extrasístoles y fibrilación ventricular; aunque siempre con niveles de campo muy superiores a las generadas por las instalaciones eléctricas.

Todos estos efectos se producen únicamente en el momento de la exposición, cesando cuando disminuye el nivel de campo, y no tienen ninguna relación con enfermedades o efectos a largo plazo, de los que no existe evidencia científica alguna. Por esta razón, las principales normativas internacionales de seguridad sobre exposición a campos electromagnéticos se basan en limitar la densidad de corriente inducida.

1.3.11. Conclusiones de organismos científicos

Actualmente la comunidad científica internacional está de acuerdo en que la exposición a los campos eléctricos y magnéticos de frecuencia industrial generados por las instalaciones eléctricas de alta tensión no supone un riesgo para la salud pública. Así lo han expresado numerosos organismos científicos de reconocido prestigio en los últimos años; entre ellos cabe destacar:

- Instituto Francés de Salud e Investigación Médica (Francia, 1993)
- Consejo Nacional de Protección Radiológica (Reino Unido, 1994)
- Academia Nacional de las Ciencias (Estados Unidos, 1996)
- Instituto Nacional del Cáncer (Estados Unidos, 1997)
- CIEMAT (España, 1998)
- Comité Científico Director de la Comisión Europea (Unión Europea, 1998)
- Ministerio de Sanidad y Consumo (España, 2001)

1.4. Equipo de medición para RNI

Es importante conocer la instrumentación eléctrica utilizada en la realización del trabajo, motivo por el cual se presenta como está estructurado internamente el equipo.

1.4.1. Generalidades del instrumento

El HI-3604 es un Sistema de Medición de Fuerzas de Campo, está diseñado para ayudar en la evaluación de campos eléctricos y magnéticos que están asociados con la transmisión 50/60-Hz en energía eléctrica y líneas de distribución junto con el equipo de accionamiento eléctrico y electrodomésticos.

La lectura digital directa de la intensidad de campo es proporcionada por el instrumento con la capacidad de leer el medidor remotamente a través de una fibra óptica especial de control remoto (Modelo HI-3616) que está disponible como una opción. El 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 y el personal de seguridad con una sofisticada herramienta para la investigación precisa de los entornos de frecuencia de energía eléctrica.

El 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 de 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 (rango de cambios manual puede seleccionarse) y puesta a cero automática del instrumento.

Los campos eléctricos son detectados por un sensor de corriente de desplazamiento que consiste en dos discos separados finas conductoras que están conectadas entre sí 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 que los HI-3604 que se utilizan en entornos que tienen un contenido armónico significativo y 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 se 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.

1.4.2. Procedimientos de medición de campo eléctrico y magnético

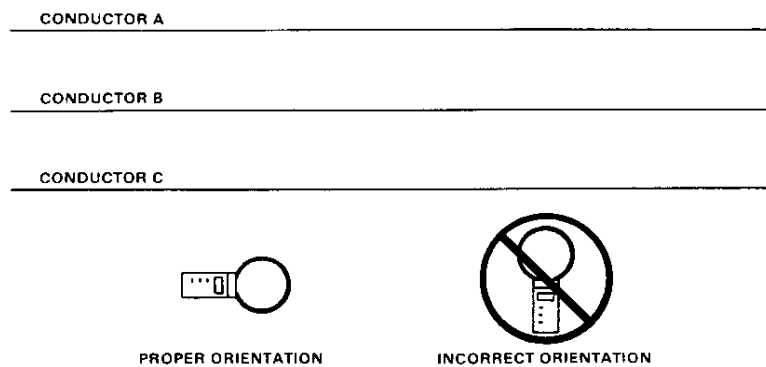
Según el manual del HI-3604, este dispositivo está encerrado en una caja de aluminio extruido resistente para la protección de sus circuitos internos.

Debido a la naturaleza de su uso previsto, el sensor de campo se extiende desde el módulo de lectura. La estructura del 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 no esté en uso, se debe mantener el HI-3604 en su caja protectora donde esté bien la paleta del sensor compatible.

Orientación de HI-3604 para la medición de la fuerza vertical de campo eléctrico debajo de una figura de la línea eléctrica.

La siguiente figura muestra cual es la forma correcta de realizar las mediciones de Radiaciones No Ionizantes y cuál es la forma que no se debe usar para hacer dichas mediciones.

Figura 5. **Forma de medir campo eléctrico, en la cual se muestra la paleta para realizar las mediciones de RNI**



Fuente: Holaday Industries Inc. Manual HI-3604. Páginas 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 mediciones de campo magnético, el HI-3604 puede ser considerado por el operador. La naturaleza nomagnética del cuerpo humano no perturba el campo magnético ni interfiere con la operación del sensor.

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

En esta fase, se pone en práctica los conceptos de ingeniería eléctrica aprendidos durante la carrera, ya que previo a realizar el estudio de campo, se debe tener el concepto de la teoría eléctrica.

2.1. Generalidades

En la ingeniería eléctrica se utilizan términos los cuales fueron de suma importancia en la realización de las mediciones de Radiaciones No Ionizantes.

2.1.1. Campo eléctrico

Los campos eléctricos se producen por la presencia de cargas eléctricas. Cuando un objeto se carga eléctricamente, determina fuerzas y movimientos en las cargas que se encuentran a su alcance, ya sea de repulsión cuando son del mismo signo o de atracción en el caso de las cargas de signo opuesto. Estas fuerzas que se generan son la tensión eléctrica o voltaje.

Por lo tanto, los campos eléctricos se originan cuando existe una diferencia de voltaje, y no es necesario que fluya corriente eléctrica. Por ejemplo, para que haya un campo eléctrico es suficiente con que un artefacto se encuentre enchufado aun cuando no esté encendido y funcionando. Los campos eléctricos desaparecen cuando el artefacto se desconecta de la toma de corriente, pero permanecerán los campos eléctricos del entorno del cable situado en el interior de la pared que alimenta al enchufe.

La intensidad de un campo eléctrico depende de la tensión o diferencia de voltaje, y de la distancia con respecto al artefacto conductor. Así, el campo eléctrico es más intenso cuanto mayor sea la tensión, y cuanto mayor sea la proximidad al conductor que los genera, y disminuye en la medida que la distancia aumenta. La tensión es muy alta en los equipos transmisores de electricidad (de alta tensión) donde se generan campos eléctricos intensos, que varían poco con el tiempo. Por el contrario, la distribución de energía eléctrica en los hogares es de baja tensión.

Ciertos materiales constituyen barreras eficaces contra los campos eléctricos, tal es el caso de los metales y, en menor medida los materiales de construcción y los árboles. De este modo, los edificios, los árboles, los pisos y las paredes brindan protección al interior de los hogares atenuando la intensidad de los campos eléctricos de las líneas de conducción eléctrica situadas en el exterior de las casas o enterradas en el suelo.

2.1.2. Campo magnético

Se originan por el movimiento de cargas eléctricas, por lo cual se generan únicamente cuando fluye la corriente eléctrica. En este caso, coexisten en el entorno del aparato eléctrico campos magnéticos y eléctricos.

La intensidad del campo magnético aumenta en función de la intensidad de la corriente eléctrica y varía en función del consumo de energía, a diferencia de los campos eléctricos que permanecen inalterados ante idénticas modificaciones.

Con respecto a la distancia de la fuente, al igual que los campos eléctricos, la intensidad de los campos magnéticos es mayor en las proximidades de la fuente, y disminuye a medida que aumenta la distancia.

Los materiales de construcción de los edificios y la vegetación no constituyen una barrera para los campos magnéticos, que los atraviesan fácilmente. Razón por la cual se han estudiado más los campos magnéticos que los eléctricos en la mayoría de los estudios epidemiológicos.

2.1.3. Diferencias y similitudes entre los campos eléctricos y magnéticos

En los campos eléctricos, la fuente es la tensión eléctrica, se originan cuando se conecta un artefacto a una fuente, no requiere el flujo de corriente. La unidad de medida de intensidad es voltios por metro (V/m), la intensidad del campo disminuye conforme aumenta la distancia desde la fuente y en la mayoría de los materiales de construcción protegen en cierta medida de los campos eléctricos.

En los campos magnéticos, la fuente es la corriente eléctrica, se originan cuando se pone en marcha un aparato eléctrico y fluye la corriente, la unidad de medida de intensidad es amperios por metro (A/m) y de densidad de flujo es microteslas (μT) o militeslas (mT), la intensidad del campo disminuye conforme aumenta la distancia desde la fuente y en la mayoría de los materiales no atenúan los campos magnéticos.

2.1.4. Mediciones de los campos electromagnéticos

Las siguientes magnitudes físicas se utilizan para describir la exposición a campos electromagnéticos:

La intensidad de campo eléctrico es una magnitud vectorial (E) que corresponde a la fuerza ejercida sobre una partícula cargada independientemente de su movimiento en el espacio. Se expresa en voltios por metro (V/m) o en kilovoltios por metro (kV/m).

La intensidad de campo magnético es una magnitud vectorial (H) que, junto con la inducción magnética, determina un campo magnético en cualquier punto del espacio. Se expresa en amperios por metro (A/m).

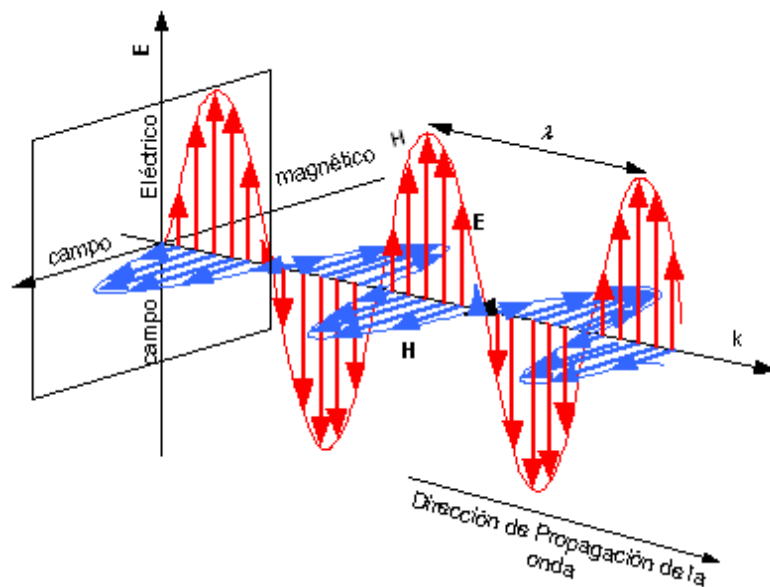
La densidad de flujo magnético o inducción magnética es una magnitud vectorial (B) que da lugar a una fuerza que actúa sobre cargas en movimiento, y se expresa en teslas (T), militeslas (mT) o microteslas (μ T). En espacio libre y en materiales biológicos, la densidad de flujo magnético o inducción magnética y la intensidad de campo magnético se pueden intercambiar utilizando la equivalencia $1 \text{ A/m} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}$.

2.1.5. Ondas electromagnéticas

Es la forma de propagación de la radiación electromagnética a través del espacio. Y sus aspectos teóricos están relacionados con la solución en forma de onda que admiten las ecuaciones de Maxwell. A diferencia de las ondas mecánicas, las ondas electromagnéticas no necesitan de un medio material para propagarse; es decir, pueden desplazarse por el vacío.

En la siguiente figura se ilustra las ideas básicas de la propagación de onda. 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 6. **Onda electromagnética y sus principales características físicas**



Fuente: curso del Departamento de RNI 2007.

La longitud de onda y la 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 dependen de las características eléctricas del medio en que la onda se propaga.

$$\lambda = v / f$$

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

En el espacio libre, las ondas electromagnéticas se dispersan uniformemente en todas direcciones desde un punto teórico fuente (isotrópica). Conforme la distancia de la fuente puntual aumenta, el área de la superficie de los frentes de onda aumenta según el cuadrado de la distancia, de modo que la fuente de potencia se dispersa sobre un área más grande.

2.1.6. Campos de Frecuencia Extremadamente Baja (ELF)

Los campos de ELF están comprendidos entre 0 Hz y 300 Hz. Estos campos eléctricos y magnéticos actúan en forma esencialmente independiente entre si y deben tratarse por separado.

Los campos eléctricos de ELF existen donde sea que exista una carga (voltaje), sin tener en cuenta si esta fluyendo alguna corriente. Casi ningún campo eléctrico penetra dentro del cuerpo humano. A intensidades de campo muy altas ellas pueden ser percibidas por el movimiento del vello corporal.

Los campos magnéticos de ELF existen donde sea que exista un flujo de corriente eléctrica. Este penetra fácilmente dentro del cuerpo sin ninguna atenuación significativa.

La principal acción en los sistemas biológicos debido a estos campos es la inducción de cargas eléctricas y corrientes.

Entre sus aplicaciones se tiene la generación, la transmisión y uso de potencia, procesos electrolíticos, calentamiento por inducción, hornos de arco y de colada, soldadura, transporte, etc., cualquier uso industrial, comercial, médico o en investigación de la energía eléctrica.

2.1.7. Ecuaciones de Maxwell

Las ecuaciones de Maxwell son el fundamento de la teoría clásica de los campos electromagnéticos. Estas ecuaciones son muy poderosas y son la base 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.

Un tipo de las soluciones de las ecuaciones de Maxwell son las ecuaciones de ondas de los campos eléctricos y magnéticos. Cuando las cargas o corrientes fuentes de las ondas oscilan y la frecuencia de oscilación es suficientemente alta, los campos E y H producidos serán irradiados, es decir se radiopropagarán.

2.1.8. Sistema eléctrico

El sistema eléctrico es el conjunto de instalaciones, centrales generadoras, líneas de transmisión, subestaciones eléctricas, redes de distribución, equipo eléctrico, centros de carga y en general toda infraestructura destinada a la prestación del servicio, interconectados o no, dentro del cual se efectúan las diferentes transferencias de energía eléctrica entre diversas regiones del país.

En su representación más simplificada, el sistema eléctrico se divide en sistema de generación (representa a la oferta de energía eléctrica), sistema de transporte (representa el medio de transferencia de la energía eléctrica de los sitios de producción a los de consumo) y sistema de distribución (representa la demanda o consumo de energía eléctrica).

En Guatemala, el sistema eléctrico está conformado por el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), el cual está integrado por el Sistema Nacional Interconectado (SNI) y algunos sistemas aislados.

La operación del SNI y todos sus elementos eléctricos es una de las responsabilidades del Administrador del Mercado Mayorista (AMM) estando regido por las Normas de Coordinación Operativa. Estas normas son un conjunto de disposiciones y procedimientos que tienen por objeto garantizar la coordinación de la operación del Sistema Nacional Interconectado, para abastecer la demanda a mínimo costo, manteniendo la continuidad y la calidad del servicio. Estas son aprobadas por la Comisión nacional de Energía Eléctrica (CNEE).

A diciembre de 2012, existían 45 entidades generadores (44 privados y 1 público); 8 transportistas (7 privados y 1 público); 32 comercializadores privados; 18 distribuidoras (3 privados y 15 públicos); y 914 entidades inscritas como grandes usuarios que actúan libremente.

Sistema de Generación Eléctrica

El sistema de generación está conformado por centrales: hidroeléctricas, turbinas de vapor, turbinas de gas, motores de combustión interna y centrales

geotérmicas.

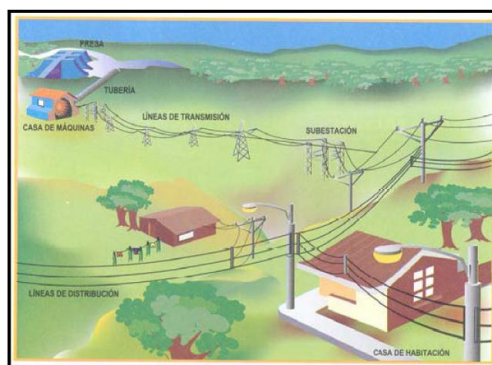
La actividad de la generación no está sujeta a autorización del MEM, salvo aquellas que hacen uso de bienes de dominio público, tales como las hidroeléctricas y las geotérmicas.

En la generación actual predominan las centrales térmicas, ya que su período de construcción es corto, la inversión inicial es menor, por lo que el retorno del capital inicial sea da en un tiempo menor.

