



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

**DETERMINACIÓN Y MEDICIÓN DE LOS PUNTOS REPRESENTATIVOS PARA LA
VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES DE RADIACIONES NO IONIZANTES
(RNI) EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE 230 KV, EN BASE A
LOS ACUERDOS GUBERNATIVOS No. 008-2011 DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

Jorge Gallina Rucal

Asesorado por el Ing. Guillermo Antonio Puente Romero

Guatemala, octubre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DETERMINACIÓN Y MEDICIÓN DE LOS PUNTOS REPRESENTATIVOS PARA LA VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES DE RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI) EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE 230 KV, EN BASE A LOS ACUERDOS GUBERNATIVOS No. 008-2011 DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JORGE GALLINA RUCAL

ASESORADO POR EL ING. GUILLERMO ANTONIO PUENTE ROMERO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL I | Ing. Angel Roberto Sic García |
| VOCAL II | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez |
| VOCAL III | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV | Br. Narda Lucía Pacay Barrientos |
| VOCAL V | Br. Walter Rafael Véliz Muñoz |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|--|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| EXAMINADOR | Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez |
| EXAMINADOR | Ing. Marvin Marino Hernández Fernández |
| EXAMINADOR | Ing. Guillermo Antonio Puente Romero |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

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:

DETERMINACIÓN Y MEDICIÓN DE LOS PUNTOS REPRESENTATIVOS PARA LA VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES DE RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI) EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE 230 KV, EN BASE A LOS ACUERDOS GUBERNATIVOS No. 008-2011 DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 3 de julio de 2013.



Jorge Gallina Rucal

Guatemala, 27 de mayo de 2015.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Unidad de EPS
Director

Ingeniero Rodríguez:

Por este medio me permito dar aprobación al informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) titulado: "DETERMINACIÓN Y MEDICIÓN DE LOS PUNTOS REPRESENTATIVOS PARA LA VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES DE RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI) EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA 230 KV, EN BASE A LOS ACUERDOS GUBERNATIVOS No. 008-2011 DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA", desarrollado por el estudiante Jorge Gallina Rucal con carné No. 2006-11397, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos, por lo que el autor y mi persona somos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,



Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
ASESOR
Colegiado 5898

Guillermo A. Puente R.
INGENIERO ELECTRONICO
COL. # 5898



Guatemala, 4 de septiembre de 2015.
Ref.EPS.DOC.582.09.15.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

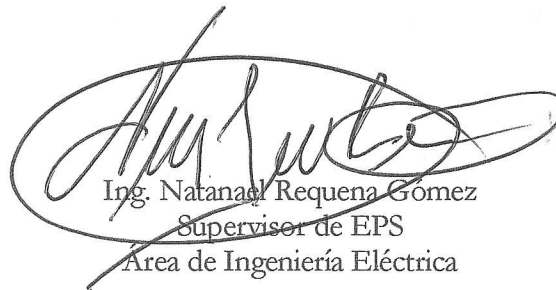
Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Jorge Gallina Rucal** de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con carné No. **200611397**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"DETERMINACIÓN Y MEDICIÓN DE LOS PUNTOS REPRESENTATIVOS PARA LA VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES DE RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI) EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE 230 KV, EN BASE A LOS ACUERDOS GUBERNATIVOS No. 008-2011 DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA"**.

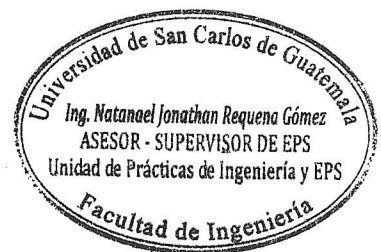
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


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





Guatemala 4 de septiembre de 2015.
Ref.EPS.D.445.09.15.

Ing. Francisco Javier González
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero González.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"DETERMINACIÓN Y MEDICIÓN DE LOS PUNTOS REPRESENTATIVOS PARA LA VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES DE RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI) EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE 230 KV, EN BASE A LOS ACUERDOS GUBERNATIVOS No. 008-2011 DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Jorge Gallina Rucal**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Guillermo Antonio Puente y supervisado por el Ing. Natanael 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"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS



SJRS/ra



Ref. EIME 59. 2015
Guatemala, 7 de julio 2015.

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

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
DETERMINACIÓN Y MEDICIÓN DE LOS PUNTOS REPRESENTATIVOS PARA LA VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES DE RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI) EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE 230 KV, EN BASE A LOS ACUERDOS GUBERNATIVOS No. 008-2011 DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, del estudiante Jorge Gallina Rucal, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
DIRECCIÓN Y ENSEÑANZA A TODOS

Ing. Francisco Javier González López
Coordinador Área Potencia



SFO



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 59. 2015.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; JORGE GALLINA RUCAL, titulado: DETERMINACIÓN Y MEDICIÓN DE LOS PUNTOS REPRESENTATIVOS PARA LA VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES DE RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI) EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE 230 KV, EN BASE A LOS ACUERDOS GUBERNATIVOS No. 008-2011 DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 31 DE JULIO 2015.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **DETERMINACIÓN Y MEDICIÓN DE LOS PUNTOS REPRESENTATIVOS PARA LA VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES DE RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI) EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE 230 KV, EN BASE A LOS ACUERDOS GUBERNATIVOS No.008-2011 DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Jorge Gallina Rucal**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar
Decano



Guatemala, octubre de 2015

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Padre celestial, gracias porque siempre me has dado fuerzas para seguir adelante, me has levantado en cada tropiezo que he tenido en mi camino.

Mi padre

Victor Gallina Joj, por ser mi ejemplo para nunca bajar los brazos y enseñarme a trabajar duro para alcanzar mis metas, gracias por todas tus enseñanzas.

Mi madre

María Guadalupe Rucal, gracias por todo tu amor, tus ánimos, tu apoyo incondicional y por desvelarte tantas veces conmigo, por nunca cansarte de aconsejarme.

Mis hermanos

Erick y Luis Gallina Rucal, porque estuvieron a mi lado desde el principio, gracias. Que sea un ejemplo para que puedan alcanzar sus metas.

Mi hermana

Blanca Estela Gallina Rucal, porque siempre has estado pendiente de mi bienestar desde el principio, apoyándome de una u otra forma, gracias hermana.

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|---|--|
| Universidad de San Carlos de Guatemala | Por abrirme sus puertas y mostrarme el camino hacia la sabiduría. |
| Dirección General de Energía (MEM) | Por brindarme la oportunidad de aplicar mis conocimientos y habilidades para el beneficio de la institución y de la población. |
| Facultad de Ingeniería | Por darme las herramientas para forjarme y ayudarme a obtener las habilidades y destrezas que se necesitan para salir adelante en la vida. |
| Mis amigos | Marlon Palacios, Erick Pérez, Juan José de La Cruz, Marvín López, Sergio Xunic, Gustavo Álvarez, Ovidio Cajbón y Carlos Cay, gracias por su amistad y por todo el apoyo brindado durante la carrera y en el trabajo. |
| Licda. Mildred de Mendoza | Fue la primera persona que creyó en mis habilidades y me dio la oportunidad de forjarme como un profesional, gracias por compartir sus conocimientos y apoyarme en lo que estuvo a su alcance. |

**Ing. Guillermo
Antonio Puente**

Gracias por creer en mí y apoyarme desde un inicio en la realización de este trabajo de graduación.

Amigos de la EIME

Un especial agradecimiento para todos los que tuve la dicha de conocer en la EIME, y aún más especial para aquellos que ya no están entre nosotros, esto es para ustedes.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | VII |
| GLOSARIO | IX |
| RESUMEN..... | XI |
| OBJETIVOS..... | XIII |
| INTRODUCCIÓN | XV |
| | |
| 1. FASE DE INVESTIGACIÓN | 1 |
| 1.1. Información de la entidad reguladora de las radiaciones no ionizantes en Guatemala | 1 |
| 1.1.1. DGE-MEM | 1 |
| 1.1.2. Departamento de Radiaciones No Ionizantes..... | 3 |
| 1.2. Información de las comunidades..... | 4 |
| 1.3. Ubicación LT 230kV en Guatemala..... | 10 |
| 1.4. Radiaciones | 11 |
| 1.4.1. Longitud y frecuencia de las ondas | 12 |
| 1.4.2. Diferencia entre la radiación no ionizante y la radiación ionizante..... | 12 |
| 1.5. Normativas..... | 13 |
| 1.5.1. Código de Salud | 14 |
| 1.5.2. La Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP) | 14 |
| 1.5.3. Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) | 15 |

| | | |
|----------|---|----|
| 1.6. | Organizaciones internacionales destinadas a la investigación de las RNI (OMS e ICNIRP)..... | 16 |
| 1.6.1. | Proyecto internacional CEM | 17 |
| 1.6.2. | ¿Qué sucede cuando se está expuesto a campos eléctricos y magnéticos?..... | 18 |
| 1.6.3. | ¿Qué problemas de salud se han investigado? | 20 |
| 1.6.4. | Estudios epidemiológicos | 21 |
| 1.7. | Equipo de medición para RNI | 22 |
| 1.7.1. | Generalidades del instrumento..... | 23 |
| 2. | FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL | 25 |
| 2.1. | Generalidades | 25 |
| 2.1.1. | Electricidad y magnetismo..... | 25 |
| 2.1.2. | Cargas eléctricas..... | 26 |
| 2.1.3. | Tensión..... | 26 |
| 2.1.4. | Corriente eléctrica | 27 |
| 2.1.5. | Campo eléctrico | 28 |
| 2.1.6. | Campo magnético | 29 |
| 2.2. | Energía del campo electromagnético: ondas electromagnéticas..... | 31 |
| 2.3. | Principales fuentes de campos de frecuencia baja, media y alta..... | 32 |
| 2.4. | Sistema eléctrico | 32 |
| 2.4.1. | Línea de transmisión | 34 |
| 2.4.2. | Efecto Ferranti..... | 34 |
| 2.4.3. | Efecto corona | 36 |
| 2.4.3.1. | Factores que afectan el efecto corona | 37 |
| 2.4.3.2. | Ventajas | 38 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.4.3.3. | Desventajas | 38 |
| 2.4.3.4. | Reducción del efecto corona | 38 |
| 2.5. | Protocolo de trabajo para la medición de los CEM emitidos por las líneas de transmisión de energía eléctrica de 230 kV | 39 |
| 2.6. | Monitoreos | 44 |
| 2.6.1. | Análisis estadístico para la planificación de monitoreos | 45 |
| 2.6.2. | Comunidades a monitorear..... | 47 |
| 2.6.3. | Realización de los monitoreos | 49 |
| 2.6.4. | Análisis de los monitoreos | 57 |
| 2.6.5. | Resultados promediados | 60 |
| 2.6.6. | Gráficas estadísticas | 61 |
| 2.6.7. | Comparación de las CEM medidos con respecto a los límites..... | 62 |
| 2.7. | Factor de seguridad que se aplica para los límites de exposición | 63 |
| 2.8. | Aspectos que las normas no pueden contemplar | 64 |
| 3. | FASE DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE | 67 |
| 3.1. | Métodos para la reducción de la emisión de campos magnético..... | 67 |
| 3.2. | Público a capacitar sobre los CEM | 72 |
| 3.2.1. | Capacitaciones | 73 |
| | CONCLUSIONES | 81 |
| | RECOMENDACIONES | 83 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 85 |
| | ANEXOS | 87 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Trayecto de LT 230 kV un circuito..... | 11 |
| 2. | Corrientes inducidas en el cuerpo humano por los campos eléctricos y los campos magnéticos | 19 |
| 3. | Longitud de onda a 60 Hz | 28 |
| 4. | El flujo de corriente crea un campo magnético | 30 |
| 5. | Vector de Poynting..... | 31 |
| 6. | Ejemplo del perfil lateral de la intensidad de campo eléctrico a la mitad del vano | 41 |
| 7. | Vista aérea típica con alturas de objetos..... | 41 |
| 8. | Colonia La Estancia, municipio de Escuintla, Escuintla | 52 |
| 9. | Asentamiento La Aurora, municipio de Masagua, Escuintla | 52 |
| 10. | Caserío Tierra Nueva, municipio La Democracia, Escuintla | 53 |
| 11. | Carretera a Mazatenango, municipio de Escuintla, Escuintla | 53 |
| 12. | Puente de Palo, municipio de Escuintla, Escuintla..... | 54 |
| 13. | Aldea El Limón, municipio de Jalpatagua, Jutiapa | 54 |
| 14. | Delegación de Migración Valle Nuevo, municipio de Jalpatagua, Jutiapa..... | 55 |
| 15. | Aldea Agua Tibia, municipio de Cuilapa, Santa Rosa | 55 |
| 16. | Caserío Ceiba Gacha, municipio de Oratorio, Santa Rosa | 56 |
| 17. | Aldea Las Cabezas, municipio de Oratorio, Santa Rosa..... | 56 |
| 18. | Valores de campo eléctrico monitoreados | 61 |
| 19. | Valores de campo magnético monitoreados | 62 |
| 20. | Compactación combinada con cambio de fases | 69 |

| | | |
|-----|--|----|
| 21. | Cambio de línea aérea a subterránea en baja tensión, compactación..... | 70 |
| 22. | Cambio de línea aérea de 400 kV (2 000 amperios) a subterránea | 70 |
| 23. | Reordenación de conductores en línea subterránea | 71 |
| 24. | Reordenación de línea de distribución adosada | 71 |
| 25. | Capacitación a personal técnico del Ministerio de Energía y Minas | 74 |
| 26. | Introducción a los CEM dirigido a personal técnico de la Dirección General de Energía..... | 75 |
| 27. | Explicación del protocolo de medición de CEM | 76 |
| 28. | Capacitación a representantes de Cocodes y autoridades municipales..... | 77 |
| 29. | Capacitación a personal del MARN, sede Antigua Guatemala..... | 78 |
| 30. | Personal del MARN, sede Antigua Guatemala | 79 |
| 31. | Estudiantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Usac..... | 80 |

TABLAS

| | | |
|------|--|----|
| I. | Comunidades cercanas a la línea de transmisión (LT) de 230 kV un circuito | 47 |
| II. | Comunidades cercanas a la línea de transmisión (LT) de 230 kV un circuito, monitoreadas..... | 50 |
| III. | Valores obtenido de los monitoreos realizados a las comunidades cercanas a la LT de 230 kV un circuito | 58 |
| IV. | Valores de los límites de CEM para $f = 60$ Hz | 59 |
| V. | Valores que sobrepasan los límites establecidos en la reglamentación nacional | 59 |
| VI. | Porcentaje de los valores promedio con respecto a los límites | 60 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|---------------------------|--|
| A | Amperios |
| A/m | Amperios por metro |
| ELF | Campos de Frecuencia Extremadamente Baja |
| CEM | Campos electromagnéticos |
| UTM | Coordenadas UTM |
| f | Frecuencia |
| FEB | Frecuencia Extremadamente Baja |
| FI | Frecuencia Intermedia |
| GHz | Gigahertz |
| °C | Grados centígrados |
| hab/km² | Habitantes por kilómetros cuadrados |
| Hz | Hertz |
| hddd°mm'ss.s" | Horas, minutos y segundos |
| kHz | Kilohertz |
| km | Kilómetros |
| km² | Kilómetros cuadrados |
| kV/m | Kilovolt sobre metro |
| kV | Kilovoltio |
| LT | Línea de transmisión |
| MHz | Megahertz |
| m | Metro |
| msnm | Metro sobre el nivel del mar |
| % | Porcentaje |

| | |
|------------|---------------------------|
| RNI | Radiaciones No Ionizantes |
| RF | Radiofrecuencias |
| 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. |
| Atlas de la CNEE | Software en el cual se encuentran los proyectos de electricidad en Guatemala, hecho por la CNEE. |
| 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. |
| ICNIRP | Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizantes. |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers. |
| Monitoreo | Actividad encaminada a realizar una actividad encomendada. |

OMS Organización Mundial de la Salud.

Protocolo Conjunto de procedimientos para realizar el trabajo deseado.

SNI Sistema Nacional Interconectado.

RESUMEN

A través de este trabajo de graduación se llevó a cabo la verificación de los límites de campos electromagnéticos emitidos por las líneas de transmisión de energía eléctrica de 230 kV un circuito, establecidos en la reglamentación nacional.

En el capítulo 1, se dan a conocer las funciones de la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas, quien es la entidad encargada de velar por el cumplimiento de los límites en el país. Así también se dan a conocer las instituciones que se encargan de estudios sobre la exposición a los campos electromagnéticos a nivel internacional (OMS e ICNIRP), las características del equipo requerido para los monitoreos, así como las características de los campos electromagnéticos y estudios epidemiológicos relacionados con la salud de las personas.

