



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

INFLUENCIA DE LOS CAMPOS  
ELECTROMAGNETICOS DE BAJAS FRECUENCIAS  
EN LOS SERES VIVOS

FALLA DE ORIGEN

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**  
P R E S E N T A :  
**JOSE CARLOS A. ORTIZ ACLE**

Asesor: *Ing. Román V. Osorio Comparan*



CD. UNIVERSITARIA

1995

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS:**

### **A MIS PADRES :**

**JOSE ORTIZ NAVA.  
MA. LUCIA ACLE DE ORTIZ.**

**POR DARME SU APOYO Y CONSEJOS NECESARIOS  
PARA MI REALIZACION PERSONAL.**

### **A MIS HERMANAS:**

**ARTEMISA, LUPE, YEZMIN, ELIA, LAURA, JOSEFINA,  
JAQUELINE Y FEISSA.**

**POR SU CARINO**

### **A MI NOVIA:**

**MARCELA CARRILLO ROMERO.**

**POR SU PACIENCIA Y AYUDA.**

### **A MIS COMPAÑEROS TESISISTAS:**

**AARON GALINDO ISLAS.  
ADRIANA VIVEROS CRUZ.  
GABRIEL AGUILAR BADILLO.  
RENE TOLEDO HUITRON.**

**POR SU APOYO Y AMISTAD.**

## **UN AGRADECIMIENTO ESPECIAL A:**

**A los integrantes del Departamento de Electrónica y Automatización del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (I.I.M.A.S.-U.N.A.M.) por las facilidades que me brindaron para realizar este trabajo, de manera especial a ROMAN OSORIO COMPARAN Y GEMA MARTHA VALLE MARTINEZ por su valioso consejo y amistad.**

**M. EN C. AMANDA O. GOMEZ GONZALEZ.**  
( FACULTAD DE INGENIERIA D.E.P.F.I.)

**ING. JACINTO VIQUEIRA LANDA.**  
( FACULTAD DE INGENIERIA D.I.M.E.)

**ING. JESUS REYES GARCIA.**  
( FACULTAD DE INGENIERIA D.I.M.E.)

**DR. LEON CINTRA MCGLONE.**  
(INVESTIGADOR TITULAR DEL CENTRO DE NEUROBIOLOGIA U.N.A.M.).

**DR. MARIO GUTIERREZ ROMERO.**  
(HOSPITAL GENERAL DE MEXICO JEFE DE HEMATOLOGIA)

**DR. CRUZ REYES VAZQUEZ.**  
**BIOL. CONSUELO MORGADO VALLE.**  
**BIOL. LUIS BELTRAN PARRAZAL.**  
(FACULTAD DE MEDICINA DEPTO. DE FISIOLOGIA U.N.A.M.)

**POR SU AYUDA Y EXPERIENCIA TRANSMITIDA EN ESTA INVESTIGACION.**

# INDICE:

<b>INTRODUCCION</b>	<b>i</b>
<b>1.- ASPECTOS GENERALES</b>	<b>1.2</b>
1.1.- RESUMEN DE LA INVESTIGACION.	1-5
1.2.- LA IEEE COMENTA.	1-8
1.3.- RIESGOS DE ABORTO.	1-10
1.4.- ESTUDIO DE TRABAJADORES EXPUESTOS.	1-11
1.5.- UNA OFICINA MAS SEGURA.	1-13
1.6.- TERMINALES DE VIDEO.	1-14
<b>2.- ANALISIS DE PROBLEMA.</b>	<b>2.2</b>
2.1.- DEBATIENDO EL RIESGO.	2.2
<b>3.- ESTUDIO ELECTROMAGNETICO</b>	<b>3-2</b>
3.1 - TEORIA.	3-2
3.1.1 - CAMPOS ELECTROSTATICOS.	3-2
3.1.2 - EL CAMPO ELECTRICO.	3-3
3.1.3 - MAGNETISMO.	3-5
3.1.4 - EL MAGNETISMO Y EL ELECTRON.	3-6
3.1.5 - LA MOLECULA MAGNETICA	3-7
3.1.6 - LINEAS DE FUERZA.	3-9
3.1.7.- CAMPO MAGNETICO ALREDEDOR DE UN CONDUCTOR.	3-9
3.1.8 - ELECTROMAGNETISMO	3-11
3.1.9.- ELECTROMAGNETISMO EN UN CONDUCTOR.	3-12
3.1.10 - INTENSIDAD DE CAMPO.	3-13
3.1.11 - INTERACCION DE LOS CAMPOS MAGNETICOS.	3-14
3.1.12.- ELECTROMAGNETISMO EN UNA ESPIRA	3-15
3.1.13.- ELECTROMAGNETISMO EN UNA BOBINA.	3-16
3.1.14 - EL NUCLEO MAGNETICO	3-17
3.1.15 - CAMPO MAGNETICO ORIGINADO POR UNA CORRIENTE ALTERNA.	3-18
3.2 - ANALISIS EN LINEAS.	3-20
3.2.1 - DIFERENCIA DE POTENCIAL ENTRE DOS PUNTOS EN LA VECINDAD DE UNA LINEA DE TRES CONDUCTORES CON RETORNO POR TIERRA.	3-20
3.2.2 - PARAMETROS DE LA LINEA	3-23
3.2.3 - IMPEDANCIA SERIE DE LINEAS DE TRANSMISION TRIFASICA CON RETORNO POR TIERRA.	3-23
3.2.4.- ADMITANCIAS EN DERIVACION DE UNA LINEA DE TRANSMISION.	3-26
3.2.5.- CAMPO ELECTRICO EN LINEAS.	3-27
3.2.6.- PERFIL LATERAL DEL CAMPO ELECTRICO AL NIVEL DEL SUELO.	3-29

3.2.7.- INDUCCION EN CIRCUITOS PARALELOS.	3-31
3.2.8.- INDUCCION MAGNETICA EN LINEAS.	3-32
3.2.9.- INDUCCION DE CIRCUITOS PARALELOS.	3-34
3.3.- GENERALIDADES DEL CAMPO ELECTROMAGNETICO.	3-35
<b>4.- PLANTEAMIENTO Y EVALUACION DEL PROBLEMA CON LOS CAMPOS ELECTROMAGNETICOS.</b>	4-2
<b>5.- ESTUDIO BIOMEDICO.</b>	5-2
5.1.- ANALISIS BIOMEDICO.	5-6
5.2.- RESPUESTA EN GLANDULAS DE SECRECION INTERNA DEL CEREBRO CON EXPOSICION A CAMPOS ELECTROMAGNETICOS.	5-9
5.3.- FUNCION DE LA GLANDULA PINEAL Y RIESGO DE CANCER.	5-10
5.4.- FUNCION DE LA GLANDULA PINEAL Y DEPRESION.	5-11
5.5.- FACTORES CRONOBIOLOGICOS Y LA NATURALEZA DE LA RESPUESTA EN DOSIS EN LA EXPOSICION A CAMPOS ELECTROMAGNETICOS.	5-12
5.6.- EFECTO DEL CAMPO MAGNETICO EN LA MOVILIDAD DEL ION DE CALCIO.	5-13
<b>6.- ANALISIS Y CONCLUSIONES, DE LOS EFECTOS.</b>	6-2
6.1.- ANALIZANDO CAMPO ELECTROMAGNETICO ALREDEDOR DE LA CASA.	6-2
6.2.- RIESGOS ESPECIALES EN EQUIPOS ELECTRONICOS ACTUALES.	6-4
6.2.1.- COMPUTADORAS.	6-4
6.2.2.- HORNO DE MICROODAS.	6-5
6.2.3.- COBIJAS ELECTRICAS.	6-6
6.2.4.- TELEFONOS CELULARES.	6-8
6.3.- EVITAR PRUDENTEMENTE.	6-10
6.4.- TOMANDO LECTURAS EN CASA Y OFICINA	6-12
6.5.- REDISEÑO DE PRODUCTOS.	6-16
6.6.- VIVIENDO CON RIESGO.	6-17
<b>CONCLUSION.</b>	C-1
<b>REFERENCIAS.</b>	R-1

## INTRODUCCIÓN

El hombre desde el principio de su existencia ha desarrollado formas de **satisfacer sus necesidades**; es así como llega a tener un desarrollo tecnológico, en el cual, no son tomados en cuenta factores que puedan alterar al medio ambiente, o que ocasionen consecuencias.

El grado de desarrollo de las fuentes de energía con el fin de realizar un **trabajo es una de las consecuencias del progreso industrial**. El descubrimiento de **fuentes de energía** en la naturaleza, el transporte de ésta en sus diversas formas y la conversión de la misma en otra más útil, son **partes esenciales de una economía industrial**. La **red eléctrica**, es una de las herramientas para la **transportación y distribución de la energía**.

Una red eléctrica se compone de tres partes principales: Las **centrales generadoras**, las **líneas de transporte** y las **redes de distribución**. Las **líneas de transporte** constituyen los **eslabones de unión** entre las **centrales generadoras** y las **redes de distribución**. **Una red de distribución une todas las cargas aisladas de una determinada zona a las líneas de transporte**.

En la actualidad, observamos algunas consecuencias que no se habían **previsto al desarrollar cierta tecnología** hasta que hubo efectos, la **humanidad en estos tiempos requiere de la tecnología** estando muy consciente de los efectos que **pueda provocar**, tratando de **afectar lo menos posible**. Muchos **adelantos tecnológicos** que nos **hacen la vida más fácil** pueden **emitir e introducir a nuestro cuerpo ciertos tipos de radiaciones perjudiciales**, el **hombre actual está sumergido en un inmenso océano de radiaciones**, sobre todo los que **viven en las grandes ciudades**, causadas por **las ondas**

electromagnéticas. Recientemente por algunos años científicos dieron las primeras voces de alerta sobre este peligro que amenaza a la humanidad.

Este trabajo de investigación se enfoca específicamente a los campos electromagnéticos de baja frecuencia como la red de energía eléctrica (líneas de distribución - transformadores), el interés de este trabajo es efecto de una investigación realizada principalmente en los Estados Unidos de Norteamérica, y estudios de Europa, con el fin de realizar el análisis y adecuación al caso típico de la ciudad de México y con la finalidad de evitar la exposición a estos campos, o bien alcanzar algún grado de conciencia de este efecto. Las primeras investigaciones se realizaron sobre problemas de cáncer y leucemia encontrados por efectos de los campos magnéticos producidos por transformadores; ya que al encontrarse éstos cerca de viviendas, emanaban radiaciones, alterando moléculas y composición de sangre en los seres humanos, en otras palabras las moléculas son multiplicadas, pero no en una forma lógica como lo hacen normalmente, sino con malformaciones, lo mismo ocurre con la sangre, a la primera se le conoce como cáncer y a la segunda como leucemia, esto estimulado por campos electromagnéticos.

La investigación se desarrolla en base a la teoría electromagnética aplicada a las líneas de distribución y sus transformadores, para comprobar si los niveles de radiación de los campos magnéticos producidos son de preocupación y si lo son, qué medidas se deben emplear para protegerse, y evitar en lo posible daños a los seres vivos. A su vez se realiza el análisis de algunos aparatos de uso común por los seres humanos, y su influencia benéfica o nociva en su organismo, considerando que de una u otra forma contienen un transformador de energía en su interior, como consecuencia de su aplicación al uso doméstico.



# Capítulo 1

## 1. ASPECTOS GENERALES

En la década de los 70s, la Norteamericana Nancy Wertheimer Epidemióloga se dedicó a estudiar los patrones de niños con cáncer en el área de Denver E.U. Después de varias observaciones se decidió a probar la teoría de la exposición a los campos electromagnéticos alrededor de las líneas de distribución y de alguna forma los relacionó con los niños que padecían leucemia en el área.

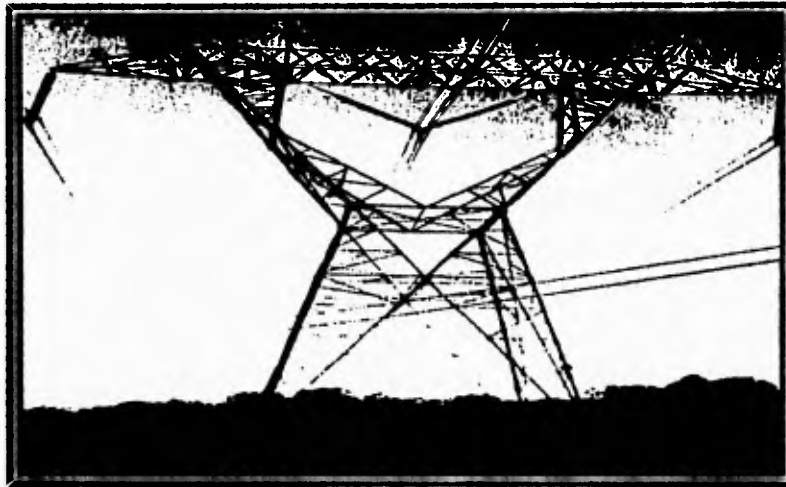


Fig.1 La torre de transmisión de alta tensión provoca altos campos electromagnéticos

El procedimiento preferido en epidemiología, que son los estudios de los patrones de las enfermedades humanas, es comparar a la gente que ha sido expuesta a un riesgo presumible contra un grupo de *control* de gente similar que no ha sido expuesta. Por ejemplo el comparar a fumadores con no fumadores trajo a la luz el

## 1. ASPECTOS GENERALES

En la década de los 70s, la Norteamericana Nancy Wertheimer Epidemióloga se dedicó a estudiar los patrones de niños con cáncer en el área de Denver E.U. Después de varias observaciones se decidió a probar la teoría de la exposición a los campos electromagnéticos alrededor de las líneas de distribución y de alguna forma los relacionó con los niños que padecían leucemia en el área.

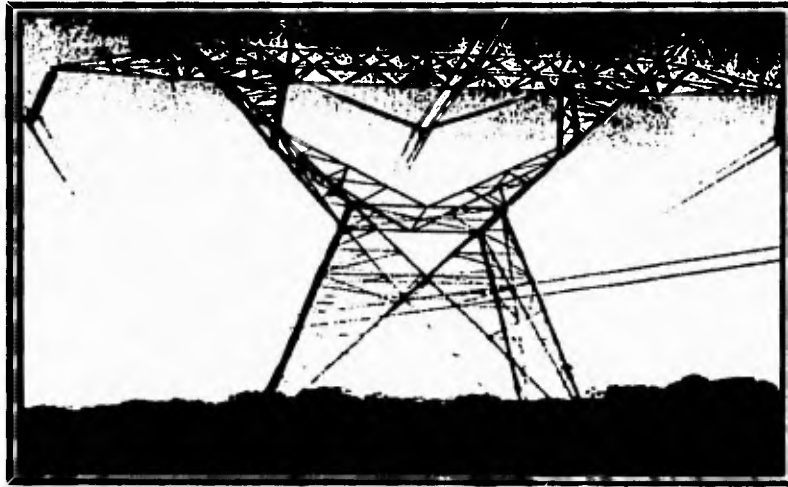


Fig.1 La torre de transmisión de alta tensión provoca altos campos electromagnéticos

El procedimiento preferido en epidemiología, que son los estudios de los patrones de las enfermedades humanas, es comparar a la gente que ha sido expuesta a un riesgo presumible contra un grupo de *control* de gente similar que no ha sido expuesta. Por ejemplo el comparar a fumadores con no fumadores trajo a la luz el

riesgo que existía en el tabaco para el cáncer pulmonar. Sin embargo todo el mundo usa y está expuesto a la electricidad, Wertheimer no tuvo un grupo para usarlo como un grupo de control.

Wertheimer y su colega Ed. Leeper, un físico, encontraron la solución cuando se dieron cuenta de que hay ciertas configuraciones de líneas de transmisión de alto voltaje que producen campos electromagnéticos más altos que los promedio en las casas vecinas o en las de los alrededores. Usando esta información, Wertheimer y Leeper desarrollaron un código alámbrico o código de alambres que los llevó a etiquetar las casas como de campo alto o de campo bajo solamente mirando el tamaño y la localización de las líneas de transmisión en el área. Encontraron que los niños que viven dentro de casas que están etiquetadas como de código alto tienen el doble de posibilidades de desarrollar leucemia que aquellos que viven en casas de código bajo.

Así fue como se añadió otro objeto a la lista de preocupaciones ambientales: el de los campos electromagnéticos, los cuales rodean casi cualquier conductor eléctrico, ya sea una línea de transmisión, el cableado de una casa, un aparato eléctrico o una cobija eléctrica. Mientras que los peligros de estos campos pueden o no ser significativos, el temor por las consecuencias debido a éstos si lo es. En cada estado de los E.U., los ciudadanos nerviosos han retrasado o aun aniquilado del todo los planes para instalaciones eléctricas que se han de construir o para la expansión de las líneas de transmisión de alto voltaje. Los corredores de bienes raíces reportan que las casas cercanas a líneas de transmisión se venden más lentamente que otras, y por precios más bajos. Los padres con niños que van a escuelas cerca de líneas de transmisión están demandando que muevan las escuelas o se muevan las líneas. Mientras tanto, las demandas por víctimas de cáncer en contra de las compañías de electricidad están haciendo su peregrinación a través de las cortes de muchos estados.

Keith Floring, un analista de las políticas ingenieriles en Washintong D.C., estima que la electrofobia ya está costando a los Estados Unidos algo así como un billón de dólares al año en la reducción de los valores de la propiedad en tasas más altas de electricidad y los gastos de investigación.

Aún los expertos más informados no pueden decir con seguridad si la preocupación es justificada; tampoco puede decirlo el estudio original de Wertheimer y Leeper ni los estudios que los siguieron han podido añadir alguna certeza científica.

Estudios de laboratorio han sido de mucha ayuda lo cual no es inusual en esta etapa del estudio científico de un fenómeno. Hasta el momento los estudios del laboratorio han mostrado que los campos electromagnéticos pueden producir cambios medibles en la actividad celular. En algunos casos han mostrado que la exposición de animales a campos de alta intensidad pueden causar cambios biológicos, por ejemplo: se ha promovido el crecimiento de tumores pectorales en roedores pero esto está muy lejano de dejar entrever si se pueden dar esos cambios en los humanos o cómo pueden ocurrir; más aún, pocos estudios han pasado la prueba básica de la validación científica, es decir el que se puedan reproducir en laboratorio.