La operación de las centrales generadoras es coordinada por el AMM y ejecutada por los generadores.

En la siguiente figura se da a conocer un esquema de cómo funciona el sistema eléctrico, en este caso se tomo una hidroeléctrica para la generación, luego va a las líneas de transmisión, posteriormente el voltaje se transforma en la subestación y luego llega a sus consumidores finales por medio de la línea de distribución.

Figura 7. **Sistema eléctrico**



Fuente: Subsector eléctrico de Guatemala. p. 3.

Sistema de Transporte Eléctrico

El sistema de transporte está conformado por el sistema principal y el sistema secundario.

El sistema principal es compartido por los generadores e incluye la interconexión Guatemala - El Salvador; el sistema secundario está conformado por la infraestructura eléctrica utilizada por los generadores para el suministro de energía al sistema principal; está dividido geográficamente en tres áreas: central, occidental y oriental. La red de transporte opera básicamente en tres niveles de voltaje: 230, 138 y 69 kV; mientras.

El sistema secundario es el medio de interconexión de un generador a la red de transmisión.

La actividad del transporte está sujeta a autorización del MEM, si utiliza bienes de dominio público. El acceso y la ampliación del sistema requiere autorización de la CNEE. La operación de sistema de transporte es coordinada por el AMM y ejecutada por los transportistas.

El sistema de transporte hoy en día está interconectado con Centroamérica y México, a través de:

- Sistema de Interconexión Eléctrica de los países de América Central, (SIEPAC).
- Interconexión Guatemala - México.

La interconexión eléctrica entre México y Guatemala, la primera obra de infraestructura que se concreta dentro del Proyecto Mesoamericano (lo que antes fue el Plan Puebla Panamá), las pruebas realizadas resultaron exitosas.

La interconexión eléctrica, es a través de una línea de 103 kilómetros; 32 del lado mexicano y 71 del guatemalteco.

La energía eléctrica se lleva desde la Subestación Tapachula, en Chiapas, hacia la Subestación Brillantes, ubicada en el municipio de Santa Cruz Muluá, departamento de Retalhuleu, en Guatemala.

En la obra se invirtió poco más de 50 millones de dólares y entre otras cosas tiene una capacidad de transmisión de hasta 400 megavatios, aunque los gobiernos de México y Guatemala suscribieron un convenio de compra-venta entre el Instituto de Energía (INDE) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE), solamente por la mitad de esa cifra.

Se considera que la obra simboliza el primer paso para alcanzar el proyecto de la red de electrificación de la región mesoamericana, acorde al Sistema de Interconexión Eléctrica para los Países de América Central (SIEPAC), con el que se busca ser el primer sistema de transmisión eléctrica regional que cubrirá Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá.

El Sistema de Interconexión contará con mil 800 kilómetros de líneas de transmisión, cuatro mil 600 estructuras de alta tensión y 65 mil kilómetros de fibra óptica, con los que se conectará a las redes nacionales de cada país mediante un total de 28 bahías de acceso en 15 subestaciones de las seis naciones.

Se calcula que el programa regional tendrá un costo total superior a los 700 millones de dólares financiados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

En la siguiente figura se muestra la interconexión de Guatemala, con México, por medio de la línea de transmisión de 400 kV y con el resto de países centroamericanos por medio del SIEPAC.

Figura 8. **Interconexiones**



Fuente: http://www.prensalibre.com.gt/economia/Cepal-interconexion-Centroamerica_0_715128646.html. Consulta: 12 de enero de 2013.

2.1.9. **Línea de transmisión**

Es el conjunto de dispositivos para transportar o guiar la energía eléctrica desde una fuente de generación a los centros de consumo (las cargas). Y estos son utilizados normalmente cuando no es costeable producir la energía eléctrica en los centros de consumo o cuando afecta el medio ambiente (visual, acústico

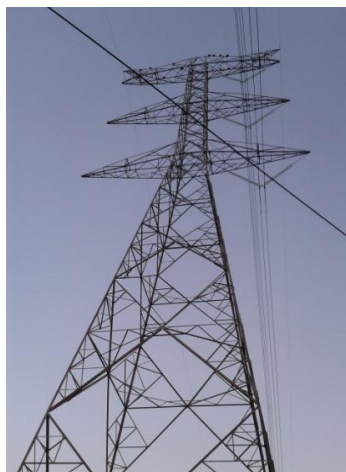
o físico), buscando siempre maximizar la eficiencia, haciendo las pérdidas por calor o por radiaciones las más pequeñas posibles.

Al transmitir la energía se tiene alta tensión o voltaje y menos corriente para que existan menores pérdidas en el conductor, ya que la resistencia varía con respecto a la longitud, y como estas líneas son demasiado largas las pérdidas de electricidad por calentamiento serían muy grandes.

Se puede mencionar varias características de la corriente alterna, como que posee frecuencia, presenta una mayor caída de tensión, tiene mayores pérdidas por impedancias, es fácilmente transformable y tiene factor de potencia.

En la siguiente figura se muestra una estructura de líneas de transmisión de 400 kV, es de tipo EA4B22CA, en la cual se puede observar los cables que transmiten la energía eléctrica.

Figura 9. **Estructura de línea de transmisión de 400 kV**



Fuente: Pajapita, San Marcos.

2.1.10. Parámetros primarios de la línea

En la siguiente tabla, se dan a conocer las principales características técnicas de la línea de transmisión de 400 kV, la cual fue proporcionada por ETCEE.

Tabla II. Características técnicas

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Tensión nominal de diseño	420 kV
Tensión nominal de servicio	400 kV
Frecuencia	60 Hz
Potencia máxima de transporte 1 circuito	200 MW
Número de circuitos	2
Cantidad de conductor por fase	2
Disposición del haz de conductores	Horizontal
Disposición de fases	Vertical
Estructuras	Torres auto soportadas de acero galvanizado
Tipo de conductor	ACSR/AS 1113
Cable de guarda	AAS 7 # 8
Cable de guarda con fibra óptica (CGFO)	Cable con 36 fibras ópticas integradas
Aisladores de tensión y suspensión	Tipo 29 SVC 160C, 25 SVC 111C ANSI 52-5
Herrajes para conductor	Libre de efecto corona (Hot Line)
Herrajes para cable de guarda	De aleación de aluminio
Puesta a tierra	Contra Antenas

Fuente: ETCEE.

2.1.11. Fuerzas mecánicas de la estructura tipo: EA4W22MA, Remate

En la siguiente tabla se da a conocer los datos de fuerzas mecánicas las cuales está diseñada soportar la estructura tipo EA4W22MA, así como también, especificaciones de aisladores, hijo de guarda y conductores.

Tabla III. Datos Mecánicos de la estructura EA4W22MA para remate

Datos	Valor	Dimensión
Claro Medio Horizontal	300	m
Claro Vertical	700	m
Ángulo De Deflexión	0.52	Rad.
Diámetro De Conductor	0.03198	m
Peso De Conductor	18.32	N/m
Número De Conductores Por Fase	2	
Diámetro De Hilo De Guarda	0.016	m
Peso De Hilo De Guarda	5.88	N/m
Diámetro De Aislador	0.254	m
Longitud De Cadena De Aisladores	4.10	m
Peso Conjunto De Cadenas De Aisladores	4648	N
Número De Conjuntos De Cadenas Extremo	2	pza
Número De Conjuntos De Cadenas Centro	2	pza
Presión De Viento Normal En Conductor	575	Pa
Presión De Viento Máxima En Conductor	765	Pa
Presión De Viento Normal En Estructura	4040	Pa
Presión De Viento Máxima En Estructura	5378	Pa
Tensión De Ruptura Del Conductor	137675	N
Tensión De Ruptura Del Hilo De Guarda	60605	N
Tensión Diaria Conductor (0.22*Tens.Rupt.)	30288	N
Tensión Diaria Hilo De Guarda (0.22*Tens.Rupt.)	13333	N
Tensión Del Conductor	46581	N
Tensión Del Hilo De Guarda	15691	N
Tensión Conductor Con Hielo	46581	N
Tensión Hilo De Gda. Con Hielo	15691	N
Peso Específico De Hielo	8826	N/m ³

Continuación de la tabla III.

Espesor De Hielo En Cable	0.005	m.
Datos	Valor	Dimensión
Presión De Viento Reducida En Conductor	144	Pa
Presión De Viento Reducida En Estructura	1010	Pa
La Cadena Del Centro Es En V Dar 1 ---->	1	
La Cadena Del Extremo Es En V Dar 1---->	1	
Longitud De Cadena Centro	4.1	m
Longitud De Cadena Extremo	4.1	m

Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

2.1.12. Fuerzas mecánicas de la estructura tipo: EA4W22MA, Cadenas V, Suspensión

En la siguiente tabla se da a conocer los datos de fuerzas mecánicas las cuales está diseñada soportar la estructura EA4W22MA, Cadenas V, suspensión, así como también, especificaciones de aisladores, hijo de guarda y conductores.

Tabla IV. Datos mecánicos de la estructura EA4W22MA para suspensión

Datos	Valor	Dimensión
Claro Medio Horizontal	450	m
Claro Vertical	750	m
Angulo De Deflexión	0.05	Rad.
Diámetro De Conductor	0.03198	m
Peso De Conductor	18.32	N/m
Número De Conductores Por Fase	2	
Diámetro De Hilo De Guarda	0.016	m
Peso De Hilo De Guarda	5.88	N/m
Diámetro De Aislador	0.254	m

Continuación de la tabla IV.

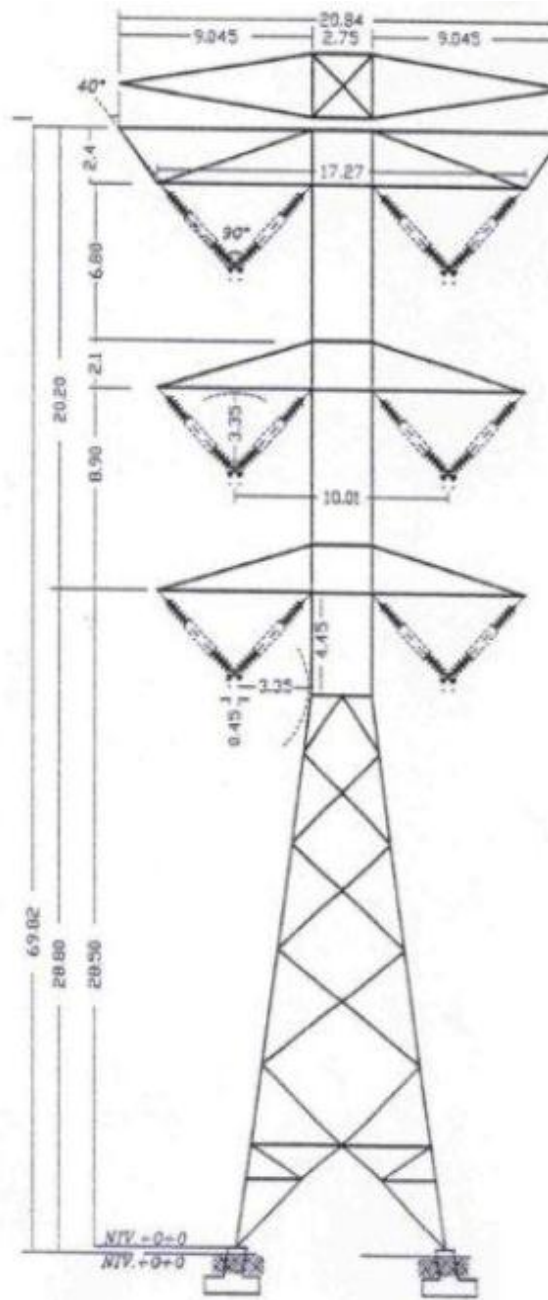
Datos	Valor	Dimensión
Longitud De Cadena De Aisladores	4.1	m
Peso Conjunto De Cadenas De Aisladores	2078	N
Número De Conjuntos De Cadenas Extremo	2	pza
Número De Conjuntos De Cadenas Centro	2	pza
Presión De Viento Normal En Conductor	575	Pa
Presión De Viento Máxima En Conductor	765	Pa
Presión De Viento Normal En Estructura	4040	Pa
Presión De Viento Máxima En Estructura	5378	Pa
Tensión De Ruptura Del Conductor	137675	N
Tensión De Ruptura Del Hilo De Guarda	60605	N
Tensión Diaria Conductor (0.22*Tens.Rupt.)	30288	N
Tensión Diaria Hilo De Guarda (0.22*Tens.Rupt.)	13333	N
Tensión Del Conductor	46581	N
Tensión Del Hilo De Guarda	16000	N
Tensión Conductor Con Hielo	46581	N
Tensión Hilo De Gda. Con Hielo	16000	N
Peso Especifico De Hielo	8826	N/m3
Espesor De Hielo En Cable	0.005	m.
Presión De Viento Reducida En Conductor	144	Pa
Presión De Viento Reducida En Estructura	1010	Pa
La Cadena Del Centro Es En V Dar 1 ---->	0.7071	
La Cadena Del Extremo Es En V Dar 1--->	0.7071	
Longitud De Cadena Centro	2.9	m
Longitud De Cadena Extremo	2.9	m

Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

2.1.13. Siluetas de las estructura de línea de transmisión de 400 kV

En la siguiente figura se da a conocer la silueta básica de la estructura EA4B22CA, así como también, se muestran las medidas de dicha estructura, por la Comisión Federal de Electricidad.

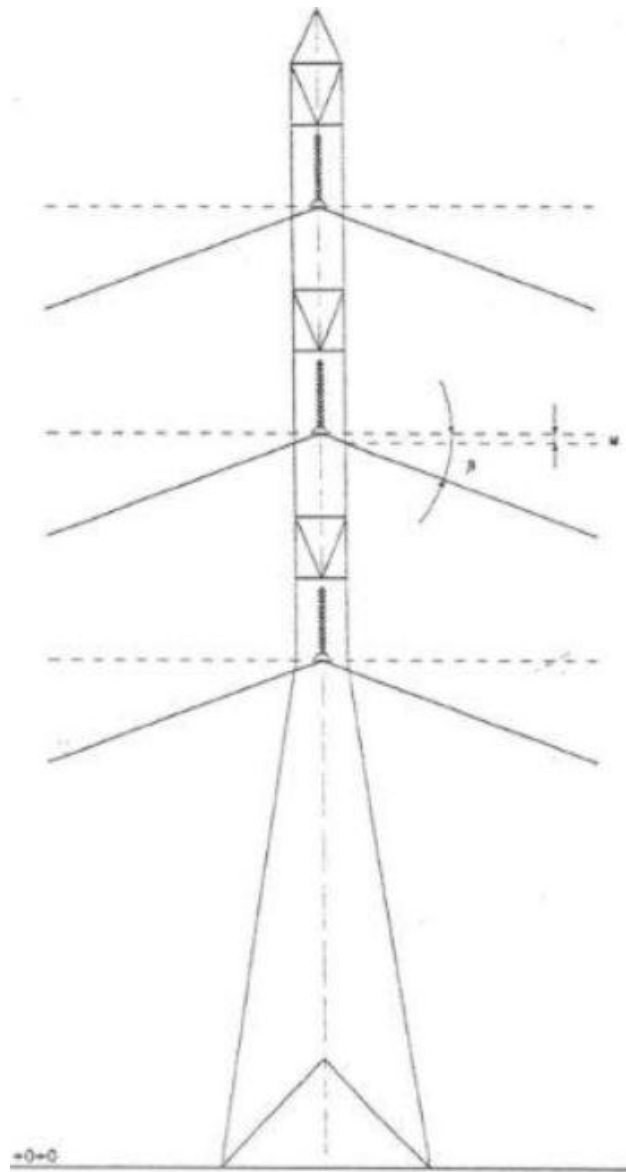
Figura 10. Silueta básica EA4B22CA



Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

En la siguiente figura se da a conocer la vista de perfil de la estructura tipo EA4A22MA, este perfil, es propuesto por la Comisión Federal de Electricidad, para la línea de transmisión de 400 kV.