En el capítulo 2, se describen generalidades eléctricas que ayudan a comprender el funcionamiento de un sistema eléctrico, y a la vez del fenómeno de la emisión de los campos electromagnéticos en las líneas de transmisión de energía eléctrica; se dan a conocer las comunidades monitoreadas, la metodología utilizada para obtener los datos, los datos obtenidos durante los monitoreos, el análisis y resultados de los mismos.

En el capítulo 3, se dan a conocer métodos para la reducción de los campos magnéticos emitidos por las líneas de transmisión de energía eléctrica, y a la vez, como parte del compromiso que se tiene ante la población, se capacitó sobre la emisión de campos electromagnéticos y su relación con la

salud humana, a diferentes tipos de público, siendo estos: personal técnico de instituciones gubernamentales dedicadas a tratar temas técnicos-sociales, estudiantes de la Universidad de San Carlos de Guatemala, autoridades municipales interesadas y a la población en general durante el desarrollo de los monitoreos.

OBJETIVOS

General

Determinar y medir los puntos representativos para verificar el cumplimiento de los límites de radiaciones no ionizantes, en líneas de transmisión de energía eléctrica de 230 kV, con base en el Acuerdo Gubernativo No. 008-2011 de la República de Guatemala.

Específicos

1. Dar a conocer las funciones de la institución encargada a nivel nacional de la regulación de los campos electromagnéticos, de baja frecuencia y el equipo que utiliza para este trabajo, así también, a las instituciones internacionales que se dedican a realizar investigaciones y recomendaciones para la protección contra dichos campos.
2. Dar a conocer los datos, el análisis y los resultados obtenidos en las mediciones de los campos electromagnéticos, emitidos por la línea de transmisión de energía eléctrica de 230 kV un circuito, en las comunidades que se encuentran cercanas a dicha línea de transmisión, utilizando la metodología establecida por la Dirección General de Energía.
3. Difundir, a través de este trabajo de graduación y de charlas informativas, el tema de los campos electromagnéticos emitidos por las líneas de transmisión de energía eléctrica: sus ventajas, desventajas, su

relación con la salud de las personas, entre otros temas, para disminuir la alarma social y evitar conflictos, y así, facilitar la realización de proyectos eléctricos que promuevan el desarrollo del país.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, en Guatemala se ha incrementado el consumo de la energía eléctrica debido al crecimiento de la población y de las industrias, esto originó que el Sistema Nacional Interconectado del país se expandiera para abastecer el crecimiento de consumo eléctrico.

Como ya se sabe, la electricidad es transmitida por conductores eléctricos, en este caso, llamados líneas de transmisión, los cuales han sido instalados en determinados sectores de la República para fortalecer el sistema eléctrico.

La población debido a la falta de conocimientos técnicos está mal informada, a través de los medios de comunicación existentes, sobre la emisión de campos electromagnéticos emitidos por dichas líneas de transmisión, atribuyéndole a las mismas enfermedades como: leucemia en niños, malformación en recién nacidos, hipertensión, dolores de cabeza, tumores en diferentes partes del cuerpo, cáncer, entre otros; por lo que se han opuesto a la instalación de dichas líneas, frenando así el desarrollo del país.

Derivado del problema social por la instalación de nuevas líneas de transmisión de energía eléctrica y la preocupación sobre los posibles efectos en la salud de las personas por la exposición a los campos electromagnéticos: la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en colaboración con la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía, promoviendo la solución de los problemas que aquejan a la población guatemalteca, ha llevado a realizar, como parte del Ejercicio Profesional

Supervisado (EPS) este estudio para la verificación de los límites de campos electromagnéticos emitidos por las líneas de transmisión de energía eléctrica de 230 KV, con fundamentos teóricos y prácticos.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

Como parte del Ejercicio Profesional Supervisado, en el primer capítulo, se dará a conocer las investigaciones que se llevaron a cabo para poder realizar el proyecto mencionado.

1.1. Información de la entidad reguladora de las radiaciones no ionizantes en Guatemala

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 energética y minera, que fomenta el aprovechamiento adecuado de 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, debido al crecimiento tecnológico y a la ampliación del sector eléctrico en el país, los cuales son generadores de campos electromagnéticos de bajas frecuencias, creó 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.
- 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 Socio-ambiental del MEM, el

¹ Dirección General de Energía. *Manual de Funciones*. p. 15-16.

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 debido a las radiaciones no ionizantes.

- 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.
- Realiza investigaciones pertinentes para mantener los límites de Radiaciones No Ionizantes en sus rangos.”²

1.2. Información de las comunidades

La verificación de RNI se realizará a lo largo de la línea de transmisión de 230 kV un circuito, abarcando los departamentos de Totonicapán, Retalhuleu, Quetzaltenango, Suchitepéquez, Escuintla, Guatemala, Jutiapa y Santa Rosa.

El departamento de Totonicapán está situado en la región suroccidental de Guatemala. Su cabecera departamental se encuentra separada de la ciudad capital a una distancia de 203 kilómetros aproximadamente.

El idioma indígena predominante en todo el departamento de Totonicapán es el Quiché, pero muchos también hablan el español. Los idiomas que se usan también son el cakchiquel, el mam y otros más; cuenta con una extensión territorial de 1 061 kilómetros cuadrados. La altura de elevación a la que se encuentra es de 2 495,30 metros sobre el nivel del mar. Existe una población

² Dirección General de Energía. *Manual de Funciones*. p. 17-18.

total de 339 254 habitantes, con una densidad poblacional aproximadamente de 319,75 habitantes por kilómetro cuadrado (hab /km²).

Este departamento posee extensiones frías y solamente en municipios como Santa María Chiquimula y Momostenango tienen pequeños sectores templados. Cabe mencionar que en Totonicapán se forman vientos y neblinas que forman, en determinados días, una especie de llovizna que localmente se conoce como "Salud del Pueblo", teniendo en general un clima agradable y grato.

El departamento de Retalhuleu se encuentra situado en la región suroccidental de Guatemala. Limita al norte con Quetzaltenango, al sur con el océano pacífico, al este con Suchitepéquez; y al oeste con San Marcos. La cabecera departamental se encuentra a una distancia de 190 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala. El clima, en general, es cálido todo el año, debido a que sus temperaturas van de 22 a los 34 °C, con suficiente humedad y suelo fértil. El cultivo se practica exhaustivamente y con todos los medios de la técnicas agrícolas más modernas.

Los principales productos que se cultivan en este departamento son: algodón, café, maíz, frijol, arroz, cacao, caña de azúcar, frutas, entre otras. La ganadería está bien desarrollada especialmente de ganado bovino.

Los idiomas que se hablan en el departamento de Retalhuleu son el español, quiché y el cakchiquel; cuenta con una extensión territorial de 1 856 kilómetros cuadrados. El monumento de elevación se encuentra en la cabecera departamental, a una altura de 239 metros sobre el nivel del mar. Existe una población total de 302 524 habitantes, con una densidad poblacional aproximadamente de 171,51 habitantes por kilómetro cuadrado (hab /km²).

Quetzaltenango, conocida también como Xelajú o Xela, es la capital del departamento de Quetzaltenango, asimismo, es la segunda ciudad más importante de Guatemala, localizada a 206 km al noroeste de la ciudad de Guatemala. La ciudad se encuentra ubicada en un valle montañoso en el altiplano occidental de Guatemala con una altitud media sobre el nivel del mar de 2 333 metros. Cuenta con una población de 300 000 habitantes, aproximadamente, en la zona metropolitana, más la población que se genera de las ciudades colindantes debido al flujo comercial-educativo y para trabajar, la población se incrementa con 30 000 personas que conforman la población flotante de la ciudad.

El departamento de Quetzaltenango tiene 1 953 km². A nivel de ciudad la población es de alrededor del 65 % indígena o amerindia, el 32 % mestizos o ladinos, y el 3 % europeo y a nivel departamental el 60,57 % de la población es indígena, porcentaje superior al observado a nivel nacional (41,9 %); predomina el grupo étnico quiché y mam. Se habla Español, el cual es el idioma oficial, pero, como se mencionó anteriormente, debido a los grupos étnicos existentes en el departamento, también se habla quiché y mam.

Dentro de sus cultivos destacan: café, maíz, fruta, palma africana, ajonjolí, arroz y hule. Es una zona ganadera, industrial y de gran actividad comercial.

La ciudad de Quetzaltenango es la ciudad más fría de toda Centroamérica, ya que se encuentra en un valle montañoso. La ciudad tiene un clima subtropical de montaña, el cual debido a la altitud, la temperatura media es de 14,7 °C y su temperatura suele ir de 1 a 25 °C.

Existen dos estaciones principales en Quetzaltenango: la temporada de lluvias, que generalmente se extiende desde mayo hasta mediados de noviembre, y la estación seca, que va desde diciembre hasta mayo.

El departamento de Suchitepéquez se encuentra situado en la región suroccidental de Guatemala. Limita al norte con Quetzaltenango, Sololá y Chimaltenango; al sur con el océano Pacífico; al este con Escuintla; y al oeste con Retalhuleu. La cabecera departamental está a una distancia de 165 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala.

Este departamento debido a que tiene un clima variado, y dentro de su extensión territorial limita con las playas del Pacífico, posee un uso de la tierra capacitado para la siembra de todo tipo de cultivos, bosques, frutales, ganado vacuno, entre otros., siendo de excelente calidad.

Los pueblos originarios en este departamento hablan mayoritariamente el idioma quiché y en el municipio de Chicacao el tz'utujil, en Patulul el cakchiquel, además del español que es la lengua dominante en el departamento.

El departamento de Suchitepéquez tiene 2 510 km². Este se encuentra a una altura de 371 metros sobre el nivel del mar. Existe una población total de 245 059 habitantes, con una densidad poblacional aproximadamente de 215,96 habitantes por kilómetro cuadrado (hab /km²).

Escuintla está situado en el centro-sur de la República, posee una extensión territorial de 4 384 km². Su cabecera departamental (del mismo nombre) es la tercera ciudad más grande e importante del país con una población aproximada de 162 000 habitantes.

Este se encuentra a una elevación de 347 metros sobre el nivel del mar; su densidad poblacional es aproximadamente de 156,2 habitantes por kilómetro cuadrado (hab / km²).

El departamento de Escuintla posee tierras fértiles que la hacen productora de infinidad de productos agrícolas, entre los cuales se tienen: caña de azúcar, café, algodón, frutas, maíz, legumbres y frijol. Otro rubro de la economía departamental es la ganadería, que se explota en grandes extensiones de su territorio.

El idioma principal es el español, pero en esta zona, también se encuentran el cakchiquel y el idioma pocomam. Y en el municipio de Santa Lucia y Nueva Concepción se habla también, en algunas regiones, lenguas nativas.

Guatemala es un departamento al sur de la República de Guatemala. Su capital es la ciudad de Guatemala, limita al norte con el departamento de Baja Verapaz, al noreste con el departamento de El Progreso, al este con el departamento de Jalapa, al sureste con el departamento de Santa Rosa, al suroeste con el departamento de Escuintla, al oeste con los departamentos de Sacatepéquez y Chimaltenango y al noroeste con el departamento del Quiché.

Su superficie es de 2 126 km². Se encuentra a una altura máxima de 2 201 metros sobre el nivel del mar. Existe una población total de 2 538 227 habitantes, con una densidad poblacional aproximadamente de 1 193,9 habitantes por kilómetro cuadrado (hab /km²) y su clima es regularmente templado.

Jutiapa es uno de los 22 departamentos de la República de Guatemala, el cual se encuentra ubicado a una distancia de 118 km. de la capital, es bastante montañoso y cuenta con playas turísticas al sur del departamento. Su clima es muy diverso, entre cálido y templado. Su cabecera departamental es Jutiapa y limita al norte con los departamentos de Jalapa y Chiquimula; al sur con el departamento de Santa Rosa y el océano Pacífico; y al este con la República de El Salvador.

Cuenta con una población de 489 085 habitantes. Es habitado en su mayoría por descendientes europeos. La mayoría de su población es de raza ladino o no indígena (mestizo). Su extensión territorial es de 3 219 km², con una densidad poblacional de aproximadamente 152,08 habitantes por kilómetro cuadrado (hab /km²). Está situado a una altura media de 906 msnm.

La principal actividad económica en Jutiapa es la agricultura y la ganadería. Los cultivos principales son el arroz, chile pimiento, tomate, frijol, cebolla, melón, mango y el maíz; además se produce sorgo, lentejas, azúcar, tabaco, papas, mandioca, sésamo, henequén, maguey, café, algodón y diversas frutas. Jutiapa también es el segundo departamento productor de leche a nivel nacional.

El departamento de Santa Rosa se encuentra en la región sureste de Guatemala, su cabecera departamental es Cuilapa (conocido como el ombligo de América por encontrarse en el centro del continente). Este limita al norte con los departamentos de Guatemala y Jalapa; al sur con el océano Pacífico; al este con el departamento de Jutiapa; y al oeste con el departamento de Escuintla.

Su configuración geográfica es bastante variada, con alturas que oscilan entre los 214 y 1 330 msnm, con un clima que varía desde el templado en los lugares montañosos, hasta el cálido en la costa del Pacífico.

Cuenta con una población aproximadamente de 301 370 habitantes. Su extensión territorial es de 2 955 km², con una densidad poblacional de aproximadamente 101,99 habitantes por kilómetro cuadrado (hab /km²).

Debido al cambio que han padecido las culturas a nivel nacional, el idioma pipil ha desaparecido por completo y el xinca aún es recordado por algunos ancianos entre la población de los municipios de Chiquimulilla, Taxisco, Guazacapán y Santa María Ixhuatán. En consecuencia, el idioma que se habla en todo el departamento de Santa Rosa, es el español.

1.3. Ubicación LT 230kV en Guatemala

En la siguiente imagen se muestra la ruta de la línea de transmisión de 230 kV un circuito de la República de Guatemala.

Figura 1. Trayecto de LT 230 kV un circuito



Fuente: Atlas de la CNEE.

1.4. Radiaciones

Debido al crecimiento de la tecnología que se ha dado en las últimas décadas, la población en general, ha aumentado su interés y preocupación sobre la relación que podría existir sobre la exposición a las radiaciones no ionizantes, las cuales son campos electromagnéticos (CEM), en condiciones normales y habituales, y los posibles efectos sobre la salud de las personas.

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.

1.4.1. Longitud y frecuencia de las ondas

Los principales elementos que caracterizan un (CEM) son su frecuencia y la correspondiente longitud de onda. El efecto sobre el organismo de los diferentes campos electromagnéticos es función de su frecuencia. Se deben imaginar las ondas electromagnéticas como series de ondas muy uniformes que se desplazan a una velocidad enorme: la velocidad de la luz. La "frecuencia" describe el número de oscilaciones o ciclos por segundo, mientras que la "longitud de onda" se refiere a la distancia entre una onda y la siguiente. Por lo tanto, la longitud de onda y la frecuencia están inseparablemente ligadas: cuanto mayor es la frecuencia, más corta es la longitud de onda.

Este concepto puede ser ilustrado mediante la siguiente analogía: atar un extremo de una cuerda larga a la manija de una puerta y sujetar el extremo libre. Si se mueve lentamente arriba y abajo generará una única onda de gran tamaño; un movimiento más rápido generará numerosas ondas pequeñas. La longitud de la cuerda no varía, por lo que cuantas más ondas genere (mayor frecuencia), menor será la distancia entre las mismas (menor longitud de onda).

1.4.2. Diferencia entre la radiación no ionizante y la radiación ionizante

Como se mencionó anteriormente, la longitud de onda y la frecuencia determinan una característica importante de los CEM. Las ondas electromagnéticas son transportadas por partículas llamadas cuantos de luz.

Los cuantos de luz de ondas con frecuencias más altas, lo que implica longitudes de onda más cortas, transportan más energía que los de las ondas de menor frecuencia, de longitudes de onda más largas.

Algunas ondas electromagnéticas transportan tanta energía por cuanto de luz que son capaces de romper los enlaces entre las moléculas. Entre estos están los rayos gamma que emiten los materiales radioactivos, los rayos cósmicos y los rayos X, y se conocen como "radiación ionizante". Por otra parte, las radiaciones compuestas por cuantos de luz sin energía suficiente para romper los enlaces moleculares se conocen como "radiación no ionizante".

De las fuentes de CEM generadas por el hombre que constituyen una parte fundamental de las sociedades industriales (como la electricidad, las microondas y los campos de radiofrecuencia) están en el extremo del espectro electromagnético correspondiente a longitudes de onda relativamente largas y frecuencias bajas y sus cuantos de luz no son capaces de romper enlaces químicos.