Hasta este punto hay suficiente evidencia que sugiere un posible riesgo a la salud que justifica el tomar algunas acciones para reducir la exposición a los campos electromagnéticos. El dilema más grande es si estos riesgos justifican cambios mayores en nuestro grande y complejo sistema de energía eléctrica, cambios que podrían desestabilizar el confiable y relativamente barato sistema de electricidad que se ha usado hasta el momento.

### **1.1 RESUMEN DE LA INVESTIGACIÓN**

El estudio de Wertheimer y Leeper publicado en 1979, no fue tomado en serio por muchos años.

Esto cambió dramáticamente en 1988, cuando un equipo dirigido por David Savitz, un epidemiólogo de la Universidad de Carolina del Norte repitió el estudio. Savitz también se enfocó a casos de niños con cáncer en Denver, pero usó un diseño mejor, él contrató trabajadores para asignar los códigos de alambres a las casas ciegamente y para medir los campos en el interior de la mayoría de las casas directamente. Los resultados esencialmente confirmaron los hallazgos de Wertheimer que eran: el que los niños que vivían en casas de código alto tenían fácilmente el doble de posibilidades de adquirir leucemia, sorprendentemente las mediciones realizadas para los campos interiores no estaban relacionadas con la leucemia así que algunas de las preguntas acerca del significado del estudio permanecen sin contestar.

Resultados similares que mostraban cerca del doble de riesgo de leucemia para niños que viven en casas con campos de 2 miligauss o más se reportaron en 1992 por investigadores suecos. Su estudio fue considerado un mejoramiento en relación a los primeros porque empleó una medición más a detalle de la exposición de los campos magnéticos que los códigos de alambres usados por Wertheimer y Savitz. Usando sus inusuales y muy detallados registros, los suecos fueron capaces de calcular qué campos habían estado años antes en las casas que tuvieron las líneas de transmisión eléctricas.

De los estudios de niños con cáncer que fueron realizados seis (los tres mencionados previamente, más otros tres que fueron hechos en Los Ángeles, Dinamarca y Finlandia) son considerados por expertos como los más cuidadosos, de esos seis, cinco encontraron alguna asociación estadística entre los campos magnéticos elevados y el cáncer en los niños.

Algunos otros estudios han tratado de determinar si los adultos que viven cerca de las líneas de energía han incrementado el riesgo de cáncer; aquí de cualquier forma los resultados han sido inconsistentes, los estudios pueden haber pasado por alto el hecho de que los adultos pueden haber estado expuestos a campos magnéticos en una residencia previa o en el trabajo.

Muchos estudios de cáncer en adultos se han enfocado a personas tales como trabajadores de compañías eléctricas y trabajadores de los ferrocarriles eléctricos, los cuales presuntamente, están expuestos a campos magnéticos más fuertes en su trabajo y una vez más los resultados han sido mixtos. Algunos estudios han encontrado demasiados casos de leucemia y cáncer cerebral y algunos otros no han encontrado caso alguno, pero esos estudios están basados en la estimación de la exposición dado un cierto trabajo y no realmente a la medición en el campo de dichos trabajos y en muchos casos faltó la información acerca de cuánto tiempo las personas en estudio han estado expuestos a los campos. Tales defectos fueron incluidos en el más ambicioso estudio ocupacional reportado. El estudio examinó más de 4,000 casos de cáncer que ocurrieron en un periodo de 20 años entre 220,000 trabajadores masculinos de compañías eléctricas en Canadá y Francia. Los investigadores obtuvieron mediciones en el lugar de trabajo por medio de la colocación de varios miles de medidores de campos magnéticos en los trabajadores por una semana entera

de trabajo, ellos también reconstruyeron el pasado de los sujetos ante la exposición a través de detallados registros de empleos.

El estudio no encontró un incremento general en el riesgo de cáncer entre aquellos expuestos a campos magnéticos más fuertes, de cualquier forma encontró un incremento en el riesgo de desarrollar un tipo de leucemia adulto llamado *Leucemia Nolinfoide* entre el 50% de los trabajadores expuestos a campos promedio de 1.6 miligauss o más.

Tomados juntos los estudios ocupacional y residencial hechos hasta la fecha se sugiere que la exposición a campos magnéticos más fuerte que los promedio, pueden ligeramente incrementar el riesgo de desarrollar algunos tipos de leucemia. La evidencia para una asociación con otros tipos de cáncer es muy poco clara.

El Instituto Nacional Sueco para las Radiaciones ha reconocido oficialmente los efectos perniciosos que los campos electromagnéticos, sobre todo los de baja frecuencia, tienen sobre el organismo humano.

En México los estudios al respecto se limitan a algunas investigaciones Biomédicas; como son las llevadas a cabo por el Dr. René Drucker Colín y su equipo de investigadores en el Depto. de Fisiología de la Facultad de Medicina (U.N.A.M.). Otras por el médico mexicano Demetrio Sodi Pallarés, que ha conseguido con el magnetismo, matar virus y disminuir problemas cardíacos. Sin embargo las radiaciones cotidianas no son tan benéficas.



## 1.2 LA IEEE COMENTA

El cáncer y otros problemas de la salud pueden estar relacionados con la exposición a largo plazo de una persona a campos electromagnéticos de baja frecuencia.

Pero todavía se sabe muy poco acerca de cómo se puede establecer y operar tal eslabón en la salud o qué aspecto de los campos electromagnéticos pueden causar estos problemas.

Es bueno tomar en cuenta este riesgo, y tratar de reducir el riesgo reduciendo la exposición a campos electromagnéticos.

Un estudio Sueco agregado a evidencia de una relación mostró que el riesgo se triplicaba para contraer leucemia para niños que vivían en casas de campos de por lo menos  $0.2 \mu\text{T}$  comparados con aquellos que vivían dentro de campos más débiles (menos de  $0.1 \mu\text{T}$ ) y se cuadruplicaban en campos de más de  $0.4 \mu\text{T}$ . Mencionando que sólo 1 de 14,000 niños por año pueden ser afectados.

EXPOSICIÓN	COMPARACIÓN	RIESGO
al menos $0.2 \mu\text{T}$	$0.1 \mu\text{T}$	Triplicado
mas de $0.4 \mu\text{T}$	$0.1 \mu\text{T}$	cuadruplicado

Tabla 1. Comparación de riesgo de leucemia

Los resultados de los estudios infantiles han resultado ser frustrantes para los Epidemiólogos puesto que hay un riesgo 10 veces mayor o evidencia de que no existía tal riesgo.

Eleanor Adair miembro del comite IEEE dice: *Vemos que los estudios se han tornado mejor controlados y que se estudian poblaciones más grandes de manera que los rangos de riesgo se están volviendo más pequeños, yo estaría lista a esbozar una conclusión en este mismo momento, que no hay relación aquí*

Una de las teorías que ahora está siendo revisada es que la intensidad de campo promedio no es el problema, en vez de esto puede ser alguna variación que correlaciona mejor con los patrones de cableado y la exposición promedio a largo plazo que la que hay con las mediciones puntuales de campo, esta variación podría ser: la tasa de cambio del tiempo, la transición brusca, los picos en la intensidad de campo o algunas ventanas de intensidad o frecuencia.

Esta hipótesis puede no ser la correcta dice el profesor Gilles Theriault Profesor del Departamento de la Universidad Mc Gill en Montreal : *Nosotros discutimos la intensidad del campo pero la culpable puede ser cualquier otro de los componentes de los campos a los cuales el campo magnético está unido, tal vez no estamos estudiando el parámetro adecuado sino solamente un parámetro cercano al correcto.*

Alternativamente puede haber periodos de sensibilidad a la exposición durante el periodo de sueño por ejemplo u otro factor puede ser la llave, como la orientación del campo magnético de la tierra en relación con el campo generado por las líneas de tensión o las corrientes de tierra o las armónicas de 50-60 Hz por sí mismo o el riesgo

puede ser de hecho un factor de 2 y no un factor de 10 ó 20 tal como el cáncer asociado a los cigarrillos pero dice Indira Nair del Departamento de Ingeniería y Políticas Públicas de la Universidad de Carnegie Mellon en Pittsburgh, *Si tú tienes alrededor un rango de 2 para una gente que es tan prevalente debe de ser un factor de sociedad muy grande.*

Pero ya que nadie está seguro de qué nivel de los campos tiene un efecto, si es que existe, nadie puede establecer un nivel que definitivamente no tenga efecto, y la gente que vive en casas con bajos campos magnéticos puede trabajar en un edificio de oficinas rodeado por campos altos.

*El problema más grande es encontrar una población sin exposición y creo que ese es el paso más importante dice Wertheimer.*

A pesar de estas dificultades la investigación persiste. Los nuevos estudios consideran una examinación a larga escala de los niños con leucemia en los Estados Unidos, Canadá y El Reino Unido, dice Stan Sussman, director de las asesorías en campos eléctricos y magnéticos y estudios de administración en el Instituto de Investigación Eléctrica en Palo Alto California.

### **1.3 RIESGOS DE ABORTOS**

En 1992, el Instituto finlandés de Salud Ocupacional en Helsinki, dio a conocer un resultado que comparaba a los oficinistas los cuales utilizaban **Pantallas de Tubos de Rayos Catódicos(VDTs)** de bajo campo y de alto campo, y encontró que las mujeres embarazadas expuestas a campos de más de  $0.3\mu\text{T}$  mostraban tener 3 veces un número de abortos superior a otras expuestas a menos de  $0.1\mu\text{T}$  aquellas

expuestas a campos entre  $0.2\mu\text{T}$  y  $0.3\mu\text{T}$  mostraron tener el doble del riesgo de aborto la duración de la exposición no tenía el riesgo aparente en las mujeres.

EXPOSICIÓN	COMPARACIÓN	RIESGO
mas de $0.3\mu\text{T}$	$0.1\mu\text{T}$	res veces mayor
entre $0.2\mu\text{T}$ y $0.3\mu\text{T}$	$0.1\mu\text{T}$	el doble

Tabla 2. Comparación de riesgo de aborto

Viendo hacia la exposición a campos del cobertor eléctrico, Wertheimer y Leeper en 1986 encontraron que el uso de cobertores eléctricos y calentadores de agua parecían estar correlacionados con los abortos espontáneos, defectos de nacimiento y el peso reducido de los infantes al momento del nacimiento. Pero un estudio de la Universidad Estatal de New York en Buffalo encontró en 1992 que las mujeres que dormían en camas calentadas eléctricamente, en el primer trimestre parecían no estar en más peligro que aquellas que daban a luz a infantes con tubo neural y defectos orales. (Wertheimer dijo a spectrum de cualquier forma que a ella le gustaría saber, quién de los encuestados utilizaron cobertores eléctricos simplemente para calentar sus camas antes de meterse en ellas y quiénes las usaron durante toda la noche).

#### **1.4 ESTUDIO DE TRABAJADORES EXPUESTOS**

Los resultados de algunas investigaciones de acuerdo a el Microwave News, una guiada por la Universidad de Pittsburgh encontró que los trabajadores de una planta de aluminio en donde altas corrientes eran partes del proceso de refinación, sufrían el deceso a causa de leucemia y linfomas a una tasa 5 veces mayor de la esperada. En un estudio de la Universidad del Sur de California, se encontró que los trabajadores

eléctricos eran 20 a 30 % más sensibles a desarrollar leucemia que cualquier otro trabajador de las compañías telefónicas.

En el estudio más reciente de Thériault, se observó a un total de 223,000 trabajadores en Ontario Hydro, Hydro-Québec, y Electricité de France, todos los trabajadores usaban medidores personales durante una semana completa de trabajo, en varias ocasiones al año. Seleccionando 10,000 días trabajo para medida, encontró un incremento de 3.15 en el riesgo de Leucemia mieloide aguda (una forma de leucemia que algunos estudios previos encontraron entre el 50% de los trabajadores expuestos) y un incremento de 12% en una cierta forma de cáncer cerebral entre el 10% más expuesto de esta población. Para los otros 29 tipos de cáncer estudiados no se encontraron incrementos en los riesgos.

Otra investigación epidemiológica reciente incluye un estudio sueco y uno de la Compañía Edison de el Sur de California. El primero mostró una triple probabilidad de leucemia lifocytica crónica para el grupo expuesto, con un riesgo creciendo en proporción a la magnitud de los campos. El estudio de California no mostró un incremento en riesgo para los trabajadores expuestos.

Algunos piensan que el cáncer mamario puede descubrirse que es una preocupación mucho mayor que la leucemia de niños y el cáncer cerebral. Después de todo afecta a una fracción mucho más grande de la población. De acuerdo a Microwave News, la investigación hasta ahora incluye:

- Un estudio por Savitz y otros investigadores de la Universidad de Carolina del Norte, concluyendo que las trabajadoras eléctricas femeninas tuvieron un 40% por decesos de cáncer mamario que las trabajadoras en empleos no eléctricos.

●Un estudio por los investigadores de Fred Hutchinson Cáncer Research Center, en Seattle Washintong, prediciendo un incremento 6 veces mayor en la tasa del cáncer mamario entre los trabajadores masculinos de las compañías de teléfonos que están encargados del cableado, los electricistas, y los trabajadores eléctricos de alta tensión.

●Un estudio por el Cáncer Registry de Noruega, el cual encontró que los trabajadores de transporte masculino eléctrico superaban por 4 veces la tasa esperada de cáncer mamario.

Los trabajadores textiles en E.U. y Finlandia estaban preocupados por el estudio presentado el verano de 1994. Los campos generados por las máquinas de coser exponen tres veces más al personal que la exposición de los trabajadores de líneas de tensión y se encontró que tienen por lo menos 3 veces mayor el riesgo de desarrollar el mal de Alzheimer que la población menos expuesta.

### **1.5 UNA OFICINA MAS SEGURA**

Un cierto número de compañías dados los niveles de campo excesivo que ellos percibieron han encontrado prudente evacuar su espacio de oficina. Las oficinas en el edificio Chrysler y en Gateway Plaza en la ciudad de New York fueron evacuados por esta razón de acuerdo al Microwave News, los niveles que se encontraron eran tan altos como 200µT, lo cual daba lugar a interferencias en computadoras y una gran preocupación acerca de los riesgos de la salud.

### **1.6 TERMINALES DE VIDEO**

El gobierno Sueco en 1987 introdujo estándares voluntarios para frecuencia muy baja (VLF) y los revisó en 1991 para incluir frecuencia extremadamente baja.

Un nuevo conjunto de instrucciones para el sindicato laboral Sueco, TCO (Confederación de Trabajadores Profesionales), en Estocolmo especifica que: menos de 0.2  $\mu$ T de campo electromagnético a 50cm alrededor del monitor, 30cm en el frente, y 0.25 $\mu$ T VLF a 50cm alrededor del monitor. Algo así como 14 fabricantes están cumpliendo con estas regulaciones del TCO por medio del rediseño de sus productos el cual ha añadido un poco a los costos de los monitores.

## Capítulo 2



## **2. ANÁLISIS DEL PROBLEMA**

De acuerdo con las investigaciones realizadas en distintos países, se ha encontrado que las líneas de distribución y los transformadores más específicamente, son los posibles causantes de provocar cáncer y leucemia a personas que viven cerca de éstos, dado que se producen campos eléctricos y magnéticos, se indica que el eléctrico no es de mucha importancia porque se puede aislar, pero el campo magnético es casi imposible porque las líneas de flujo magnético traspasan casi cualquier material (excepto los diamagnéticos), estos campos magnéticos al encontrarse con tejido humano lo modifica pudiendo producir en alguna forma cáncer, leucemia y otras alteraciones.

Según varios informes se menciona que a pesar de las evidencias, aún existen intereses creados que intentan diluir importancia a tales investigaciones.

El objetivo de esta investigación es analizar los efectos de la influencia de los campos electromagnéticos de baja frecuencia en los seres vivos.

### **2.1 DEBATIENDO EL RIESGO**

Se dice que el interés popular se despertó a raíz de la demanda judicial presentada contra una empresa eléctrica por el padre de Simon Stuholme, un niño británico de 13 años que murió de leucemia en 1992. El demandante consideraba que los campos electromagnéticos originados por las líneas de alta tensión de la compañía, instaladas muy cerca y por debajo de su casa en Manchester, fueron los causantes de la muerte de su hijo. Su hija de 12 años, Deborah, también se encuentra afectada: padece crisis de epilepsia.

En un reporte que circuló pero que nunca fué oficialmente presentado, la (E.P.A.) agencia de protección ambiental de los E.U. concluyó en 1990 que los campos magnéticos de 60 Hz eran una causa posible pero no comprobada de cáncer en los humanos. En 1992 revisando el mismo estudio, un panel convino en que no se había encontrado evidencia convincente de que los campos poseyeran un peligro para la salud, este tipo de mensajes contradictorios pone cierta inquietud en los propietarios de casas, al preguntarse si deben estar preocupados. ¿Cómo es que científicos responsables pueden llegar a diferentes y tan opuestas conclusiones?

Mucha de la incertidumbre se centra en el hecho de que la asociación estadística entre campos magnéticos caseros y el cáncer en la salud es significativa o simplemente una coincidencia; los hallazgos del estudio de Savitz y otros estudios posteriores han presentado una paradoja. Los investigadores que utilizaron códigos de alambres o algún otro método indirecto de medir los campos magnéticos han encontrado una conexión entre aquellas mediciones y el cáncer en la niñez, pero cuando los investigadores de hecho miden los campos magnéticos dentro de las casas directamente, esta conexión parece que falla. Hasta el momento, ni un solo estudio ha conseguido encontrar una correlación estadísticamente significativa entre las mediciones interiores de los campos magnéticos caseros y cualquier forma de cáncer.

Algunos científicos argumentan que los códigos de alambre son de hecho un indicador general mucho mejor de la exposición a campos magnéticos que la mediciones reales, tomadas en los interiores. En los estudios llevados a cabo en los interiores las mediciones han sido tomadas por 24 horas a la máximo y los campos magnéticos pueden variar grandemente a través del tiempo dependiendo de las cargas de energía en las líneas cercanas y las casas del vecindario.