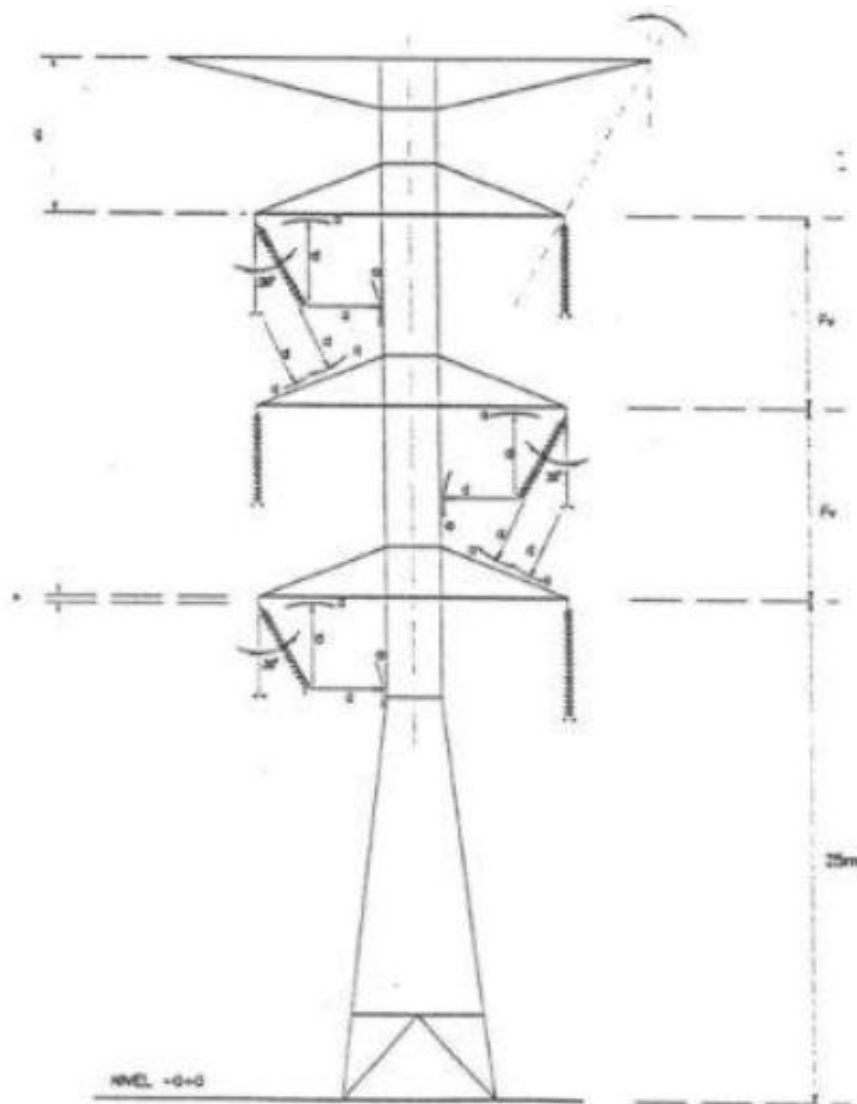
Figura 12. **Vista perfil EA4A22MA**



Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

En la siguiente figura se da a conocer la silueta básica de la estructura EA4A22MA, así como también, se muestran las medidas de dicha estructura, por la Comisión Federal de Electricidad.

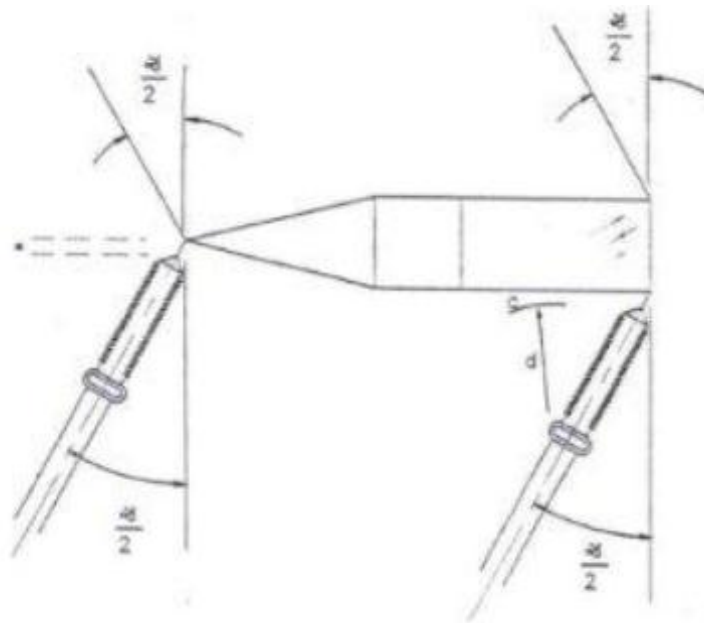
Figura 13. **Silueta fundamental tensión EA4X22MA**



Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

En la siguiente figura se da a conocer la vista de planta EA4X22MA, así como también, se muestran los ángulos empleados en dicha estructura, propuestos por la Comisión Federal de Electricidad.

Figura 14. **Vista planta EA4X22MA**



Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

2.1.14. **Intensidad de corriente por hora en la línea de 400 kV**

La siguiente tabla fue proporcionada por ETCEE, en la cual muestra los valores de corriente en amperios en línea de transmisión de 400 kV, Los Brillantes- Tapachula.

Tabla V. Corriente en amperios de la LT de 400 kV

Hora	19/11/2012	20/11/2012	21/11/2012	22/11/2012	23/11/2012
	I(A)	I(A)	I(A)	I(A)	I(A)
00:00	***	***	***	***	***
01:00	***	***	***	***	***
02:00	***	***	***	***	***
03:00	***	***	***	***	***
04:00	***	***	***	***	***
05:00	***	***	***	***	***
06:00	***	***	***	***	***
07:00	***	***	***	***	***
08:00	25.69	30.84	36.01	22.82	18.34
09:00	29.13	35.74	40.95	28.69	34.36
10:00	45.15	27.05	38.28	34.39	31.89
11:00	40.11	36.27	33.65	29.93	34.71
12:00	32.45	41.89	35.76	40.67	40.44
13:00	38.44	45.69	36.18	42.41	33.68
14:00	35.70	64.28	35.77	27.17	35.29
15:00	52.27	33.19	33.00	33.02	35.75
16:00	29.95	29.61	42.01	27.53	28.40
17:00	28.53	28.63	30.03	29.75	41.87
18:00	51.86	27.72	45.57	55.16	33.17
19:00	40.81	35.24	36.27	35.96	36.19
20:00	37.71	27.90	27.00	30.49	22.41
21:00	31.17	28.91	38.49	29.59	27.93
22:00	***	***	***	***	***
23:00	***	***	***	***	***

Fuente: ETCEE.

2.1.15. Efecto Ferranti

Es una sobretensión producida en una larga línea de transmisión, relativa a la tensión al final de la misma, que ocurre cuando está desconectada de la carga, o bien con una carga muy pequeña.

Se presenta cuando el potencial de un conductor en el aire se eleva hasta valores tales que sobrepasan la rigidez dieléctrica del aire que rodea al conductor. Los mencionados efluvios eléctricos comienzan cuando un electrón libre es acelerado a través de un gas por acción del campo eléctrico.

Se produce debido a la capacitancia distribuida de la línea. El efecto Ferranti será más acentuado cuanto más larga sea la línea, y mayor el voltaje aplicado. Es función de dos elementos: el gradiente potencial en la superficie del conductor y la rigidez dieléctrica del aire en la superficie, valor que a su vez depende de la presión atmosférica y la temperatura.

2.1.16. Efecto Corona

Consiste en la ionización del aire que rodea a los conductores de alta tensión. Este fenómeno tiene lugar cuando el gradiente eléctrico supera la rigidez dieléctrica del aire y se manifiesta en forma de pequeñas chispas o descargas a escasos centímetros de los cables.

Las líneas eléctricas se diseñan para que el efecto corona sea mínimo, puesto que también suponen una pérdida en su capacidad de transporte de energía; en su aparición e intensidad influyen los siguientes condicionantes:

- Tensión de la línea: cuanto mayor sea la tensión de funcionamiento de la línea, mayor será el gradiente eléctrico en la superficie de los cables y, por

tanto, mayor el efecto corona. En realidad sólo se produce en líneas de tensión superior a 80 kV.

- La humedad relativa del aire: una mayor humedad, especialmente en caso de lluvia o niebla, incrementa de forma importante el efecto corona.
- El estado de la superficie del conductor: las rugosidades, irregularidades, defectos, impurezas adheridas, etc., incrementan el efecto corona.
- Número de subconductores: el efecto corona será menor cuanto más subconductores tenga cada fase de la línea.

Como consecuencia del efecto corona se produce una emisión de energía acústica y energía electromagnética en el rango de las radiofrecuencias, de forma que los conductores pueden generar ruido e interferencias en la radio y la televisión; otra consecuencia es la producción de ozono y óxidos de nitrógeno.

El efecto corona es un fenómeno ampliamente conocido y no representa ningún peligro para la salud. En este sentido, la Organización Mundial de la Salud declaraba en una nota descriptiva publicada en noviembre de 1998 manifiesta que, ninguno de estos efectos [debidos al efecto corona] es suficientemente importante para afectar a la salud.

El ruido provocado por el efecto corona consiste en un zumbido de baja frecuencia (básicamente de 100 Hz), provocado por el movimiento de los iones, y un chisporroteo producido por las descargas eléctricas (entre 0,4 y 16 kHz). Son ruidos de pequeña intensidad que en muchos casos apenas son perceptibles; únicamente cuando el efecto corona sea elevado se percibirán en

la proximidad inmediata de las líneas de muy alta tensión, disminuyendo rápidamente al aumentar la distancia a la línea.

Cuando la humedad relativa es elevada, por ejemplo cuando llueve, el efecto corona aumenta mucho, dando lugar a un incremento importante del ruido audible. Sin embargo, este ruido generalmente queda opacado por el producido por las gotas de lluvia golpeando en el suelo, tejados, ropa, etc., que provoca un nivel acústico superior.

En condiciones de niebla también aumenta el efecto corona y el ruido audible, pero la existencia de ésta frena la propagación del ruido, es decir, se oye más al lado de la línea pero se deja de percibir a mayor distancia.

2.2. Protocolos

Para poder realizar las mediciones de Radiaciones No Ionizantes, se debe de conocer cuáles son los procedimientos y protocolos utilizados por las normas IEEE y por el Departamento de Radiaciones No Ionizantes.

2.2.1. Procedimientos para la medición campos eléctricos

Esta distancia reducirá el efecto de proximidad (campo E sombreado) de un observador alto (1.8 m) que se encuentra al nivel del suelo en, a valores entre ~1.5% y ~3%. En los casos en los cuales los efectos de una mayor proximidad son considerados aceptables, la distancia del observador se puede reducir. En estos casos, la distancia debe ser explícitamente conocida. Efectos de proximidad del orden de 5% tienen lugar cuando la distancia del observador es entre ~ 1.8 y 2.1 m de distancia del medidor.

El valor real dependerá de la geometría de la combinación entre el observador, medidor y las líneas de conducción eléctrica. Como los observadores normalmente están cerca del potencial de tierra, los efectos de proximidad indicados anteriormente pueden ser considerados como característicos. El observador introducirá menos perturbación cuando se para en la región de menor intensidad de campo eléctrico mientras realiza la medición.

Asimetrías en el diseño de la sonda de un medidor de intensidad de campo eléctrico pueden cambiar la dirección de un eje eléctrico con relación al aparente eje vertical. Las mediciones realizadas con tal instrumento deben ser más o menos inmunes a la proximidad del observador. En tal caso, los efectos de la proximidad del observador deben ser cuantificados antes que el medidor de la intensidad del campo eléctrico sea empleado para la medición. Los efectos de proximidad en exceso de aquellos recién señalados deben ser informados.

Para proporcionar una más completa descripción del campo E de fuerza en un punto de interés, se puede realizar mediciones del campo máximo con su orientación y del campo mínimo con su respectiva orientación, ambas en el plano de la elipse de campo. Bajo condiciones ideales de líneas de conducción eléctrica horizontales y una superficie plana por debajo del suelo, el plano de la elipse es perpendicular a la dirección de los conductores. Este es aproximadamente el caso de líneas de conducción eléctrica reales en ausencia de objetos cercanos y terreno demasiado escabroso.

Para realizar mediciones en el plano de la elipse, la línea observador-medidor de campo debe ser paralela a los conductores. La rotación del medidor

alrededor de esta línea, la cual coincide con la manilla, permitirá determinar los componentes del campo máximo y mínimo y sus direcciones.

Se debe tener cuidado durante la medición si el eje eléctrico de la sonda no coincide con los ejes geométricos aparentes.

La distancia entre el medidor y los objetos no permanentes deben ser ~1 o más a fin de asegurar suficiente exactitud de la medición del valor del campo ambiental perturbado.

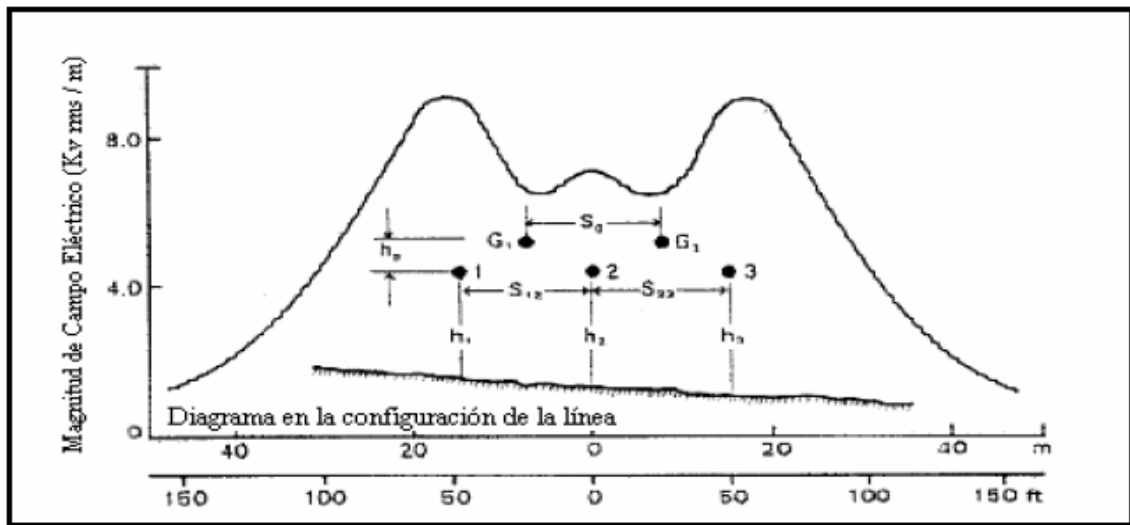
Perfil lateral

El perfil lateral de la intensidad de campo eléctrico en puntos de interés a lo largo del vano deberá medirse a intervalos seleccionados en una dirección normal hacia la línea a 1 m sobre el nivel del suelo. Las mediciones del perfil lateral (mitad) deberán empezar del centro de la línea en el área de interés y ser trazadas a una distancia lateral de por lo menos 30 m más allá del conductor exterior. Por lo menos, 5 medidas iguales separadas deben realizarse debajo de la línea. Se recomienda que los perfiles sean trazados en el campo para determinar si se ha obtenido un detalle adecuado.

Las mediciones completas de los perfiles completos deben comenzar en la región de interés más allá del conductor exterior y debe progresar sucesivamente al lado opuesto del derecho de paso. Muchas mediciones finales repetidas en algunos puntos intermedios proporcionaran alguna indicación de posibles cambios en la altura, peso o voltaje de la línea en el transcurso de las de mediciones. La hora local debe ser grabada en la hoja de información periódicamente durante las mediciones para facilitar una revisión posterior de la información, junto con los datos del voltaje y carga de la línea.

En la siguiente figura, se da a conocer como se refleja la intensidad de campo eléctrico a la mitad del vano, con su respectivo diagrama de configuración de la línea.

Figura 15. **Perfil lateral de la intensidad de campo eléctrico**



Fuente: IEEE 644 (1994).