1.5. Normativas

Actualmente existen una serie de normas técnicas sobre límites de exposición y métodos de medición de CEM, que han sido elaboradas por organismos competentes, con un adecuado soporte científico, aplicables tanto a la industria como a líneas de media y alta tensión, terminales de radiofrecuencia, entre otros.

1.5.1. Código de Salud

En Guatemala, el Código de Salud, en su artículo 209 hace mención que ninguna persona por razones de ocupación, así como la población en general, deben de ser sometidas al riesgo de exposición de radiaciones ionizantes y no ionizantes, que excedan los límites de dosis establecidos internacionalmente, así como los reglamentados a nivel nacional. Y en su artículo 206 hace referencia que es el Ministerio de Energía y Minas quien dicte las disposiciones correspondientes con el propósito de evitar accidentes por causa de exposición a radiación de cualquier tipo.

1.5.2. La Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP)

Este es un organismo vinculado a la Organización Mundial de la Salud, cuya función es la de investigar los posibles peligros que se pueden asociar con la exposición de las diferentes formas de CEM y así proporcionar protección contra efectos adversos a la salud, conocidos mediante la publicación de recomendaciones internacionales para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (CEM) en el rango de 0 a 300 GHz.

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

Las recomendaciones sobre las restricciones se basan en datos científicos, el conocimiento disponible a la fecha, proporcionando una adecuada

protección a la exposición de CEM variables en el tiempo. Además, producto de la evaluación crítica y profundo análisis literario realizado sobre los CEM, se concluye que no existe evidencia científica convincente acerca de que los CEM sean iniciadores del cáncer.

1.5.3. Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)

Es una de las asociaciones técnicas que se han ocupado de establecer normas y métodos de medición de CEM, como la "Norma IEEE 644-1994 Estándar de Procedimientos para la Medición de Campos Eléctricos y Magnéticos desde Líneas de Transmisión de Corriente Alterna", el cual, su propósito principal es la de aplicar los procedimientos uniformes para la medición de campos eléctricos y magnéticos de corriente alterna, emitidas por las líneas de transmisión de energía eléctrica. Asimismo, describe los métodos para la calibración de las sondas utilizadas en estas mediciones, que además constituyen un prerrequisito para la comparación de campos eléctricos y magnéticos de diversas líneas de potencia eléctrica. También da a conocer los parámetros que afectan la precisión de las mediciones de los CEM.

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 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.

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, tiene un único objetivo, reunir a los países para desarrollar un marco regulatorio 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.

1.6. Organizaciones internacionales destinadas a la investigación de las RNI (OMS e ICNIRP)

La Organización Mundial de la Salud (OMS) es la autoridad directora y coordinadora de la acción sanitaria en el sistema de la organización de las Naciones Unidas (ONU). La OMS define salud como un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente como la ausencia de afecciones o enfermedades.

Su objetivo es alcanzar, para todos los países del mundo, el mayor grado de salud; Además, es la responsable de desempeñar una función de liderazgo en los asuntos sanitarios mundiales, coordinar la agenda de las investigaciones en salud, establecer normas, enlazar opciones de política basadas en la evidencia, brindar apoyo técnico a los países y vigilar las tendencias sanitarias mundiales.

La ICNIRP es una institución científica independiente, creada por la Asociación Internacional de Protección contra la Radiación (IRPA, por sus siglas en inglés) para promover la protección contra las RNI en beneficio de las personas y del medio ambiente. Su fin es la de proporcionar orientación científica y recomendaciones sobre la protección contra la exposición a RNI; ha elaborado directrices y límites internacionales de exposición a RNI independientes y con fundamento científico y es la institución que representa a los profesionales dedicados a la investigación de la protección contra las RNI de todo el mundo mediante su estrecha relación con la IRPA.

1.6.1. Proyecto internacional CEM

La OMS, como parte de sus funciones y su mandato de proteger la salud pública en 1996, creó el proyecto internacional CEM para evaluar los posibles efectos perjudiciales para la salud, de la exposición de las personas a campos eléctricos y magnéticos estáticos y variables en el tiempo en el intervalo de frecuencia de 0 a 300 GHz, así como también su relación con el medio.

Para los fines del proyecto CEM, 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)
- De radiofrecuencia (RF, 10 MHz a 300 GHz)

Además, el proyecto CEM fomenta las investigaciones dirigidas a llenar importantes vacíos de conocimiento y a facilitar el desarrollo de normas aceptables internacionalmente que limiten la exposición a CEM.

Los principales objetivos de este proyecto son:

- Dar una respuesta internacional y coordinada a las inquietudes que ocasionan los posibles efectos sanitarios de la exposición a los CEM.
- Facilitar el desarrollo e implementación de normas internacionalmente aceptables sobre la exposición a los CEM.
- Asesorar y capacitar a las autoridades nacionales, internacionales y de otros ámbitos, sobre los efectos sanitarios y ambientales de los CEM, y sobre las eventuales medidas o actuaciones de protección necesarias.

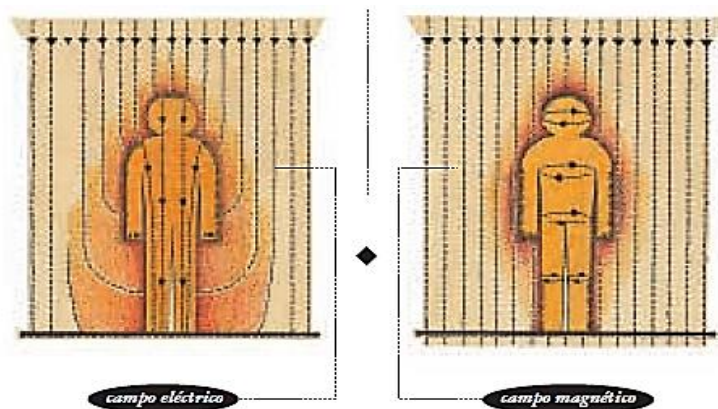
1.6.2. ¿Qué sucede cuando se está expuesto a campos eléctricos y magnéticos?

En el organismo humano se producen corrientes eléctricas minúsculas como resultado de las reacciones químicas de las funciones corporales normales, incluso en ausencia de campos eléctricos externos. En el interior y el exterior de todas las células del cuerpo humano existen gran cantidad de cargas eléctricas libres, cuyo desplazamiento genera dichas corrientes minúsculas. El cuerpo humano funciona en gran parte gracias a estas corrientes eléctricas endógenas, como por ejemplo: el latido del corazón o la transmisión de señales nerviosas.

Asimismo, la exposición a un campo eléctrico o magnético hace que estas cargas experimenten cierta fuerza y se muevan, creando o induciendo corrientes eléctricas en el interior del organismo, cuya magnitud dependerá directamente de la intensidad del campo al que está expuesto. Si es suficientemente intenso, las corrientes podrían estimular los nervios y músculos

o afectar a otros procesos biológicos. Estas corrientes inducidas tienen diferente sentido, según sean generadas por un campo eléctrico o por un campo magnético.

Figura 2. **Corrientes inducidas en el cuerpo humano por los campos eléctricos y los campos magnéticos**



Fuente: Grupos Pandora S. A. *Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz*. p. 34.

Los campos eléctricos inducen corrientes que atraviesan el organismo hasta el suelo, mientras que los campos magnéticos inducen corrientes circulantes.

La magnitud de la corriente inducida (que se suele expresar en forma de densidad, intensidad de corriente por unidad de superficie (A/m^2)) depende de muchos factores, tales como la intensidad del campo externo, la distancia del cuerpo a la fuente, la presencia de objetos que puedan apantallar o concentrar el campo, la forma y postura que tenga el cuerpo, entre otros. Así, la corriente que se induce en una persona bajo una línea no es la misma si está de pie o si está sentada.

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 energía eléctrica de alta tensión, las corrientes inducidas son muy pequeñas comparadas con los umbrales para la producción de sacudidas eléctricas u otros efectos eléctricos.

1.6.3. ¿Qué problemas de salud se han investigado?

En lo que respecta a las investigaciones realizadas para poder encontrar alguna relación directa entre la exposición de CEM con la fertilidad y reproducción, estos dos aspectos han sido estudiados de forma exhaustiva y los resultados han sido que no hay indicios de que los campos de frecuencia industrial, 60 Hz, tengan un efecto adverso sobre la fertilidad y el desarrollo. No obstante, en Estados Unidos se han llevado a cabo 2 experimentos en animales. El primero de ellos evalúa los efectos de campos de 60 Hz a intensidades de 2 y 200 μT (entre 10 y 40 veces la intensidad a la que puede estar expuesta una persona en su domicilio) y 1,000 μT , sobre varias generaciones de ratas expuestas de forma continua (18,5 horas al día). También se investigó un grupo de ratas expuestas de forma intermitente (campos encendidos durante una hora y apagados la hora siguiente) a una intensidad de 1,000 μT .

En los resultados obtenidos en estos estudios, no se aprecia ningún efecto tóxico sobre ninguna de las tres generaciones expuestas de forma continua en lo que se refiere a fertilidad, tamaño de las camadas o peso al nacer. Además, tampoco se evidencia un número considerable de malformaciones congénitas en los animales expuestos, todo ello de acuerdo con investigaciones anteriores. Una alteración que sí se observa en algunas ratas macho expuestas de forma intermitente a 1,000 μT es un aumento de

peso de la glándula adrenal, que puesto que no se ve ni en las ratas hembra ni en otras de otros grupos expuestos (ni en otros experimentos anteriores) y además es un aumento pequeño, no se considera ni significativo desde el punto de vista biológico ni relacionado con la exposición a CEM.

El segundo estudio analiza la exposición a campos magnéticos de 60 Hz y 180 Hz (el tercer armónico) o ambos combinados, con una intensidad total de 200 μ T. Tampoco se ven alteraciones significativas en los grupos expuestos.

También se ha llevado a cabo un estudio sobre ratas expuestas a un campo magnético de 13 o 130 μ T, y la tasa de implantación embrionaria; este estudio detectaría si aumenta el número de abortos espontáneos subclínicos (abortos que suceden antes de que se pueda detectar clínicamente un embarazo) por la exposición. A pesar de que los niveles de melatonina disminuyen en estos animales, posiblemente por el efecto del campo magnético, no se vió una mayor incidencia de abortos en las ratas expuestas.

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 y tampoco lo provoca.

1.6.4. Estudios epidemiológicos

En relación a estudios epidemiológicos sobre fertilidad y reproducción en personas, se han publicado estudios sobre mujeres que usan mantas eléctricas o camas de agua calentadas eléctricamente y el riesgo de aborto espontáneo. En conjunto, estos estudios investigan a más de 4 000 mujeres que usan uno

de estos electrodomésticos y en ningún caso se ha encontrado un aumento en el riesgo de perder un embarazo. Además, uno de estos estudios examina la proximidad de las casas de estas mujeres a líneas eléctricas y no encuentra una relación entre riesgo de aborto y vivir cerca de instalaciones eléctricas susceptibles de crear CEM intensos.

Otro estudio investiga los efectos que podrían causar el uso de electrodomésticos en la incidencia de dos tipos de malformaciones congénitas: defectos del tubo neural (como espina bífida) y malformaciones de boca y cara (como el labio leporino). Los casos analizados de cada una de estas anomalías fueron de más de 600 y no se observa que las mujeres que usan más estos dispositivos tengan mayor incidencia que las que las usan menos.

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 industriales, comerciales, domiciliarias y el uso de electrodomésticos podrían producir efectos nocivos, en la salud de las personas, a largo plazo en los seres vivos.

1.7. Equipo de medición para RNI

Para poder determinar y verificar el cumplimiento de los límites, tanto del campo eléctrico como del magnético, se utilizó un aparato especial y específico para esta tarea, el cual se describe a continuación.

1.7.1. Generalidades del instrumento

El equipo utilizado para realizar las mediciones de campo eléctrico y magnético de las líneas de transmisión de 230 kV fue el HI-3604; se puede describir como 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 y distribución de energía eléctrica a 50 o 60-Hz a través los cables conductores.

El HI-3604 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 de capas múltiples. Está asegurado internamente a la caja de aluminio y tiene una cubierta de poliéster dura, pero está expuesta a un mayor potencial de daño físico debido a su tamaño y ubicación. Se debe de tener cuidado en el manejo del HI-3604 para evitar dañar el sensor al golpearlo contra objetos o la aplicación de una fuerza excesiva a la paleta del sensor.

Básicamente, el HI-3604 consta de dos partes, la sonda y el detector. Una de las partes que contiene el detector es la pantalla de cristal líquido que utiliza para proporcionar información sobre las variables que se miden, así como de su configuración.

Este muestra las dimensionales del campo eléctrico en voltios/metro y las del campo magnético en gauss, tesla, o amperios/metro. Además, este instrumento tiene la función de registro de datos, el cual permite hasta 112 lecturas que pueden ser almacenadas en su memoria interna.

La parte del sensor del HI-3604 está formado prácticamente por dos sensores conmutables, uno es para medir los campos eléctricos y el otro para medir campos magnéticos.

Los campos eléctricos son detectados por un sensor de corriente de desplazamiento que consiste en dos discos separados que están conectadas eléctricamente entre sí. 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.

Alrededor de las circulares de desplazamiento actuales los discos de detección, se encuentra una bobina que consta de varios cientos de vueltas de alambre de calibre bastante delgado. 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 el HI-3604 pueda ser utilizado en entornos que tienen un contenido armónico significativo y dar medidas exactas de los campos medidos.

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

En esta fase, se pone en práctica los conceptos de ingeniería mecánica eléctrica para realizar un estudio teórico-práctico, sobre los campos electromagnéticos emitidos por las líneas de transmisión de energía eléctrica de 230 kV un circuito de la República de Guatemala, con el objetivo de obtener el nivel de radiación emitido por las mismas.

2.1. Generalidades

A continuación se mencionan los temas y términos utilizados durante la realización del presente trabajo.

2.1.1. Electricidad y magnetismo

La electricidad se puede definir como el conjunto de fenómenos físicos en los cuales intervienen cargas eléctricas, tanto si están en reposo como si están en movimiento. Cuando se encuentran en movimiento se origina una serie de fenómenos físicos los cuales son los que estudia el magnetismo. Por lo cual, ambos tipos de fenómenos (los eléctricos y los magnéticos) están íntimamente relacionados y se estudian de manera conjunta a través de lo que se denomina teoría electromagnética.

La electricidad es una de las formas en las que se manifiesta la energía, esta se obtiene de otras fuentes energéticas llamadas primarias, como pueden ser las energías térmicas producidas mediante la combustión de diversas

materias fósiles (carbón, gas, petróleo, entre otros), la energía hidráulica producida por el movimiento del agua, la energía solar, entre otros.

2.1.2. Cargas eléctricas

Todo cuerpo material está formado por partículas elementales llamadas átomos. El átomo, en estado neutro, está formado por un núcleo que tiene un número de cargas positivas (protones) igual al de las cargas negativas (electrones) que se encuentran a su alrededor. Los iones son átomos que han cedido o capturado electrones. En definitiva, los iones, protones y electrones son los portadores de la electricidad. Se puede decir que un aislante perfecto no permite el movimiento de cargas en su interior, mientras que un conductor perfecto no opone resistencia alguna a ese movimiento.

La unidad de carga eléctrica en el Sistema Internacional (SI) es el culombio, cuyo símbolo es C. Un culombio es la carga equivalente a un conjunto de 6×10^{18} electrones. Las cargas de igual signo se repelen y las de distinto signo se atraen, de tal manera que la separación de cargas de signo opuesto exige la realización de un trabajo contra el campo eléctrico existente. Las formas en las que se manifiesta este trabajo son diversas: acciones mecánicas, térmicas, químicas, entre otras.

2.1.3. Tensión

La tensión, o diferencia de potencial, entre dos puntos es el trabajo necesario para mover las cargas eléctricas entre dichos puntos. Su unidad de medida en el SI es el voltio (V).

2.1.4. Corriente eléctrica

Se define como corriente eléctrica al movimiento de cargas eléctricas a través de un medio conductor o a lo largo de un circuito. La intensidad de la corriente eléctrica es la cantidad de cargas que circula por un conductor por unidad de tiempo, y su unidad de medida es el amperio (A).

Cuando se pone en contacto, mediante un conductor, dos elementos entre los que existe una diferencia de potencial se genera una corriente eléctrica. En el conductor se produce un flujo ordenado de cargas eléctricas (electricidad) en el sentido de los potenciales decrecientes. Si la diferencia de potencial entre las dos superficies es constante, mediante una máquina eléctrica adecuada, por el conductor circulará una corriente constante en dirección e intensidad.