Los escépticos por otro lado, argumentan que las mediciones directas de los campos magnéticos no se correlacionan con las enfermedades porque esos campos realmente no causan cáncer, si ese es el caso, algo más debe explicar la correlación existente entre los códigos de alambre y el cáncer, algún factor de confusión todavía desconocido es el que relaciona a ambos, por ejemplo, la mayoría de las casas de código de alambre alto en los estudios de Denver, se localizaban en áreas muy viejas y muy habitadas, mientras que las casas de bajo riesgo lejanas a las líneas de transmisión se encontraban en vecindarios en los suburbios mucho más nuevos, los vecindarios del centro de la ciudad podrían tener muchos más peligros ambientales, además de los campos magnéticos fuertes tales como las emisiones industriales o el tráfico pesado, pero no se sabe específicamente que es lo que causa la leucemia en los niños, lo cual hace necesaria la búsqueda del factor de confusión y lo hace más laborioso, no es sorprendente entonces que la búsqueda se presente hasta el momento con incógnitas.

Un segundo problema que surge con la epidemiología es matemático, el cáncer en la niñez es algo raro para comenzar. El estudio sueco que resultó con 39 casos de leucemia a lo largo de un periodo de 25 años entre 127,383 niños, los cuales habían vivido en un rango de 300 m. de las líneas de transmisión de alto voltaje, cuando los investigadores están trabajando con un número tan pequeño de casos puede ser difícil, matemáticamente separar las variaciones casuales del efecto real.

Finalmente los epidemiólogos no están ni siquiera seguros de si están estudiando los aspectos apropiados de los campos electromagnéticos, la mayoría ha estudiado la exposición promedio de una persona a los campos magnéticos durante el tiempo, pero, ¿Qué pasa si los factores críticos resultan ser una exposición ocasional a campos realmente fuertes o a campos establecidos dentro de un cierto rango de intensidad?.

Ambas posibilidades han sido propuestas, pero nunca han sido estudiadas a gran profundidad.

Cualquier aparato eléctrico especialmente aquellos con motor o con una gran longitud de un elemento calorífico como calentadores produce un campo magnético. Otros aparatos como los televisores exponen a la persona a un campo de alta intensidad (solamente si uno se acerca demasiado a ellos), y hay inclusive aquellos como las rasuradoras eléctricas que pueden crear un campo fuerte al que solamente estamos expuestos de vez en cuando y por un corto periodo. Y es importante hacer notar también que los campos pueden variar substancialmente de un reloj eléctrico a otro

Pero, apesar de las evidencias, aún existen numerosos grupos de poder que intentan restar importancia a esas investigaciones, especialmente las potentes empresas, estatales o privadas, que mantienen el control de las fuentes energéticas, y por supuesto, los fabricantes de electrodomésticos. Sin embargo, se acumulan los artículos y trabajos publicados en revistas científicas de varios países, que demuestran los perniciosos efectos de las ondas electromagnéticas sobre la salud humana.

Retomando las hipótesis de varios autores en sentido de que es posible aislar el campo eléctrico y solo mencionan el magnético, realmente es especular, pues no se aísla totalmente el campo eléctrico en los sistemas de distribución de energía, además la componente de campo eléctrico es consecuencia del campo magnético perpendicularmente, y viceversa. Se disminuye la componente de campo eléctrico al elevar la corriente y en consecuencia baja el voltaje, o bien el blindaje del transformador al aterrizarlo reduce algo la componente de campo eléctrico, tomando en cuenta que en líneas de transmisión, el campo eléctrico es mayor que el magnético

y en líneas de distribución es al contrario. Entre los transformadores y las casas hay poca distancia y se tiene un alto riesgo de que campos electromagnéticos puedan entrar, concentrando su energía en estructuras metálicas, e induciendo a su paso cualquier otro material y a su vez seres vivos.

## Capítulo 3

### **3. ESTUDIO ELECTROMAGNÉTICO**

#### **3.1 TEORÍA**

##### **3.1.1 CAMPOS ELECTROSTÁTICOS**

Las fuerzas de atracción y repulsión entre los cuerpos cargados se deben a las líneas de fuerza electrostática que existen alrededor de los mismos.

En un objeto cargado negativamente, las líneas de fuerza de los electrones que hay en exceso, se suman para producir un campo electrostático, el cual consta de líneas de fuerza que llegan al objeto desde todas direcciones.

En un objeto cargado positivamente faltan electrones y esto ocasiona que las líneas de fuerza de los protones que quedaron en exceso, se sumen para producir un campo electrostático cuyas líneas de fuerza salen del objeto, hacia todas direcciones.

Estos campos electrostáticos pueden ayudarse o bien oponerse para atraer o repeler.

La intensidad de la fuerza de atracción o repulsión depende de los factores: 1) la cantidad de carga que esté en cada objeto, y 2) la distancia entre los objetos. Cuando mayores sean las cargas eléctricas en los objetos, mayor será la fuerza electrostática. Y cuando más próximos estén entre sí los objetos cargados, mayor será la fuerza electrostática. La fuerza de atracción o repulsión se debilita si disminuye alguna de las cargas o bien los objetos se alejan uno del otro.

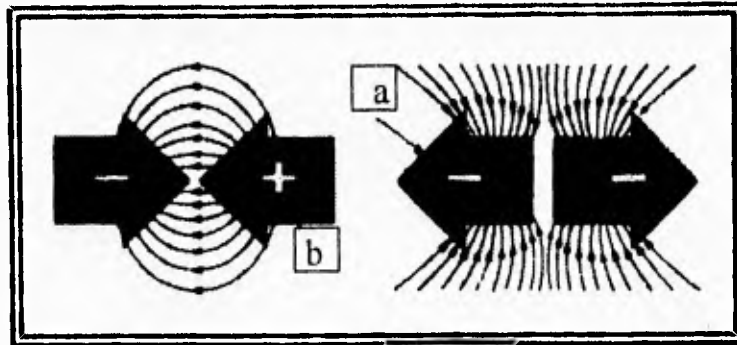


Fig.3.1 a) Cargas iguales se repelen.  
b) Cargas diferentes se atraen.

Durante el siglo XVIII, un hombre de ciencia llamado Coulomb experimentó con cargas electrostáticas, gracias a lo cual pudo formular la ley de atracción electrostática, que se conoce comúnmente como ley de las cargas electrostáticas de Coulomb. La ley postula que la fuerza de atracción o repulsión electrostática es directamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Por supuesto, mientras más electrones en exceso tenga un objeto cargado, mayor será su carga positiva.

### 3.1.2 EL CAMPO ELÉCTRICO

Cuando se carga un capacitor, una placa es negativa y la otra positiva. Puesto que los electrones son atraídos por un potencial positivo, los electrones en exceso de la placa negativa tenderían a moverse hacia la placa positiva, si no fuese por el hecho de que ambas placas están separadas por un material aislante. Aunque los electrones no pueden fluir hacia la placa positiva, la fuerza electrostática que los atrae sigue



existiendo. A esta fuerza se le llama campo eléctrico, y se puede representar mediante líneas de fuerza eléctrica existentes entre las dos placas del capacitor. Cuanto más se cargue un capacitor, más intenso será el campo eléctrico. Al aumentar las cargas, también aumentan el campo eléctrico y la fuerza de atracción entre las placas. En la práctica, un capacitor se puede sobrecargar hasta el punto en que la atracción entre la placa positiva y la negativa sea tan grande que los electrones atravesarán el aislamiento hacia la placa positiva. Cuando esto sucede, se dice que el aislamiento ha fallado o que se ha perforado.

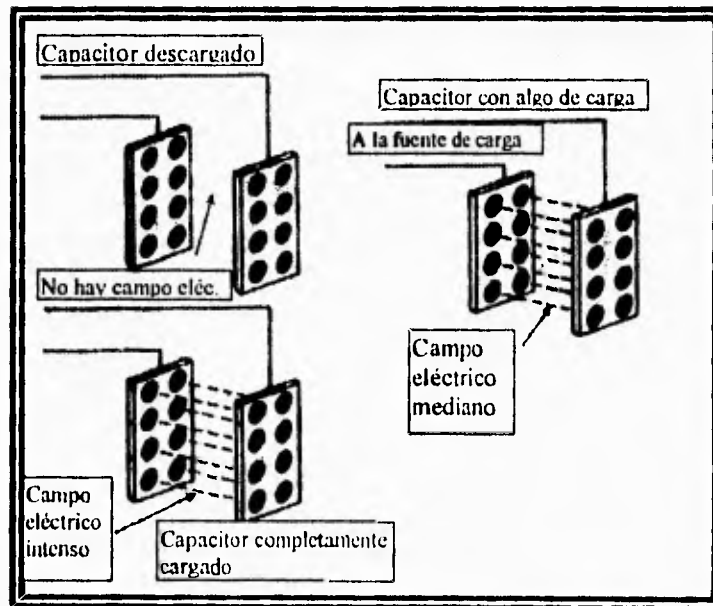


Fig. 3.2 Al cargarse un capacitor, se establece un campo eléctrico entre las placas. Mientras más cargue el capacitor, más intenso es el campo eléctrico. La energía eléctrica almacenada por un capacitor está contenida en el campo eléctrico y se manifiesta como un voltaje entre las placas.

existiendo. A esta fuerza se le llama campo eléctrico, y se puede representar mediante líneas de fuerza eléctrica existentes entre las dos placas del capacitor. Cuanto más se carga un capacitor, más intenso será el campo eléctrico. Al aumentar las cargas, también aumentan el campo eléctrico y la fuerza de atracción entre las placas. En la práctica, un capacitor se puede sobrecargar hasta el punto en que la atracción entre la placa positiva y la negativa sea tan grande que los electrones atravesarán el aislamiento hacia la placa positiva. Cuando esto sucede, se dice que el aislamiento ha fallado o que se ha perforado.

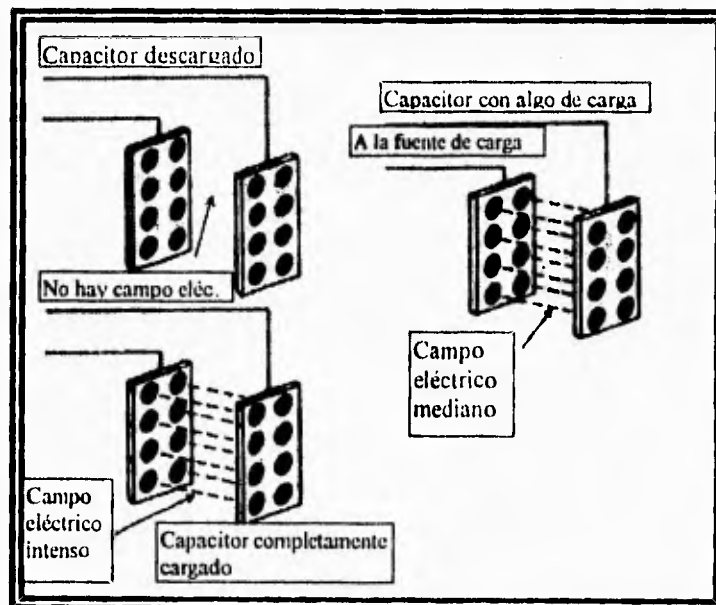


Fig. 3.2 Al cargarse un capacitor, se establece un campo eléctrico entre las placas. Mientras más cargue el capacitor, más intenso es el campo eléctrico. La energía eléctrica almacenada por un capacitor está contenida en el campo eléctrico y se manifiesta como un voltaje entre las placas.

El campo eléctrico entre las placas de un capacitor se pueden considerar como energía almacenada y se manifiesta como una tensión entre dichas placas. La tensión se reducirá si se libera energía almacenada cuando se descarga el capacitor. Esto se estudia posteriormente.

### 3.1.3 MAGNETISMO

El magnetismo fue descubierto hace más de 2,000 años por los griegos, cuando observaron que el hierro atraía cierto tipo de piedras. puesto que esta piedra se encontró por primera vez en la ciudad de Magnesia, en el Asia Menor, se le dio el nombre de magnetita.

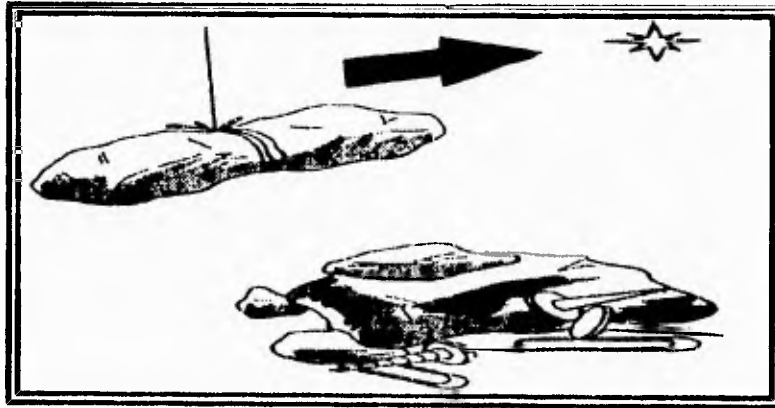


Fig. 3.3 Piedra imán

Más tarde, cuando se descubrió que esta piedra se alineaba espontáneamente en la dirección Norte a Sur al suspenderla de un cordel, se le llamó piedra de guía o imán. La magnetita constituye un imán natural que atrae a los materiales magnéticos.

### 3.1.4 EL MAGNETISMO Y EL ELECTRÓN

Aunque hay una relación estrecha entre las fuerzas eléctricas y magnéticas, las dos son totalmente diferentes. Las fuerzas magnéticas y las fuerzas electrostáticas no tienen ningún efecto una sobre otra en tanto no haya movimiento. Pero, si el campo de fuerza de cualquiera de ellas se pone en movimiento, entonces sucede algo que origina la interacción de ambas fuerzas. Puesto que se suponía que el electrón era la parte más pequeña de la materia, se partió de ello para formular una teoría que explique la relación existente entre la electricidad y el magnetismo. Se trata de la teoría electrónica del magnetismo.

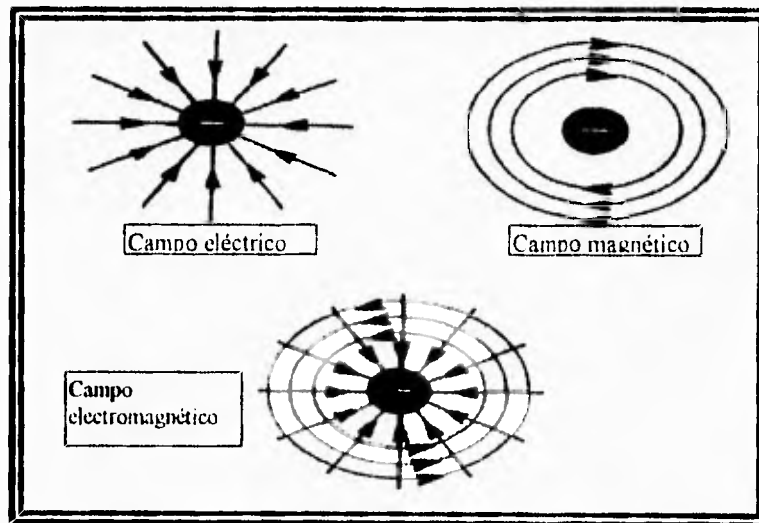


Fig. 3.4 Representación de campos

Se sabe que el electrón tiene una carga negativa y que esta carga produce un campo de fuerza que está dirigido desde todas partes hacia el electrón. Por otra parte, según se estudia en física, una carga en rotación produce un campo magnético. Por consiguiente, debido a su rotación orbital, el electrón también tiene un campo magnético. Este campo se extiende en círculos concéntricos alrededor del electrón. Así pues, las líneas electrostáticas de fuerza y las líneas magnéticas de fuerza, al encontrarse en cualquier punto, son perpendiculares entre sí. Los dos campos combinados constituyen un campo electromagnético.

### 3.1.5 LA MOLÉCULA MAGNÉTICA

En realidad, los únicos metales naturalmente magnéticos son el hierro, el níquel y el cobalto. Por otra parte, puesto que todos los materiales contienen electrones, se podría preguntar por qué no todas las cosas tienen propiedades magnéticas. La respuesta es que en los átomos, los electrones orbitales que tienen un spin opuesto tienden a formar parejas, de modo que sus campos magnéticos se oponen, anulándose mutuamente. Lo anterior no quiere decir que los elementos que tienen un número impar de electrones sean magnéticos. Esto podría suceder, si se lograra aislar los átomos; pero, por lo general, los átomos, al combinarse para formar moléculas, se disponen de la manera más apropiada para tener, en total, 8 electrones de valencia y al hacerlo, en la mayor parte de los materiales, los spins de los electrones orbitales anulan los campos eléctricos.

Sin embargo, en el hierro, níquel y cobalto, este proceso no se realiza de una manera tan ordenada. Cuando los átomos de dichos metales se combinan, se

convierten en iones y comparten sus electrones de valencia de tal modo que muchas de las órbitas de los electrones no se anulan, sino que se suman. Esto produce en el metal regiones llamadas dominios magnéticos, o moléculas magnéticas. Estas moléculas magnéticas se comportan como pequeños imanes.

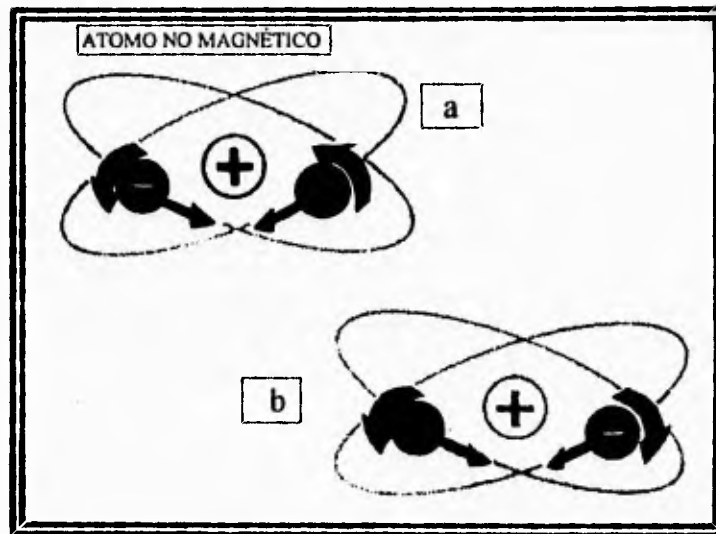


Fig. 3.5 a) Los espines opuestos de esta pareja de electrones anulan sus efectos magnéticos.  
b) En una molécula magnética los espines de los electrones que forman la pareja no son opuestos y la molécula tiene propiedades magnéticas.