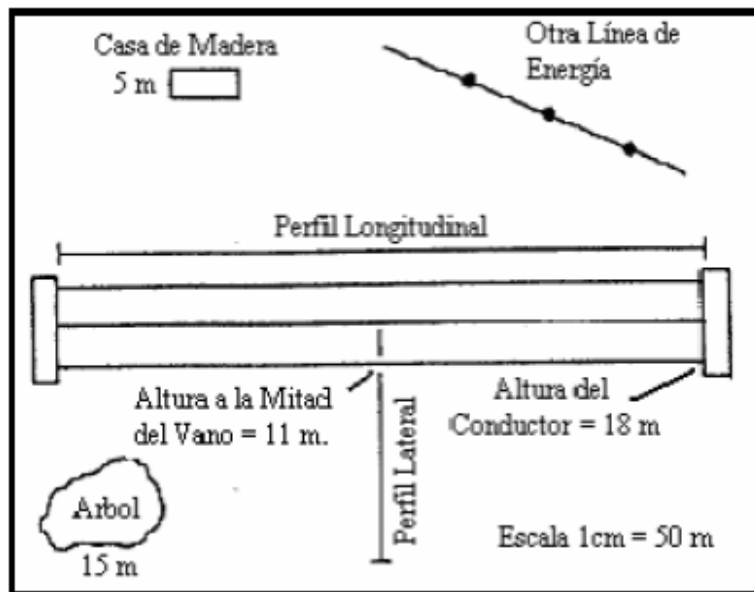
Perfil longitudinal

El perfil longitudinal de la intensidad del campo debe ser medido donde el campo es mayor, en la mitad del vano o cualquier otro punto de interés, como se ha establecido del perfil lateral, paralelo a la línea y a 1m sobre el nivel del suelo.

La siguiente figura, muestra como se deben de realizar las mediciones del perfil longitudinal deben hacerse por lo menos en 5 puntos definidos por

incrementos consecutivos casi iguales desde un punto a la mitad del vano en ambas direcciones para una distancia total igual a un vano.

Figura 16. Vista aérea típica con alturas de objetos



Fuente: IEEE 644 (1994).

Ubicación de las mediciones

Con el fin de hacer mediciones de la intensidad de campos eléctrico que representen el campo imperturbado en una ubicación dada, el área debe estar libre, en la medida de lo posible, de otras líneas de conducción eléctrica, torres, árboles, cercas, arbustos grandes u otras irregularidades. Es preferible que la ubicación sea relativamente plana. Se debe tomar en cuenta que la influencia de la vegetación en la intensidad de los campos eléctricos puede ser significativa. En general, un incremento del campo ocurre cerca de la parte

superior de la vegetación aislada y un debilitamiento del campo ocurre cerca a los lados.

La perturbación de los campos puede depender notablemente del agua que se encuentra en la vegetación.

Chequeo de pérdidas debido al sujetador

Para chequear las pérdidas debido al sujetador, el medidor de intensidad de campo eléctrico debe estar orientado con su eje perpendicular al plano de la elipse del campo eléctrico donde, bajo las condiciones ideales, debe medirse una intensidad de campo eléctrico cero. La pérdida eléctrica a través de un observador que se encuentra en el suelo debido a la contaminación de la superficie en el sujetador puede causar una lectura por el medidor. Se asume durante este chequeo de pérdida que el eje eléctrico es también perpendicular al plano. Tal lectura, expresada en porcentaje del campo máximo, representará el orden de la magnitud del error que puede ser causado por este mecanismo.

Contenido armónico

La respuesta de ciertos medidores de intensidad de campo eléctrico está influenciada por los altos niveles de contenido armónico. Por lo tanto, si es posible, la forma de onda del campo o sus derivados (la corriente inducida) debe ser observada para obtener un estimado de la cantidad del contenido armónico.

Se puede realizar una observación cualitativa con un osciloscopio conectado a la salida del detector de una sonda de placa plana. El reemplazo

del osciloscopio con un analizador de onda permitirá realizar las mediciones, en porcentaje, de los varios componentes armónicos.

Las magnitudes de los componentes armónicos en la corriente inducida (campo derivado) son aumentadas por el número armónico.

Incertidumbre de mediciones

Las incertidumbres de mediciones debido a la calibración, temperatura, interferencia, la proximidad del observador, y otros parámetros deben combinarse (raíz cuadrada de la suma de los cuadrados) y señalarse como la incertidumbre total estimada de las mediciones. La incertidumbre total no debe exceder el $\pm 10\%$.

2.2.2. Procedimientos para la medición de campos magnéticos

El campo magnético bajo líneas de conducción eléctrica debe ser medido a una altura de 1 m sobre el nivel del suelo. Mediciones realizadas a otras alturas de interés deben indicarse explícitamente. Los medidores de campos con sondas de ejes simples deben ser orientados para medir la máxima intensidad de campo. Alternativamente, medidores de campos con sonda de triple eje pueden usarse para medir el campo magnético resultante. Componentes de campos horizontales y verticales pueden medirse cuando se requieran comparaciones con cálculos o para calcular efectos de inducción en cercas, etc. En todos los casos, cuando se reporta los resultados de medición, la cantidad que ha sido reportada debe ser claramente indicada.

Se debe tomar en cuenta que durante las mediciones de campos polarizados elípticos o circulares, el campo magnético resultante será mayor que el campo magnético máximo. La gran diferencia ocurre en el caso de una polarización circular cuando el campo magnético resultante excede el campo máximo en 41 %.

También se debe resaltar que el campo magnético resultante, es igual a la densidad del flujo magnético total rms, independientemente de las fases de los componentes ortogonales. Una consecuencia de la independencia de fase es que el campo magnético resultante no es único en el sentido que campos magnéticos con diferentes geometrías pueden tener el mismo campo magnético resultante.

En los casos donde el campo magnético permanece casi constante, los medidores de campos con ejes únicos pueden usarse para determinar el campo resultante mediante la medición de las componentes vertical y horizontal combinándolos. Si las señales de las sondas individuales de un medidor de tres ejes pueden ser observadas, una de las sondas puede ser rotada para determinar el campo máximo.

El operador puede permanecer cerca de la sonda. Los objetos no permanentes que contienen materiales magnéticos o conductores no magnéticos deben estar alejados del punto de medición al menos 3 veces la dimensión mayor del objeto para medir el valor del campo imperturbado. La distancia entre la sonda y los objetos magnéticos permanentes debe ser de no menos de 1 m para medir debidamente el campo perturbado del ambiente.

Los objetos metálicos no magnéticos desarrollaran corrientes de remolinos debido a la variación en el tiempo del flujo magnético. Los campos magnéticos

generados por estas corrientes de remolinos variaran con la inversa de la tercera potencia de la distancia para grandes distancias comparada a las dimensiones del objeto metálico.

Para dar una más completa descripción del campo B en un punto de interés, se pueden realizar mediciones del campo máximo y mínimo con sus orientaciones en el plano del campo elipse.

Perfil lateral y longitudinal

Los procedimientos que se deben seguir para las mediciones del campo magnético son las mismas que del campo eléctrico.

Contenido armónico

La respuesta de ciertos conductores de campos magnéticos está influenciada por niveles elevados de contenido armónico. Por lo tanto, si es posible, la forma de onda a del campo o sus derivados (voltaje inducido) se deben observar para obtener un estimado de la cantidad del contenido armónico. Una observación de calidad puede hacerse con un osciloscopio. El reemplazo del osciloscopio con un analizador de onda permitiría mediciones, en porcentaje, de los varios componentes armónicos.

Las magnitudes de los componentes armónicos en el voltaje inducido (campo derivado) son aumentadas por el número armónico.

Incertidumbre de mediciones

Las incertidumbres de mediciones debido a la calibración, temperatura, interferencia, la proximidad del observador, y otros parámetros deben combinarse (raíz cuadrada de la suma de los cuadrados) y señalarse como la incertidumbre total estimada de las mediciones. La incertidumbre total no debe exceder el $\pm 10\%$.

2.2.3. Protocolo de trabajo según el Departamento de RNI del Ministerio de Energía y Minas

El objetivo es evaluar los niveles de exposición a Radiaciones No Ionizantes, producidas en líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica y subestaciones en la República de Guatemala; basadas en el 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).

Con respecto de las mediciones los criterios básicos para la elección de los puntos de medición:

- Área poblacional; ubicar los puntos críticos para realizar las mediciones, (centros educativos, hospitales, centros de salud, entre otros.), tomar en cuenta consideraciones generales sobre exposición a nivel del suelo.
- Para realizar la medición se debe considerar las horas de exposición poblacional/ocupacional mínima; (considerar los horarios en los cuales no haya afluencia de personas en los alrededores al punto de medición).

Dentro de la metodología de evaluación simple de la exposición a los campos electromagnéticos, se puede mencionar:

- Exposición a nivel del suelo, en la cual se asume que el centro de la Radiación No Ionizantes de la línea de transmisión eléctrica a la altura del poste o de la estación o subestación y se toma como referencia a un hombre de 2 metros de altura sobre el suelo a una distancia x de la base del poste que sostiene la línea de alta tensión. Se realizan las mediciones de campo eléctrico y magnético a diferentes puntos de x .
- Exposición en un edificio adyacente, en la cual se asume que el centro de la radiación se localiza en el extremo superior del poste que sostiene la línea de tendido eléctrico a una altura H y se evalúa el campo eléctrico y magnético a una altura de 2 metros sobre el nivel superior del edificio o residencia a una distancia x .

La ejecución de este protocolo, se baso en el estándar IEEE 644 (1994) Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines, por lo tanto debe de tomar en cuenta los siguientes puntos:

- Las mediciones deberán empezar del centro de la línea en el área de interés y ser trazadas a una distancia de por lo menos 30 metros más allá del conductor exterior a evaluar, se realizarán al menos tres mediciones desde la línea hacia los lados de interés.
- Medición para el perfil longitudinal: Debe ser medido donde el campo es mayor, en la mitad del vano o cualquier otro punto de interés, como se ha establecido del perfil lateral, paralelo a la línea y a 1 m sobre el nivel del

suelo. Deben hacerse por lo menos en 5 puntos definidos por incrementos consecutivos casi iguales desde un punto a la mitad del vano en ambas direcciones para una distancia total igual al vano.

- La realización de los monitoreos deberán practicarse principalmente en horarios que se evite la lluvia, ya que la humedad producida llegaría a perturbar el campo eléctrico derivado al cambio de la densidad del aire, según el anexo B de la IEEE 644-1994.
- Las mediciones serán realizadas a una altura de 1 metro sobre el piso. Se considerarán mediciones en otras alturas cuando sea necesario. La sonda debe estar orientada en forma horizontal (ver figura 5) para leer el campo eléctrico (E) debido a que las líneas equipotenciales chocan verticalmente ya que a esta distancia, es con frecuencia usada para caracterizar efectos de inducción en objetos cercanos al nivel del suelo, evitando de esta forma perturbaciones (Chen et al. 1986, Kaune y Phillips 1980).
- Para evitar perturbaciones o errores en la medición del campo eléctrico, se recomienda que el operador mantenga una distancia mínima de 2.5 m de la sonda.
- Durante la medición del campo magnético, el operador puede estar cerca de la sonda debido a que no perturbará el campo magnético a medirse (los objetos no permanentes que contienen materiales magnéticos o conductores no magnéticos deben estar alejados del punto de medición al menos 3 veces la dimensión mayor del objeto para medir el valor del campo imperturbado, como por ejemplo: teléfonos celulares, relojes, cadenas, etc.).

- La distancia entre la sonda y los objetos magnéticos permanentes debe ser de no menos de 1 m para medir debidamente el campo perturbado del ambiente.
- Para la medición del campo magnético, la sonda debe de estar en orientada perpendicularmente a las líneas de campo es decir en forma vertical.
- Con el fin de hacer mediciones de la intensidad de campos eléctricos que representen el campo imperturbado en una ubicación dada, el área debe estar libre, en la medida de lo posible, de otras líneas de conducción eléctrica, torres, árboles, cercas, arbustos grandes u otras irregularidades.
- Es preferible que la ubicación sea relativamente plana. Se debe tomar en cuenta que la influencia de la vegetación en la intensidad de los campos eléctricos puede ser significativa. En general, un incremento del campo ocurre cerca de la parte superior de la vegetación aislada y un debilitamiento del campo ocurre cerca a los lados.

Al momento de realizar las mediciones, se debe tomar en cuenta:

- Ubicar las coordenadas geográficas, mediante el uso de GPS, los puntos de medición que ya hayan sido definidos en la estrategia de muestreo
- Detallar mediante croquis, fotografías y vistas del lugar, las particularidades de los sitios expuestos a las Radiaciones No Ionizantes.
- Tomar evidencia fotográfica de las torres, postes y equipo de medición para documentar el trabajo de medición.

- Proceder al encendido del equipo y fijación de las unidades y el tiempo de medición de acuerdo al manual del equipo.
- Proceder a realizar la calibración del equipo de medición según el instructivo del equipo.
- Medir el campo magnético, tomando en cuenta las consideraciones anteriormente mencionadas. Se debe tomar como mínimo un tiempo de 6 minutos por cada medición.
- Terminada la medición del campo magnético se precede a la medición del campo eléctrico y se repiten los pasos anteriores, desde la calibración del equipo de medición, según instructivo.

Se tiene que mencionar que las incertidumbres de mediciones debido a la calibración, temperatura, interferencia, la proximidad del observador y otros parámetros deben combinarse (raíz cuadrada de la suma de los cuadrados) y señalarse como la incertidumbre total estimada de las mediciones. La incertidumbre total no debe exceder el $\pm 10\%$.

2.3. Monitoreos

Para la realización de los monitoreos, se presentan las técnicas estadísticas empleadas y también se presenta el resumen de los monitoreos.

2.3.1. Análisis estadístico para planificación de monitoreos

En la planificación para realizar los monitoreos de RNI en la línea de transmisión de 400 kV, lo primordial fue realizar un muestreo simple aleatorio, con población infinita y variables cualitativas en la cual la variable de interés era la Radiación No Ionizantes que produciría la línea de transmisión, con referencia a esta radiación se determinaría una muestra idónea de monitoreos que se debía realizar para que los resultados que se obtuvieran, presentarán la menor incerteza de error y la mayor confiabilidad posible, ya que no se podía realizar el monitoreo en el transcurso de toda la línea de transmisión de 400 kV, debido a que no se contaba con el presupuesto necesario, y debido a que cada monitoreo, lleva un protocolo estricto, con el fin de que los datos sean lo más exacto posible, se realizan 9 mediciones de campo eléctrico y 9 mediciones de campo magnético, tanto longitudinalmente como transversalmente, haciendo un total de 2 horas por monitoreo, otro factor con el que no se contaba con el tiempo necesario para realizar en el trayecto de toda la línea de transmisión, monitoreos.

Motivo por el cual, se tuvo que tomar un muestreo del trayecto de la línea de transmisión de 400 kV, el procedimiento para obtener el muestreo antes mencionado es el siguiente:

Proporciones

$$p = 0.5$$

$$q = 0.5$$

Donde

p, significa la radiación más baja y

q, significa la radiación más alta, se utilizo el 0.5 en ambas variables, ya que con esos valores se obtienen el mayor rango de exactitud, estas condiciones estrictas, tanto para cuando p como q, tengan un 50% de su valor, en este caso, de Radiación No Ionizantes.

Para que los datos sean lo más exactos posibles, el intervalo de confianza, que se usa es de un 99%, en la tabla de Z, esta tiene un valor de 2.58.

La fórmula que se uso es la siguiente:

$$n = (Z^2pq) / e^2 \quad (2.1)$$

Donde:

n, es la cantidad de mediciones que se tiene que realizar para que el resultado tenga cierta incerteza, con cierto error.

Z, es el valor del intervalo de confianza

e, el error estándar, para determinar con cuanto error se desea el resultado.

Específicamente para nuestro análisis, se uso un intervalo de confianza del 99%, eso quiere decir que $Z = 2.58$, y un error de muestreo del 10%, eso quiere decir que $e = 0.1$.

Al desarrollar la ecuación nos queda lo siguiente:

$$n = ((2.58)^2(0.5) (0.5)) / (0.1)^2 \quad (2.2)$$

$$n = 166.41 \text{ monitoreos}$$

El muestreo se realizó con un 99% de confianza y un 10% de error.

Después de haber encontrado la cantidad de mediciones que se tenían que realizar, se contaba con un listado de 31 comunidades que se encuentran ubicadas en un margen de 47 a 722 metros de la línea de transmisión de 400 kV, los datos fueron tomados del Atlas de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, para determinar la distancia idónea a la cual se debía de tomar,

Luego se hizo un promedio de las distancias y se calculo que el promedio era 311.7 metros, se encontraron 13 comunidades en las cuales se realizarían 18 mediciones en cada comunidad.