Existen dos tipos de corriente eléctrica: continua y alterna.

La corriente continua (CC) es la que fluye de un punto a otro sin cambiar de sentido con el tiempo. Un ejemplo de ello es la corriente que circula cuando se conecta un aparato a una batería.

La corriente alterna (CA) es la que fluye de un punto a otro cambiando de magnitud y sentido periódicamente con el tiempo. La frecuencia de este cambio es una magnitud característica que se expresa en ciclos por segundo o hercios (Hz): siendo $1 \text{ Hz} = 1 \text{ ciclo por segundo}$ (figura 3).

El concepto de campo eléctrico fue introducido en la teoría electromagnética para describir las fuerzas existentes entre dos o más cargas eléctricas. El campo eléctrico en un punto del espacio producido por una o varias cargas eléctricas, se define en términos de la fuerza que experimenta una unidad de carga estacionaria situada en dicho punto. La intensidad del campo eléctrico E tiene dimensionales en el SI voltios por metro (V/m), pero puede expresarse en su múltiplo kV/m ($1 \text{ kV/m} = 1,000 \text{ V/m}$).

En la Tierra se producen campos eléctricos por la acumulación de cargas eléctricas en determinadas zonas de la atmósfera por efecto de las tormentas. El campo magnético terrestre provoca la orientación de las agujas de los compases en dirección norte-sur, y los pájaros y los peces lo utilizan para orientarse. Este campo eléctrico natural, varía desde 100 a 400 V/m en condiciones de buen tiempo, hasta 20,000 V/m en condiciones de fuerte tormenta.

Todo material existente en la naturaleza puede ser usada como una barrera contra los campos eléctricos, unos más eficaces que otros; tal es el caso de los metales y, en menor medida los materiales de construcción y los árboles. De esta forma los edificios, los árboles, los techos y las paredes brindan protección en el 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.

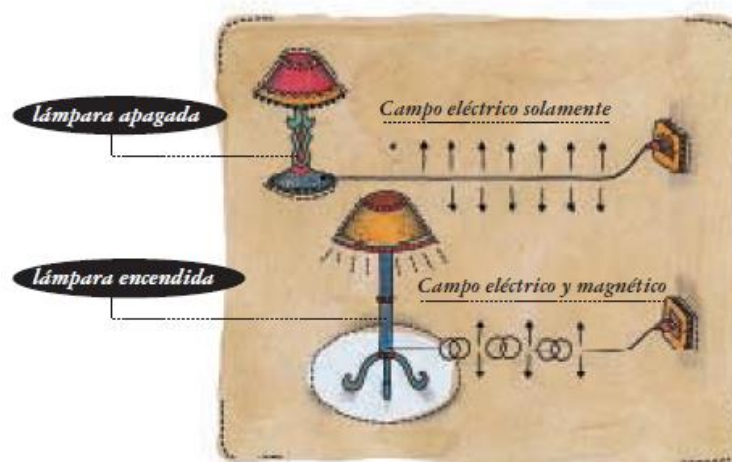
2.1.6. Campo magnético

Los campos magnéticos son producidos por cargas en movimiento, es decir, por corrientes eléctricas; aunque también se pueden producir campos magnéticos con imanes permanentes.

El campo magnético H en un punto dado del espacio, se define como la fuerza que se ejerce sobre un elemento de corriente situado en dicho punto, y se expresa en amperios por metro (A/m).

Por lo tanto, el campo eléctrico existirá siempre que haya cargas eléctricas, mientras que solo habrá campo magnético cuando esas cargas estén en movimiento, es decir, cuando hay un flujo de corriente eléctrica (figura 4).

Figura 4. **El flujo de corriente crea un campo magnético**



Fuente: Grupos Pandora S. A. *Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz.* p. 15.

Es importante mencionar que el campo magnético tiene la misma característica que el campo eléctrico, disminuye rápidamente cuando aumenta la distancia respecto de la fuente que lo genera, es decir, disminuye con el cuadrado de la distancia. Asimismo, toda corriente eléctrica produce un campo magnético: cuanto mayor sea la intensidad de la corriente eléctrica que recorre un conductor, más elevado será el campo magnético que genere.

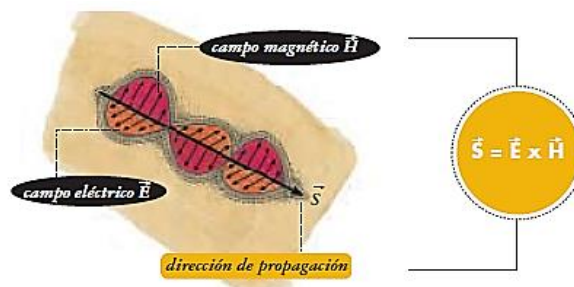
Los materiales de construcción de los edificios, casas, la vegetación, entre otros, no constituyen una barrera para los campos magnéticos, ya que estos campos los atraviesan fácilmente. Por tal razón han sido estudiados con más énfasis los campos magnéticos que los eléctricos, para saber si tienen una relación directa con alguna afección a la salud humana.

2.2. Energía del campo electromagnético: ondas electromagnéticas

En física, uno de los principales teoremas que existe es el principio de conservación de la energía: "nada se crea ni se destruye, únicamente se transforma". Cuando este principio es aplicado a fenómenos electromagnéticos es denominado como el teorema de Poynting.

Una de las propiedades del campo electromagnético es la de transmitir energía a grandes distancias por medio de ondas, en ausencia de cualquier medio material. Esta energía se relaciona con el producto vectorial del campo eléctrico y del magnético. Dicho producto se denomina "vector de Poynting" (\vec{S}) y representa la densidad de flujo de energía de una onda electromagnética por unidad de tiempo (figura 5).

Figura 5. Vector de Poynting



Fuente: Grupos Pandora S. A. *Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz*. p. 17.

2.3. Principales fuentes de campos de frecuencia baja, media y alta

Los campos electromagnéticos variables en el tiempo que producen los aparatos eléctricos son un ejemplo de campos de frecuencia extremadamente baja (FEB), con frecuencias que generalmente varían de 0 hasta 300 Hz, como se mencionó anteriormente.

Los efectos de los campos electromagnéticos sobre el organismo no solo dependen de su intensidad sino también de su frecuencia y energía transmitida. Las principales fuentes de campos de FEB son la red de suministro eléctrico y todos los aparatos eléctricos; las pantallas de computadora, los dispositivos antirrobo y los sistemas de seguridad son las principales fuentes de campos de FI y las principales fuentes de campos de RF son la radio, la televisión, las antenas de radares y teléfonos celulares y los hornos de microondas. Estos campos inducen corrientes en el organismo que, dependiendo de su amplitud y frecuencia, pueden producir diversos efectos como calentamiento y sacudidas eléctricas; sin embargo, para producir estos efectos, los campos que se encuentran externos al organismo deben ser muy intensos, mucho más que los presentes regularmente en el medio.

2.4. Sistema eléctrico

Un sistema eléctrico puede ser definido como el conjunto de elementos que hacen posible disponer de energía eléctrica en cualquier punto en el que se considere adecuada o necesaria su utilización.

Las características más importantes de un sistema eléctrico son la frecuencia, la corriente eléctrica y la tensión, conceptos que se han definido anteriormente.

La frecuencia es fija para cada sistema eléctrico, pero puede variar de unos sistemas a otros. Por ejemplo, en Estados Unidos, Canadá y en Guatemala tiene un valor de 60 ciclos por segundo (60 Hz), mientras que en Europa tiene un valor de 50 Hz. En cualquier caso, sus valores siempre están dentro de lo que se denomina FEB o frecuencia industrial.

La intensidad de corriente eléctrica circulante en un punto del sistema depende de la energía demandada por los consumidores, por lo que su valor puede variar continuamente en el transcurso del día.

En lo que respecta a la tensión, por motivos técnicos, económicos y de seguridad obligan a que sea distinta en los puntos de generación, en los puntos de consumo y en los distintos tramos de las líneas de transmisión o distribución que los unen. Por ello es necesario disponer en los distintos puntos del trayecto que recorren estas líneas de elementos transformadores, capaces de aumentar o disminuir la tensión.

El sistema eléctrico se divide en sistema de generación, el cual representa a la oferta de energía eléctrica; sistema de transporte, este representa el medio de transferencia de la energía eléctrica de los sitios de producción a los de consumo; y el sistema de distribución, que representa la demanda o consumo de energía eléctrica.

En Guatemala, el sistema de generación está formado por diferentes centrales: hidroeléctricas, geotérmicas, termoeléctricas, de biomasa, fotovoltaicas, biogás y plantas cogeneradoras; y la red de transporte opera básicamente en 3 niveles de voltaje: 230, 138 y 69 kV.

En la red de transporte, al transmitir la energía por medio del sistema de transformación se obtiene alto voltaje y menos corriente eléctrica para que existan menores pérdidas en el conductor, ya que la resistencia eléctrica varía con respecto a la longitud, y debido a que las líneas son demasiado largas, las pérdidas de electricidad por calentamiento serían muy grandes.

2.4.1. Línea de transmisión

Una línea de transmisión de energía eléctrica o línea de alta tensión (o extra alta tensión) es básicamente el medio físico mediante el cual se realiza el transporte de la energía eléctrica a grandes distancias. Las líneas de transmisión de alta y extra alta tensión interconectan centrales eléctricas y centros de carga.

En la República de Guatemala, actualmente, el voltaje nominal de las líneas de alta tensión está en el rango de 69 a 230 kilovoltios, como se mencionó anteriormente. La única línea existente de extra alta tensión, el cual es la interconexión de Guatemala con México, tiene un voltaje nominal de operación de 400 kilovoltios. Esta línea de transmisión tiene una longitud aproximada de 80 kilómetros. La máxima longitud de una línea de transmisión de alto voltaje es alrededor de 100 kilómetros.

2.4.2. Efecto Ferranti

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

Dicho efecto es debido a la inductancia y la capacitancia de la línea. El cual será mayor cuanto más larga sea la línea de transmisión y mayor el voltaje aplicado. La sobretensión es directamente proporcional al cuadrado de la longitud de la línea. Debido a su alta capacitancia; este efecto es mucho más pronunciado en cables subterráneos que conducen corriente alterna.

Mayormente, este efecto tiene lugar en líneas largas (para poder darse el efecto capacitivo) y en vacío, ya que en carga la circulación normal de la corriente hacia la carga elimina este efecto. Como la línea se comporta si estuviera formada por infinitos condensadores, el potencial al final de la línea es mayor que el potencial al inicio de la misma, es decir, se ha producido un efecto amplificado de la tensión que es muy peligroso al reconectar de nuevo la línea, si no se tiene presente (peligro de destrucción de las máquinas eléctrica por sobretensión).

Este efecto se genera en la apertura total de la carga o cuando las cargas ya son muy pequeñas, y se hace evidente poco a poco mientras se reduce la carga conectada a la línea de transmisión. Al abrirse por completo la carga conectada, en la línea de transmisión circula en ella una corriente que es llamada corriente de carga de la línea, la cual se genera por la carga y descarga alternativa de una línea, debida a la tensión alterna (esto es la mayor responsable del efecto Ferranti en la línea de transmisión).

En las líneas energizadas al vacío, el circuito que se genera crea también corrientes capacitivas a través de la inductancia serie de la línea, lo que genera una sobretensión en el extremo abierto con respecto a la tensión en el extremo donde la línea es energizada.

Para corregir o compensar estos efectos es necesario consumir la potencia reactiva excedente y uno de los métodos convencionales de compensación consiste en la utilización de reactores shunt o en derivación.

El efecto Ferranti se hace presente como la diferencia en el nivel del voltaje en los extremos de una línea de transmisión, ya sea en la apertura o cierre de una línea larga de transmisión, debido a que en el grupo de las líneas de distribución los voltajes que se manejan son menores.

Además, este efecto se deriva de dos elementos: el gradiente de potencial a la superficie del conductor y la rigidez dieléctrica del aire en la superficie, valor que a su vez va a depender de la presión atmosférica y la temperatura del ambiente.

2.4.3. Efecto corona

En presencia de un fuerte campo eléctrico externo, las moléculas que componen el aire tienden a ionizarse, es decir, a perder o ganar un electrón libre, transformándose en cargas eléctricas no neutras. Luego las partículas ionizadas y los electrones libres son repelidos o atraídos por el campo eléctrico según sea su polaridad.

Cuando el campo eléctrico externo es alterno, las moléculas ionizadas y los portadores libres se acercan y alejan de la fuente del campo eléctrico continuamente. Este movimiento de iones y cargas es más enérgico cuanto mayor sea la magnitud y la frecuencia del campo eléctrico.

Si la magnitud del campo eléctrico supera un cierto valor, entonces el movimiento de las cargas produce choques entre ellas, en donde se disipa una

cantidad de energía tal que se producen recombinaciones químicas entre las moléculas involucradas. Este proceso químico libera al espacio nuevas moléculas, y la recombinación e ionización de algunas de estas produce la liberación de fotones los cuales producen el efecto visible que se conoce como Efecto Corona.

2.4.3.1. Factores que afectan el efecto corona

El efecto corona se produce alrededor de los conductores eléctricos debido a varios factores

- **Atmósfera:** durante una condición de tormentas o lluvias el efecto corona ocurre a un voltaje mucho menor en comparación con un buen tiempo. Debido a que durante una tormenta o lluvia la densidad de iones alrededor de los conductores es mucho mayor que en un buen tiempo.
- **Tamaño del conductor:** la irregularidad de la superficie de los conductores disminuye el voltaje de ruptura. Por esta razón, con el bajo voltaje del aislamiento disruptivo se creará chispas y corona. Es por eso que los conductores sólidos se utilizan sobre todo en vez de conductores trenzados para reducir el efecto corona.
- **Separación entre conductores:** mientras más grande sea la brecha entre los conductores, menor será el efecto corona.
- **Tensión de red:** cada voltaje de línea tiene un límite; después de que se alcance el límite disruptivo se producirá y creará chispas y el efecto corona aparecerá. Así, con la aplicación de una menor tensión de línea la probabilidad de que el efecto corona ocurra disminuye.

2.4.3.2. Ventajas

- El área alrededor del conductor se vuelve conductora debido a la formación de corona. Se crea un diámetro más grande virtual del conductor. A medida que el diámetro aumenta, la tensión electrostática entre los conductores disminuye.
- El efecto corona reduce la sobretensión creada por maniobra o descargas atmosféricas. Cuanto mayor es el voltaje aplicado mayor es el efecto corona creado, por eso, cuando una sobretensión ocurre se forma el efecto corona y esta va a absorber la energía adicional mediante la creación de resplandor violeta, ruido y chispas.

2.4.3.3. Desventajas

- Se reduce la eficiencia de transmisión.
- El ozono creado por esta causa efecto de corrosión en los conductores.
- Debido a la caída de tensión se produce un efecto corona no sinusoidal a través de la línea. Esto puede causar interferencia inductiva con líneas de comunicación vecinas.

2.4.3.4. Reducción del efecto corona

El efecto corona se puede reducir por los siguientes métodos:

- Aumento de la sección del conductor: si se aumenta la sección del conductor el valor del gradiente de potencial se incrementará. Para crear el efecto corona se requerirá de una mayor tensión de línea.
- Aumento de la separación entre conductores: el efecto corona puede ser eliminado mediante el aumento de la separación entre los conductores. Debido a que el aumento de la separación ocasionará que se requiera de una mayor tensión de línea para crear el efecto corona.
- Otra forma de evitar el efecto corona es utilizar conductores en haz, es decir, varios conductores por fase. De la fórmula del radio equivalente se ve que se puede aumentar el radio equivalente aumentando el número de conductores por fase. Esto es, en general, más económico que aumentar la sección del único conductor, ya que en este caso se puede disminuir la sección de los subconductores a medida que se agregan. Sin embargo, igual la línea queda sobredimensionada en ampacidad pero no tanto como cuando se utiliza solo un conductor.
- Para detectar la aparición del efecto se instalan cámaras térmicas especiales que permiten ver la aparición del efecto a niveles inferiores que el ojo y oído humano no pueden captar. Para evitar el efecto, se aumenta la superficie de los conductores expuestos, o se les diseña con superficies curvas para evitar la concentración de cargas en las puntas.