Aunque el hierro, el níquel y el cobalto son los únicos materiales naturalmente magnéticos, existen procesos controlados de fabricación para obtener compuestos con buenas propiedades magnéticas.

### 3.1.6 LÍNEAS DE FUERZA

El campo magnético de un imán está formado por líneas de fuerza que se extienden en el espacio partiendo del polo N del imán y dirigiéndose al polo S. Estas líneas de fuerza no se cruzan y se van apartando al alejarse del imán. Cuando más intenso será el campo magnético.

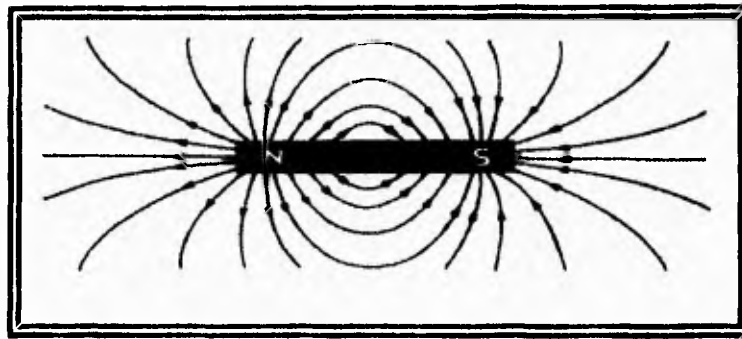


Fig. 3.6 Diagrama de líneas de fuerza magnéticas.

La existencia de las líneas de fuerza se puede demostrar rociando limaduras de hierro sobre una superficie plana y luego colocando un imán de barra sobre ellas. Las limaduras de hierro se orientarán siguiendo las líneas de fuerza y dan una imagen del campo magnético o espectro magnético. A las líneas de fuerza se les llama también líneas de flujo.

### 3.1.7 CAMPO MAGNÉTICO ALREDEDOR DE UN CONDUCTOR

Una corriente eléctrica es formada por muchos electrones libres que se mueven en un conductor en la misma dirección. Cada electrón en movimiento establece su propio

campo magnético y, puesto que los electrones se mueven en la misma dirección, sus campos particulares se combinan para producir un campo magnético general.

En un conductor al que no se le aplica tensión, la corriente es cero. Los electrones libres del conductor se desplazan y originan sus campos magnéticos particulares, pero su movimiento es al azar. En todo instante, por cada electrón que se mueva en una dirección, existe otro que se mueve en la dirección opuesta. A esto se debe que los campos magnéticos particulares se opongan o se anulen entre sí. Como resultado, no hay campo magnético fuera del conductor.

Si se aplica una tensión al conductor, muchos de los electrones libres comienzan a desplazarse en la misma dirección. Entonces sus campos magnéticos se combinan y se produce un campo magnético general. Este campo magnético se extiende fuera del conductor, de modo que cada línea de fuerza forma un círculo o trayectoria cerrada alrededor del conductor. Si la tensión aplicada al conductor aumenta, también la corriente aumenta. Entonces más electrones contribuirán al campo magnético general, de manera que su intensidad será mayor. La intensidad de un campo magnético generalmente se indica por medio del número de líneas de fuerza individuales y de la distancia que hay entre ellas. Los campos intensos tienen muchas líneas y están muy poco espaciadas.

La dirección del campo magnético alrededor de un conductor que lleva corriente, se conoce por medio de la regla de la mano izquierda, esto es; Si se cierra la mano izquierda alrededor de un conductor de manera que el pulgar señale a la dirección del flujo de la corriente, el campo magnético que rodea al conductor tendrá la dirección de los dedos que rodean al conductor.



### 3.1.8 ELECTROMAGNETISMO

Puesto que un electrón produce su propio campo magnético, debido al spin que tiene, se podría pensar que, al haber exceso de electrones en un objeto, se produciría un campo magnético. Sin embargo, también en el caso de cargas estáticas, los electrones con spines opuestos forman parejas, anulándose en este proceso sus efectos magnéticos. Por consiguiente, la electricidad estática no produce un campo magnético.

Por otra parte, los electrones que se mueven a lo largo de un conductor, sujetos a la fuerza que origina el flujo de corriente, no pueden formar parejas con los de spin opuesto. Por el contrario, como todos fluyen en la misma dirección, sus campos magnéticos tienden a sumarse.

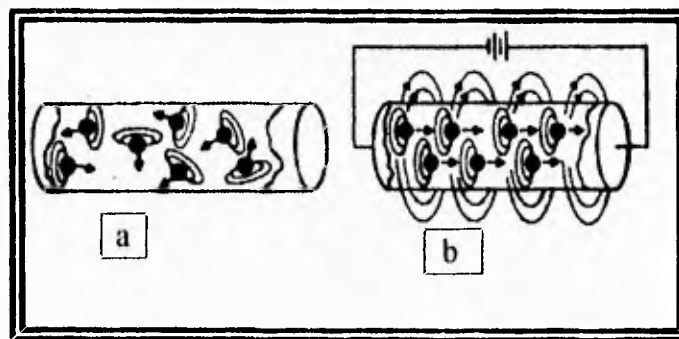


Fig. 3.7

- a) Si no hay voltaje aplicable y en consecuencia no hay corriente, los campos magnéticos de los electrones libres se anulan. No existe campo fuera del conductor.
- b) Con la aplicación de un voltaje, los electrones libres se mueven en la misma dirección y sus campos magnéticos se combinan. El campo se extiende hacia afuera del conductor.

En 1819, Hans Christian Oersted, al observar la forma en que un conductor con corriente influye en una brújula, descubrió que la corriente eléctrica produce un campo magnético.

### 3.1.9 ELECTROMAGNETISMO EN UN CONDUCTOR

Puesto que el campo magnético de un electrón forma una trayectoria cerrada a su alrededor, los campos de los electrones se combinan para formar una serie de tales trayectorias alrededor del alambre.

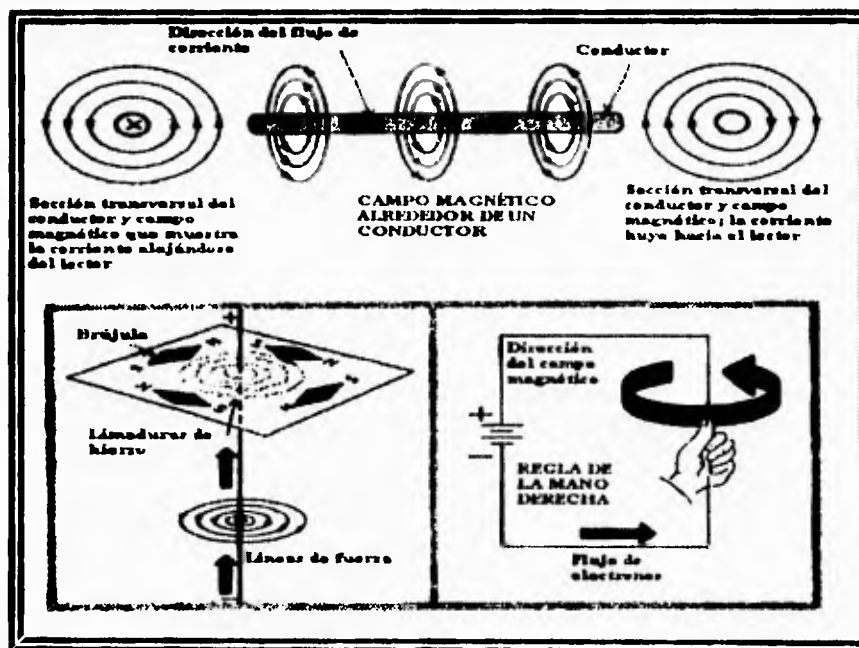


Fig. 3.8 Representación de campo electromagnético alrededor de un conductor.

La dirección del campo magnético depende de la dirección del flujo de corriente. Al mover una brújula alrededor del alambre, ésta se alinearà con las líneas de flujo.

Se puede usar la regla de la mano izquierda para determinar la dirección del campo magnético. Si se cierran los dedos alrededor del conductor y el pulgar señala la dirección del flujo de la corriente eléctrica, entonces los dedos indicarán la dirección del campo magnético.

### 3.1.10 INTENSIDAD DE CAMPO

Cuanta más corriente pase por un conductor, más intenso será el campo magnético.

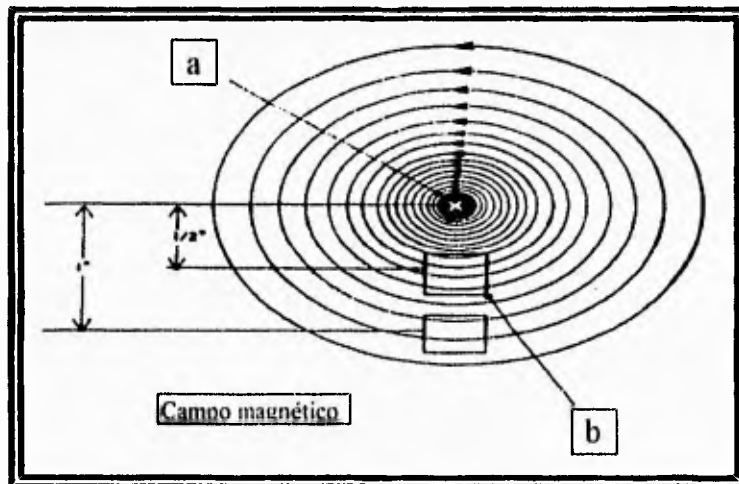


Fig. 3.9 a) Conductor con corriente

b) El doble de líneas de fuerza por unidad de área.

Así como el campo magnético, las líneas de flujo son más densas cerca del alambre y se apartan una de la otra al alejarse de éste. El campo, pues, es más intenso cerca del conductor y es más débil al aumentar la distancia.

El número de líneas de fuerza por unidad de área disminuye en proporción inversa a la distancia al conductor. Por ejemplo, a un centímetro del conductor, la densidad de fuerza es la mitad de lo que sería a medio centímetro de distancia.

### 3.1.11 INTERACCIÓN DE LOS CAMPOS MAGNÉTICOS

Si se aproximan dos conductores en los cuales la corriente fluye en direcciones opuestas sus campos magnéticos tenderán a oponerse entre sí, ya que las líneas de flujo van en direcciones opuestas.

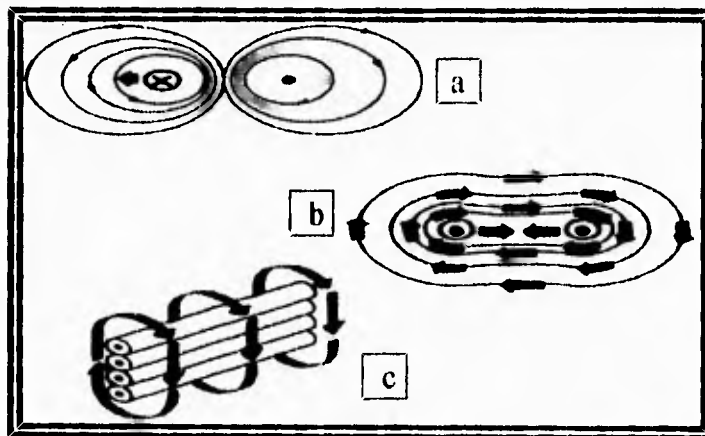


Fig. 3,10 a) Las corrientes opuestas producen campos opuestos que se repelen.  
b) Corrientes en la misma dirección, causan campos que se suman y atraen.  
c) Pueden producirse campos más intensos combinando unos cuantos conductores.

Las líneas de flujo no se pueden cruzar y los campos tienden a separar los conductores uno del otro.

Cuando se aproximan dos conductores recorridos por corrientes que fluyen en la misma dirección, los campos magnéticos se suman, ya que las líneas de flujo llevan la misma dirección. Las líneas de flujo se unen y forman trayectorias cerradas alrededor de ambos conductores y los campos tienden a acercarlos. Las líneas de flujo de ambos conductores se suman para originar un campo magnético más intenso. Tres o cuatro conductores juntos en esta forma, originarían un campo magnético aún más intenso.

### 3.1.12 EL ELECTROMAGNETISMO EN UNA ESPIRA

Si el alambre se tuerce para formar una espira, los campos magnéticos producidos alrededor del conductor se orientarán de tal manera que todos entrarán en la espira por un lado y saldrán por el otro.

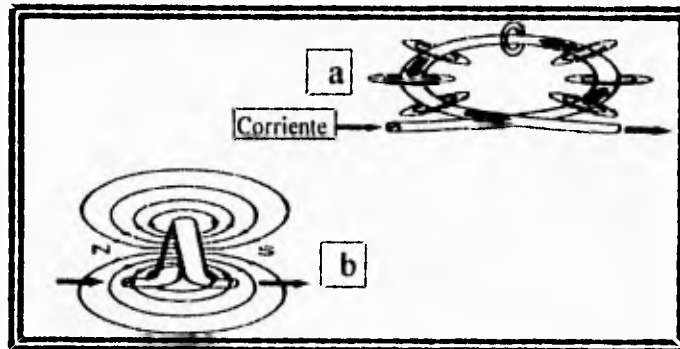


Fig. 3.11 a) Cuando se forma una espira con un conductor, todos los campos circulares entran en un lado de la espira y salen del otro lado.  
b) Las líneas de flujo se comprimen en el centro de la para crear un campo intenso. El polo N se produce en el lado del que salen las líneas de flujo

En el centro de la espira las líneas de flujo se comprimen para crear un campo más denso y, por consiguiente, más intenso. Esto determina los polos magnéticos: el norte se encuentra en el lado del que salen las líneas de flujo y el sur en el lado por el que entran.

### **3.1.13 ELECTROMAGNETISMO EN UNA BOBINA**

Si se devanan numerosas espiras en la misma dirección para formar una bobina, habrá más campos y las líneas de flujo en la bobina serán mucho más densas. El campo magnético en la bobina se vuelve muy intenso. Cuantas más espiras se tengan, más intenso será el campo magnético. Si la bobina se comprime ligeramente, los campos se juntarán aún más para formar un electroimán fortísimo.

Para producir un campo magnético intenso se utiliza una bobina devanada helicoidalmente que recibe el nombre de solenoide. Las líneas de flujo en un solenoide actúan en la misma forma que un imán. Salen del polo N, y dan la vuelta para entrar al polo S. Cuando un solenoide atrae a una barra de hierro, tiende a introducir la barra dentro de la bobina.

La regla de la mano izquierda, también se aplica a los solenoides.

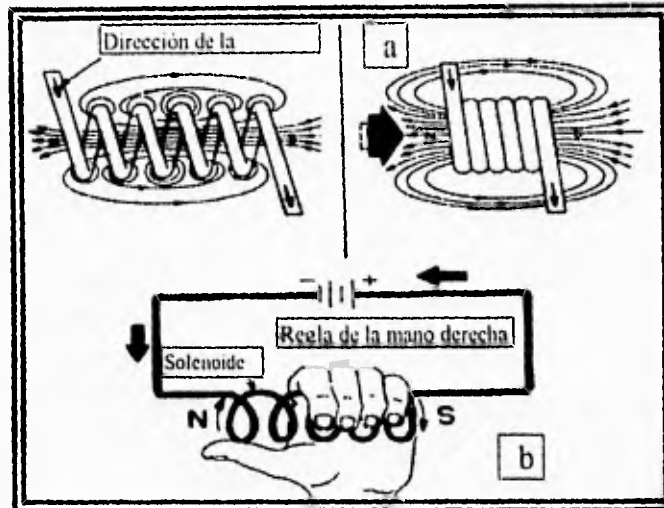
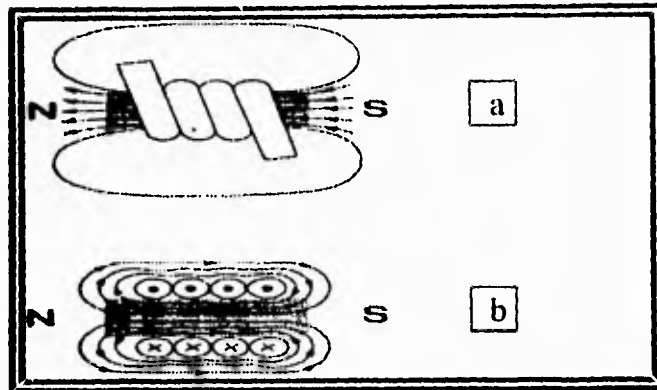


Fig. 3 12 a) Un solenoide estrechamente devanado creará un campo magnético más intenso. Una barra de hierro será atraída hacia adentro de una bobina solenoide.  
 b) El pulgar señala hacia el polo norte del solenoide. Los dedos señalan la dirección de la corriente.

Si los dedos se cierran sobre las espiras del solenoide, apuntando en la dirección del flujo de la corriente electrónica, el pulgar señalará hacia el polo N.

### 3.1.14 EL NÚCLEO MAGNÉTICO

El campo magnético en una bobina se puede hacer más intenso si se introduce un núcleo de hierro dentro del embobinado. Puesto que el hierro dulce es magnético y su reluctancia es baja, habrá mayor concentración de líneas de flujo en él que en el aire. Cuantas más líneas de flujo haya, más intenso el campo magnético.



**Fig.3.13** a) Con un núcleo de hierro aumenta la densidad del campo magnético.  
 b) La sección transversal de la bobina muestra el campo magnético alrededor del conductor.