2.3.2. Planificación de los monitoreos

En la siguiente tabla se da a conocer un listado de las comunidades que se encontraban a una distancia menor a los 311.7 metros, en las cuales, se realizarían los monitoreos, y estas, son las siguientes:

Tabla VI. **Comunidades aledañas a la línea de transmisión de 400 kV a una distancia menor a 311.7 metros**

Departamento	Municipio	Comunidad
San Marcos	Ayutla	Santa Julia
	Pajapita	Las Vegas
		El Naranjo
Quetzaltenango	Coatepeque	El Porvenir
		Cerro Grande
		Villa Flores
		Las Marías
	Flores Costa Cuca	La Esmeralda
	Colomba	Las Animas
Retalhuleu	El Asintal	Xab. Seccion No. 2

Continuación de la tabla VI.

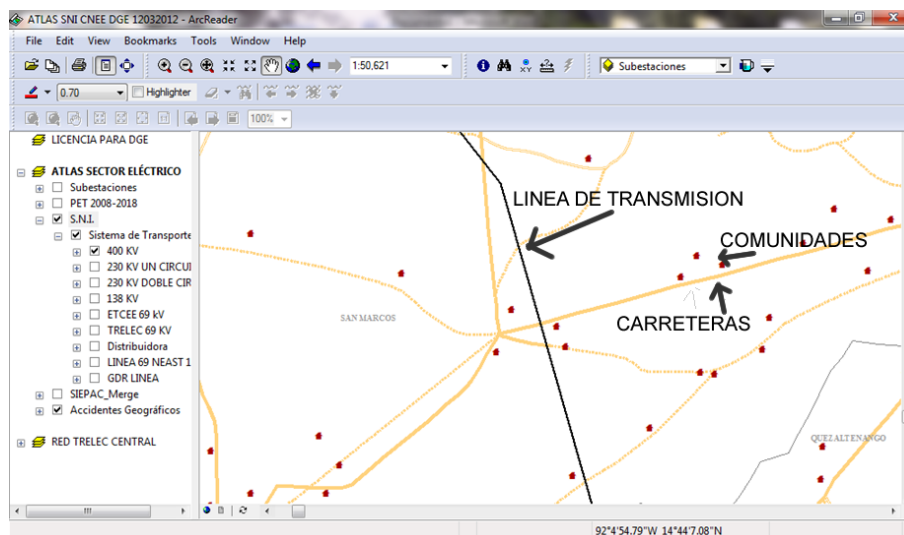
Departamento	Municipio	Comunidad
Retalhuleu	El Asintal	Las Cardonas
	Nuevo San Carlos	Santa Joaquina
	San Sebastián	San Isidro

Fuente: elaboración propia con información Atlas de la CNEE.

Este listado se procedió a ubicar los caminos los cuales llegarían a los destinos mencionados anteriormente, con la ayuda del Atlas de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica y Google Earth.

En la siguiente imagen se encuentra la forma en la que se planificó la localización de las comunidades, se logran ver las comunidades, la línea de transmisión de 400 kV y las carreteras, tal y como se indica.

Figura 17. Ubicación según Atlas CNEE



Fuente: Atlas de la CNEE.

La herramienta de Google Earth, ayudo a confrontar la información que se tenía en el Atlas de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, ya que serviría para ubicar las comunidades y los caminos que llevarían a ellas.

Es por ello que en la siguiente imagen, se muestra como se logró corroborar los caminos de acceso a las comunidades por medio de Google Earth.

Figura 18. **Ubicación según Google Earth**



Fuente: Información Google Earth.

Según el análisis realizado, se determinó que por la lejanía la comunidad más difícil de ubicar, sería Santa Julia de Ayutla del departamento de San Marcos, que está ubicada a 345 Km de la ciudad de Guatemala, por lo que la comunidad mencionada anteriormente sería la primera en la que se realizaría el monitoreo, luego se bajaría 35 Km al municipio de Pajapita, siempre en el

departamento de San Marcos y se realizarían los monitoreos en las comunidades de Las Vegas y El Naranjo, que se encuentra a 20 Km de Las Vegas.

La cuarta comunidad en la cual se planificó realizar el monitoreo era El Provenir del municipio de Coatepeque del departamento de Quetzaltenango, que estaba ubicada a 42 Km de El Naranjo, la siguiente comunidad en la cual se realizarían los monitoreos de Radiaciones No Ionizantes, sería Cerro Grande, ubicada a 25 Km de El Porvenir, el turno era de la comunidad Villa Flores, ubicada a 34 Km de Cerro Grande y para terminar los monitoreos en Coatepeque se realizaría el monitoreo en Las Marías, ubicada a 19 Km de Villa Flores.

El octavo monitoreo se planificó realizarlo en la comunidad La Esmeralda, municipio de Flores Costa Cuca, siempre en el departamento de Quetzaltenango, ubicada a 27 Km de Villa Flores, luego se planificó realizar el monitoreo en Las Animas, municipio de Colomba, ubicada a 39 Km de la comunidad La Esmeralda.

Terminado los monitoreos del departamento de Quetzaltenango, se planificó realizar el decimo monitoreo a la comunidad de Xab. Sección No. 2, del municipio de la comunidad El Asintal, del departamento de Retalhuleu, ubicado a 16 Km de Las Animas, el onceavo monitoreo se realizaría en Las Cardonas, siempre del municipio El Asintal, ubicada a 38 Km de Las Cardonas.

El doceavo monitoreo, se planificó realizarlo en Santa Joaquina, del municipio de Nuevo San Carlos en el departamento de Retalhuleu, ubicado a 17 Km de Las Cardonas, para finalizar el treceavo monitoreo se realizaría en San Sebastián del municipio de San Isidro, ubicada a 26 Km de Santa Joaquina,

luego el regreso a la ciudad de Guatemala comprendía 200 Km y así finalizar la práctica de las mediciones.

Todas las comunidades contaban con un camino si no de asfalto, de terracería, para poder ubicar dichas comunidades, según el Atlas de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Por el impacto social que podría producir este estudio en las comunidades, se solicitó al director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, realizará una carta en la cual indicará que con este estudio se beneficiaría a las comunidades aledañas de la línea de transmisión de 400 kV, ya que se podrá verificar el cumplimiento de los límites de RNI normados por las leyes de Guatemala para la tranquilidad de sus pobladores.

Para optimizar tiempo a la hora de realizar los monitoreos, se planificó que después de haber ubicado la comunidad, se procedería a ubicar el punto óptimo para realizar el monitoreo de RNI, luego se colocarían los conos para que se mantuviera cierta distancia entre el punto en el cual se realizaría el monitoreo y las personas y/o carros. Luego se ubicaría el equipo para medir RNI, en el punto óptimo anteriormente indicado.

Posteriormente se iniciaría con el protocolo mencionado anteriormente, en lo que pasan los 6 minutos de la medición, se planificó proceder a colocar los indicadores de medición, para luego ubicar el equipo en ellos, en la puesta en marcha del protocolo se tomarían datos como la temperatura, la ubicación por medio de un GPS, tanto en coordenadas UTM, como en coordenadas geodésicas, también se tomará nota de la fecha, hora de inicio y hora de finalización.

Después de haber terminado con el protocolo de mediciones de RNI, se procedería a recoger todo el equipo, luego se buscaría al alcalde del municipio para invitarlo a capacitarse sobre RNI.

Antes de iniciar los monitoreos, se llevo a cabo el listado de verificación de los monitoreos, en el cual se recibió el medidor HI-3604, ELF Survery Meter, 2 GPS marca GPS map 60 csx, un trípode, una cinta métrica, unos binoculares, el formato para la medición de líneas de transmisión, los medidores de punto, herramienta como alicate, destornilladores, cargador de baterías y baterías.

Para el equipo de protección personal, se preparó un casco dieléctrico, zapatos dieléctricos, pantalón de lona y conos de señalización.

2.3.3. Monitoreos

Para realizar los monitoreos, se tuvo que corroborar los datos que se habían extraído del Atlas de la CNEE, con las personas de las comunidades y con la ayuda de Google Maps y un GPS, para poder ubicar dichas comunidades.

En la siguiente figura se da a conocer la forma de lograr la ubicación, inicialmente se logró ubicar las casas aledañas a la línea de transmisión de 400 kV, luego las estructuras de la línea, para finalizar el GPS, proporcionará la ubicación exacta a la cual se encontraba.

Figura 19. **Ubicación según Google Maps**



Fuente: Google Maps.

Para iniciar, con las referencias de los pobladores residentes en la comunidad en Pajapita San Marcos se logró ubicar la comunidad Santa María el Naranjo, que se ubica en Vuelta Colorado, a lo cual por medio de Google Maps y el GPS, se logró ubicar la comunidad Santa María el Naranjo y no El Naranjo como se tenía en el Atlas de la CNEE, en este punto se logró observar que la línea de transmisión pasaba por una carretera principal, que conducía de Pajapita a Tilapa, así como también se localizaron 3 casas aproximadamente a 40 metros y a unos 5 metros, una entrada a camiones para una arenera.

En la siguiente tabla se da a conocer los datos obtenidos en los monitoreos, que pudieron afectar la medición, tal como la altura en msnm, la temperatura, así como también se muestran las coordenadas UTM y geodésicas.

Tabla VII. **Tabla de datos comunidad Santa María el Naranjo, San Marcos**

Coordenadas			Voltaje:	400 kV
UTM	598877	1622143	Altura (msnm):	42
hddd°mm'ss.s"	14° 40' 15.8"	92° 04' 54.2"	Temperatura:	33°C

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura, se da a conocer la entrada a la arenera bajo la línea de transmisión de 400 kV, al pie de la estructura, en la comunidad Santa María el Naranjo, San Marcos.

Figura 20. **Entrada a una arenera en Santa María el Naranjo, San Marcos**



Fuente: Santa María el Naranjo, San Marcos.

Para el segundo monitoreo, la comunidad Las Vegas, se encontraba muy lejos de la línea de transmisión, por lo tanto se procedió a realizar el monitoreo en la comunidad La Virgen, en el municipio de Ayutla del departamento San

Marcos, en este punto se logró ubicar un hotel a 15 metros de la línea de transmisión, así como también una gasolinera a 20 metros, personas ocupacionalmente expuestas, se logró observar que varios tráiler esperan mercadería y se ubican bajo la línea de transmisión, en la carretera es la CA2.

En la siguiente tabla se da a conocer los datos obtenidos en los monitoreos, que pudieron afectar la medición, tal como la altura en msnm, la temperatura, así como también se muestran las coordenadas UTM y geodésicas.

Tabla VIII. **Tabla de datos comunidad La Virgen, San Marcos**

Coordenadas			Voltaje:	400 kV
UTM	597640	1626466	Altura (msnm):	43
hddd°mm'ss.s"	14° 42' 36.6"	92° 05' 35.1"	Temperatura:	20.1°C

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura, se da a conocer el segundo monitoreo realizado, en el que la línea de transmisión de 400 kV pasa bajo tráiler que esperan para recibir mercadería, en la comunidad La Virgen, San Marcos.

Figura 21. **Espera de tráileres bajo la LT de 400 kV, comunidad La Virgen, San Marcos**



Fuente: comunidad la Virgen, San Marcos.

Para el tercer monitoreo la comunidad Santa Julia, no se encontraba cerca de la línea de transmisión, pero se ubicó la comunidad El tiesto, Ayutla, San Marcos, en el cual se ubico una casa a 10 metros de la línea de transmisión, el camino era de terracería y conectaba de Guatemala a México, se logró observar que había siembra de palma africana.

Al conversar con las personas que vivían en la casa mencionada, indicaron que 2 niños entre 4 y 6 años después de que se instaló la línea de transmisión, en algunas ocasiones presentan calentura.

En la siguiente tabla se da a conocer los datos obtenidos en los monitoreos, que pudieron afectar la medición, tal como la altura en msnm, la temperatura, así como también se muestran las coordenadas UTM y geodésicas.

Tabla IX. **Tabla de datos comunidad El Tiesto, San Marcos**

Coordenadas			Voltaje:	400 kV
UTM	593243	1631087	Altura (msnm):	56
hddd°mm'ss.s"	14° 45' 07.6"	92° 08' 01.2"	Temperatura:	31.5°C

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura, se da a conocer el tercer monitoreo realizado, en el que la línea de transmisión de 400 kV pasa por cultivos de palma africana, en la comunidad El Tiesto, San Marcos.

Figura 22. **Comunidad El Tiesto, San Marcos**



Fuente: El Tiesto, San Marcos.

El cuarto monitoreo, correspondía a la comunidad El Porvenir, en Coatepeque, Quetzaltenango, no se logró ubicar, ya que no existía dicha comunidad según los pobladores, pero se ubico la comunidad Villa Flores, que según la planificación era el sexto monitoreo.

Este monitoreo se realizó entre 17 horas y 19 horas, horario en el cual pasa mayor corriente por la línea de transmisión, debido a que es el pico de la carga horaria, se logro ubicar una casa por la cual pasa la línea de transmisión, así como también que la carretera está asfaltada.

En la siguiente tabla se da a conocer los datos obtenidos en los monitoreos, que pudieron afectar la medición, tal como la altura en msnm, la temperatura, así como también se muestran las coordenadas UTM y geodésicas.

Tabla X. **Tabla de datos comunidad Villa Flores, Quetzaltenango**

Coordenadas			Voltaje:	400 kV
UTM	613428	1613046	Altura (msnm):	82
hddd°mm'ss.s"	14° 35' 17.7"	91° 56' 49.1"	Temperatura:	27.4°C

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura, se da a conocer el cuarto monitoreo realizado, en el que la línea de transmisión de 400 kV pasa bajo una casa, en la comunidad Villa Flores, Quetzaltenango, se puede observar que el monitoreo, se realizó a horas de la noche.

Figura 23. **Tomando medidas con el HI-3604 en Villa Flores, Quetzaltenango**



Fuente: Villa Flores, Quetzaltenango.

Para el quinto monitoreo, se tenía contemplado la comunidad Cerro Grande, pero cuando se ubico la comunidad, la línea de transmisión pasaba a kilómetros de dicha comunidad, a lo cual se logró tener acceso a la finca Juatunco, propiedad del señor Hugo Molina en la cual se realizaron los respectivos monitoreos, se logró observar personas ocupacionalmente expuestas, ya que trabajan en el corte de trigo y maíz, que se siembra bajo la línea de transmisión, el guardián vive en una casa a 15 metros de la línea

En la siguiente tabla se da a conocer los datos obtenidos en el quinto monitoreo, que pudieron afectar la medición, tal como la altura en msnm, la temperatura, así como también se muestran las coordenadas UTM y geodésicas.

Tabla XI. **Tabla de datos finca Juatunco, Quetzaltenango**

Coordenadas			Voltaje:	400 kV
UTM	607824	1615187	Altura (msnm):	33
hddd°mm'ss.s"	14° 36' 28.3"	91° 59' 56.2"	Temperatura:	22°C

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura, se da a conocer el quinto monitoreo realizado, en el que la línea de transmisión de 400 kV se puede observar que hay personas trabajando en la agricultura, en la finca Juatunco, Quetzaltenango.

Figura 24. **Finca Juatunco, Quetzaltenango**



Fuente: Juatunco, Quetzaltenango.

Para el sexto monitoreo, la comunidad a ubicar era Villa Flores, pero como ya se había ubicado, se procedió a ubicar la comunidad La Ayuda, que según el Atlas de la CNEE, se encontraba a 518 metros y se encontró un punto para monitorear, en el cual había personas ocupacionalmente expuesta, ya que trabajaban en la palma africana.

En la siguiente tabla se da a conocer los datos obtenidos en el sexto monitoreo, que pudieron afectar la medición, tal como la altura en msnm, la temperatura, así como también se muestran las coordenadas UTM y geodésicas.

Tabla XII. **Tabla de datos comunidad La Ayuda, Quetzaltenango**

Coordenadas			Voltaje:	400 kV
UTM	617246	1613036	Altura (msnm):	102
hddd°mm'ss.s"	14° 35.1'16.8"	91° 54'41.6"	Temperatura:	30.1°C

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura, se da a conocer el sexto monitoreo realizado, en el que la línea de transmisión de 400 kV se puede observar que hay personas trabajando en la palma africana, en la comunidad La Ayuda, Quetzaltenango.