2.5. Protocolo de trabajo para la medición de los CEM emitidos por las líneas de transmisión de energía eléctrica de 230 kV

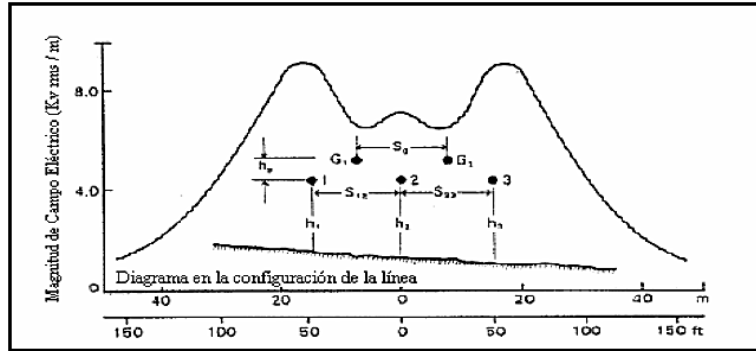
Para este fin, el método utilizado es el que dicta el *Protocolo de medición de campos eléctricos y magnéticos en líneas de transmisión de energía*

eléctrica, que fue elaborado por el Departamento de Radiaciones No Ionizantes de la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas. Este protocolo fué basado en el documento IEEE 644 (1944) *Stándar Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines*.

El protocolo toma en cuenta varias consideraciones para la elección de los puntos de medición y para realizar las mediciones, los cuales son:

- Escoger el área poblacional adecuada, es decir, ubicar los puntos críticos para realizar las mediciones de CEM (tomar como prioridad los hogares, centros educativos, hospitales, centros de salud, entre otros).
- Para realizar la medición se debe considerar las horas de exposición poblacional-ocupacional mínima, es decir, considerar los horarios en los cuales no haya afluencia de personas en los alrededores al punto de medición para tener la menor perturbación posible.
- Medición para el perfil lateral: las mediciones deberán iniciarse en el centro de la líneas en el área de interés (en este caso, a la mitad de dos torres de transmisión) y ser trazadas a una distancia de por lo menos 30 metros más allá del conductor exterior a evaluar, se deberá realizar por lo menos 3 mediciones perpendicularmente desde la líneas hacia los lados de interés (figura 6).

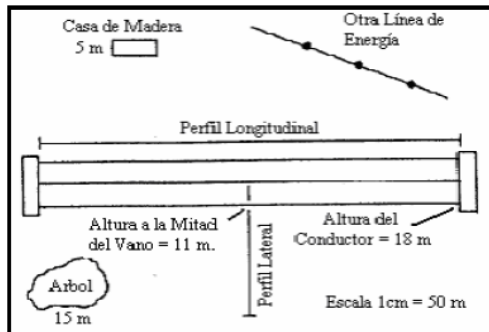
Figura 6. **Ejemplo del perfil lateral de la intensidad de campo eléctrico a la mitad del vano**



Fuente: IEEE 644 (1994).

- Medición para el perfil longitudinal: debe ser medido donde el campo es mayor, en la mitad del vano o cualquier otro punto de interés; las mediciones se realizarán paralelas a la línea, o en este caso, debajo de ellas. Deben medirse por lo menos 5 puntos debajo de la línea separados a una de distancia de 5 m (figura 7).

Figura 7. **Vista aérea típica con alturas de objetos**



Fuente: IEEE 644 (1994).

Nota: las consideraciones anteriormente mencionadas, son tanto para las mediciones de campo magnético como para las mediciones de campo eléctrico.

- La realización de los monitoreos deberán practicarse principalmente en horarios que se evite la lluvia, debido a que la humedad producida llegaría a perturbar el campo eléctrico derivado al cambio de la densidad del aire (Anexo B de la IEEE 644-1994) y en ambientes de mucha humedad, no sobrepasar un porcentaje de humedad del 80 %.
- Las mediciones deben de realizarse a una altura de 1 metro sobre el suelo; 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). Se considerarán mediciones en otras alturas cuando sea necesario.
- La sonda debe estar orientada en forma horizontal para medir el campo eléctrico (E), debido a que las líneas equipotenciales chocan verticalmente con dicha sonda.
- Para medir el campo magnético, la sonda debe de estar orientada perpendicularmente a las líneas de campo, es decir, en forma vertical.
- 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 su presencia no perturbará el campo

magnético que se medirá (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, como por ejemplo: teléfonos celulares, relojes, cadenas, entre otros, para así 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 imperturbado del ambiente.
- Con el fin de hacer mediciones de las intensidades 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. Se recomienda que el área 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 o debajo de ella.
- Tomar nota de las coordenadas geográficas mediante el uso de GPS, de los puntos donde se realizan las mediciones.
- Detallar mediante croquis, fotografías y vistas del lugar, las particularidades de los sitios o lugares donde se han de realizar las mediciones de los CEM, esto con el fin de documentar el trabajo que se llevará a cabo.

- Proceder al encendido del equipo, fijación de las unidades y el tiempo de medición de acuerdo al manual del equipo.
- Calibrar (definir dimensionales del campo a medir) el equipo de medición (sonda) según su instructivo.
- Medir el campo magnético en cada punto seleccionado, tomando en cuenta las consideraciones anteriormente mencionadas.
- Al terminar la medición del campo magnético se procede a la medición del campo eléctrico (se repiten los pasos anteriores, desde la calibración del equipo de medición según instructivo).
- Cada medición, en cada punto, se debe tomar como mínimo un tiempo de 6 minutos.

Es importante mencionar que las incertidumbres de mediciones debido a los factores de 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 $\pm 10\%$.

2.6. Monitoreos

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

2.6.1. Análisis estadístico para la planificación de monitoreos

Para determinar la cantidad de puntos que se necesitaron para realizar las mediciones y toma de datos de los CEM a lo largo de las líneas de transmisión de energía eléctrica de 230 kV, se llevó a cabo un cálculo estadístico.

Parte fundamental para realizar un análisis estadístico de cualquier tipo, es obtener resultados confiables y que puedan ser aplicables, pero resulta casi imposible o impráctico llevar a cabo algunos estudios sobre toda una población, por lo que la solución es realizar el estudio basándose en un subconjunto de esta, denominada muestra.

En este estudio se hizo una aproximación de las poblaciones que se encuentran a una distancia menor a 200 metros con respecto a las líneas de transmisión, a todo lo largo de la misma, utilizando el programa de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Sistema Nacional Interconectado (SIN). Se obtuvo un número de poblados de 145; de este grupo, se realizó un muestreo estadístico para encontrar la distancia máxima a la que se debiera encontrar la población y así realizar la medición de los CEM para que sea representativa para el estudio.

Cuando se dice que es representativa, se indica que reúne aproximadamente las características de la población que son importantes para la investigación.

Como ya se vió anteriormente, y en términos estadísticos, inicialmente se conoce el tamaño de la muestra, que en este caso es la de cantidad de poblaciones que encuentran a una distancia menor a 200 m con respecto a la

línea de transmisión: 148 poblados. Por lo cual se realizó el muestreo estadístico utilizando la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 p q N}{NE^2 + Z^2 p q}$$

Donde:

n es el tamaño de la muestra; en este caso, la distancia máxima a la que se debe encontrar el poblado para obtener la muestra.

Z es el nivel de confianza = 95 %

p es la variabilidad positiva = 0,5

q es la variabilidad negativa = 0,5

N es el tamaño de la población = 148

E es la precisión o el error = 10 %

p significa la radiación más alta y q significa la radiación más baja. Se utilizó 0,5 en ambas variables, ya que con esos valores se obtiene el mayor rango de exactitud. En la tabla de Z , esta tiene un valor de 1.96, y al desarrollar la ecuación nos queda lo siguiente:

$$n = ((1,96)^2(0,5) (0,5)(148)) / ((148)(0,1)^2 + (1,96)^2(0,5)(0,5)) \quad (2,2)$$

$$n = 58 \text{ metros}$$

Después de haber encontrado la distancia máxima a la que se deben encontrar las poblaciones para realizar las mediciones, se cuenta con un listado de 41 comunidades que se encuentran ubicadas en un margen de 0 a 58 metros de la línea de transmisión de 230 kV un circuito, los datos de las distancias de los poblados con respecto a la línea de transmisión fueron tomados del Atlas de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

2.6.2. Comunidades a monitorear

En la siguiente tabla se dan a conocer las comunidades donde se planificó realizar los monitoreos de los CEM emitidos por las líneas de transmisión de 230 kV un circuito.

Tabla I. **Comunidades cercanas a la línea de transmisión (LT) de 230 kV un circuito**

| Núm. | Departamento | Municipio | Poblado |
|-------------|---------------------|-----------------------------|--------------------|
| 1 | Totonicapán | Momostenango | Xecaxjoj |
| 2 | Quetzaltenango | Quetzaltenango | Colonia El Maestro |
| 3 | | | Candelaria Xecao |
| 4 | | Zunil | El Canadá |
| 5 | | El Palmar | Los Chicharros |
| 6 | | | Belén |
| 7 | Retalhuleu | San Felipe | Guadalupe |
| 8 | | Santa Cruz Muluá | Población Dispersa |
| 9 | Suchitepéquez | Mazatenango | El Progreso |
| 10 | | | San Bartolo |
| 11 | | Santo Domingo Suchitepéquez | Macondo |
| 12 | | San Antonio Suchitepéquez | El Nino |
| 13 | | | La Providencia |
| 14 | | | Purgatorio |
| 15 | | Chicacao | Portezuelo Moca |
| 16 | Jutiapa | Jalpatagua | El Platanar |
| 17 | | | Alejandrina |
| 18 | | | Montecristo |

Continuación de la tabla I.

| | | | |
|-----------|-------------------|------------------------------|--------------------|
| 19 | | | El Retozadero |
| 20 | Santa Rosa | Cuilapa | Agua Tibia |
| 21 | | Oratorio | Ceiba Gacha |
| 22 | | Santa Lucía Cotzumalguapa | El Castillo |
| 23 | Escuintla | Siquinalá | Las Palmas |
| 24 | | | El Baldío |
| 25 | | | Villa Elisa |
| 26 | | La Democracia | Tierra Nueva |
| 27 | | | El Campo |
| 28 | | | La Montana |
| 29 | | Escuintla | Arcos de Provincia |
| 30 | | | Puente de Palo |
| 31 | | | La Esperanza |
| 32 | | | Los Olivos |

| | | | | |
|-----------|------------------|------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 33 | Escuintla | Masagua | El Dulce Nombre | |
| 34 | | | Línea Férrea | |
| 35 | | | La Nina | |
| 36 | | | Santa Sofía | |
| 37 | | | El Paraíso | |
| 38 | | | San Antonio Las Brisas | |
| 39 | | | Campo Nuevo | |
| 40 | | | Guanagazapa | Sabana Grande o Las Flores |
| 41 | | Guatemala | Santa Catarina Pinula | Condominio Las Rotondas |

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

2.6.3. Realización de los monitoreos

Para ubicar las comunidades a monitorear, se necesitó la ayuda del programa Atlas de la CNEE, Google Maps y Google Earth.

El proceso para realizar cada monitoreo en cada punto es el siguiente: en primera instancia fue ubicar el punto de medición con las características mencionadas en el protocolo de medición, luego restringir el área de trabajo, medir y señalar las distancias para realizar las mediciones tanto para campo magnético, como para el campo eléctrico, así como dicta el protocolo de medición; se coloca la sonda de medición (HI-3604) en la posición correcta para medir los CEM, es decir, campo eléctrico o magnético; mientras la sonda mide los CEM, se toman los datos de ubicación del lugar (por medio del GPS), se mide temperatura, humedad relativa; por último, se toman los datos registrados por la sonda de los valores promedio y máximo al terminar cada medición. Después de haber realizado el monitoreo completo en el lugar, se procedió a levantar y guardar el equipo utilizado, para trasladarse al siguiente punto de monitoreo.

El procedimiento descrito anteriormente se llevó a cabo cada vez que se realizó un monitoreo. En la mayoría de las ocasiones se pidió la ayuda y la orientación de las personas residentes en las comunidades, para ubicar los poblados que estaban planificados para monitorear, debido a que los programas en los cuales se apoyó para ubicarlas, no dieron los datos exactos para poder dar con ellos.

Además de los pequeños inconvenientes para encontrar los poblados, muchos de ellos se encontraban lejanos de la línea de transmisión y, así también, varios de estos eran fincas y no poblados, por lo que se tomó la

decisión de ubicar otros lugares para completar todos los monitoreos con las características descritas en el protocolo de medición de CEM en líneas de transmisión, y de los cálculos estadísticos realizados; sin embargo, después de recorrer la línea de transmisión de 230 kV desde el departamento de Totonicapán hasta la frontera con El Salvador (Jutiapa), buscando los puntos idóneos para los monitoreos, solo se hallaron 30 poblados que se encontraban en el rango de 0 a 58 metros de distancia con respecto a la línea.

En la tabla siguiente se dan a conocer las 30 comunidades monitoreadas, de las 41 planificadas.

Tabla II. **Comunidades cercanas a la línea de transmisión (LT) de 230 kV un circuito, monitoreadas**

| Núm. | Departamento | Municipio | Poblado | Coordenadas | | Distancia (metros) |
|------|----------------|-----------------------------|----------------------|---------------|---------------|--------------------|
| | | | | hddd°mm'ss.s" | hddd°mm'ss.s" | |
| 1 | Totonicapán | Momostenango | Xecaxoj | 15°00'12.6" | 91°29'55.7" | 38,66 |
| 2 | Quetzaltenango | Quetzaltenango | Condominio Del Valle | 14°51'36.0" | 91°32'45.3" | 0 |
| 3 | | | Llanos Del Pinal | 14°47'39.3" | 91°32'14.3" | 0 |
| 4 | | | Colonia El Vaquero | 14°50'25.3" | 91°32'14.5" | 0 |
| 5 | Retalhuleu | San Felipe | Colonia El Esfuerzo | 14°36'37.3" | 91°34'47.6" | 0 |
| 6 | Suchitepéquez | Cuyotenango | Villas de Guadalupe | 14°31'52.4" | 91°34'37.4" | 10 |
| 7 | | Mazatenango | Canton El Progreso | 14°30'54.4" | 91°28'25.8" | 1,6 |
| 8 | | | Aldea San Bartolo | 14°31'07.8" | 91°29'38.8" | 37 |
| 9 | | Santo Domingo Suchitepéquez | Finca El Melimar | 14°30'25.6" | 91°26'49.0" | 0 |
| 10 | | San Antonio Suchitepéquez | Finca El Purgatorio | 14°28'48.7" | 91°23'57.5" | 15 |
| 11 | Escuintla | Santa Lucía Cotzumalguapa | Colonia Maya | 14°21'49.8" | 91°00'40.3" | 28,6 |
| 12 | | La Democracia | Aldea Tierra Nueva | 14°15'24.4" | 90°57'37.2" | 51,5 |
| 13 | | | Aldea El Arenal | 14°10'47.9" | 90°57'46.5" | 6,5 |
| 14 | | La Gomera | Aldea Ceiba Amelia | 14°09'29.2" | 90°58'03.0" | 8 |
| 15 | | Guanagazapa | Las Flores | 14°07'18.2" | 90°38'48,6" | 5 |

Continuación de la tabla II.

| Núm. | Departamento | Municipio | Poblado | Coordenadas | | Distancia (metros) | |
|------|--------------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------|--------------|--------------------|----|
| | | | | hddd°mm'ss.s" | | | |
| 16 | Escuintla | Masagua | El Porvenir, Línea Ferrea | 14°11'19.3" | 90°50'58,2" | 2,5 | |
| 17 | | | Aldea San Juan Mixtan | 14°13'29.3" | 90°49'43,6" | 0 | |
| 18 | | | El Dulce Nombre | 14°12'33.7" | 90°50'24,1" | 15 | |
| 19 | | | Asentamiento La Aurora | 14°08'04.1" | 90°50'39,0" | 10 | |
| 20 | | | San Antonio Las Brisas | 14°11'57.7" | 90°50'47,2" | 53,5 | |
| 21 | | Escuintla | Puente de Palo | 14°16'35.1" | 90°47'25,7" | 13,3 | |
| 22 | | | Colonia La Estancia | 14°16'27.0" | 90°46'31,6" | 8 | |
| 23 | | | Escuintla, Carretera a Mazatenango | 14°16'49.5" | 90°46'57., " | 0 | |
| 24 | | Santa Rosa | Oratorio | Caserío Las Cabezas | 14°11'19.9" | 90°07'31,1" | 50 |
| 25 | | | | Caserío Ceiba gacha | 14°10'17.2" | 90°57'25,0" | 20 |
| 26 | Cuilapa | | Agua Tibia | 14°16'10.4" | 90°18'08,7" | 56,2 | |
| 27 | Jutiapa | Jalpatagua | El Retozadero | 14°08'11.0" | 90°03'09,5" | 56,2 | |
| 28 | | | Aldea El Limón | 14°07'13.5" | 89°59'19,6" | 8 | |
| 29 | | | Delegación de Migración Valle Nuevo | 14°01'16.8" | 89°54'34.3" | 55 | |
| 30 | Guatemala | Santa Catarina Pinula | Villas Campestre I y II | 14°29'42.2" | 90°28'52.0" | 5 | |

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

A continuación se muestran fotografías de algunos lugares donde se realizaron los monitoreos.