### 3.1.15 CAMPO MAGNÉTICO ORIGINADO POR UNA CORRIENTE ALTERNA

Cuando se aplica una tensión de c-c a un conductor la corriente pasa casi instantáneamente, de cero a su valor máximo. El campo magnético de alrededor del conductor también pasa casi instantáneamente de cero a su intensidad máxima y se mantiene con esta intensidad en tanto haya flujo de corriente. Cuando se abre el circuito, la corriente se reduce a cero y el campo magnético alrededor del conductor disminuye también a cero. Generalmente, se puede imaginar la disminución de un campo magnético, como reducción de las líneas de fuerza de regreso a los electrones que las produjeron.

Cuando una corriente alterna fluye en un conductor, varía constantemente en magnitud. Esto significa que varía también el número de electrones libres que avanzan



en la misma dirección. Como resultado, el campo magnético alrededor del conductor, cambia constantemente en intensidad. Cuando mayor sea la corriente, más intenso será el campo. En forma semejante, cuando menor sea la corriente, más débil será el campo.

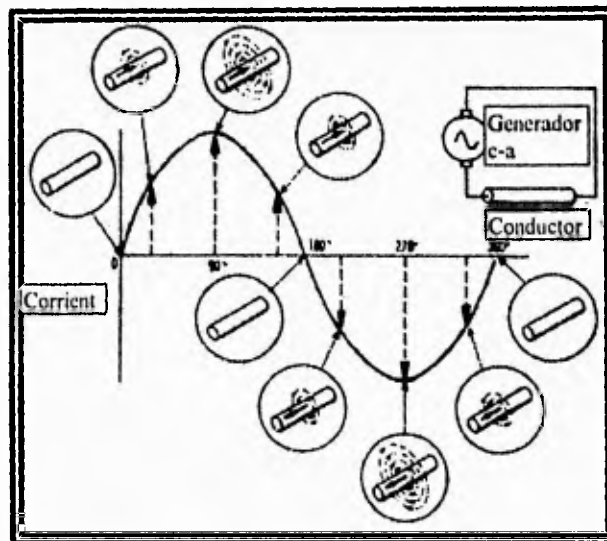


Fig.3.14 La intensidad y dirección del campo magnético alrededor de un conductor a través de la cual fluye corriente alterna, depende de la magnitud y dirección de la corriente.

Puesto que la corriente alterna cambia periódicamente de dirección, el campo magnético que produce también invierte su dirección. En cualquier instante, la dirección del campo magnético se determina por la dirección del flujo de corriente.

### 3.2 ANÁLISIS EN LÍNEAS

#### 3.2.1 DIFERENCIA DE POTENCIAL ENTRE DOS PUNTOS EN LA VECINDAD DE UNA LÍNEA DE TRES CONDUCTORES CON RETORNO POR TIERRA

Para desarrollar ecuaciones que determinen la capacidad de las líneas trifásicas, es necesario evaluar la diferencia de voltaje entre cualquier par arbitrario de puntos en la vecindad de un conductor o un grupo de conductores cargados.

En primer lugar se considera un conductor cargado "a", el cual tiene una densidad lineal de carga  $\rho_a$  y los puntos b y c externos al conductor. Además, la diferencia de voltajes en la superficie de la tierra. Ver figura 3.15

Si el conductor "a" tiene un radio  $r_a$ , se tiene

$$V_{ab} = V_a - V_b = \int_{r_a}^{d_{ab}} (\rho_a / (2 \pi \epsilon_0)) (dr_1 / r_1) = (\rho_a / 2 \pi \epsilon_0) \ln(d_{ab} / r_a) \quad (3.1)$$

similarmente para  $V_{ac}$

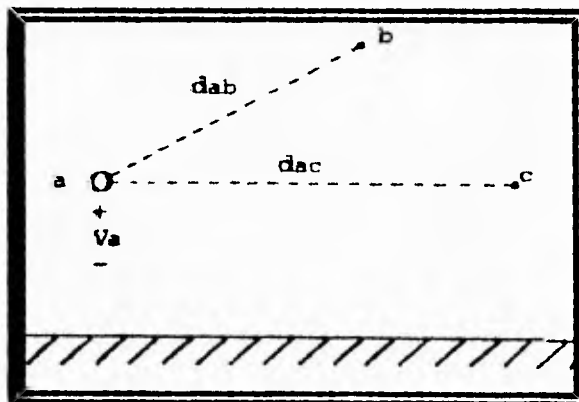


Fig.3.15 Diferencia de potencial de dos puntos externos a un conductor cargado

$$V_{ac} = (\rho_a / 2\pi\epsilon_0) \ln (d_{ac} / r_a) \quad (3.2)$$

La diferencia de potencial entre los puntos b y c es:

$$\begin{aligned} V_{bc} &= V_b - V_c = -V_{ab} + V_{ac} \\ &= (\rho_a / 2\pi\epsilon_0) \ln (d_{ac} / d_{ab}) \end{aligned} \quad (3.3)$$

Considere ahora un circuito de tres conductores paralelos aéreos. Cada uno con sus densidades lineales de carga  $\rho_a$ ,  $\rho_b$ ,  $\rho_c$  y sus imágenes. Ver figura 3.16

La diferencia de potencial entre los puntos i, j es función de la carga de cada uno de los seis conductores y pueden ser encontradas por superposición usando la ecuación:

$$V_{ij} = \sum_{k=1}^n (\rho_k / 2\pi\epsilon_0) \ln (d_{kj} / d_{ki}) \quad (3.4)$$

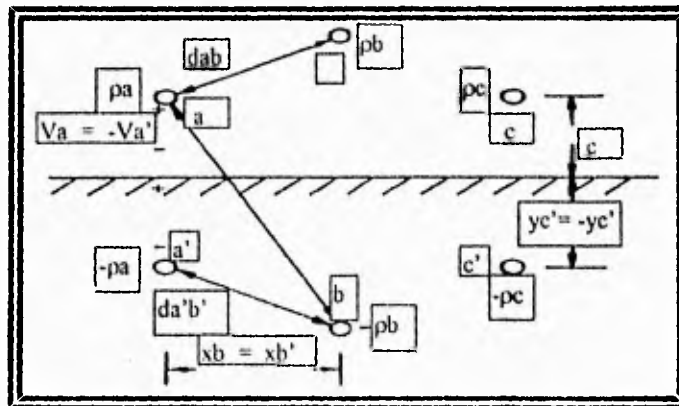


Fig 3.16 Sistema de conductores aéreos con sus imágenes

donde n es el número de conductores considerados.

La diferencia de potencial entre el conductor "a" y su imagen es:

$$V_{aa'} = (1/2\pi\epsilon_0) [\rho_a \ln((d_{aa'}d_{a'a})/(d_{aa}d_{a'a'})) + \rho_b \ln((d_{ba'}d_{b'a})/(d_{ba}d_{b'a'})) + \rho_c \ln((d_{ca'}d_{c'a})/(d_{ca}d_{c'a'}))] \quad (3.5)$$

donde

$$d_{ij} = d_{ij'} = r_i \\ d_{ij} = [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]^{1/2} \quad (3.6)$$

$$V_{aa'} = (1/\pi\epsilon_0) [\rho_a \ln((d_{a'a})/(r_a)) + \rho_b \ln((d_{b'a})/(d_{ba})) + \rho_c \ln((d_{c'a})/(d_{ca}))] \quad (3.7)$$

y como  $V_{aa'} = 2V_a$  entonces  $V_a = (1/2) V_{aa'}$

$$V_a = (1/2\pi\epsilon_0) [\rho_a \ln((d_{a'a})/(r_a)) + \rho_b \ln((d_{b'a})/(d_{ba})) + \rho_c \ln((d_{c'a})/(d_{ca}))] \quad (3.8)$$

expresiones similares se pueden encontrar para  $V_b$  y  $V_c$

$$P_{ii} = (1/2\pi\epsilon_0) \ln((d_{i,i'})/(r_i)) = (1/2\pi\epsilon_0) \ln((2y_i)/(r_i)) \quad (3.9)$$

$$P_{ij} = (1/2\pi\epsilon_0) \ln((d_{i,j'})/(d_{ij})) \quad (3.10)$$

estas expresiones son conocidas como coeficientes de Maxwell.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{aa} & P_{ab} & P_{ac} \\ P_{ba} & P_{bb} & P_{bc} \\ P_{ca} & P_{cb} & P_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \rho_a \\ \rho_b \\ \rho_c \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

### 3.2.2 PARÁMETROS DE LA LÍNEA

Los parámetros de línea son las matrices de impedancia serie y admitancia en derivación que describen el comportamiento eléctrico fundamental de una línea de transmisión.

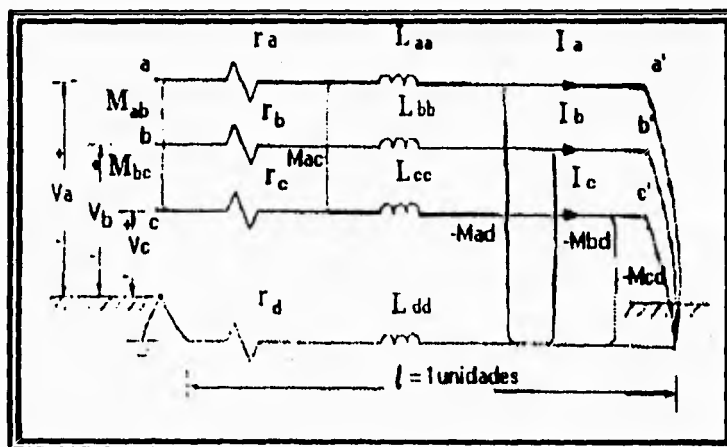


Fig. 3.17 Sistema trifásico con respecto a tierra.

### 3.2.3 IMPEDANCIA SERIE DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN TRIFÁSICAS CON RETORNO POR TIERRA.

Cuando un sistema eléctrico trifásico está desbalanceado circulará corriente por el conductor de retorno, esto es, cuando están presentes componentes de secuencia cero. Las trayectorias de retorno en un sistema eléctrico de potencia frecuentemente consisten de tierra únicamente, o de tierra en paralelo con alguna otra trayectoria tal como hilos de guarda (aéreos y aterrizados).

El método más comúnmente utilizado que toma en cuenta el retorno por tierra se debe al Dr. Carson, quien usó el método de imágenes considerando la tierra como un elemento de resistividad uniforme y de longitud infinita, ver (figura 3.17).

$$\begin{aligned} V_a = & I_a(r_a + j\omega L_{aa}) - jI_b\omega M_{ab} - jI_c\omega M_{ac} - jI_d\omega M_{ad} \\ & + I_d(r_d + j\omega L_{dd}) - jI_a\omega M_{ad} - jI_b\omega M_{bd} - jI_c\omega M_{cd} \end{aligned} \quad (3.12)$$

puesto que

$$I_d = I_a + I_b + I_c \quad (3.13)$$

y sustituyendo la ecuación (3.13) en la ec. (3.12)

$$\begin{aligned} V_a = & I_a(r_a + r_d + j\omega(L_{aa} + L_{dd} - 2M_{ad})) + \\ & I_b(r_d + j\omega(L_{dd} + M_{ab} - M_{bd} - M_{ad})) + \\ & I_c(r_d + j\omega(L_{dd} + M_{ac} - M_{ad} - M_{cd})) \end{aligned} \quad (3.14)$$

considerando la inductancia mutua entre dos conductores filamentosos paralelos en forma general y expresado el valor por unidad de longitud.

$$L_{ac} = K (\ln (2l / D_{aa}) - 1) \quad (\text{Henry/u. de long.})$$

$$M_{ab} = K (\ln (2l / d_{ab}) - 1) \quad (\text{Henry/u. de long.})$$

El método más comúnmente utilizado que toma en cuenta el retorno por tierra se debe al Dr. Carson, quien usó el método de imágenes considerando la tierra como un elemento de resistividad uniforme y de longitud infinita, ver (figura 3.17).

$$\begin{aligned} V_a = & I_a(r_a + j\omega L_{aa}) - jI_b\omega M_{ab} - jI_c\omega M_{ac} - jI_d\omega M_{ad} \\ & + I_d(r_d + j\omega L_{dd}) - jI_a\omega M_{ad} - jI_b\omega M_{bd} - jI_c\omega M_{cd} \end{aligned} \quad (3.12)$$

puesto que

$$I_d = I_a + I_b + I_c \quad (3.13)$$

y sustituyendo la ecuación (3.13) en la ec. (3.12)

$$\begin{aligned} V_a = & I_a(r_a + r_d + j\omega(L_{aa} + L_{dd} - 2M_{ad})) + \\ & I_b(r_d + j\omega(L_{dd} + M_{ab} - M_{bd} - M_{ad})) + \\ & I_c(r_d + j\omega(L_{dd} + M_{ac} - M_{ad} - M_{cd})) \end{aligned} \quad (3.14)$$

considerando la inductancia mutua entre dos conductores filamentosos paralelos en forma general y expresado el valor por unidad de longitud.

$$L_{ac} = K (\ln(2l / D_{aa}) - 1) \quad (\text{Henry/u. de long.})$$

$$M_{ab} = K (\ln(2l / d_{ab}) - 1) \quad (\text{Henry/u. de long.})$$

donde

$$K = (\mu_0/2\pi) \quad (\text{Henry /u. long.})$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \quad (\text{Henry / mt.})$$

$$l = \text{Longitud total de la linea.}$$

tenemos que:

$$\begin{aligned} L_{aa} + L_{dd} - 2M_{ad} &= \kappa \ln [d_{ad}^2 / (D_{aa}D_{dd})] \\ L_{dd} + M_{ab} - M_{ad} - M_{bd} &= k \ln [(d_{bd} d_{ad}) / (D_{dd} d_{ab})] \\ L_{dd} + M_{ac} - M_{ad} - M_{cd} &= k \ln [(d_{cd} d_{ad}) / (D_{dd} d_{ac})] \end{aligned} \quad (3.15)$$

Debido a que las distancias entre los conductores son muy pequeñas comparadas con las distancias entre estos y el conductor de retorno se tiene:

$$D_e = [d_{ad}^2 / d_{dd}] \approx [(d_{bd} d_{ad}) / D_{dd}] \approx [(d_{cd} d_{ad}) / D_{dd}] \quad (3.16)$$

donde  $D_e$  es la distancia equivalente de penetración de la corriente en tierra. Sustituyendo la ec. (3.16) en la ec. (3.15) y el resultado de éstas a su vez en la ec. (3.14), se obtiene:

$$\begin{aligned} V_a &= I_a [r_a + r_d + jwkl \ln (D_e / D_{aa})] + \\ &I_b [r_b + jwkl \ln (D_e / d_{ab})] + \\ &I_c [r_c + jwkl \ln (D_e / d_{ac})] \end{aligned} \quad (3.17)$$



Expresiones similares pueden obtenerse para  $V_b$  y  $V_c$ .

En notación matricial se tiene.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa-g} & Z_{ab-g} & Z_{ac-g} \\ Z_{ba-g} & Z_{bb-g} & Z_{bc-g} \\ Z_{ca-g} & Z_{cb-g} & Z_{cc-g} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

Los términos  $r_d$  y  $D_c$  pueden calcularse mediante la serie infinita de Carson.

### 3.2.4 ADMITANCIAS EN DERIVACIÓN DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN.

Por definición, la capacitancia es igual a la razón de la carga a la diferencia de voltaje. Para el caso de una distribución lineal de carga se tiene:

$$C = Q/V = (\rho L)/V \quad (\text{Farads}) \quad (3.19)$$

y despejando  $\rho L$  de la ec. (3.19)

$$\rho L = (C/l)V \quad (\text{coul/u. de longitud}) \quad (3.20)$$

donde

$Q$  = Carga en couls.

$V$  = Diferencia de potencial en volts.

$\rho_L$  = Densidad de carga por unidad de longitud.

$l$  = Unidad de longitud.

Si la ecuación matricial (3.11) es multiplicada por la inversa de la matriz de coeficientes de Maxwell se obtiene:

$$[\rho_{a,b,c}] = [P_{a,b,c}]^{-1} [V_{a,b,c}] = [C_{a,b,c}] [V_{a,b,c}] \quad (3.21)$$

Los elementos de la matriz  $[C_{a,b,c}]$  se llaman coeficientes de Maxwell. Los términos de la diagonal se les llama *coeficientes de capacitancia* y los términos fuera de la diagonal *coeficientes de inducción electrostática*.

### 3.2.5 CAMPO ELÉCTRICO EN LÍNEAS

Con el advenimiento de líneas de transmisión de extra alta y ultra alta tensión se presenta el problema del gran campo eléctrico al nivel del suelo. Dos parámetros son importantes para propósito de diseño: el máximo campo dentro y en el extremo del derecho de vía.

Los efectos electrostáticos de líneas aéreas de transmisión de extra alta tensión son causados por el alto voltaje de operación. Este fenómeno es importante pues debido a él los cuerpos metálicos cercanos a la línea de transmisión pueden cargarse capacitivamente pudiendo causar daño a seres humanos, animales, plantas, etc. También es importante considerar este fenómeno cuando por alguna circunstancia algún circuito de distribución tenga que pasar paralelo a la línea de transmisión, ya que los voltajes inducidos generan corrientes que pueden dañar las protecciones del circuito de distribución.

El vector campo en un punto A debido a la carga de un conductor aéreo está dado por

$$E = q / (2\pi\epsilon_0 d)$$

Para un sistema con n conductores

$$[V] = (1 / 2\pi\epsilon_0) [P] [Q] \quad (3.22)$$

y por tanto

$$(1 / 2\pi\epsilon_0) [Q] = [P]^{-1} [V] \quad (3.23)$$

Una vez obtenidos los coeficientes de densidad de carga considerando al conductor y a su imagen, se evalúa la siguiente expresión:

$$E = (1 / 2\pi\epsilon_0) \sum_{i=0}^n (Q_i / d_{ij}) \quad (3.24)$$

Esta ecuación nos da el valor del campo eléctrico en el punto propuesto.