Figura 25. **Comunidad La Ayuda, Quetzaltenango**



Fuente: La Ayuda, Quetzaltenango.

En el séptimo monitoreo se ubicó la comunidad Las Marías, pero la línea pasaba muy lejos de la comunidad, por lo que se procedió a realizar el monitoreo en La Esmeralda, Flores Costa Cuca, el que según la planificación era el octavo monitoreo.

En este punto se logro observar una casa a 15 metros de la línea de transmisión, personas ocupacionalmente expuestas aproximadamente a 10 metros, trabajando en la palma africana y maíz.

En la siguiente tabla se da a conocer los datos obtenidos en el séptimo monitoreo, que pudieron afectar la medición, tal como la altura en msnm, la temperatura, así como también se muestran las coordenadas UTM y geodésicas.

Tabla XIII. **Tabla de datos comunidad La Esmeralda, Quetzaltenango**

Coordenadas			Voltaje:	400 kV
UTM	618779	1612278	Altura (msnm):	123
hddd°mm'ss.s"	14° 34' 51.8"	91° 53' 50.5"	Temperatura:	28.4°C

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura, se da a conocer el séptimo monitoreo realizado, en el que la línea de transmisión de 400 kV se puede observar que hay personas trabajando en la palma africana, al igual que la comunidad La Ayuda, se logra observar el equipo de medición para RNI, midiendo campo eléctrico, en la comunidad La Esmeralda, Quetzaltenango.

Figura 26. **Comunidad La Esmeralda, Quetzaltenango**



Fuente: La Esmeralda, Quetzaltenango.

Para el octavo monitoreo, se tenía planificado realizarlo en la comunidad La Esmeralda, pero como ya se había realizado, se procedió a ubicar la aldea Bolívar en el municipio de Génova, departamento de Quetzaltenango, en el cual se observó casas a 8 metros de la estructura para la línea de transmisión, así como también una torre de telefonía móvil a 10 metros de la línea de transmisión y también que se sembraba palma africana.

Al conversar con las personas que vivían en la casa mencionada, se determinó que un niño recién nacido, presento soplos y problemas al corazón, cálculos en los riñones y manchas en la piel.

En la siguiente tabla se da a conocer los datos obtenidos en el octavo monitoreo, que pudieron afectar la medición, tal como la altura en msnm, la temperatura, así como también se muestran las coordenadas UTM y geodésicas.

Tabla XIV. **Tabla de datos comunidad Bolívar, Quetzaltenango**

Coordenadas			Voltaje:	400 kV
UTM	623535	1610675	Altura (msnm):	160
hddd°mm'ss.s"	14° 33' 59.0"	91° 51' 11.9"	Temperatura:	21.1°C

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura, se da a conocer el octavo monitoreo realizado, en el que la línea de transmisión de 400 kV se puede observar que hay casa cerca de dicha línea, así como también existe en la comunidad 2 torres de telefonía muy cercanas, aunque únicamente se puede observar una torre, todo esto en la comunidad Bolívar, Quetzaltenango.

Figura 27. **Comunidad Bolívar, Quetzaltenango**



Fuente: Comunidad Bolívar, Quetzaltenango.

El noveno monitoreo estaba planificado para la comunidad de las Animas en Colomba, Quetzaltenango, como ya no se logró ubicar una aldea, se ubicó una comunidad siempre en Colomba, en la cual pasaba la línea de transmisión por 2 casas, la torre 58 es la torre que se encontraba entre las 2 casas, el camino es de terracería, sin embargo es una ruta muy frecuentada por personas que se conducen a sus trabajos.

Al conversar con los dueños de las casas antes mencionadas, en ambas casas se pudo observar que 2 años después de que se colocó la línea de transmisión en ambas casas, los niños y ahora los adultos, presentan dolores de cabeza después de que se instaló la línea de transmisión.

En la siguiente tabla se da a conocer los datos obtenidos en el noveno monitoreo, que pudieron afectar la medición, tal como la altura en msnm, la temperatura, así como también se muestran las coordenadas UTM y geodésicas.

Tabla XV. **Tabla de datos Colomba, Quetzaltenango**

Coordenadas			Voltaje:	400 kV
UTM	625349	1610379	Altura (msnm):	171
hddd°mm'ss.s"	14° 33' 48.9"	91° 50' 11.2"	Temperatura:	27°C

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura, se da a conocer el noveno monitoreo realizado, en el que se puede apreciar que la línea de transmisión de 400 kV pasa por encima de una casa, en la comunidad de Colomba, Quetzaltenango.

Figura 28. **Colomba, Quetzaltenango**



Fuente: Colomba, Quetzaltenango.

En el decimo monitoreo, se tenía contemplado ya estar en Retalhuleu, en el municipio de El Asintal, la comunidad Xab. Sección No. 2, pero la comunidad, se encontraba mas lejos de lo que el Atlas hacía mención, por lo que se procedió a realizar el monitoreo en el Barrio San José el Xau, siempre en El Asintal, en este monitoreo, se pudo observar que una tienda se encuentra ubicada a 4 metros de la línea de transmisión, se observó que es un camino asfaltado y hay siembras de maíz.

La señorita que atiende la tienda, mencionó cuando se encuentra en la tienda, siente que ella fuera atraída por la línea de transmisión.

En la siguiente tabla se da a conocer los datos obtenidos en el decimo monitoreo, que pudieron afectar la medición, tal como la altura en msnm, la temperatura, así como también se muestran las coordenadas UTM y geodésicas.

Tabla XVI. **Tabla de datos barrio San José el Xau, Retalhuleu**

Coordenadas			Voltaje:	400 kV
UTM	631725	1609732	Altura (msnm):	225
hddd°mm'ss.s"	14° 33' 26.9"	91° 46' 38.2"	Temperatura:	30.6°C

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura, se da a conocer el decimo monitoreo realizado, en el que se puede apreciar que la línea de transmisión de 400 kV pasa cerca de una tienda, en el barrio San José el Xau, Retalhuleu.

Figura 29. **Barrio San José el Xau**



Fuente: Barrio San José el Xau, Retalhuleu.

En el décimo primer monitoreo, se tenía planificado realizarlo en Las Cardonas, El Asintal, Retalhuleu, se pudo observar varias casas a 8 metros de la línea de transmisión, la carretera era la CA2 y el monitoreo se hizo en un puente.

Un dato relevante es que en este punto, se intersecaba la línea de transmisión de 400 kV y una de 230 kV.

En la siguiente tabla se da a conocer los datos obtenidos en el onceavo monitoreo, que pudieron afectar la medición, tal como la altura en msnm, la temperatura, así como también se muestran las coordenadas UTM y geodésicas.

Tabla XVII. **Tabla de datos Las Cardonas, Retalhuleu**

Coordenadas			Voltaje:	400 kV
UTM	639118	1611005	Altura (msnm):	265
hddd°mm'ss.s"	14° 34' 06.9"	91° 42' 31.1"	Temperatura:	30.1°C

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura, se da a conocer el onceavo monitoreo realizado, en el que se puede apreciar que la línea de transmisión de 400 kV pasa por encima de una casa, en la comunidad Las Cardonas, Retalhuleu.

Figura 30. **Las Cardonas, Retalhuleu**



Fuente: Las Cardonas, Retalhuleu.

Para el décimo segundo monitoreo, se tenía planificado realizarlo en Santa Joaquina, Nuevo San Carlos, Retalhuleu, sin embargo, al ubicar la comunidad, la línea de transmisión de 400 kV, no pasaba por ella, por lo que se logró ubicar aldea Morazán, Nuevo San Carlos, en este punto, se localizó un taller de mecánica automotriz en el cual los mecánicos trabajan de 8 horas a 20 horas, también pasa por una casa la línea de transmisión, se logró observar una iglesia y varias casas por la cual pasa esta línea.

Sin embargo, dueños de una casa afirmaron que no han presentado ningún tipo de problema de salud.

En la siguiente tabla se da a conocer los datos obtenidos en el doceavo monitoreo, que pudieron afectar la medición, tal como la altura en msnm, la temperatura, así como también se muestran las coordenadas UTM y geodésicas.

Tabla XVIII. **Tabla de datos Santa Joaquina, Quetzaltenango**

Coordenadas			Voltaje:	400 kV
UTM	641172	1612013	Altura (msnm):	305
hddd°mm'ss.s"	14° 34' 39.1"	91° 41' 22.3"	Temperatura:	27.1°C

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura, se da a conocer el doceavo monitoreo realizado, en el que se puede apreciar que la línea de transmisión de 400 kV pasa por encima de una casa, en la comunidad Santa Joaquina, Retalhuleu.

Figura 31. **Santa Joaquina, Retalhuleu**



Fuente: Santa Joaquina, Retalhuleu.

Para finalizar, los monitoreos, se tenía contemplado realizar las mediciones de RNI en San Isidro, San Sebastián, Retalhuleu, sin embargo, al localizar la comunidad, la línea pasaba muy lejos de la comunidad, por lo que se determinó realizar el monitoreo en aldea La Toma, en este punto se logró observar que existen varias casas alrededor y unas bodegas.

Al conversar con las personas de esa aldea, mencionaron que no se han sentido afectadas por la instalación de la línea de transmisión de 400 kV. No se pudieron realizar las mediciones transversales debido a que era propiedad privada.

En la siguiente tabla se da a conocer los datos obtenidos en el treceavo monitoreo, que pudieron afectar la medición, tal como la altura en msnm, la temperatura, así como también se muestran las coordenadas UTM y geodésicas.

Tabla XIX. **Tabla de datos aldea La Toma, Retalhuleu**

Coordenadas			Voltaje:	400 kV
UTM	645747	1612655	Altura (msnm):	362
hddd°mm'ss.s"	14° 34' 59.4"	91° 38' 49.3"	Temperatura:	26.8°C

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura, se da a conocer el treceavo monitoreo realizado, en el que se puede apreciar que la línea de transmisión de 400 kV pasa por encima de una casa, en la aldea La Toma, Retalhuleu.

Figura 32. **Aldea La Toma, Retalhuleu**



Fuente: elaboración propia.

2.3.4. Análisis de los monitoreos

De los monitoreos se realizó la siguiente tabla, en la cual se muestra el promedio del campo eléctrico y magnético, se da a conocer tanto el valor medido como el valor máximo.

Tabla XX. **Tabla de resultados**

Monitoreo	Campo Eléctrico		Campo Magnético	
	Medido	Máximo	Medido	Máximo
1	280.67	417.89	0.23	0.37
2	407.63	659.50	0.18	0.39
3	974.66	1591.13	0.10	0.23
4	506.86	872.86	0.36	0.85
5	2045.71	3170.00	0.29	0.58
6	277.71	463.43	0.21	0.54
7	2976.56	4222.22	0.18	0.28
8	385.56	588.60	0.13	0.27
9	158.33	247.57	0.13	0.21
10	959.29	1489.00	0.25	0.70
11	398.17	630.50	0.14	0.33
12	1402.83	2198.33	0.37	0.66
13	1060.00	1821.20	0.35	1.19
TOTALES	910.30	1413.25	0.22	0.51

Fuente: elaboración propia.

2.4. Cálculos y comparaciones

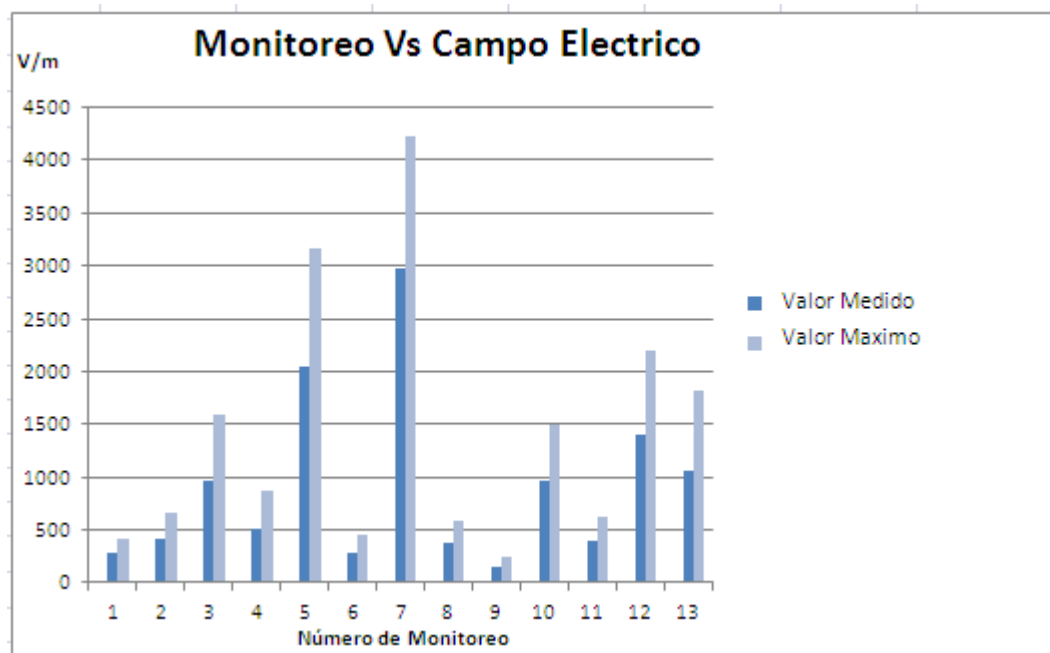
Se presenta a continuación la comparación entre los datos que se tiene establecido en los límites de Radiaciones No Ionizantes y los obtenidos en el presente trabajo.

2.4.1. Gráficas estadísticas

En la siguiente gráfica se muestra los monitoreos realizados vs el campo eléctrico medido y el máximo, en el eje de la Y, se puede apreciar que la intensidad del campo eléctrico, está en las dimensionales de [V/m], el valor medido es de color fuerte y el valor máximo esta de color más claro, en el eje

de la X, se puede apreciar el número de monitoreo, en este caso, se realizaron en 13 puntos diferentes.

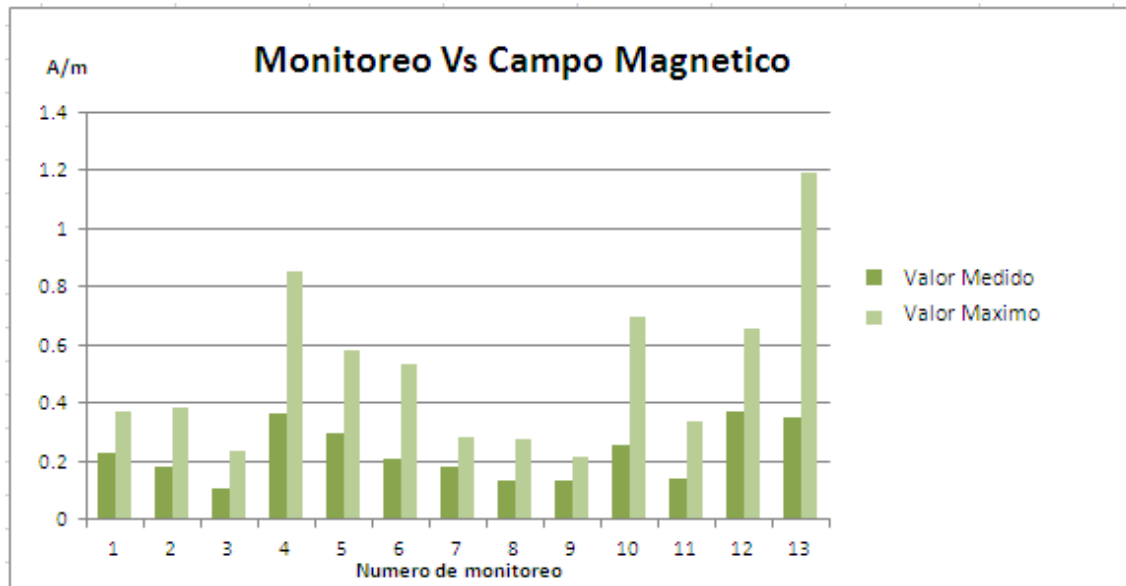
Figura 33. Gráfica de resultados de campo eléctrico



Fuente: elaboración propia.