Figura 8. **Colonia La Estancia, municipio de Escuintla, Escuintla**



Fuente: levantamiento radiométrico en el lugar.

Figura 9. **Asentamiento La Aurora, municipio de Masagua, Escuintla**



Fuente: levantamiento radiométrico en el lugar.

Figura 10. **Caserío Tierra Nueva, municipio La Democracia, Escuintla**



Fuente: levantamiento radiométrico en el lugar.

Figura 11. **Carretera a Mazatenango, municipio de Escuintla, Escuintla**



Fuente: levantamiento radiométrico en el lugar.

Figura 12. **Puente de Palo, municipio de Escuintla, Escuintla**



Fuente: levantamiento radiométrico en el lugar.

Figura 13. **Aldea El Limón, municipio de Jalpatagua, Jutiapa**



Fuente: levantamiento radiométrico en el lugar.

Figura 14. **Delegación de Migración Valle Nuevo, municipio de Jalpatagua, Jutiapa**



Fuente: levantamiento radiométrico en el lugar.

Figura 15. **Aldea Agua Tibia, municipio de Cuilapa, Santa Rosa**



Fuente: levantamiento radiométrico en el lugar.

Figura 16. **Caserío Ceiba Gacha, municipio de Oratorio, Santa Rosa**



Fuente: levantamiento radiométrico en el lugar.

Figura 17. **Aldea Las Cabezas, municipio de Oratorio, Santa Rosa**



Fuente: levantamiento radiométrico en el lugar.

Como se puede observar en las figuras de la 8 a la 17, (fotografías tomadas durante los monitoreos), en todos los lugares visitados existe área verde alrededor de las torres y debajo de las líneas de transmisión de energía eléctrica, además existen viviendas habitadas y plantaciones de productos de consumo diario; esto conlleva a concluir que los CEM producidos por las líneas de transmisión no ocasionan ningún daño a la salud de las personas y al medio ambiente.

Durante los monitoreos se observó que al realizar las mediciones de campo eléctrico cercanas a una pared, a un árbol, plantación o debajo de un techo, los valores disminuyen considerablemente en comparación cuando las mediciones se realizaron sin ningún obstáculo entre la sonda de medición y las líneas de transmisión. Esto se puede corroborar en los valores obtenidos en los siguientes lugares: carretera a Mazatenango, Escuintla; aldea Agua Tibia, Cuilapa, Santa Rosa; aldea El Limón, Jalpatagua, Jutiapa; colonia El Vaquero, Quetzaltenango, Quetzaltenango y colonia El Esfuerzo, San Felipe, Retalhuleu, que fueron los lugares donde los valores medidos fueron los más bajos (tabla II). Así también, que la emisión de los CEM disminuyen al aumentar la distancia de las líneas de transmisión, es decir, de la fuente de emisión de CEM.

2.6.4. Análisis de los monitoreos

De los resultados obtenidos durante los monitoreos, se realizó la siguiente tabla, en la cual se muestran los valores promedio y máximo del campo eléctrico y magnético.

Tabla III. Valores obtenido de los monitoreos realizados a las comunidades cercanas a la LT de 230 kV un circuito

| Núm. | Altura (m.s.n.m.) | Humedad Relativa (%) | Temperatura (°C) | Campo Electrico (V/m) | | Campo Magnetico (A/m) | |
|------|-------------------|----------------------|------------------|-----------------------|----------|-----------------------|--------|
| | | | | Medido | Maximo | Medido | Maximo |
| 1 | 2693 | 34 | 32 | 855,29 | 892,86 | 0,7719 | 0,8241 |
| 2 | 2434 | 37 | 25 | 602,00 | 666,14 | 0,9807 | 1,0021 |
| 3 | 2468 | 76 | 16 | 1 401,86 | 1 673,14 | 0,4207 | 0,4400 |
| 4 | 2370 | 33 | 24 | 118,92 | 130,96 | 0,3735 | 0,3960 |
| 5 | 661 | 53 | 32 | 294,72 | 352,80 | 0,2086 | 0,2446 |
| 6 | 309 | 66 | 30 | 703,20 | 751,00 | 0,2203 | 0,3128 |
| 7 | 307 | 64 | 29 | 651,80 | 787,80 | 0,2673 | 0,4784 |
| 8 | 318 | 39 | 49 | 1 279,40 | 1 981,00 | 0,7178 | 0,9328 |
| 9 | 303 | 50 | 34 | 1 032,20 | 1 121,80 | 0,3112 | 0,4616 |
| 10 | 240 | 51 | 35 | 1 198,80 | 1 380,80 | 0,2080 | 0,3452 |
| 11 | 502 | 55 | 34 | 1 314,86 | 1 418,00 | 0,1738 | 0,4496 |
| 12 | 236 | 53 | 37 | 2 243,83 | 2 756,17 | 0,5867 | 0,6163 |
| 13 | 119 | 46 | 37 | 597,50 | 666,50 | 0,5820 | 0,6088 |
| 14 | 100 | 32 | 39 | 1 501,29 | 1 859,43 | 0,7236 | 0,7479 |
| 15 | 0 | 58 | 37 | 1 418,86 | 1 453,57 | 0,0084 | 0,0090 |
| 16 | 114 | 69 | 34 | 2 895,80 | 3 426,00 | 1,1048 | 1,4126 |
| 17 | 157 | 58 | 35 | 1 287,43 | 1 963,86 | 0,8823 | 0,9157 |
| 18 | 134 | 45 | 38 | 2 961,43 | 3 322,86 | 0,7659 | 0,7741 |
| 19 | 66 | 68 | 35 | 4 407,14 | 5 047,86 | 1,2644 | 1,2997 |
| 20 | 102 | 64 | 35 | 2 644,29 | 2 885,00 | 0,8916 | 1,5054 |
| 21 | 295 | 81 | 20 | 549,36 | 629,48 | 1,2984 | 1,3406 |
| 22 | 278 | 52 | 31 | 5 565,71 | 6 008,57 | 2,3094 | 2,3310 |
| 23 | 309 | 51 | 37 | 288,92 | 331,75 | 1,6817 | 1,8557 |
| 24 | 532 | 69 | 27 | 799,18 | 847,96 | 0,5156 | 0,6314 |
| 25 | 592 | 66 | 26 | 1 727,60 | 2 324,60 | 0,1100 | 0,2570 |
| 26 | 890 | 50 | 33 | 170,95 | 206,55 | 0,0515 | 0,1807 |
| 27 | 548 | 44 | 33 | 5 267,14 | 6 171,43 | 0,2647 | 0,3439 |
| 28 | 548 | 43 | 35 | 660,00 | 732,25 | 0,2775 | 0,4380 |
| 29 | 362 | 29 | 43 | 1 380,25 | 1 513,00 | 0,0898 | 0,1403 |
| 30 | 1 815 | 43 | 22 | 1 616,27 | 2 297,98 | 0,7788 | 0,9277 |

Fuente: elaboración propia, con base en información recopilada durante los monitoreos.

Durante las mediciones, las personas se acercaban y contaban sus experiencias relacionadas con el vivir cercanas a la línea de transmisión; varios argumentaban que las líneas de transmisión, por la radiación que emiten, se sentían mal de salud: con dolores de cabeza, de cuerpo, pesadez, pérdida de la vista, entre otros. De tal manera que se les orientó con respecto a la

información recopilada y la que maneja la OMS (los estudios realizados y sus resultados), y que con este estudio se pretende verificar el cumplimiento de los límites de las radiaciones emitidas por las mismas.

Como se muestra en la tabla anterior, en tres de los poblados monitoreados sobrepasaron los límites del campo eléctrico establecidos en la reglamentación nacional.

La tabla III muestra los valores de los límites de CEM establecidos en la reglamentación nacional para la frecuencia de 60 Hz, los cuales son los recomendados por la OMS.

Tabla IV. **Valores de los límites de CEM para f = 60 Hz**

| Frecuencia (kHz) | Intensidad de Campo Eléctrico (V/m) | Intensidad de Campo Magnético (A/m) |
|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 0,025 - 0.8 | 250/f | 4/f |
| 0,06 | 4 166,67 | 66,67 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Valores que sobrepasan los límites establecidos en la reglamentación nacional**

| Núm. | Campo Eléctrico (V/m) | | | | | |
|------|-----------------------|----------|------------|----------|----------|------------|
| | Medido | Límite | Porcentaje | Máximo | Límite | Porcentaje |
| 19 | 4 407,14 | 4 166,67 | 106 % | 5 047,86 | 4 166,67 | 121 % |
| 22 | 5 565,71 | | 134 % | 6 008,57 | | 144 % |
| 27 | 5 267,14 | | 126 % | 6 171,43 | | 148 % |

Fuente: elaboración propia, con base en información recopilada durante los monitoreos.

En la tabla IV se puede ver que el lugar donde se midió el valor máximo de campo eléctrico, con respecto al límite, es en el poblado El Retozadero, municipio de Jalpatagua, departamento de Jutiapa, donde se encontró un valor con un 48 % arriba de lo establecido en la reglamentación nacional; este monitoreo fue realizado a una distancia de 8 metros, aproximadamente, con respecto a la línea de transmisión, debido a que fue el único lugar que se encontró para realizar las mediciones, el cual fue a la orilla de la carretera sobre un túmulo de tierra que estaba a 1,50 metros sobre el nivel del suelo.

2.6.5. Resultados promediados

Si se hace un promedio de los valores obtenidos en los 30 monitoreos realizados, se obtiene la siguiente tabla:

Tabla VI. **Porcentaje de los valores promedio con respecto a los límites**

| | Campo Magnético (A/m) | | Campo Eléctrico (V/m) | |
|--|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| | Valor Medido | Valor Máximo | Valor Medido | Valor Máximo |
| Valores Promedio | 0,6280 | 0,7408 | 1 581,20 | 1 853,37 |
| Porcentaje con Respecto a los Límites | 0,94% | 1,11 % | 37,95 % | 44,48 % |

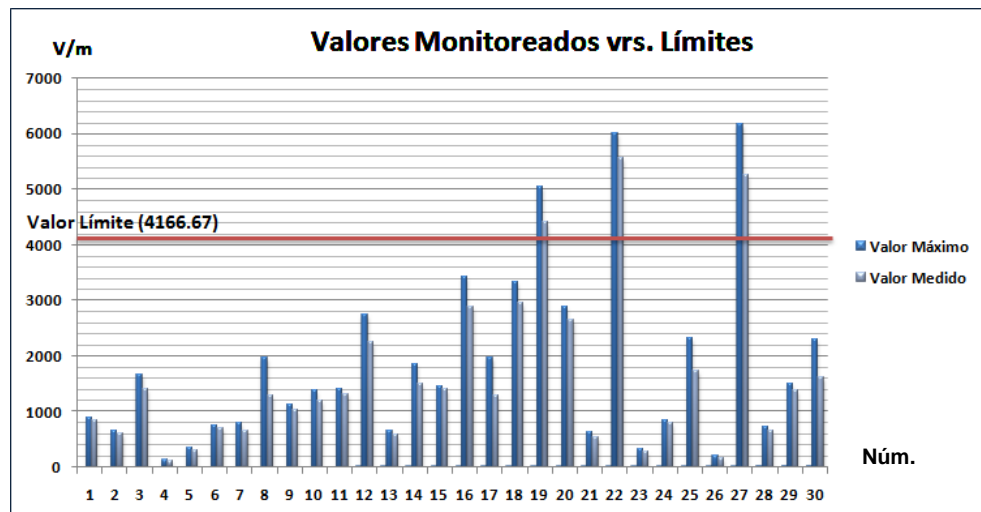
Fuente: elaboración propia, con base en información recopilada durante los monitoreos.

Como se puede ver en la tabla V, el porcentaje de los valores promedio del campo eléctrico muestra que dichos valores medidos no sobrepasan el 50% de los límites y los valores de campo magnético apenas pasan del 1 %, los cuales indican que hay un rango alto de seguridad para la población.

2.6.6. Gráficas estadísticas

En la figura 18 se muestra los monitoreos realizados *vesus* el campo eléctrico medido y el máximo; en el eje de la Y se puede apreciar que la intensidad del campo eléctrico se encuentra en las dimensionales de [V/m]; el valor medido es de color azul fuerte y el valor máximo está de color azul más claro. En el eje de la X, se puede apreciar el número de monitoreo, los cuales en este caso se llevaron a cabo en 30 puntos diferentes.

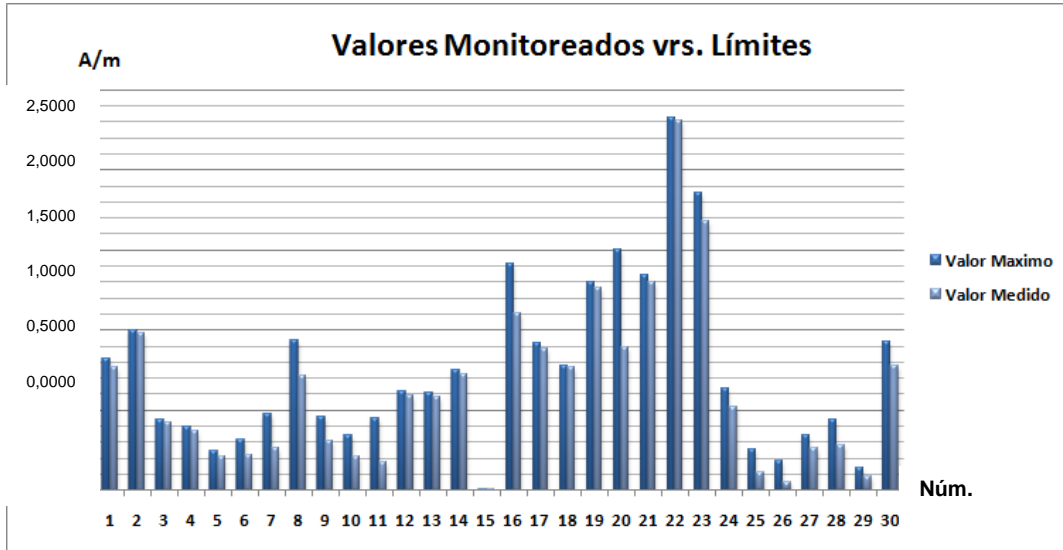
Figura 18. Valores de campo eléctrico monitoreados



Fuente: elaboración propia, con base en información recopilada durante los monitoreos.

En la figura 19 se muestra los monitoreos realizados vrs. 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 azul fuerte y el valor máximo está de color azul más claro. En el eje de la X, se puede apreciar el número de monitoreo, los cuales en este se llevaron a cabo en 30 puntos diferentes.

Figura 19. Valores de campo magnético monitoreados



Fuente: elaboración propia, con base en información recopilada durante los monitoreos.

2.6.7. Comparación de las CEM medidos con respecto a los límites

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 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 en campos no perturbados, para 60 Hz, son los mostrados en la tabla III.

Como se muestra en la tabla V, para el valor máximo promediado de campo eléctrico se midió un valor que equivale al 44,48 % con respecto al 100 % de límite, y para el valor máximo promediado del campo magnético se

midió un valor que equivale al 1,11 % con respecto al 100 % del límite establecido en la reglamentación nacional.

Con base en los valores obtenidos durante las mediciones realizadas en los levantamientos radiométricos en los 30 poblados cercanos a las líneas de transmisión de energía eléctrica de 230 kV, se concluye que los límites de radiaciones no ionizantes (CEM), con un 95 % de confianza y un 10 % de error, no superan los límites establecidos 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).

2.7. Factor de seguridad que se aplica para los límites de exposición

Un aspecto importante que se debe señalar, es que un límite recomendado no define de forma exacta el límite entre la seguridad y el peligro. No existe un nivel único por encima del cual la exposición se convierte en peligrosa para la salud; por el contrario, el riesgo potencial para la salud aumenta de forma gradual conforme aumenta el nivel de exposición de las personas.

Las normas marcan un determinado umbral por debajo del cual la exposición a campos electromagnéticos se considera segura, según los conocimientos de la ciencia. No se concluye, de forma automática, que por encima del límite indicado la exposición sea perjudicial.