### 3.2.6 PERFIL LATERAL DEL CAMPO ELÉCTRICO AL NIVEL DEL SUELO

Una importante consideración de diseño es la de estimar el valor del campo eléctrico al nivel del suelo partiendo del centro de la línea hacia una orilla de la configuración propuesta. En la figura 3.18 se obtiene una serie de valores del campo eléctrico variando la distancia al punto de evaluación. De esta forma se puede trazar una curva que se conoce con el nombre de perfil lateral del campo eléctrico (fig.3.19). En una curva de perfil lateral se puede apreciar el comportamiento del campo eléctrico a lo ancho del corredor de la línea, observándose la localización del valor máximo del campo eléctrico.

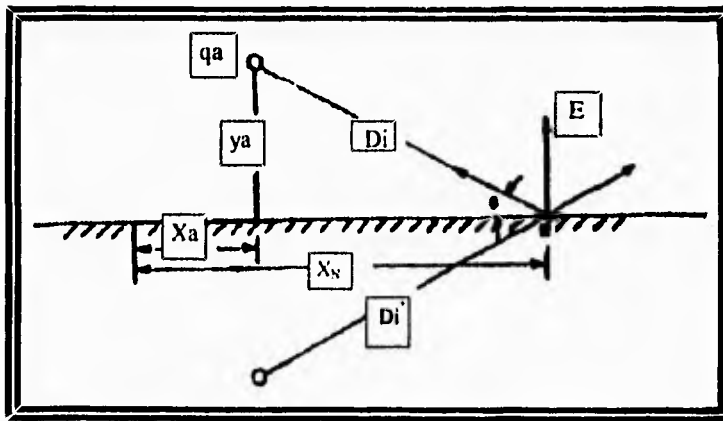


Fig.3.18 Campo eléctrico en el terreno causado por un conductor cargado.

Normalmente al nivel del suelo la componente horizontal del campo eléctrico es cero donde quiera, ya que la superficie de la tierra se asume como una superficie equipotencial. También para cualquier punto en la tierra. Las distancias desde el conductor aéreo y su imagen son semejantes tal que  $D_i$  e  $D_i'$  son iguales; donde  $D_i$

es la distancia del conductor al punto de evaluación y  $D_i'$  es la distancia de la imagen del conductor al punto de evaluación.

De esta forma se puede evaluar el campo eléctrico al nivel del suelo con la siguiente expresión:

$$E_a = (Q / (2\pi\epsilon_0)) (2y_a / ((x_a - x_n)^2 + y_a^2)) \quad (3.25)$$

donde  $Q$  es la carga en el conductor "a" calculada a partir de la ecuación 3.20 y  $(x_a - x_n)$  es la distancia horizontal entre el conductor "a" y el punto "n". donde el campo es calculado.

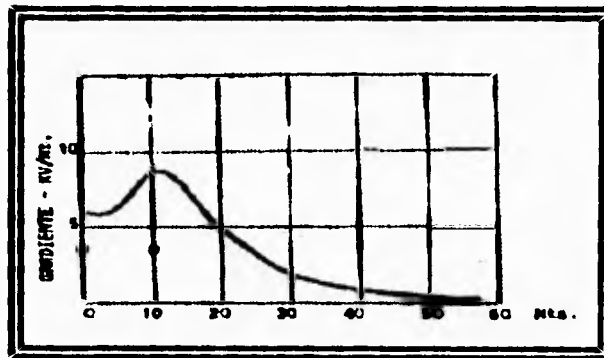


Fig.3.19 Perfil lateral del campo eléctrico. Línea a 525 KV con 3 conductores de 3.3cm., 45cm. entre subconductores espaciados 10mts. y a 10.6mts. sobre el terreno, configuración horizontal.

El campo total en el punto "n" se obtiene sumando la contribución de todos los conductores ( a, b, c.....):

$$E = E_a + E_b + E_c + \dots$$

### 3.2.7 INDUCCIÓN EN CIRCUITOS PARALELOS

Como se mencionó previamente, otro circuito que pase junto a una línea de transmisión de extra alto voltaje tiene el peligro de inducirse electrostáticamente y puede resultar muy peligroso.

Para el cálculo de voltajes inducidos electrostáticamente se puede proceder de la siguiente manera:

Se obtienen las cargas en los conductores del circuito energizado tal como se obtuvieron en la ecuación 3.21, y se procede a evaluar los coeficientes de Maxwell para los dos circuitos. De esta manera se obtienen las cargas que inducen el voltaje y los coeficientes que relacionan a los dos circuitos. Por tanto se puede evaluar la siguiente expresión:

$$[ P ] = \begin{bmatrix} [ P_{abc} ]^{1,1} & [ P_{abc} ]^{1,2} \\ [ P_{abc} ]^{2,1} & [ P_{abc} ]^{2,2} \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

y hacer

$$[V]_{4,5,6} = (1 / (2\pi\epsilon_0)) [P]^{(1,2)} [Q]_{1,2,3} \quad (3.27)$$

obteniéndose los voltaje en los conductores 4,5 y 6 debido a las cargas 1,2 y 3.

De esta manera se puede evaluar el voltaje inducido en un circuito paralelo y tomar acciones correctivas en la etapa de prediseño.

### 3.2.8 INDUCCIÓN MAGNÉTICA EN LÍNEAS

Este tópico concierne a los efectos inductivos producidos por la corriente en una línea de baja frecuencia (60 ó 50)Hz.

Al igual que el campo eléctrico, el campo magnético es un factor de diseño de una línea de transmisión de extra alto voltaje, pues las corrientes de línea que circulan pueden causar corrientes inducidas en circuitos paralelos, hilos de guarda u objetos metálicos cercanos a las líneas.

La magnitud del campo magnético en el punto  $(x_i, y_i)$  a una distancia  $r_{ij}$  debida a la corriente en el conductor  $I_i$  está dada por:

$$H_{ij} = I_i / (2\pi r_{ij}) \text{ (A/m)}$$

En notación vectorial

$$\vec{H}_{ij} = (I_i \times \vec{r}_{ij}) / (2\pi r_{ij}) = (I_i / 2\pi r_{ij}) \vec{\phi}_{ij} \quad (3.28)$$

donde  $\vec{\phi}_{ij}$  es el vector unitario en la dirección del producto del vector corriente y el vector segmento  $r_{ij}$ . El vector unitario es igual a:

$$\vec{\phi}_{ij} = ((y_i - y_j) / (r_{ij})) (\vec{U}_x) + ((x_i - x_j) / (r_{ij})) (\vec{U}_y)$$

donde  $\vec{U}_x$  y  $\vec{U}_y$  son los vectores unitarios en la dirección de los ejes horizontal y vertical respectivamente.

El campo magnético total es la suma de todas contribuciones de las corrientes de la línea.

$$\vec{H}_j = \sum_{i=1}^n (I_i / (2\pi r_{ij})) \vec{\phi}_{ij}$$

La densidad de flujo magnético es:

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

donde  $\mu$  es la permeabilidad del medio ( $\mu = 4 \pi \times 10^{-7}$  H/m para el aire y la tierra).

En casos más prácticos, el campo magnético en la proximidad de líneas trifásicas balanceadas puede ser calculado considerando las corrientes en los conductores y en los hilos de guarda e ignorando las corrientes a tierra.



El campo magnético se ve afectado por la presencia de corrientes de retorno por tierra especialmente para grandes distancias de la línea: luego entonces, es necesario para el cálculo de las corrientes tomar en cuenta el factor de corrección que proporcionan las ecuaciones de Carson o alguna otra aproximación que estime el efecto de retorno por tierra.

### 3.2.9 INDUCCIÓN DE CIRCUITOS PARALELOS

Una línea de transmisión de potencia puede inducir voltajes y corrientes significantes en los objetos que tienen una longitud considerable y que estén paralelos a la línea. Tales como: cercas, alambrados, circuitos paralelos, tuberías, etc.

Las corrientes inducidas en los hilos de guarda por la corriente en las líneas de potencia se calculan considerando que no fluye corriente de los hilos de guarda a tierra a través de la torres. Esta suposición es válida para una línea de longitud media, con impedancias uniformes de la torre y de la tierra.

La transposición de la línea, la discontinuidad de los hilos de guarda y las terminaciones de la línea invalidan esta suposición.

Las corrientes en los hilos de guarda se calculan por:

$$\begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} \\ Z_{ba} & Z_{bb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

En esta ecuación  $I_a$  representa las corrientes de línea e  $I_b$  representa las corrientes en los hilos de guarda.  $V_a$  y  $V_b$  representa los voltajes de la línea y de los hilos de guarda, respectivamente.  $Z_{aa}$ ,  $Z_{ab}$ ,  $Z_{ba}$  y  $Z_{bb}$  son las matrices de impedancias. Las corrientes en los hilos de guarda se calculan en la ec. (3.29) para  $V_b = 0$ .

$$[ I_b ] = - [ Z_{bb} ]^{-1} [ Z_{ab} ] [ I_a ] \quad (3.30)$$

Las corrientes en los hilos de guarda deben considerarse cuando se calcula el efecto inductivo en alambres paralelos a las líneas de potencia. La presencia de hilos de guarda reduce un poco la magnitud del campo y de la inducción magnética en objetos.

Con respecto a la inducción magnética la mayor preocupación es, el efecto de las corrientes inducidas en terrenos semiconductores, en líneas de transmisión de energía, e interferencia en sistemas de comunicación.

### **3.3 GENERALIDADES DEL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO (EMF).**

La corriente eléctrica alterna que entregan las compañías de electricidad va a través de un ciclo completo de 60 veces por segundo a una velocidad conocida como de 60Hz. (Observando que en líneas de transmisión se tiene un vector de campo eléctrico mayor que el magnético por el voltaje sumamente alto y corriente baja; y en la distribución al bajar el voltaje por medio de transformadores aislados, el vector de campo magnético es mayor que el eléctrico). El campo magnético asociado cambia de dirección dos veces en cada ciclo o 120 veces por segundo, en contraste el campo

magnético de la Tierra en sí mismo, el cual es mucho más fuerte, es relativamente constante y no cambia de dirección.

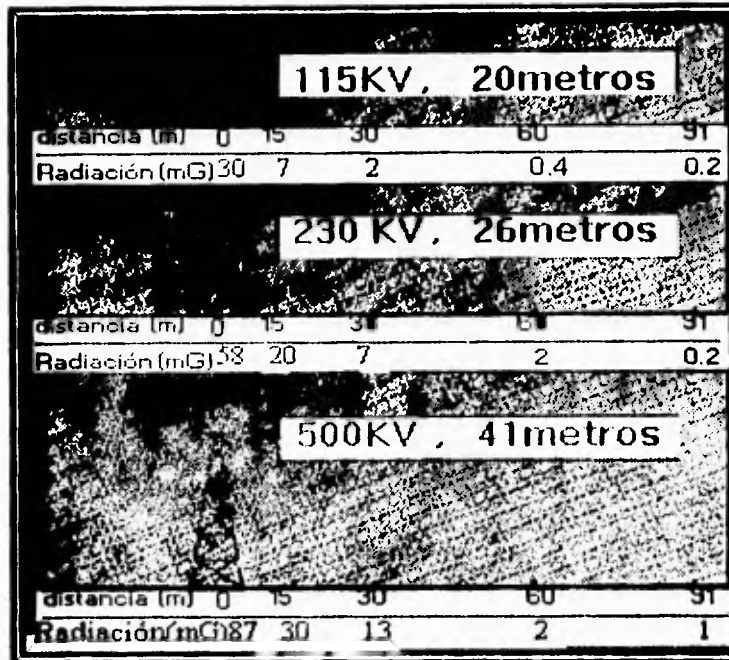


Fig. 3.20 Los campos electromagnéticos de las líneas de transmisión fluctúan substancialmente con respecto a la energía suministrada, de acuerdo a las necesidades eléctricas. ( Representación del campo electromagnético según Científicos del Electric Power Research Institute).

Los campos electromagnéticos tienen algunas propiedades particulares: Se vuelven más fuertes en proporción a la fuerza de la corriente y su intensidad disminuye rápidamente con la distancia de la fuente.

Los hogares donde se ha investigado, típicamente tienen un nivel constante en el campo que va desde 0.1 hasta 2 miligauss que es la unidad estándar de medida para los campos magnéticos. La investigación epidemiológica a la exposición de campo eléctrico entonces se ha enfocado a los campos que miden más allá de 2 o 3 miligauss.

Una fuente de los campos caseros son las líneas de energía cercanas o las líneas de distribución del vecindario, a pesar de que los campos directamente debajo de las líneas de transmisión pueden ser de más de 50 miligauss, estos disminuyen rápidamente con la distancia.

A 91.44 metros de una gran línea de 500 KV, el campo magnético puede ser de tan sólo un miligauss. Las líneas de distribución en los vecindarios pueden aparentar ser mucho menos amenazadoras, pero éstas pasan más cerca de las casas y pueden en ocasiones producir campos superiores a 2 miligauss. Otra fuente de los campos es el sistema de tierra que protege a algunas construcciones de los rayos y los shocks eléctricos ocasionados por utensilios que fallan. Un gran número de utensilios comunes pueden generar campos electromagnéticos relativamente fuertes; pero, la intensidad de los campos generalmente disminuye a valores inmesurables a pocos centímetros de distancia.

## Capítulo 4

#### **4. PLANTEAMIENTO Y EVALUACIÓN DEL PROBLEMA CON LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS**

Se ha mencionado que en últimos tiempos se han encontrado enfermedades como cáncer, leucemia, comportamientos en humanos de depresión que se relacionan con la radiación de campos electromagnéticos. ¿Realmente sucede esto?, lo mejor es enfocarlo en un contexto en el que no se caiga en exageraciones y obtener un resultado más real. Las líneas de suministro de energía eléctrica si producen campos electromagnéticos la cuestión es ¿Si prevén esto las compañías eléctricas y los fabricantes de electrodomésticos?. ¿Afectan a los seres vivos la radiación de los campos electromagnéticos?. Y si es así, ¿hay estudios biomédicos que puedan respaldarlo?.

Podemos contestarnos 4 preguntas referentes, de que el campo electromagnético puede promover influencias en los seres vivos:

1) ¿Cómo?. Se dice que por medio de líneas de suministro de energía eléctrica y aparatos electrodomésticos, los cuales producen campos electromagnéticos, que pueden introducirse en el cuerpo induciéndolo de alguna forma con corrientes eléctricas de 60Hz alterando de alguna forma el sistema del cuerpo.

2) ¿Cuándo?. Los primeros indicios que llamaron la atención fueron en 1979, cuando una investigación sobre niños con leucemia relacionaba a los transformadores y líneas de distribución con la enfermedad, hasta la fecha se tiene esta teoría y otras relacionando a todo el sistema de suministro de energía eléctrica así como electrodomésticos, con diversas manifestaciones en seres vivos.

**3) ¿Dónde?** Los primeros estudios que se tiene conocimiento son los que se realizaron en Denver E.U. aunque ha habido varios en distintas partes del mundo. Y los problemas los podemos tener en nuestra propia casa.

**4) ¿Porqué?** Por la electricidad que recibimos en nuestra casa, ésta produce campos electromagnéticos de 60Hz los cuales son emitidos fuertemente al medio, traspasando casi cualquier material inclusive a los seres vivos, sólo que en los seres vivos su composición molecular y sistemas, son tan delicados que con cualquier alteración en estos se tienen graves consecuencias.

Por medio de la epidemiología se realizaron los primeros indicios de radiación electromagnética y consistieron en comparar entre un caso con los factores que pueden producir el fenómeno y otro con factores aislados. Sólo que realmente se necesita la colaboración de científicos de todas las disciplinas para delimitar el problema. Aquí se está abriendo un camino a algo que es nuevo para casi todas las disciplinas, por lo que se auxilia de varias formas para atacar el problema, y llegar a algo que pueda esclarecer el problema y sirva como ayuda para investigaciones más a fondo, pues el camino recorrido indica que hay varias desviaciones que conducen a otros lugares desconocidos y posiblemente estos abran un panorama más claro.

## Capítulo 5



## 5. ESTUDIO BIOMÉDICO.

A pesar de que la epidemiología puede sugerir una conexión causal, solamente en la investigación de laboratorio y clínica se puede reafirmar. Las consecuencias biológicas de las radiaciones electromagnéticas han sido poco investigadas y los resultados son limitados.

*Cuando las células en el laboratorio son expuestas a campos electromagnéticos, los campos inducen pequeñas corrientes eléctricas en las células. Varios experimentos han mostrado que algo está sucediendo dentro de esas cajas de Petri bajo tales condiciones, dice Jack Adams, investigador del Departamento de Ingeniería y Políticas Públicas de la Universidad de Carnegie Mellon. Los campos electromagnéticos pueden, por ejemplo, afectar el funcionamiento de la membrana celular, el procesamiento de la información genética, y la producción de neurotransmisores así como la actividad de las células del sistema inmune. De cualquier forma, muchos de los experimentos en el laboratorio han sido llevado a cabo con campos, docenas de veces más fuertes que aquellos que los humanos están expuestos ordinariamente.*

Es aún muy poco claro, si los cambios celulares que suceden en la caja de petri se pueden trasladar a cambios celulares en un organismo vivo. Los estudios europeos en roedores con cáncer de pecho inducido químicamente, han mostrado que las células cancerosas parecen crecer más rápido bajo la influencia de campos electromagnéticos extremadamente intensos. Pero otros estudios en animales tienden a mostrar que los campos electromagnéticos tienen muy poco efecto, o efecto nulo en la reproducción o en la salud.

Si se exceptúan los virus, las células matrices de todos los organismos vivos sufren alteraciones de los iones (que juegan un papel fundamental en el organismo) a través de mecanismos electroquímicos, y se pueden desequilibrar por el efecto de las ondas electromagnéticas. Se produce entonces un fenómeno denominado resonancia, que interfiere en los mecanismos de entrada y salida de sustancias a través de la membrana celular, poniendo así en peligro todo el equilibrio de un tejido u órgano.

El trabajo de laboratorio también ha mostrado que la exposición a niveles débiles de campos de baja frecuencia, disminuye el flujo de calcio en las células cerebrales de los pollos. Otros estudios han confirmado que los campos afectan el movimiento del calcio a través de las membranas celulares, pero, Indira Nair del Departamento de Ingeniería y Políticas Públicas de la Universidad de Carnegie Mellon en Pittsburgh, dice, *No conocemos el significado biológicamente* a pesar de que el calcio es principal en el metabolismo de la célula y su crecimiento.