En la siguiente gráfica se muestra los monitoreos realizados vs el campo magnético medido y el máximo, en el eje de la Y, se puede apreciar que la intensidad del campo magnético, está en las dimensionales de [A/m], el valor medido es de color verde fuerte y el valor máximo esta de color verde más claro, en el eje de la X, se puede apreciar el número de monitoreo, en este caso, se realizaron en 13 puntos diferentes.

Figura 34. Gráfica de resultados de campo magnético



Fuente: elaboración propia.

2.4.2. Interpretación de las estadísticas

Los resultados observados en las gráficas anteriores, se puede notar que en la gráfica de monitoreos vs campo eléctrico, el dato más alto del valor máximo es de 4222.22 V/m y para el valor medido, el dato más alto es 2976.55 V/m, se puede notar que en la gráfica de monitoreos vs campo magnético, el dato más alto del valor máximo es de 1.1904 A/m y para el valor medido, el dato más alto es 0.37033 A/m.

Según los monitoreos realizados, se observa que los datos más altos tienden a estar cuando existe mayor carga horaria, que sería de 17 horas a 19 horas.

Lo que quiere decir es que cuando hay mayor corriente circulando por los conductores, es cuando existe mayor intensidad tanto de campo eléctrico como de campo magnético, tal y como lo dice la Ley de Ampere en las Ecuaciones de Maxwell, que la circulación en un campo magnético (B) a lo largo de una curva cerrada C es igual a la densidad de corriente (J) sobre la superficie encerrada en la curva C.

$$\oint_C B \cdot dl = \mu \int_S J \cdot dS \quad (2.1)$$

Donde μ es la permeabilidad magnética en el vacío.

2.4.3. Comparación de las RNI medidas con los límites

Según el 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), en su reforma del artículo 6, establece los límites de exposición a Radiaciones No Ionizantes para la población en general, estos límites en función de campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo, expresados como valores cuadráticos medidos, medidos en campos no perturbados, para 60 Hz, los límites son los siguientes:

En la tabla siguiente, se detallan las fórmulas para encontrar los límites de intensidad de campo eléctrico e intensidad de campo magnético para una frecuencia de 60 Hz.

Tabla XXI. **Tabla de límites de Radiaciones No Ionizantes para la f de 60 Hz**

Frecuencia (kHz)	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (A/m)
0.025 - 0.8	250/f	4/f

Fuente: elaboración propia.

Para 60 Hz, el límite de intensidad de campo eléctrico es 4166.667 V/m y el límite intensidad de campo magnético es 66.67 A/m.

En la tabla siguiente, se dan a conocer en promedio los datos obtenidos en los monitoreos de intensidad de campo eléctrico e intensidad de campo magnético tanto el medido como el máximo, respectivamente, en la línea de transmisión de 400 kV.

Tabla XXII. **Tabla de promedio de resultados**

	Campo Eléctrico (V/m)		Campo Magnético (A/m)	
	Medido	Máximo	Medido	Máximo
TOTALES	910.304444	1413.24852	0.22474258	0.50814924
	21.84%	33.91%	0.33%	0.75%

Fuente: elaboración propia.

Lo que quiere decir es que los valores medidos de Radiaciones No Ionizantes en la línea de transmisión de 400 kV, para el valor medido del campo

eléctrico, llegó a un 21.84% del máximo del límite, para el valor máximo del campo eléctrico, llegó a un 33.91% del máximo del límite.

Para el valor medido del campo magnético, llegó a un 0.33% del máximo del límite, para el valor máximo del campo magnético, llegó a un 0.75% del máximo del límite, eso quiere decir que en los valores medidos del campo magnético, ni se llegó a un 1% del 100% que era el límite.

Por lo tanto se concluye que los límites de Radiaciones No Ionizantes, con un 99% de confianza a un 10% de error, no supera los límites estipulados en el 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).

2.4.4. Modelo con un comportamiento lineal

El modelo matemático se realizó tomando en cuenta que el comportamiento sería lineal, por tal motivo varios datos fueron agregados con dicho comportamiento, así como también se hace la salvedad que por tener únicamente las coordenadas en Z igual a cero metros, en dicha altura los modelos son los siguientes:

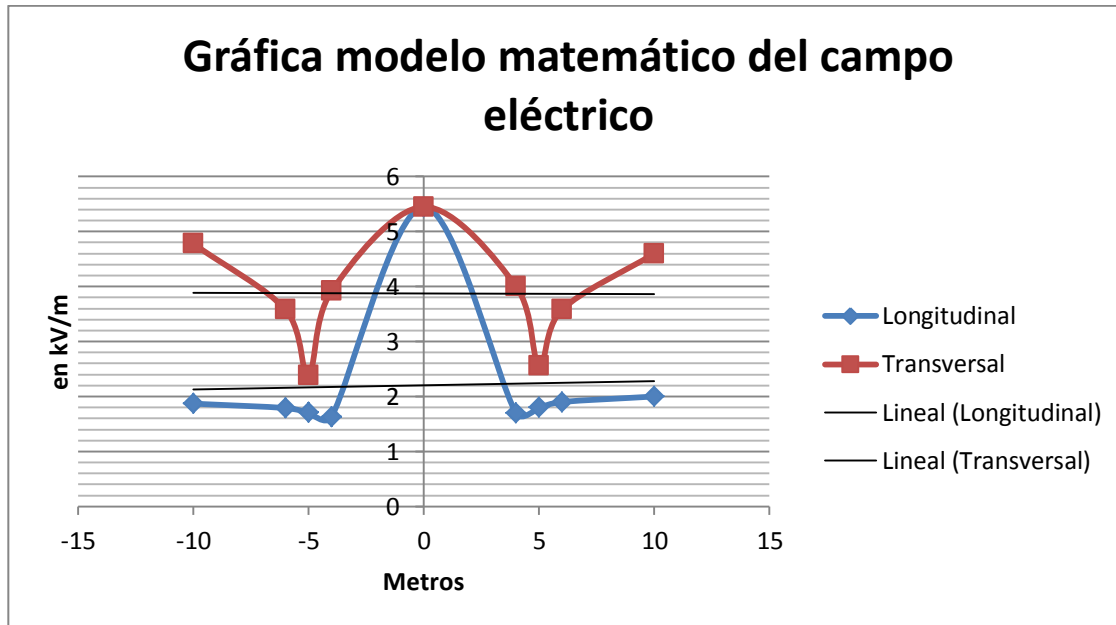
$$y = 0.0076x + 2.2056 \quad (2.2)$$

y

$$y = -0.0015x + 3.8722 \quad (2.3)$$

En la siguiente figura se dan a conocer las gráficas de los modelos matemáticos encontrados para el campo eléctrico, por medio de los datos proporcionados por uno de los monitoreos.

Figura 35. **Modelo matemático del campo eléctrico**



Fuente: elaboración propia.

Para encontrar el modelo matemático del campo magnético, se plotearon puntos con un comportamiento lineal, obteniendo como resultado el siguiente modelo:

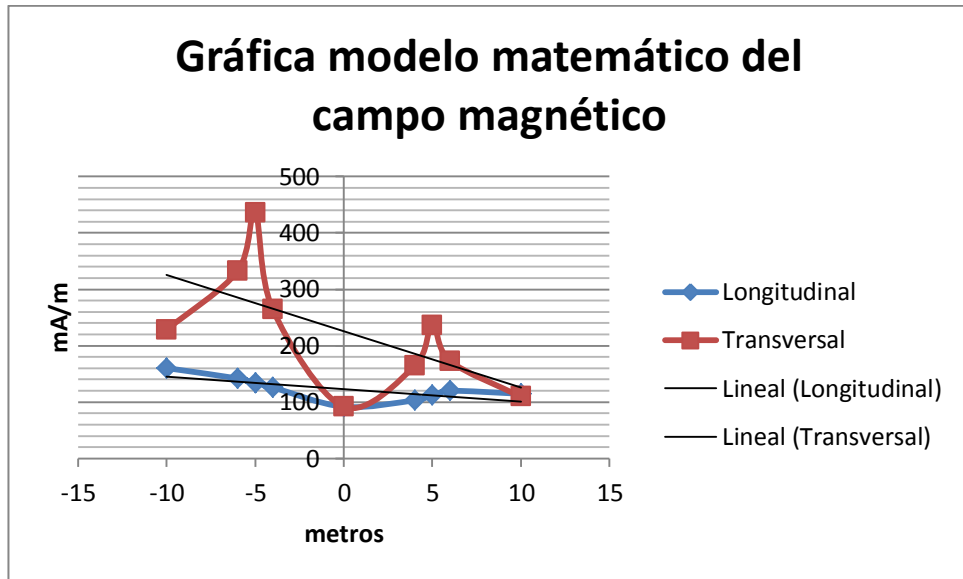
$$y = -10.009x + 225.93 \quad (2.4)$$

y

$$y = -2.235x + 122.61 \quad (2.5)$$

En la siguiente figura se dan a conocer las gráficas de los modelos matemáticos encontrados para el campo magnético, por medio de los datos proporcionados por uno de los monitores.

Figura 36. **Modelo matemático del campo magnético**



Fuente: elaboración propia.

2.4.5. **Extrapolación para la mayor cantidad de corriente**

Sabiendo que la potencia suministrada por circuito es de 200 MW y el voltaje es de 400 kV, se utilizó la siguiente fórmula para encontrar la corriente máxima:

$$P = \sqrt{3} * V * I \quad (2.6)$$

De la ecuación 2.6, si se despeja la corriente (I), se tiene la ecuación:

$$I = P / (\sqrt{3} * V) \quad (2.7)$$

Sustituyendo datos queda de la siguiente manera:

$$I = (200 \text{ MW}) / (\sqrt{3} * 400 \text{ kV})$$

$$I = 288.68 \text{ [Amperios]}$$

Ya obteniendo la corriente con la mayor potencia en un circuito, se procedió a extrapolar los datos que se obtuvieron en los monitoreos, específicamente se planteo para el séptimo monitoreo, el cual mostro mayor campo eléctrico, este monitoreo se realizó el en la aldea Morazán, en el municipio de Nuevo San Carlos, en el departamento de Retalhuleu, el día 22 de noviembre de 2012, iniciando a las 16:10 horas y finalizando a las 17:30 horas.

Según la base de datos del INDE, se logró determinar que la corriente que pasaba por un circuito en ese instante, fue de 42.01 Amperios.

Por consiguiente, en la siguiente tabla, se procedió a extrapolar datos, con un comportamiento lineal, para encontrar tanto el campo eléctrico como el campo magnético, para la mayor capacidad de corriente, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XXIII. Extrapolación para la corriente máxima

	Amperaje [A]	Campo Eléctrico [kV/m]	Campo Magnético [A/m]
Datos 7 mo. Monitoreo	42.01	2.98	0.18
Corriente Máxima	288.68	20.45	1.24

Fuente: elaboración propia.

Para la corriente a su máxima capacidad en la línea de transmisión de 400 kV, que es de 288.68 [A], se tiene un campo eléctrico de 20.45 [kV/m] y un campo magnético de 1.24 [A/m]

3. FASE DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

3.1. Público a capacitar

El tema de Radiaciones No Ionizantes, es un tema nuevo en el ámbito de la electricidad guatemalteca, por lo mismo, hoy en día, aún es de mucha controversia.

Debido a la controversia que ha nacido por este tema, la Universidad de San Carlos de Guatemala, por medio de la Facultad de Ingeniería, con los aspectos técnicos necesarios, después de realizar los monitoreos de los límites de Radiaciones No Ionizantes en la línea de transmisión de 400 kV y los cálculos para poder determinar que los límites se encontraban dentro de los rangos que rigen el 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), se procedió a realizar las capacitaciones.

Dichas capacitaciones se dieron a los pobladores que viven cerca de la línea de transmisión de 400 kV, así como también a los alumnos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, específicamente a los alumnos de las carreras de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, para que los futuros profesionales en el ámbito de la electricidad, tengan un mayor conocimiento con respecto a las Radiaciones No Ionizantes, así como las respectivas normas guatemaltecas que lo rigen y para finalizar, se procedió a realizar la presentación de resultados obtenidos de los límites de Radiaciones No Ionizantes en la línea de transmisión de 400 kV.

En la siguiente figura se muestra uno de los sectores a la cual iba dirigida la capacitación que en este caso, personal de la Dirección General de Energía, del Ministerio de Energía y Minas.

Figura 37. **Capacitación al público**



Fuente: Dirección General de Energía, MEM.

3.2. Medios didácticos

Fue de gran importancia tener el 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), ya que con ellos se justificaba los límites de Radiaciones No Ionizantes en Guatemala, así como también los trifoliales sobre Radiaciones No Ionizantes, ya que ellos fueron de gran ayuda para informar tanto a los alumnos de la Universidad de San Carlos de

Guatemala, como a los pobladores de las comunidades aledañas a la línea de transmisión de 400 Kv.

En la siguiente figura se muestra la capacitación a los alumnos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, dando a conocer los trifoliales que posteriormente se entregaron a los alumnos, así como también se logra observar la presentación utilizada para dichos alumnos.

Figura 38. **Medios didácticos utilizados**

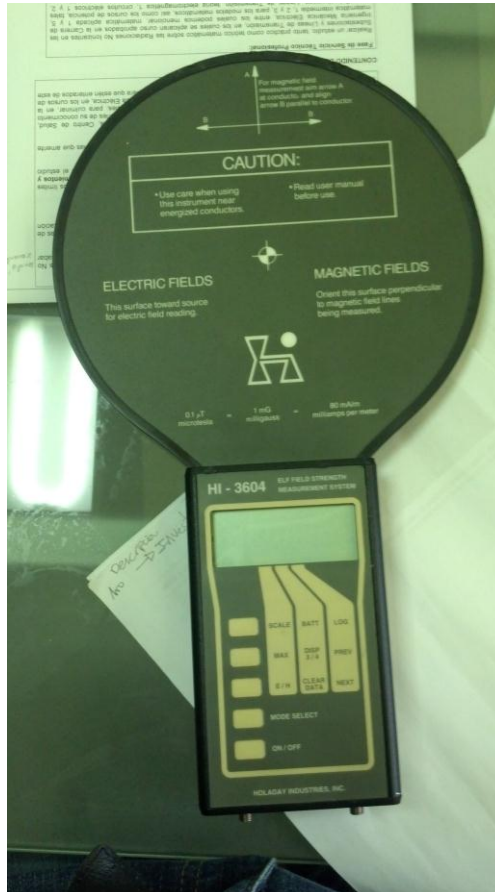


Fuente: Facultad de Ingeniería, USAC.

3.2.1. ¿Qué ofreció la Dirección General de Energía?

En la siguiente figura se da a conocer el equipo HI-3604, que proporcionó el Ministerio de Energía y Minas por medio de la Dirección General de Energía, con el cual se verificaron los límites de Radiaciones No Ionizantes.

Figura 39. Equipo HI – 3604



Fuente: Dirección General de Energía.

Dentro de lo que la Dirección General de Energía proporcionó se puede mencionar los trifoliales de información sobre Radiaciones No Ionizantes y el 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).

En la siguiente figura se puede notar que también proporcionó todos medios necesarios para realizar tanto los monitoreos como las capacitaciones, siendo estos, viáticos para el epesista, vehículo y piloto.

Figura 40. **Medios proporcionados**



Fuente: Comunidad Bolívar, Retalhuleu.

La Dirección General de Energía solicitó a la Universidad de San Carlos de Guatemala, la ejecución del Ejercicio Profesional Supervisado, en el cual se realizará la verificación de los límites de Radiaciones No Ionizantes.

3.2.2. ¿Qué ofrecieron los alcaldes municipales?

Después de haber realizado los monitoreos de Radiaciones No Ionizantes se procedió a visitar las alcaldías más cercanas de las comunidades aledañas a la línea de transmisión de 400 kV, siendo estas, la alcaldía de Pajapita en San Marcos, la de Coatepeque en Quetzaltenango y la de Retalhuleu en Retalhuleu y al presentarle a concejales o a secretarios de los alcaldes, les llamó la atención el tema de Radiaciones No Ionizantes en la línea de transmisión que pasaba por sus poblados.

Sin embargo, al realizar las invitaciones para las capacitaciones no se mostro interés por dichas alcaldías, pero si por algunos grupos de COCODES, los cuales se mostraron muy interesados con estos temas, inclusive se solicitó, se les capacitará nuevamente con toda la población, ya que por ser un tema nuevo, existe mucha mala información.