Sin embargo, para poder fijar los límites de exposición, los estudios científicos deben identificar el umbral en el que se manifiestan los primeros efectos sobre la salud. Como no pueden realizarse experimentos con seres humanos, las directrices deben basarse en estudios con animales. Frecuentemente, se producen en los animales cambios sutiles de

comportamiento a niveles bajos de exposición, que preceden a cambios drásticos en la salud con niveles altos. El comportamiento anormal es un indicador muy sensible de la existencia de una respuesta biológica; este comportamiento anormal se ha seleccionado como el mínimo efecto perjudicial para la salud observable. Las directrices recomiendan prevenir la exposición a campos electromagnéticos a niveles en los que se producen cambios de comportamiento perceptibles.

Este umbral de cambios de comportamiento no es igual al límite recomendado, sino que la ICNIRP aplica un factor de seguridad de 10 en el cálculo de los límites de exposición ocupacionales y un factor de 50 para obtener el valor recomendado para la población general. Así, por ejemplo, en los niveles de frecuencia de las líneas de transmisión de energía eléctrica y en los intervalos de frecuencia de radio y microondas, los niveles máximos que probablemente experimentará en el entorno o en el hogar, son al menos 50 veces menores que el umbral en el que se manifiestan los primeros cambios de comportamiento en animales.

Por consiguiente, incluso si una persona se viera sometida a intensidades de campos varias veces mayores que el límite establecido, la exposición que experimentaría estaría dentro de este margen de seguridad.

2.8. Aspectos que las normas no pueden contemplar

Las normas no se pueden establecer actualmente basándose en especulaciones sobre los posibles efectos a largo plazo sobre la salud.

Del conjunto de los resultados de todas las investigaciones no puede deducirse que los campos electromagnéticos produzcan efectos a largo plazo

sobre la salud, como el cáncer. Los organismos nacionales e internacionales fijan y actualizan las normas basándose en los conocimientos científicos más avanzados, con el fin de proteger contra los efectos sobre la salud conocidos.

Las directrices se establecen para la población media, y no pueden tener en cuenta directamente las necesidades de una minoría de personas potencialmente más sensibles, como por ejemplo: las directrices sobre contaminación atmosférica no se basan en las necesidades especiales de las personas asmáticas. De forma similar, las directrices sobre campos electromagnéticos no están diseñadas para proteger a las personas de las interferencias en los dispositivos electrónicos médicos implantados, como los marcapasos cardíacos. Por el contrario, estas personas deben solicitar a los fabricantes y al médico que ha implantado el dispositivo, que les asesore sobre el tipo de exposiciones que deben evitar.

3. FASE DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

3.1. Métodos para la reducción de la emisión de campos magnético

Como se mencionó anteriormente, la intensidad de los CEM disminuye rápidamente con la distancia a la fuente. Por ello, la acción más inmediata y eficaz para disminuir la dosis es alejarse de la fuente generadora de CEM.

Lastimosamente esta medida no siempre es posible, por lo que en tal caso, se puede recurrir a la reducción de los campos donde originalmente se producen.

En ocasiones, existe la posibilidad de reducir la intensidad del campo magnético con un simple reordenamiento eléctrico o geométrico de los elementos activos o con la interposición de otros circuitos compensadores.

Las posibles acciones para reducir la exposición a los campos magnéticos generados por la red son de dos tipos: activas y pasivas.

Las acciones activas abordan el problema en la misma fuente, es decir, actúan sobre parámetros cuya variación reduce la intensidad del campo, tales como:

- Alejar el centro de gravedad del elemento respecto de los receptores potenciales (elear o enterrar más la línea).
- Disminuir la distancia entre fases.

- Inscribir los conductores en la circunferencia de menor radio posible.
- En los sistemas con más de un circuito, combinar adecuadamente la ubicación de las distintas fases.
- Cambiar las características de la instalación (desde el número de subconductores, hasta un eventual soterramiento).
- Disminuir la intensidad de la corriente.
- Procurar el máximo equilibrio de cargas en las fases, algo de fácil resolución en líneas de media y alta tensión, pero muy complejo en las de baja tensión.
- Instalar un circuito periférico a la instalación, haciendo circular por él una corriente y una fase determinada, en función de las condiciones de la línea para cancelar el campo.

Las técnicas de apantallamiento no eliminan el campo, sino que solo “modifican” su forma. Por lo general se utilizan para proteger equipos sensibles. Las más habituales son de dos tipos:

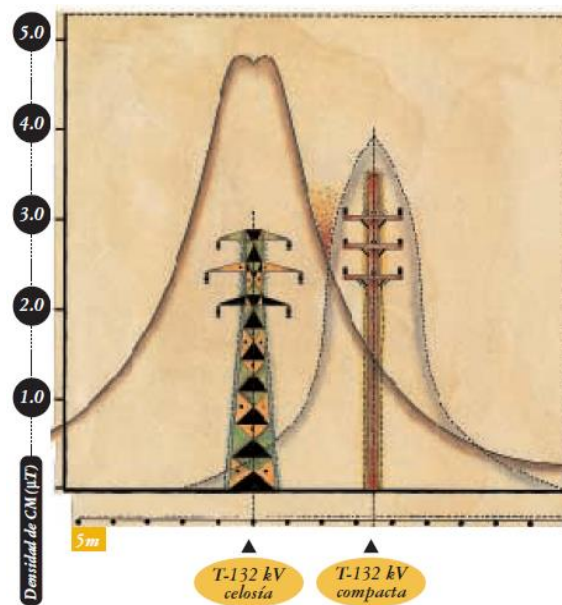
- Blindaje con materiales tipo Mumetal y otros equivalentes, que reconducen las líneas de campo magnético.
- Pantallas electromagnéticas activas (circuitos eléctricos), que crean un campo opuesto al que se desea reducir.

En el caso de los electrodomésticos, algunos cambios en su diseño pueden reducir la generación de campo magnético.

De igual manera, ciertos criterios de diseño para los cableados en la construcción y en las instalaciones eléctricas de viviendas y oficinas, pueden reducir apreciablemente los niveles ambientales.

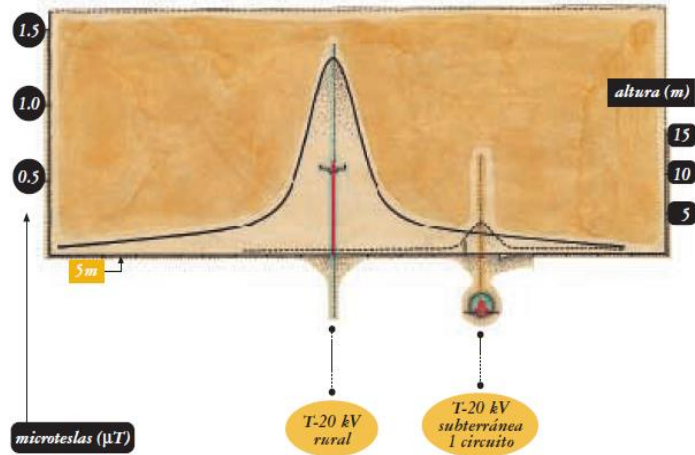
En las figuras del 20 al 24, se indican a título orientativo, las máximas reducciones de densidad de campo que se pueden conseguir con algunas de las actuaciones mencionadas:

Figura 20. **Compactación combinada con cambio de fases**



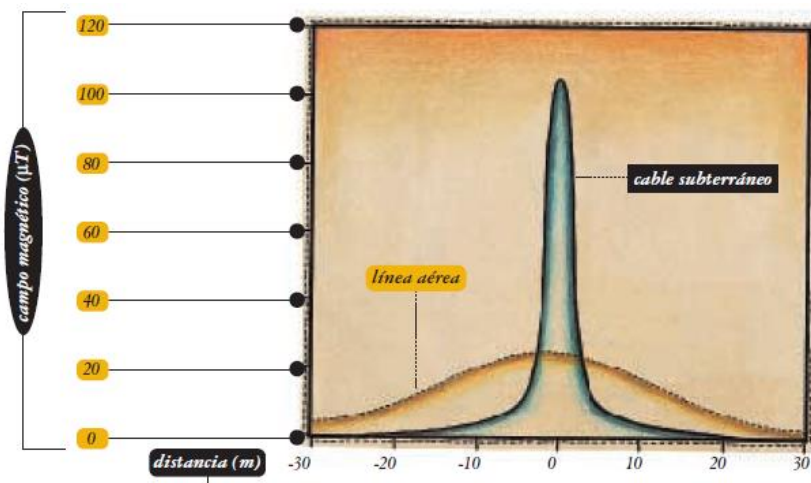
Fuente: Grupos Pandora S. A. *Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz.* p. 80.

Figura 21. **Cambio de línea aérea a subterránea en baja tensión, compactación**



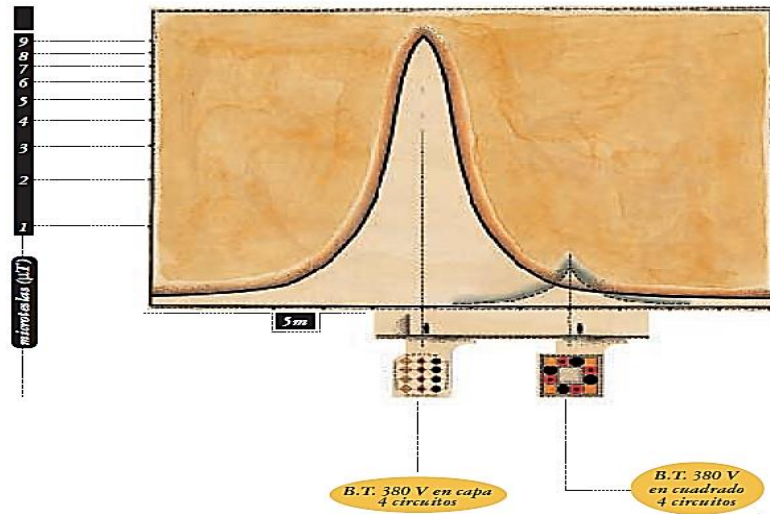
Fuente: Grupos Pandora S. A. *Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz.* p. 81.

Figura 22. **Cambio de línea aérea de 400 kV (2 000 amperios) a subterránea**



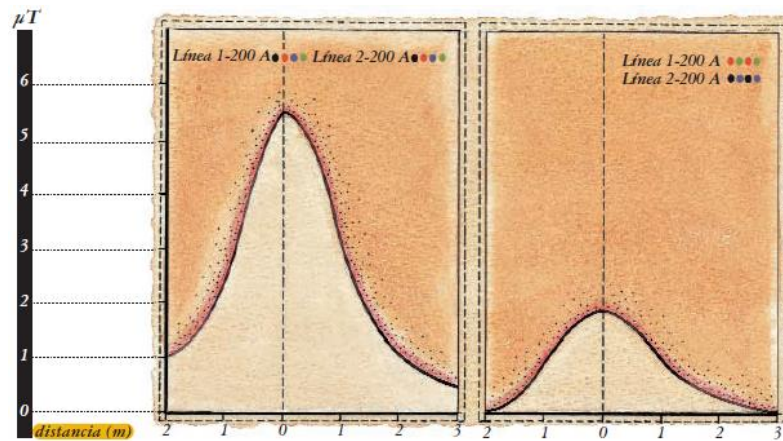
Fuente: Grupos Pandora S. A. *Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz.* p. 81.

Figura 23. Reordenación de conductores en línea subterránea



Fuente: Grupos Pandora S. A. *Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz.* p. 81.

Figura 24. Reordenación de línea de distribución adosada



Fuente: Grupos Pandora S. A. *Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz.* p. 82.

El impacto de las "autorizaciones" que otorga el Ministerio de Energía y Minas para la instalación de centrales hidroeléctricas y su incidencia en los planes de expansión de la generación eléctrica de Guatemala, se ve reflejado en la matriz energética de del país, ya que como se pudo observar durante el trabajo realizado con la puesta en marcha de cada uno de los proyectos hidroeléctricos mejoran e impactan positivamente la matriz energética.

Con el aumento de proyectos hidroeléctricos se produce un aumento de "generación de energía eléctrica" por medio de recursos renovables, lo que provoca una reducción en la dependencia de los derivados del petróleo, la cual se notará en la tarifa eléctrica de la electricidad, y de la misma manera en el costo para cada uno de los guatemaltecos en el servicio o en otras palabras en el costo de la factura de luz que llega a cada uno de los hogares.

3.2. Público a capacitar sobre los CEM

El tema de los CEM emitidos por las líneas de transmisión, es un tema que no se ha explorado a profundidad en el área de la electricidad en Guatemala, debido a esto, hoy en día ha tenido un impacto negativo en la población, creando polémica sobre la posible causa de enfermedades.

Derivado de esto, surgió la necesidad de realizar el presente estudio con los aspectos técnicos necesarios con el apoyo del Ministerio de Energía y Minas, por medio de la Dirección General de Energía y la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.

Después de llevar a cabo los monitoreos, en el cual se verificaron el cumplimiento de los límites de CEM establecidos 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, emitidos por las líneas de transmisión de energía eléctrica de 230 kV, se dio paso a las capacitaciones dirigidas a la población para que estén informados sobre dicho tema.

Las capacitaciones fueron impartidas a públicos diferentes; fue dada a los pobladores que viven cerca de la línea de transmisión de 230 kV, alumnos de la Universidad de San Carlos de Guatemala de la Facultad de Ingeniería, personal técnico del Ministerio de Energía y Minas y de la Dirección General de Energía, así como a la población en general, con el fin de resolver dudas y dejar a un lado las especulaciones sobre los problemas de salud que los CEM producidos por las líneas de transmisión puedan causar.

3.2.1. Capacitaciones

La figura 25 muestra a personal del Ministerio de Energía y Minas recibiendo la capacitación; en este caso, se les daba a conocer el equipo utilizado para los levantamientos radiométricos y sus especificaciones, así como la aplicación del protocolo de medición de CEM, y la forma correcta para colocar la sonda de medición para poder obtener los datos de campo magnético y campo eléctrico.

Figura 25. **Capacitación a personal técnico del Ministerio de Energía y Minas**



Fuente: Dirección General de Energía, MEM.

El público se mostró muy interesado en el método utilizado para la medición de los CEM y de la innovación del trabajo realizado, debido a que es poco conocido dentro del sector eléctrico.

En la figura 26 se da a conocer las características de los tipos de radiaciones que existen y sus diferencias, al personal de la Dirección General de Energía. Asimismo, en la capacitación se abarcaron los temas de las principales fuentes de emisión de campos electromagnéticos naturales y artificiales, los límites establecidos en la reglamentación nacional, los beneficios de la energía eléctrica, entre otros.

Figura 26. **Introducción a los CEM dirigido a personal técnico de la Dirección General de Energía**



Fuente: Dirección General de Energía, MEM.

El público quedó complacido con la capacitación recibida, ya que no se imaginaban que en todo momento están expuesto a campos electromagnéticos de frecuencias bajas y altas de pequeñas intensidades; asimismo, quedaron seguros que dichos campos no tienen la energía suficiente para causarles algún daño.

En la figura 27, se da a conocer la metodología utilizada para la verificación de los límites de CEM y del equipo utilizado para los levantamientos radiométricos, así como una demostración de los procedimientos utilizados para obtener los valores.

Figura 27. **Explicación del protocolo de medición de CEM**



Fuente: Dirección General de Energía, MEM.

El personal resaltó que el tema tratado es delicado, debido al impacto social que ha tenido la instalación de nuevas líneas de transmisión de energía eléctrica en el interior de la república y de la desinformación que se maneja en todos los medios de comunicación que existen hoy en día, además de las dificultades y peligros que conlleva la realización de un estudio de esta magnitud.

En el municipio de San Lucas, departamento de Sacatepéquez, se capacitó a los representantes de los cocodes de los diferentes sectores que existen en dicha población, así también, a las autoridades municipales del lugar (figura 28).

Figura 28. **Capacitación a representantes de Cocodes y autoridades municipales**



Fuente: Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez.

La capacitación impartida en San Lucas Sacatepéquez, se dio debido a la preocupación que la población transmitió a sus autoridades locales sobre la exposición a los CEM, quienes buscaron el apoyo en la Dirección General de Energía, por lo cual se aprovechó para informarles sobre dicho tema, proporcionándoles información sobre los CEM y la salud de las personas, los estudios realizados por la OMS y sus resultados, y por supuesto, este estudio y sus resultados.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) ha tenido que lidiar, en varias ocasiones, con las denuncias presentadas por la población sobre su preocupación a la exposición a los CEM, derivado de la misma situación solicitaron, por parte de la sede de Antigua Guatemala, una capacitación sobre este tema (figura 29).