Algunos experimentos han demostrado que la transcripción es acelerada por la exposición a los campos. La relación exacta de la transcripción del DNA a la producción de cáncer todavía no ha sido determinada, pero es un mecanismo potencial de desarrollo de cáncer que los investigadores creen que requiere mayor investigación.

En 1994 otra teoría fue respaldada por datos experimentales, aquella que dice que los campos de baja frecuencia interrumpen las membranas lipídicas de la célula, lo cual podría cambiar el control celular sobre los agentes químicos que tratan de entrar o salir de ella.

En este punto, la mayoría de la evidencia de laboratorio establece relaciones de los campos con la promoción del cáncer más que con la iniciación del mismo. La promoción del cáncer, o crecimiento, es un aspecto serio, porque, aun con los riesgos tan bajos como un factor de 2, *esto significa que tiene una tendencia a duplicar todos nuestros riesgos de otras cosas dado que está en todos lados, dice Nair.*

La exposición de campo de células cancerígenas en un plato de cultivo se ha encontrado que acelera significativamente el crecimiento de la célula, la cual continúa a una rápida tasa de crecimiento aún después de que la exposición al campo se ha detenido. En estudios con animales, ratas con tumores mamarios iniciados químicamente mostraron una tasa de crecimiento del tumor mucho mayores cuando estaban expuestos a campos de baja frecuencia. Y, de acuerdo con Nair, un estudio de células mamarias llevado a cabo por el laboratorio Lawrence Berkeley, en Berkeley California, mostró que las células cancerígenas reaccionan a la exposición a campos electromagnéticos por medio de proliferación, mientras que las células no cancerígenas no lo hacen.

Un resultado benéfico de los experimentos biológicos con campos electromagnéticos ha sido el uso en algunos hospitales de campos muy fuertes utilizados para estimular el restablecimiento de huesos rotos.

Críticos dicen, no tiene caso para efectos biológicos estar trabajando en el laboratorio con campos electromagnéticos, dado que muchos de los niveles de campo estudiados están debajo del propio nivel interno de ruido electromagnético del cuerpo.

Algunos biólogos dicen que las formas del cuerpo de ordenar las señales a partir del ruido no están totalmente entendidas, y que los experimentos de laboratorio no

han sido capaces de mostrar que los campos más fuertes causan más efecto que los campos más débiles. En verdad, algunos efectos observados en campos débiles desaparecen cuando se hacen más fuertes, o por lo menos no muestran incremento, posiblemente por la resonancia entre los campos de alta frecuencia y las células vivas. Otro factor puede ser la forma del pulso, la onda sinusoidal de 60Hz de las líneas de potencia y el pulso de 60Hz de las terminales de video(VDTs) tienen formas diferentes.

Recientemente algunos investigadores han sugerido que los campos electromagnéticos pueden influenciar la salud por medio de una hormona llamada melatonina. La melatonina es producida en la glándula pineal, es un órgano del tamaño de un chícharo que se encuentra dentro del cerebro y es exquisitamente sensitivo a la luz y a la obscuridad. Este produce la melatonina solamente en la obscuridad. La luz del día suprime la producción de la melatonina y alguna investigación reciente en animales ha sugerido que los campos magnéticos también la pueden suprimir.

La melatonina está involucrada en la regulación del ciclo menstrual femenino y los ritmos diarios.

La secreción de la melatonina alcanza sus picos en la noche, pero puede ser suprimida por medio de luz brillante. Los experimentos de varios laboratorios, dijo Thomas S. Tenforde, jefe del Life Sciences Center en el Laboratorio Battelle Pacific Northwest, en Richland, Wash., han mostrado que los campos también suprimen la producción nocturna de la melatonina pineal en animales y, en estudios recientes, en humanos. Es posible que la glándula pineal responda a los campos electromagnéticos por mecanismos muy similares a aquellos que responden a la luz. Los campos

electromagnéticos también parecen cerrar parcialmente las uniones entre las células, de tal modo que la señalización de las células es inhibida. La melatonina puede facilitar esta transferencia, pero la exposición a campos, aún en la presencia de la melatonina, puede destruir todo esto, dice Carl Blakman un investigador en Biología de la E.P.A. (Environmental Protection Agency).

En el laboratorio, la presencia de la melatonina ha mostrado que suprime el crecimiento de cáncer en animales y en cultivos de células. Y las células de tumores mamarios, en particular, tienen receptores que responden a la melatonina; la remoción de las glándulas pineales ha mostrado grabar el crecimiento de tumores mamarios en roedores.

Hay varias teorías para explicar esto. De acuerdo a una, la disminución de melatonina lleva hacia un aumento en el estrógeno y prolactina, las cuales promueven el cáncer mamario. Otra teoría señala el hecho de que es un antioxidante, así que su supresión puede permitir un mayor daño por radicales libres, los cuales tanto inician como promueven el cáncer.

### **5.1 ANÁLISIS BIOMÉDICO**

Lo que resulta importante es conocer qué reacción producen los campos electromagnéticos en los tejidos biológicos.

Las corrientes eléctricas pueden crecer dentro del cuerpo como una consecuencia de la exposición a campos electromagnéticos de tiempo variable, la magnitud de estas

corrientes en cualquier punto dado dentro del cuerpo es una función del campo aplicado, de la conductividad del tejido, la tierra y los efectos protectores, y la condición física del cuerpo .

Analizando el campo electromagnético tenemos que para una intensidad de un campo magnético dado el flujo de corriente inducida, es aproximadamente proporcional a la sección transversal del cuerpo, perpendicular al vector de campo magnético impuesto, por lo tanto la corriente inducida en el torso de un adulto será más grande, que aquella inducida en la de un niño pequeño cuando ambos estén orientados idénticamente en un campo electromagnético variable con respecto al tiempo.

Las consecuencias biológicas de las radiaciones electromagnéticas han sido solamente investigadas superficialmente. Los resultados de estos estudios limitados han mostrado de cualquier forma que hay una secuela de estas exposiciones en animales experimentales y en los hombres. En la extremada baja frecuencia (ELF;50-60 Hz) los campos creados dentro de tales frecuencias son comúnmente asociados con la generación de electricidad y los sistemas de transmisión. La fuerza ambiental que influyen los campos electromagnéticos parece interactuar con el tejido neural en un gran número de puntos.

Wilson y Cols., 1981, expusieron ratas adultas a un campo electromagnético uniforme vertical de 60Hz en un sistema de exposición de platos paralelos a un campo de 1.7 a 1.9 KV/m (Wilson y cols. 1983) durante 20 horas de un periodo de 24 horas, por 30 días mantenidos en un ciclo de luz-oscuridad de 14-10 hr. Se utilizaron animales de control los cuales se expusieron al mismo ambiente, pero no hubo campo electromagnético. Después se analizaron sus glándulas pineales con cromatografía de

gases para determinar el contenido de melatonina (hormona que produce la glándula pineal). Los resultados revelaron que se alteró de manera significativa el metabolismo de la glándula por el tratamiento del campo electromagnético ya que se atenuó la producción de melatonina nocturna.

Wilson y Cols. en 1981, propusieron varios mecanismos para intentar explicar porqué la exposición a los campos electromagnéticos suprime la producción nocturna de melatonina por la pineal, posiblemente por un cambio en la serotonina (que es el precursor de la melatonina), o que quizá estos campos hayan alterado el nivel de disparo de la inervación ganglionar simpática como vía a la pineal.

Este mismo grupo en 1986, confirmó sus hallazgos al exponer ratas macho adultas a campos eléctricos uniformes de 60 Hz con un campo efectivo de 39 Kv/m. Las ratas se sacrificaron 1, 2, 3, ó 4 semanas de exposición, se disminuyó significativamente la producción de melatonina. Sin embargo, estos autores (Wilson y Cols., 1986) también encontraron que al suspender la exposición a los campos electromagnéticos por 3 días, se suprime el efecto y se restablece la producción de melatonina por la pineal, lo cual sugiere que el deterioro producido por los campos electromagnéticos no produce un daño permanente a esta glándula neuroendócrina.

Graham y sus colaboradores han reportado un incremento reproducible en el intervalo entre latidos del corazón como una consecuencia de la exposición a campos electromagnéticos intermitentes; era necesario encender y apagar los campos para observar este efecto. El incremento en el intervalo entre latidos no fue hallado en todos los voluntarios pero fue reproducible en aquellos voluntarios que mostraron la respuesta.

## **5.2 RESPUESTA EN GLÁNDULAS DE SECRECIÓN INTERNA DEL CEREBRO CON EXPOSICIÓN A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS**

Probablemente el efecto in vivo más reproducible de la exposición a campos electromagnéticos es la alteración de la glándula pineal, la cual recibe del sistema visual la información del ciclo luz-obscuridad, los cambios de las estaciones y transforma esta información en una señal hormonal que es disponible para otros órganos por medio de la circulación. A pesar de que la glándula pineal produce varias pequeñas hormonas, la melatonina es la de mayor importancia en el señalamiento hormonal para los otros órganos, los efectos en la producción de melatonina pineal han sido demostrados como consecuencia de la exposición tanto a campos eléctricos como magnéticos en ratas y de un campo combinado en humanos.

Tipicamente, la luz suprime la síntesis pineal de la melatonina mientras que durante la noche la producción y secreción de la hormona está en nivel alto. Los niveles normales de melatonina tanto en la glándula pineal como en la sangre empiezan a hacerse más fuertes poco tiempo después de que la obscuridad se hace aparente y alcanzan concentraciones pico entre 2 a 4 horas antes de que la luz vuelva a aparecer. Pero la respuesta pineal al ser expuesta a campos electromagnéticos de 60Hz pueden reducir el aumento nocturno normal de la concentración de melatonina en ratas de laboratorio. Esta alteración parece desarrollarse entre 2 y 130KV/m. Se observó que ratas que no habían sido expuestas a campos electromagnéticos al hacerlo a un campo de 39KV/m por 21 días tuvieron la alteración de melatonina; sólo que a los 3 ó 4 días después de haber sido expuestas, su nivel de melatonina regresaba al normal.



Lerchl (1990) postuló que las corrientes internas del cuerpo inducidas por alto campo electromagnético variable, con el tiempo eran responsables del efecto de reducir el aumento nocturno normal de la concentración de melatonina.

### **5.3 FUNCIÓN DE LA GLÁNDULA PINEAL Y RIESGO DE CÁNCER**

Las alteraciones en el funcionamiento de la glándula pineal han sido implicadas directamente en la Etiología de un gran número de cáncer incluyendo el cáncer mamario y los tumores en los ovarios. (Narita y Kudo, 1985).

La inhibición del crecimiento de un tumor por un factor desconocido de la glándula pineal fue reconocido a principios de 1940 (Nakatani, 1940).

Estudios subsecuentes mostraron que la pinealectomia llevaba a un crecimiento incrementado y una proliferación de varias líneas celulares cancerígenas (Das Gupta y Terz, 1967).

Se ha encontrado que las concentraciones fisiológicas de melatonina eran efectivas en la inhibición del crecimiento de células de tumor mamario in vitro (Blask y Hill, 1986).

(Regelson y Pierpaoli, 1987) Han revisado la literatura relevante al papel de la melatonina como un factor antitumor endógeno.

(Bartsch, 1988) Reportó que los hombres con cáncer en la próstata tenían niveles de melatonina nocturnos más bajos que aquellos sin la enfermedad.

Utilizando datos del registro de cáncer de Noruega (Tynes y Andersen, 1990) encontraron un incremento de aproximadamente el doble en el cáncer de pecho masculino en un seguimiento de 25 años de trabajadores de la electricidad.

#### **5.4 FUNCIÓN DE LA GLÁNDULA PINEAL Y DEPRESIÓN**

Los resultados de por lo menos 3 estudios Epidemiológicos han indicado una asociación entre la exposición a campos electromagnéticos y las enfermedades depresivas.

En el más reciente de estos reportes (Perry y Pearl, 1988) estudiaron las poblaciones que viven en proyectos habitacionales en el Reino Unido, ellos reportaron una correlación positiva entre los niveles de campo magnético en los departamentos individuales y una incrementada incidencia hacia la depresión.

(Taub y Berger, 1974) Mostraron que cambios de fase inducidos experimentalmente en los ciclos de vigia ó sueño en sujetos humanos en muchas ocasiones dan como resultado disturbios emocionales, estos pueden incluir reacciones depresivas y hostilidad.

Estudios incluyendo aquellos de Mendlewiez, Branchley, Claustrat, Lewy y McIntyre, han asociado interrupciones en la ritmicidad diaria de melatonina con la depresión.

### **5.5 FACTORES CRONOBIOLOGICOS Y LA NATURALEZA DE LA RESPUESTA DE DOSIS EN LA EXPOSICIÓN A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS**

Hay incertidumbre hacia cuál componente de campo electromagnético, eléctrico ó magnético es el más importante en la determinación de la respuesta biológica, a pesar de que el mayor interés ahora está directamente enfocado hacia los campos magnéticos debido a los hallazgos epidemiológicos.

Los factores que por ahora parecen ser de importancia posible en la determinación de la respuesta son:

1) Exposición con respecto al tiempo diario (por ejemplo es aparente que la exposición nocturna puede llevar a una respuesta neuroendocrina mayor que la exposición diurna).

2) Carácter intermitente de la exposición (por ejemplo encendido, apagado o exposición pulsatoria, en varios experimentos parece ser más importante biológicamente que la exposición estática o en una onda continua senoidal).

3) La variación del tiempo de cambio en el componente magnético de los campos

4) Estructura molecular del organismo.

### **5.6 EFECTO DEL CAMPO MAGNÉTICO EN LA MOVILIDAD DEL ION DE CALCIO**

Uno de los primeros efectos in vitro observados de la exposición a campos electromagnéticos fue un flujo incrementado del nivel de calcio del cerebro de pollos. Estudios más detallados de este fenómeno por (Blakman) sugieren que el efecto puede ser dependiente de la frecuencia y requerir la presencia de un campo magnético estático. También se ha observado un efecto en la memoria cuando las ratas fueron expuestas a campos por un periodo de 3 a 5 minutos antes de recorrer un laberinto.

Revisando los estudios realizados en la actualidad, se puede notar que realmente puede haber alteraciones en los seres vivos de distintas formas. Estamos en una situación en la que se abre una puerta a algo que no se había puesto mucha atención, y es necesario hacer un llamado a la comunidad científica para realizar investigaciones interdisciplinarias, las cuales nos puedan llevar a desarrollar un frente común.

## Capítulo 6

## **6. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES DE LOS EFECTOS**

### **6.1 ANALIZANDO CAMPO ELECTROMAGNÉTICO ALREDEDOR DE LA CASA**

Actualmente hay implementos en nuestra vida los cuales se han vuelto sospechosos debido a los campos electromagnéticos que ocasionan.

¿Como suceden los eventos si las corrientes que entran y salen a la casa no son exactamente iguales?. El desbalance puede crear campos magnéticos a lo largo de la caída de servicio, donde la electricidad alimenta la casa; aquí se presenta cómo sucede:

- 1) El servicio eléctrico generalmente llega al vecindario a través de una línea de distribución aérea.
  - 2) Un transformador.
  - 3) Reduce el voltaje de la transmisión hacia la caída de servicio.
  - 4) La corriente pasa a través del medidor,
  - 5) y una caja de fusibles o un panel de breaker,
  - 6) para la distribución a las tomas de corriente de la casa.
- Después de completar su ruta a través de la casa, la corriente retorna al panel. Normalmente viaja de regreso a través de la calle.
- 7) Pero alguna corriente puede en vez de esto viajar hacia los cables de aterrizaje,
  - 8) los cuales están sujetos a la tubería de agua de la casa.
  - 9) La corriente divergente que viaja a lo largo de la tubería de agua subterránea,
  - 10) hacia la casa vecina. Las corrientes que entran y salen están en este momento desbalanceadas a lo largo de la casa y de la caída de servicio de la casa vecina 3) y 11), produciendo campos ambos cercanos a cinco miligauss o más.

Tercer Piso :Reloj analógico con enchufe, cama de agua calentada, o colcha eléctrica, zoclos de calefacción eléctrica, secadora de cabello.

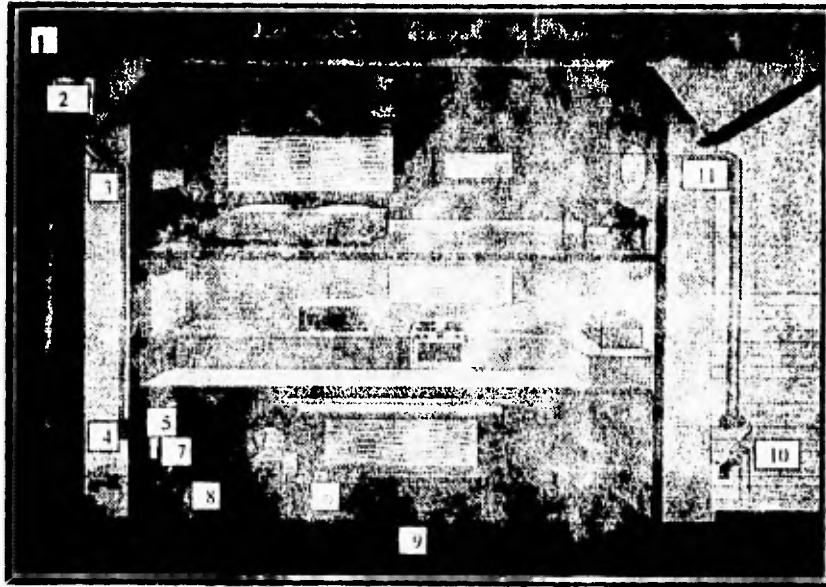


Fig.6.1 Aparatos electricos que generan campos electromagnéticos

Segundo Piso: horno de microondas, horno eléctrico, acuario con calefacción.

Primer Piso: ventilador, lámpara fluorescente, calentador eléctrico, monitor de computadora.