3.2.3. ¿Qué ofreció la Universidad de San Carlos de Guatemala?

El papel que tuvo la Universidad de San Carlos de Guatemala, fue incondicional, ya que sin la ayuda prestada, no hubiese sido posible la culminación del Ejercicio Profesional Supervisado.

La universidad por medio de los catedráticos de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, proporcionaron inicialmente la aprobación del Ejercicio Profesional Supervisado, así como cartas en las cuales se ellos respaldaban el trabajo realizado, ya que en temas de electricidad muchos poblados erróneamente confunden beneficios con maleficios y para guardar la integridad física del epesista, se hacía constar que el trabajo que se estaba realizando

sería de ayuda para las comunidades aledañas a la línea de transmisión de 400 kV.

Posteriormente, dichos catedráticos, en especial el ingeniero director de escuela, el ingeniero Guillermo Puente, brindó un gran apoyo para la finalización del Ejercicio Profesional Supervisado, firmando una carta en la cual hacia la invitación a los alcaldes de las municipalidades de Pajapita en San Marcos, Coatepeque en Quetzaltenango y de Retalhuleu en Retalhuleu, misma que no tuvo respuesta, sin embargo se dejo constancia de que se realizó la invitación.

Para finalizar la universidad proporcionó varios alumnos de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, para ser capacitados en el tema de Radiaciones No Ionizantes en las líneas de transmisión, específicamente se presentaron los resultados en la línea de 400 kV.

En la siguiente figura se muestra un grupo de alumnos de la escuela de ingeniería mecánica eléctrica, los cuales mostraron interés sobre las Radiaciones No Ionizantes, por medio de los catedráticos universitarios de dicha escuela.

Figura 41. **Alumnos capacitándose sobre RNI**



Fuente: Facultad de Ingeniería, USAC.

3.3. Presentación de resultados en la Dirección General de Energía

Tal y como se había acordado inicialmente, se entregó a la Dirección General de Energía, los monitoreos en la línea de transmisión de 400 kV, verificando que las Radiaciones No Ionizantes, se encontraban dentro de los límites que rige el 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).

En la siguiente figura se da a conocer el momento en el cual se entregan los resultados de la verificación de las Radiaciones No Ionizantes en la línea de transmisión de 400 kV, en la cual estuvieron presentes autoridades de la

Dirección General de Energía, tales como el viceministro de Energía, el director y subdirector general de energía, autoridades de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, personal del Instituto de Electrificación (INDE) y otros invitados de la DGE-MEM .

Figura 42. **Entrega de resultados a la DGE-MEM**



Fuente: Dirección General de Energía, MEM.

3.4. Capacitación a las comunidades

A pesar de que por medio de las alcaldías no se presentó mayor interés por capacitarse en el tema de Radiaciones No Ionizantes, los líderes de los COCODES si mostraron cierto interés.

Por tal motivo, se procedió a realizar la capacitación, a las comunidades aledañas a la línea de transmisión de 400 kV.

En la siguiente figura se muestra el momento en el cual se están entregando los trifoliales a comunidades que mostraron interés sobre las Radiaciones No Ionizantes en San Marcos.

Figura 43. **Entrega de trifoliales a las comunidades**



Fuente: Pajapita, San Marcos.

3.5. Capacitación en la Universidad de San Carlos de Guatemala

Como se mencionó anteriormente, la universidad mostró un interés muy alto referente a capacitarse sobre el tema de Radiaciones No Ionizantes.

En la siguiente figura se da a conocer cuando se iniciaba una presentación de las Radiaciones No Ionizantes, así como también la presentación de resultados obtenidos en la línea de transmisión de 400 kV.

Figura 44. **Capacitación en la Universidad de San Carlos de Guatemala**



Fuente: Facultad de Ingeniería, USAC.

3.6. Resultados de las capacitaciones

No se tuvo mayor atención por todas las alcaldías, sin embargo, se despertó mucho interés después de haber recibido las capacitaciones por parte de los alumnos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, específicamente los alumnos de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica y de las personas que viven en las comunidades aledañas a la línea de transmisión de 400 kV.

En la siguiente figura, se da a conocer una de las capacitaciones realizada en la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la cual se muestra la forma en la que se ubicó la línea de transmisión de 400 kV.

Figura 45. **Capacitación a los alumnos de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica**



Fuente: Facultad de Ingeniería, USAC.

CONCLUSIONES

1. En la realización del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), se observó que al poner la teoría en práctica se pueden obtener resultados satisfactorios, tal y como los presentados en el anterior trabajo.
2. Al medir las Radiaciones No Ionizantes en la línea de transmisión de 400 kV en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango y Retalhuleu, se determinó que cumple 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).
3. Al ubicar la línea de transmisión de 400 kV, se logró determinar que las comunidades aledañas a dicha línea, no coincidían con la información proporcionada por el Atlas de la CNEE.
4. En la capacitación a las comunidades aledañas a la línea de transmisión de 400 kV, se determinó que las personas están interesadas en informarse en el tema de las Radiaciones No Ionizantes.

RECOMENDACIONES

1. Dar el seguimiento a temas relacionados con Radiaciones No Ionizantes, por parte de la Dirección General de Energía.
2. Actualizar el Atlas de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, ya que no coincide los puntos señalados con las comunidades en el tramo de la línea de transmisión de 400 kV.
3. Implementar en la Dirección General de Energía un software de localización con GPS, para ubicar con exactitud los puntos en los cuales se realizan las comisiones de trabajo.
4. Difundir el presente trabajo, para dar a conocer el primer estudio detallado con respecto a Radiaciones No Ionizantes en líneas de transmisión en Guatemala, que realiza la Dirección General de Energía con la ayuda de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
5. Que la Universidad de San Carlos de Guatemala, a través de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica siga promoviendo el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), con el propósito de aportar los conocimientos con lo relacionado con el sector eléctrico en nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizantes*, [en línea]. Munich, Alemania 2006, <www.icnirp.de>, [Consulta: 12 de octubre 2012].
2. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Atlas del Sistema Nacional Interconectado de la República de Guatemala [CD-ROM]. Guatemala: División de Proyectos Estratégicos, Departamento de Normas y Estudios Eléctricos, ArcReader Única Versión.
3. Guatemala. Congreso de la República. Código de Salud [en línea]. Organismo Legislativo. Guatemala 1997, <http://www.vertic.org/media/National%20Legislation/Guatemala/GT_Codigo_Salud_90_7.pdf>, [Consulta: 22 de octubre 2012].
4. GARCÍA, Susana. La salud humana y los campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja (CEM-FEB). Argentina: Editorial Unison, 2005. p. 4-78.
5. Holaday Industries. *HI-3604 ELF Survey Meter User's Manual* [en línea]. USA 1992, <<http://www.ets-lindgren.com/manuals/HI-3604.pdf>>, [Consulta: octubre 2012].

6. JIMÉNEZ MEZA, Obed Renato; CANTÚ GUTIÉRREZ, Vicente; CONDE ENRÍQUEZ, Arturo. *Líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica*. Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza Nuevo León, Universidad Autónoma de Nuevo León, 2006. p. 1-74.

7. Ministerio de Energía y Minas. *Radiaciones no ionizantes* [en línea]. Viceministerio del Área Energética. Guatemala 2012, <<http://www.mem.gob.gt/>>, [Consulta: 15 de octubre 2012].

8. Organización Mundial de la Salud. *Radiaciones no ionizantes* [en línea]. Ginebra, Suiza 2006, <<http://www.who.int/es/>>, [Consulta: 10 de octubre 2012].

APÉNDICES

Las emisiones alfa y beta suelen ir asociadas con la emisión gamma. Es decir las radiaciones gamma suelen tener su origen en el núcleo excitado generalmente, tras emitir una partícula alfa o beta, el núcleo tiene todavía un exceso de energía, que es eliminado como ondas electromagnéticas de elevada frecuencia. Los rayos gamma no poseen carga ni masa; por tanto, la emisión de rayos gamma por parte de un núcleo no conlleva cambios en su estructura, interaccionan con la materia colisionando con las capas electrónicas de los átomos con los que se cruzan provocando la pérdida de una determinada cantidad de energía radiante con lo cual pueden atravesar grandes distancias, Su energía es variable, pero en general pueden atravesar cientos de metros en el aire, y son detenidas solamente por capas grandes de hormigón, plomo o agua.

Con la emisión de estos rayos, el núcleo compensa el estado inestable que sigue a los procesos alfa y beta. La partícula alfa o beta primaria y su rayo gamma asociado se emiten casi simultáneamente. Sin embargo, se conocen algunos casos de emisión alfa o beta pura, es decir, procesos alfa o beta no acompañados de rayos gamma; también se conocen algunos isótopos que emiten rayos gamma de forma pura. Esta emisión gamma pura tiene lugar cuando un isótopo existe en dos formas diferentes, los llamados isómeros nucleares, con el mismo número atómico y número másico pero distintas energías. La emisión de rayos gamma acompaña a la transición del isómero de mayor energía a la forma de menor energía.

Aunque no hay átomos radiactivos que sean emisores gamma puros, algunos son emisores muy importantes, como el tecnecio 99, utilizado en medicina nuclear, y el cesio 137, que se usa sobre todo para la calibración de los instrumentos de medición de radiactividad.

ANEXOS

INFLUENCIA DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES SOBRE LA SALUD HUMANA

Aparato reproductor

Existe consenso del efecto nocivo que ejercen las ondas electromagnéticas sobre el sistema reproductor, en especial la función testicular. También están los trabajos de Prasad quien estudió 100 trabajadores (59 soldadores y 41 sastres) sin encontrar alteraciones significativas sobre la fertilidad.

Se ha reportado que en mujeres expuestas a CEM aumenta casi el doble la probabilidad de sufrir un aborto espontáneo. Sin embargo, otros autores no coinciden con estos resultados.

Cáncer

Son numerosos los trabajos que hacen referencia al posible efecto cancerígeno de las Radiaciones No Ionizantes. Los resultados obtenidos por estos y otros autores son inconsistentes, resultan ser estudios muy diferentes en cuanto al diseño, ejecución e interpretación de los experimentos realizados. Ni los efectos encontrados ni sus implicaciones sobre la salud humana están suficientemente dilucidados científicamente.

Esfera neuropsíquica

Es en esta esfera donde mayor número de alteraciones para la salud se han reportado. La literatura consultada, las fundamentales, así lo manifiestan:

- Alteraciones de la termorregulación
- Alteraciones de la actividad colinérgica
- Alteraciones electroencefalográficas
- Propensión al suicidio

Hay autores que han reportado síntomas neuropsíquicos independientes como son la confusión, pereza, pérdida de la memoria, ansiedad, depresión y otros autores lo agrupan como síndrome de las microondas.

Sistema inmunológico

Se han reportado también procesos alérgicos, depresión del sistema inmunológico modificaciones linfocitarias, macrofágicas y hematológica, sin conocerse hasta qué punto o de qué manera estas alteraciones influyen sobre la salud humana.

Genéticas

Actualmente se plantea que por debajo de los niveles a que se dan los efectos térmicos, las ondas electromagnéticas no generan respuestas mutagénicas y no influyen en la iniciación de cánceres.

En las investigaciones revisadas solo se encontraron estudios en las bandas de frecuencias pertenecientes a las radiofrecuencia (menor de 300

MHz) o en las microondas, no de las bandas de las ultra altas frecuencias (entre 0,3-3 Ghz).

Aparato cardiovascular

Las principales alteraciones están relacionadas con la conducción del estímulo eléctrico por las fibras miocárdicas, siendo una de estas el efecto bradicardizante de las ondas electromagnéticas.

Otros trastornos son alteraciones de la repolarización, infartos cardíacos algunos años después de la exposición laboral a los CEM y otros. Los efectos adversos sobre este sistema son controversiales.

Sistema hematopoyético

Se han encontrado aumentos en las cifras de hemoglobina, así como modificaciones leucocitarias que dependen de la potencia de energía de las microondas, por estrés térmico que son reversibles.

Las investigaciones sobre radiofrecuencias no han despejado las dudas sobre la influencia de los CEM sobre el hombre.

Muchos son los intereses de tipo económico que se mueven alrededor del tema, de ahí la falta de estudios y de consenso en las investigaciones.

La Organización Mundial de la Salud reconoce que los estudios epidemiológicos realizados hasta el momento son insuficientes para evaluar los riesgos en la salud que causa la exposición a las radiofrecuencias.

Se plantea que los efectos de las Radiaciones No Ionizantes son de 3 tipos: térmico, no térmicos y atérmicos.

Efectos térmicos. Cuando la energía electromagnética causa un aumento medible en la temperatura del objeto o persona (más de 1 °C. La absorción de radiofrecuencias en un medio ambiental tiene aparejado calentamiento. La intensidad de la radiación al actuar particularmente en el organismo humano, provoca un incremento de temperatura y produce un cambio en la orientación espacial (oscilación) de las moléculas bipolares, principalmente del agua y los iones en los tejidos; los órganos más afectados son el cristalino, humor vítreo del ojo, los órganos parenquimatosos y glándulas como el hígado, páncreas, ganglios linfáticos, las gónadas, órganos huecos como el estómago, vejiga y vesícula biliar.

También provocan dilatación de los poros de la barrera hematoencefálica, la que a su vez hace permeable a determinadas sustancias que no deberían entrar en las neuronas, es por ello que las radiaciones se relacionan con tumores cerebrales, enfermedad de Alzheimer y pérdida de la memoria, así como las alteraciones de los procesos de sueño y vigilia que pueden llevar a la depresión, cansancio e incluso propensión al suicidio.

El calentamiento inducido por radiaciones provoca varias respuestas tanto fisiológicas como termorreguladores, incluyendo la capacidad para realizar tareas físicas y mentales debido al aumento de la temperatura corporal.

Niveles muy bajos de radiaciones producen pequeños aumentos de la temperatura local de la parte sometida a dicha radiación; pero este calentamiento es compensado por los centros termorreguladores normales del cuerpo humano (mecanismos homeostáticos), sin que el individuo note dicho

aumento de temperatura. El verdadero problema está cuando el tiempo de exposición y la cantidad de radiación rompen este equilibrio.

El tipo de radiaciones que producen esas afectaciones en el hombre están reguladas tanto nacional como internacionalmente ya que se conoce su acción drástica sobre la salud humana y se han tomado medidas para proteger al hombre.

Efectos no térmicos. Se producen cuando la energía de la onda es insuficiente para elevar la temperatura por encima de las fluctuaciones de temperatura normales del sistema biológico. Hay evidencias de que exposiciones prolongadas a radiaciones de baja intensidad sean potencialmente nocivas, por el efecto no térmico de la exposición a radiaciones.

En los CEM con frecuencias por debajo de 1MHz no se produce calentamiento significativo, sino que inducen corrientes y campos eléctricos en los tejidos, se observan en alteraciones del electroencefalograma, cambios en la actividad colinérgica de animales que pudieran influir en la salud, sin embargo, las investigaciones en este campo están limitadas, de hecho la Organización Mundial de la Salud no presta mucha atención a los efectos no térmicos. Un Número grupo de investigadores norteamericanos y de países miembros del Tratado del Atlántico Norte (OTAN), niegan la posibilidad de que los campos de radiofrecuencias provoquen algún tipo de respuesta biológica que no sea de origen térmico. Su argumento fundamental es que este tipo de ondas no generan respuestas mutagénicas y no influyen en la iniciación de cánceres.

Los científicos rusos y de otros países reconocen la acción acumulativa de este tipo de radiaciones, principalmente en personas que han trabajado por 5 años o más con equipos de radiolocalización.

En un estudio en gatos y conejos, las ondas electromagnéticas de baja intensidad (insuficientes para producir efecto térmico) alteraron la actividad cerebral, atribuida a la movilidad del ion calcio.

Efectos atérmicos. Se producen cuando hay energía suficiente para causar un aumento de la temperatura corporal sin que se observen cambios en la temperatura debido al enfriamiento ambiental.

Los efectos biológicos observados por este tipo de radiación son principalmente inducir corrientes eléctricas que pueden estimular las células nerviosas y musculares.

Fuente: <https://www.saludesvida.com/efectosrni>. Consulta: 10 de marzo de 2013.