Figura 29. **Capacitación a personal del MARN, sede Antigua Guatemala**



Fuente: sede MARN, Antigua Guatemala.

En dicha capacitación se dio información técnica sobre los campos eléctricos y magnéticos emitidos por las líneas de transmisión de energía eléctrica, se dio a conocer la reglamentación nacional donde se encuentran establecidos los límites de CEM de bajas frecuencias, la metodología utilizada para la medición de dichos campos y el equipo utilizado para esta tarea.

En la figura 30 se muestra al personal técnico y de campo del MARN, dedicado a atender a la población con respecto a problemas sociales donde se encuentra involucrados, en este caso, el avance de la tecnología y el crecimiento eléctrico del país, así como otros temas relacionados con el cuidado del medio ambiente.

Figura 30. **Personal del MARN, sede Antigua Guatemala**



Fuente: sede MARN, Antigua Guatemala.

El personal del MARN mostró mucho interés en los aspectos técnicos de medición y sobre los estudios relacionados con la salud. Se les indicó que con base en los monitoreos realizados y los datos obtenidos, los CEM emitidos por las líneas de transmisión de energía eléctrica están por debajo de los límites. Este público capacitado, será de mucha ayuda para que la información sea transmitida a la población, para así prevenir inconvenientes sociales.

Uno de los principales objetivos fue la de capacitar a la población estudiantil de la Usac, lo cual con la ayuda de catedráticos y directores del área se logró. Los estudiantes se interesaron en este tema debido a que han tenido dudas sobre los trabajos que se han realizado a nivel nacional, y sobre la reglamentación y regulación existente en el país, lo cual a través de la capacitación se les resolvió quedando claro el trabajo realizado hasta el momento.

Figura 31. **Estudiantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Usac**



Fuente: edificio T-3, Usac, Guatemala.

CONCLUSIONES

1. La institución encargada de velar por el cumplimiento de los límites de CEM a nivel nacional es el Ministerio de Energía y Minas, a través de la Dirección General de Energía, y a nivel internacional, las instituciones encargadas de realizar los estudios y hacer recomendaciones sobre la exposición a los CEM son la OMS y la ICNIRP.
2. Los campos electromagnéticos emitidos por las líneas de transmisión de energía eléctrica de 230 kV un circuito, están debajo de los límites establecidos en la reglamentación nacional.
3. Los valores de campo eléctrico se encuentran en un 55,22 % debajo de los límites y el campo magnético en un 98,89 % debajo de los límites.
4. Durante la medición de campo eléctrico se verificó que cualquier material que esté entre la fuente de emisión del campo, líneas de transmisión en este caso, y la sonda de medición, funciona como una barrera para atenuar la intensidad de dicho campo.
5. Con base en los estudios científicos realizados por distintas organizaciones a nivel mundial, la OMS ha considerado inadecuadas las evidencias para considerar un efecto cancerígeno de los campos electromagnéticos, así como la probabilidad de agravar una enfermedad o producir un efecto acumulativo, resultado de una exposición continua.

6. A través de las charlas de difusión impartidas a diferentes tipos de públicos, al exponer sus experiencias e inquietudes, se evidenció que la falta de establecer un sistema de diálogo entre las empresas, los individuos y grupos afectados, en temas que involucran el desarrollo tecnológico del país provocan conflictos sociales.

RECOMENDACIONES

1. La Dirección General de Energía debe considerar continuar con las mediciones de campos electromagnéticos, debido a que los valores de dichos campos experimentan variaciones que dependen de la intensidad de corriente, y debido a que se tienen anualmente incrementos en la demanda de energía eléctrica, asimismo, se puede tener un aumento en los campos electromagnéticos producidos.
2. Que las empresas dedicadas a la generación, transporte y distribución de energía eléctrica tomen a consideración medir los niveles de campos electromagnéticos en sus instalaciones, como parte de sus responsabilidades para la operación segura de sus instalaciones, de manera que no supongan ningún tipo de riesgo para la salud de los trabajadores y público en general.
3. Que el Ministerio de Energía y Minas y las empresas de transporte y distribución de energía eléctrica consideren realizar un sistema de capacitación sobre la emisión de los campos electromagnéticos dirigido a la población guatemalteca, para evitar especulaciones y malos entendidos que puedan llevar a provocar alarma social en el medio.
4. Las empresas suministradoras de energía eléctrica, en conjunto con los dueños de los terrenos por donde pasan las líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica, pueden considerar la instalación de cercas o vallas alrededor de dichas líneas para evitar el acceso o la invasión de los espacios establecidos como derechos de servidumbre,

para que la población pueda estar protegida en todo momento de cualquier peligro que conlleve el vivir cercano a las líneas de energía eléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizantes*. [en línea]. Munich, Alemania 2006, <www.icnirp.de>. [Consulta: 14 de mayo de 2014].
2. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Atlas del Sistema Nacional Interconectado de la República de Guatemala*. Guatemala: División de Proyectos Estratégicos, Departamento de Normas y Estudios Eléctricos, Arc Reader [CD-ROM].
3. Grupo Pandora. *Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz*. España: Grupo Pandora, 2001. 78 p.
4. Guatemala. Congreso de la República. *Código de Salud*. Guatemala: Organismo Legislativo, 1997. 278 p.
5. Holaday Industries. *HI-3604 ELF Survey meter user's manual*. [en línea]. <<http://www.ets-lindgren.com/manuals/HI-3604.pdf>>. USA: Holaday Industries. 1992. [Consulta: octubre de 2012].
6. The Institute of Electrical and Electronics Engineers. *IEEE Estándar Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields Fro AC Power Lines*. New York, USA: IEEE, 2010. 378 p.

7. Ministerio de Energía y Minas, Viceministerio del Área Energética. *Radiaciones no ionizantes*. [en línea]. <<http://www.mem.gob.gt/>>. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas. 2012. [Consulta: 20 de agosto de 2014].
8. MORESO VENTURA, Anna; PALAU GARRABAOU, Josep M; FOLCH, Ramón. *El transporte eléctrico y su impacto ambiental*. [en línea]. <<http://www.erf.es>>. [Consulta: 8 de junio de 2014].
9. Organización Mundial de la Salud. *Estableciendo un diálogo sobre los riesgos de los campos electromagnéticos*. Ginebra, Suiza: OMS, 2005. 456 p.
10. _____. *Radiaciones no ionizantes*. [en línea]. <<http://www.who.int/es/>>. Ginebra, Suiza: OMS. 2006. [Consulta: 24 de septiembre de 2014].

ANEXOS

FORMATO PARA MEDICIONES DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

| INFORMACIÓN GENERAL | | | | | |
|---------------------------|------------|------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|
| TIPO DE INSPECCIÓN | | INICIAL | | | |
| FECHA | 14/01/2013 | HORA DE INICIO: | ____:____ | HORA DE FINALIZACIÓN | ____:____ |

| INFORMACIÓN DE LA INSTALACIÓN: | | | |
|--------------------------------|--|-------------------------------------|--|
| NOMBRE | | | |
| DIRECCIÓN | | | |
| VOLTAJE DE LÍNEA | | COORDENADAS hddd°mm'ss.s" | |
| COORDENADAS (UTM) | | | |
| ALTURA (msnm) | | TEMPERATURA | |

| Distancia (m) | Perfil Lateral | | | | Distancia (m) | Perfil Longitudinal | | | |
|------------------|------------------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|------------------|------------------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|
| | Campo Eléctrico (4166.67) (V/m) | | Campo Magnético (66.67) (A/m) | | | Campo Eléctrico (4166.67) (V/m) | | Campo Magnético (66.67) (A/m) | |
| | Valor Medido | Valor Máximo | Valor Medido | Valor Máximo | | Valor Medido | Valor Máximo | Valor Medido | Valor Máximo |
| 0 | | | | | 0 | | | | |
| 4 | | | | | +5 | | | | |
| 6 | | | | | +10 | | | | |
| | | | | | -5 | | | | |
| | | | | | -10 | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

NOTA: los valores medidos se deben realizar en un tiempo de 6 minutos en cada punto de medición

Distancia recomendadas en perfil Lateral 0, 4, 6 m., para el perfil longitudinal se recomienda por lo menos en 5 puntos a partir del vano medio en ambas direcciones.

Observaciones:

CROQUIS DE LA INSTALACION:

Conclusiones de las investigaciones científicas sobre la exposición CEM

En los últimos 30 años, se han publicado aproximadamente 25 000 artículos sobre los efectos biológicos y aplicaciones médicas de la radiación no ionizante. A pesar de que algunas personas piensan que se necesitan más investigaciones, los conocimientos científicos en este campo son ahora más amplios que los correspondientes a la mayoría de los productos químicos. Basándose en una revisión profunda de las publicaciones científicas, la OMS concluyó que los resultados existentes no confirman que la exposición a campos electromagnéticos de baja intensidad produzca ninguna consecuencia para la salud. Sin embargo, los conocimientos sobre los efectos biológicos presentan algunas lagunas que requieren más investigaciones.

Algunas personas han atribuido un conjunto difuso de síntomas a la exposición de baja intensidad a campos electromagnéticos en el hogar. Los síntomas notificados incluyen dolores de cabeza, ansiedad, suicidios y depresiones, náuseas, fatiga y pérdida de la libido. Hasta la fecha, las pruebas científicas no apoyan la existencia de una relación entre estos síntomas y la exposición a campos electromagnéticos. Al menos alguno de estos problemas sanitarios pueden deberse al ruido o a otros factores del medio, o a la ansiedad relacionada con la presencia de tecnologías nuevas.

Progresos de las investigaciones

Si los campos electromagnéticos constituyen un peligro para la salud, las consecuencias afectarán a todos los países industrializados. La sociedad exige respuestas concretas a la cuestión, cada vez más apremiante, de si los campos electromagnéticos a los que se está expuesto de forma cotidiana producen o no efectos perjudiciales para la salud. Frecuentemente, los medios de

comunicación ofrecen respuestas que parecen definitivas. Sin embargo, estas noticias se deben juzgar con cautela y se debe tener en cuenta que la educación no es el principal objetivo de los medios de comunicación. Un periodista puede seleccionar una noticia e informar sobre la misma impulsado por diversos motivos no relacionados con aspectos técnicos; los periodistas compiten entre sí por obtener tiempo y espacio en los medios de comunicación y las revistas y periódicos compiten por aumentar la circulación de sus productos. Los titulares novedosos y sensacionalistas que interesan al mayor número de personas posible les ayudan a alcanzar estos objetivos; las malas noticias no son solo las más llamativas, sino a menudo las únicas de las que se entera el usuario. Se presta poca, o ninguna, atención a los numerosos estudios que indican que los campos electromagnéticos son inofensivos. La ciencia no puede aún garantizar una seguridad absoluta, pero las investigaciones realizadas son, en su conjunto, tranquilizantes.

Se necesitan diferentes tipos de estudios

Para evaluar un posible efecto perjudicial para la salud de los campos electromagnéticos, es esencial realizar un conjunto de estudios diversos en diferentes campos de investigación. Los diferentes tipos de estudios investigan diversos aspectos del problema. El objetivo de los estudios de laboratorio con células es elucidar los mecanismos básicos subyacentes que relacionan la exposición a campos electromagnéticos con los efectos biológicos. Estos estudios pretenden identificar mecanismos basados en los cambios moleculares o celulares que produce el campo electromagnético que ofrecerían pistas sobre cómo se transforma una fuerza física en una acción biológica en el organismo. En estos estudios, las células individuales o tejidos estudiados se retiran de su medio vital normal, lo que puede desactivar posibles mecanismos de compensación. Otro tipo de estudios, realizados con animales, está más

estrechamente relacionado con las condiciones reales. Estos estudios proporcionan resultados que son más directamente pertinentes para determinar niveles de exposición seguros para las personas y frecuentemente estudian diversas intensidades de los campos electromagnéticos para investigar las relaciones entre dosis y respuesta.

Los estudios epidemiológicos o estudios médicos con personas son otra fuente directa de información sobre los efectos a largo plazo de la exposición. Estos estudios investigan la causa y distribución de las enfermedades en las condiciones reales, por comunidades y grupos profesionales. Los investigadores tratan de determinar si existe una asociación de tipo estadístico entre la exposición a campos electromagnéticos y la incidencia de una determinada enfermedad o efecto perjudicial para la salud. Sin embargo, los estudios epidemiológicos son costosos y, lo que es más importante, estudian poblaciones de composición muy compleja, por lo que son difíciles de controlar con suficiente precisión para detectar efectos pequeños. Por estos motivos, antes de alcanzar conclusiones sobre posibles peligros para la salud, los científicos evalúan todos los resultados de interés, incluidos los de estudios epidemiológicos y los de estudios con animales y con células.

Normas actuales

Existen normas establecidas para proteger la salud, como las relativas a aditivos alimentarios, a las concentraciones de productos químicos en el agua o a los contaminantes del aire. De forma similar, existen normas que previenen la exposición excesiva a los campos electromagnéticos presentes en el entorno.

¿Quién decide cuáles son los límites recomendados?

Cada país establece sus propias normas nacionales relativas sobre exposición a campos electromagnéticos. Sin embargo, la mayoría de estas normas nacionales se basan en las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP). Esta organización no gubernamental, reconocida formalmente por la OMS, evalúa los resultados de estudios científicos realizados en todo el mundo. Basándose en un análisis en profundidad de todas las publicaciones científicas, la ICNIRP elabora unas directrices en las que establece límites de exposición recomendados. Estas directrices se revisan periódicamente y, en caso necesario, se actualizan.

¿Cómo ponen en práctica las directrices y quién comprueba si se aplican?

Los organismos del gobierno y las autoridades locales tienen la responsabilidad de inspeccionar los campos electromagnéticos en el entorno de las líneas de conducción eléctrica, estaciones base de telefonía móvil o cualesquiera otras fuentes electromagnéticas de acceso público y de asegurarse de que se cumplen las directrices.

En el caso de los aparatos electrónicos, la responsabilidad de que cumplan los límites establecidos es del fabricante. No obstante, como se ha explicado antes, la naturaleza de la mayoría de los aparatos asegura que las intensidades de los campos que se emiten son muy inferiores a los límites establecidos. Además, muchas organizaciones de consumidores realizan ensayos periódicos. Si tiene algún motivo concreto de preocupación, póngase

en contacto directamente con el fabricante o consulte a la autoridad sanitaria de su país.

¿Son perjudiciales los niveles de exposición superiores a los límites recomendados?

Es completamente seguro comer confitura de fresa hasta la fecha de caducidad indicada en el tarro, pero el fabricante no puede garantizar una buena calidad del producto si consume la confitura en una fecha posterior. No obstante, normalmente, la confitura se podría consumir sin riesgo hasta incluso unas semanas o meses después de la fecha de caducidad. De forma similar, las directrices sobre campos electromagnéticos aseguran que, si no se sobrepasa el límite de exposición establecido, no se producirán efectos perjudiciales para la salud. Sobre el nivel que se sabe que produce un efecto sobre la salud, se aplica un factor de seguridad elevado. Por consiguiente, incluso si una persona se viera sometida a intensidades de campos varias veces mayores que el límite establecido, la exposición que experimentaría estaría dentro de este margen de seguridad.

En situaciones cotidianas, la mayoría de las personas no se ven expuestas a campos electromagnéticos superiores a los límites recomendados. Los niveles de exposición típicos son muy inferiores a estos límites. Sin embargo, en ocasiones, una persona puede exponerse, durante un período corto, a niveles que se aproximan o incluso superan los niveles recomendados. Según la ICNIRP, para tener en cuenta los efectos acumulados, la exposición a los campos de frecuencia de radio y de microondas se debe calcular como promedio durante un determinado período; las directrices establecen que dicho período debe ser de seis minutos y se consideran aceptables las exposiciones a corto plazo superiores a los límites.

En cambio, según las directrices, la exposición a campos eléctricos y magnéticos de frecuencia baja no se calcula como promedio en el tiempo. Para complicar aún más el asunto, se incorpora otro factor llamado acoplamiento. El acoplamiento se refiere a la interacción entre los campos eléctricos y magnéticos y el cuerpo expuesto a la radiación; es función del tamaño y forma del cuerpo, el tipo de tejido y la orientación del cuerpo con respecto al campo. Las directrices deben ser conservadoras: la ICNIRP siempre supone un acoplamiento máximo del campo a la persona expuesta. Por consiguiente, los límites recomendados proporcionan una protección máxima. Por ejemplo, aunque las intensidades del campo magnético de las secadoras de pelo y de las máquinas de afeitar superan aparentemente los valores recomendados, el acoplamiento extremadamente débil entre el campo y la cabeza impide la inducción de corrientes eléctricas que podrían superar los límites recomendados.