FALLA DE ORIGEN

## **6.2 RIESGOS ESPECIALES EN EQUIPOS ELECTRÓNICOS ACTUALES**

Los implementos que se han destacado por su innovación en nuestros días y que despiertan gran interés en su estudio debido a los campos electromagnéticos, son los siguientes:

### **6.2.1 Computadoras:**

A principio de los 80s los investigadores encontraron varias pistas entre las mujeres que trabajaban con una terminal de video también conocidas como VDT o monitores de computadoras. Pero mientras que los estudios epidemiológicos a pequeña escala parecían mostrar alguna conexión entre el uso del VDT y los problemas reproductivos los estudios más cuidadosos y a mayor escala generalmente no lo hacían.



Fig.6.2 Análisis en monitores de video



Los monitores de computadora de cualquier forma producen intensos campos magnéticos en una variedad de bajas frecuencias; los aparatos de T.V. también producen campos comparables; pero los usuarios generalmente no se sientan muy cerca del aparato de T.V. los campos emanan de dos poderosos electromagnetos los cuales ayudan a producir las imágenes.

La posición de los magnetos crea campos mucho más fuertes en la parte de atrás y en los lados de un VDT que en el frente. A pesar de que el monitor pueda tener un campo de 60 miligauss en los lados la mayoría de los nuevos modelos solamente tienen un campo de 2 miligauss o menos a la longitud del brazo a partir de la pantalla. Los usuarios pueden practicar la política del evitar prudentemente el sentarse a esta distancia; las oficinas pueden ser diseñadas para minimizar la exposición de los trabajadores a los lados o a las partes posteriores de los monitores vecinos.

#### **6.2.2 Horno de Microondas:**

Uno puede asumir que la radiación electromagnética de los hornos de microondas viene de las microondas por si mismas. Lo cual no es así. Lo que se ha encontrado es que la dispersión de las microondas de los hornos que son adecuadamente mantenidos y operados es mínima.

En todo caso el campo magnético que rodea a un horno de microondas viene directamente de la electricidad utilizada para hacer funcionar el aparato. El Instituto de Investigación de la Energía eléctrica midió 485 hornos y encontró que a una distancia de no más de 2m la mitad de ellos producía un campo de 60Hz de 10 miligauss o más.

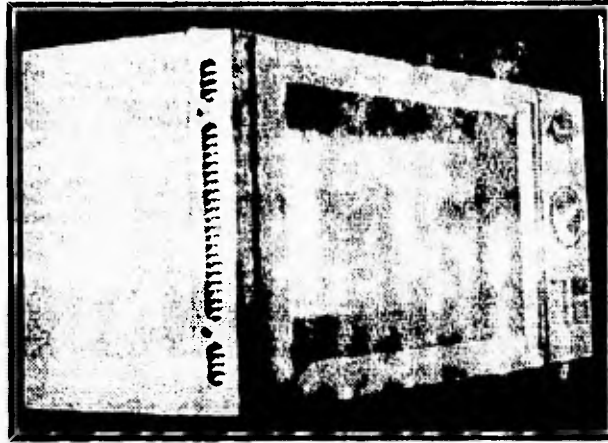


Fig.6.3 Análisis del horno de microondas

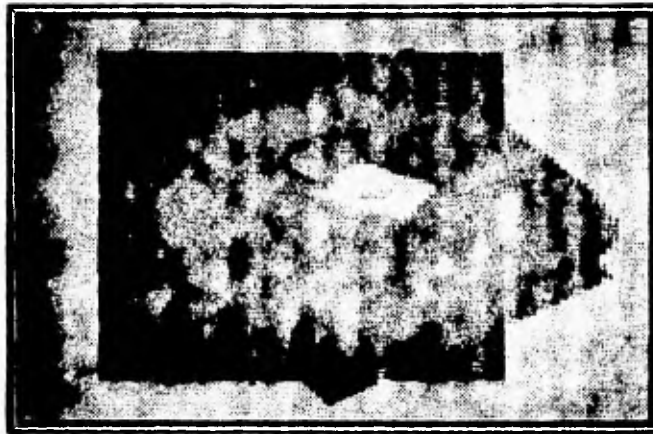
La técnica de evitar prudentemente, simplemente involucra el no estar cerca del horno de microondas cuando está en operación, especialmente durante largos periodos de cocción. A una distancia de 1.17m el campo medio de los hornos probados era de menos de 2.1 miligauss.

### **6.2.3 Cobijas Eléctricas:**

Las cobijas eléctricas compradas aproximadamente hace mas de 3 años exponen a los usuarios en la noche intermitentemente a campos magnéticos de 20 miligauss o más. Esto es porque el elemento de calefacción de las viejas cobijas es simplemente un largo cable.

En un estudio publicado en 1990, David Savitz y sus colegas de la Universidad de Carolina del Norte reportaron que niños cuyas madres habian dormido debajo de tales

cobijas durante el embarazo tenían 70 por ciento de posibilidades mayores de desarrollar leucemia que aquellos cuyas madres no lo habían hecho. Como en cualquier otro estudio esto debería ser interpretado con precaución dados los pequeños números involucrados.



**Fig.6.4** Análisis de cobijas eléctricas

**De cualquier forma la técnica de evitar prudentemente, sugeriría usar un calefactor o comprar una de las nuevas cobijas eléctricas de bajo Campo Electromagnético que son vendidas. Estas cobijas tienen elementos de calefacción que corren en pares cercanos uno del otro reduciendo el campo electromagnético. En 1991 se probó una cobija de bajo campo fabricado por la marca Sunbeam-Home Comfort, y encontramos que en realidad produce un campo magnético que es la vigésima parte de lo que emite una cobija antigua.**

#### **6.2.4 Teléfonos Celulares:**

Un hombre de Florida en 1993 fue a la T.V. para comentar del cáncer cerebral de su esposa a consecuencia de los teléfonos celulares, los fabricantes trataron de disminuir la alarma pública al insistir en que miles de estudios de investigación habían probado que los aparatos eran seguros. Desafortunadamente, la investigación ha probado lo contrario.



**Fig.6.5 Análisis de teléfonos celulares**

Los teléfonos celulares operan en la porción de frecuencia de radio del espectro electromagnético entre 800 y 900 MHz frecuencias cercanas a 15 millones de veces más altas que las de 60Hz que se pueden encontrar en una casa. Las antenas de los teléfonos transmiten y reciben de una red de antenas alrededor de cada país con esta tecnología.

La intensa radiación de la frecuencia de radio puede calentar el tejido, así es como funciona un horno de microondas. Las ondas de radio emitidas por los teléfonos son mucho más tenues, sin embargo con la potencia con que transmiten y la minúscula antena cerca del cerebro, produce el mismo efecto que un horno de microondas.

La preocupación acerca de los teléfonos celulares se ha enfocado al tipo portátil el cual lleva su suministro de energía y antena en un simple aparato que cabe en la mano.

La gente que quiere asegurar su salud puede simplemente escoger por no usar un teléfono celular o puede limitar la cantidad de tiempo que pasa utilizando uno.

Otras opciones son el teléfono instalado permanentemente en el automóvil, cuya antena está montada en el exterior del mismo u optar por un modelo semiportátil. La antena de un teléfono semiportátil y su unidad de suministro de energía son llevados en una pequeña bolsa; la cual se carga independientemente del auricular, así que de esta forma el mismo reduce su peligrosidad. Mientras esté operando este tipo de teléfonos los usuarios pueden colocar la bolsa tan lejos de ellos como sea posible y como el cable lo permita.

- En 1993, la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. presentó una tesis sobre un estudio electromagnético sobre posibles daños neuronales debido al uso de teléfonos celulares presentado por Luis Montes Reyes y Victor Damian Pinilla Moran. Dirigida por M. en C. Amanda O. Gómez González, en la que se muestran conclusiones muy similares a otras realizadas en varios países.

### **6.3 EVITAR PRUDENTEMENTE**

Aún hay muchos aspectos desconocidos acerca de la magnitud del riesgo y cuáles aspectos de los campos causan el riesgo de gastar millones de dólares en mover las líneas de tensión por lo cual esto puede no ser muy aconsejable.

Los pasos que Granger Morgan, jefe del departamento de Ingeniería y Políticas Públicas en la Universidad de Carnegie Mellon y sus colegas llaman "evitar prudentemente" son simples: incrementar la distancia desde la fuente de un campo alto o reducir el tiempo que se pasa en dichos campos. Morgan, por ejemplo, al evaluar su hogar, encontró que la cabecera de la cama de su hijo tocaba una pared donde el cableado eléctrico entraba a la casa, y esto representaba un punto de campo electromagnético muy alto. El reacomodó los muebles de tal modo que su hijo no tuviera que dormir más en esta posición.

De acuerdo con una investigación por el EPRI (Electric Power Research Institute), la intensidad de campo provocada por las líneas de tensión en el ambiente para una casa típica en E.U. es de aproximadamente de  $0.038 \mu\text{T}$ , con algunos niveles más altos en las cocinas. Karl Riley, un consultor de Magnetic Surveys, en Tucson Arizona, dijo que sus medidas en cientos de hogares muestran que los campos ambientales a un metro de distancia de las paredes son  $0.00$  o  $0.02 \mu\text{T}$ .

Una lista para evitar prudentemente los campos puede incluir:

1.-Reemplazar todos los implementos eléctricos de la cama (calentadores de agua, cobijas eléctricas) con colchas normales o restringir el uso de estos implementos eléctricos al hecho de calentar la cama antes de meterse en ella, las cobijas eléctricas

de bajo campo también están disponibles, pero pueden generar corrientes eléctricas en el cuerpo.

2.- Mover los relojes eléctricos o máquinas contestadoras a un lugar de por lo menos 1.5m de la cama. Buscar otros aparatos con motores pequeños que puedan estar cerca a la mano por periodos largos de tiempo y mantenerlos a la distancia.

3.- Mover las camas de paredes con aparatos grandes y los cuales representan lugares con alto nivel de campo.

4.- Sentarse a por lo menos un brazo de distancia de las terminales de video. (Cuando necesite reemplazar su terminal de video, considere un monitor que cumpla con los estándares Suecos para campos bajos; muchos de los cuales están ahora disponibles). Apagar el monitor cuando no esté en uso; no se necesita volver a prender la máquina para acceder a sus datos después. También estar prevenido acerca de otras terminales de video alrededor tuyo, y tratar de moverse por lo menos 1.5m lejos de las partes traseras o los lados de las terminales.

5.- Sentarse a por lo menos 2m de las pantallas de televisión grandes.

6.-Revisar el campo en el hogar. La mayoría de compañías eléctricas en E.U. proveen este servicio si es pedido.(Hay también gaussmetros en el mercado norteamericano, sólo que los medidores de una pieza y eje simple pueden ser engañosos como para ser utilizados confiablemente). De acuerdo al consultor Riley, los errores al momento de construir el cableado (lo cual es usualmente una violación al código eléctrico de los E.U.) son la causa principal de campos electromagnéticos excesivos. El aterrizaje incorrecto y mala colocación de la corriente neutral,

incluyendo el trabajo de los electricistas los cuales enroscan los neutrales de diferentes circuitos juntos, permite que las corrientes se desbalancen y generen altos campos tanto como  $1\mu\text{T}$  a 2m de una pared.

Las conexiones de aterrizaje a los tubos de agua, dependiendo de su colocación, pueden producir campos significantes, especialmente si el regreso de la corriente hace un circuito alrededor de la casa en vez de ir directamente hacia la calle; tales corrientes también pueden causar altos campos en las residencias vecinas.

#### **6.4 TOMANDO LECTURAS EN CASA Y OFICINA**

De acuerdo a Karl Riley, un consultante con ELF Magnetic Surveys en Tucson Arizona, la medida normal a varios pies de cualquiera de las paredes dentro de una casa es 0.00 a 0.02 miligauss; según epidemiólogos en lugares expuestos es de 2mG. Pero realmente en este punto nadie sabe qué niveles, si es que existen, son peligrosos y cuáles son seguros. las unidades se dan en pulgadas y miligauss.(El factor de conversión de miligauss a microtesla es  $1\text{mG}=0.1\mu\text{T}$ ).

Analizando una casa por el coordinador del programa de campos electromagnéticos de la Pacific Gas & Co., auxiliado por una tabla de formas que enlistaban puntos de medición estándar por tres ejes, un medidor de campo electromagnético el Emdex II. Diseñado por el Electric Power Research Institute, este aparato automático de tres ejes mide tres vectores, y entonces eleva al cuadrado cada resultado, suma los cuadrados y toma la raíz cuadrada de la suma para llegar a la intensidad de campo en miligauss, los rangos de sensibilidad de la unidad de 40 a 800Hz, cubriendo las líneas de poder de 60Hz y sus armónicas.



En el perímetro de la propiedad analizada, los niveles estaban en la parte baja de lo que se considera el promedio: Bajo del polo de alimentación se midió 0.2mG; hay que tomar en cuenta que la casa analizada está en el extremo de una línea secundaria a media cuadra del transformador que alimenta a media docena de casas. En una oficina en la parte trasera de la casa, el centro del cuadro tenía lecturas ambientales de 0.00 antes de que se empezara a prender el equipo de oficina, el monitor de computadora de bajo campo daba 5.5mG en la pantalla, 0.5mG a una distancia normal de trabajo, 19.4mG en los lados y atrás de la pantalla. Un calentador eléctrico 1.4mG a 10.16cm; un ventilador eléctrico 1.4mG a la misma distancia. Los campos generados por impresora láser eran despreciables.

Cuarto de un niño: 0.2mG en el centro sin generar campo dentro del cuarto, un monitor de bebé a 10.16cm puede generar de 70 a 80mG. En la recámara principal el centro de la cama registró 0.5mG; un pequeño aparato de televisión registró 21.4mG a 10.16cm, 3.1mG a 45.72cm, y 148.2mG en la parte posterior. La secadora de pelo 106.0mG a 10.16cm.

La sala con aparatos apagados promedio 0.1mG en el centro, T.V. de 27plg. 24.4mG a 10.16cm, 2.4mG a 45.72cm, y 298.0mG en la parte posterior.

Cocina completamente eléctrica diseñada a la época de los 60's, con todos los aparatos apagados tanto como era posible, la lectura en el centro del cuarto era de 0.3mG. Después de encender algunos aparatos se encontró que la lectura rápidamente brincó hasta 3.5mG de hecho, brincó un poco más alto pero el horno de microondas aparentemente canceló un poco de este campo y lo redujo.

El horno de microondas registró lecturas altas 71.8mG a 10.16cm, 14.8mG a 45.72cm, y 78.0mG en la parte posterior. Lavavajillas 25.0mG a 10.16cm y 7.6mG a 45.72cm.

TABLA 6.1 COMPARATIVA DE APARATOS ELÉCTRICOS EN LA CASA

	UPERFICIE	0.16cm	5.72cm	ATRÁS Y/O LATERAL
onitor de computadora	.5mG		.5mG	19.4mg
alentador eléctrico		.4mG		
entilador eléctrico		.4mG		
onitor de bebé		0-80mG		
.V. pequeña		1.4mG	.1mG	148.2mG
ecadora de pelo		06mG		
.V. 27plg		4.4mG	.4mG	298mG
orno de microondas		1.8mG	4.8mG	78mG
avavajillas		5mG	.6mG	
loj de estufa		3.8mG	.7mG	
stufa eléctrica sólo un quemador		60.4mG	0.6mG	

La estufa "eléctrica" con todo apagado sorprendentemente registró 63.8mG a 10.16cm y 2.7mG a 45.72cm, gracias al reloj y cronómetro en la parte frontal, lo cual da una idea de lo que los relojes eléctricos cerca de la cama pueden representar. Al

encender uno de los quemadores hubo una lectura que brincó hasta los 860.4mG a 10.16cm y 20.6mG a 45.72cm.

Las oficinas de la editoriales del Spectrum de la IEEE en New York, las cuales ocupan el 15avo. piso de un edificio de oficinas de 18 pisos, se dedicaron a hacer otro estudio para medir en sus instalaciones, en esta ocasión el medidor fue el modelo 70 triaxial ELF miligaussmetro de Teslatronics Inc. en Alachua, Fla. Los niveles estáticos de los campos estaban cerca de los considerados como promedio 0.4-0.6mG. La fuente más grande de campos era el horno de microondas con lecturas en la vecindad de 65 a 650mG. La máquina copiadora midió 5.5mG en operación y el fax 6.2mG.

TABLA 6.2 COMPARATIVA DE LA OFICINA DE SPECTRUM

	UPERFICIE	.44m	.134	.83m	0.61m	.3048m	TRAS YA ATERAL
LIZ FLUORES-CENTE *		.7mG	.5mG	.7mG			
LÁMPARA FLUORESCENTE DE ESCRITORIO	mG	.8mG				mG	
LÁMPARA DE HALÓGENO DE ESCRITORIO	.6mG						
MONITOR (SIN NORMA)	0.1mG				1.5mG	.6mG	76mG
MONITOR (NORMA-SUECA)	4.4mG				0.7mG	.8mG	3mG

\* Medido desde el piso

A lo largo de toda la oficina las lámparas fluorescentes eran quizás el mayor contribuyente a los campos; las luces del techo median 4.7mG aproximadamente a 2.44m del piso 1.5mG a 2.134m y 0.7mG a 1.83m una lámpara fluorescente de escritorio media 3.0mG en la superficie, 2.0 a 0.3048m de distancia, y 0.8mG a

2.44m, otra lámpara de halógeno de uno de los editores tenía un lectura mucho más baja de 0.6mG en la superficie.

La mayoría de los monitores de computadora de los editores de Spectrum estaban diseñados para cumplir con las recomendaciones Suecas sus mediciones eran de 14.4mG en la pantalla, 1.8mG a 0.3048m, y 0.7mG a 0.61m, con 33mG en los lados. Otro monitor que no estaba diseñado para cumplir con estos estándares era utilizado para unas lecturas de evaluación de productos esporádicamente con 60.1mG en la pantalla 5.6mG a 0.3048m de distancia y 1.5mG a 0.61m. Y las lecturas laterales eran de 376mG.

### **6.5 REDISEÑO DE PRODUCTOS**

En el Electric Power Research Institute (EPRI), mucha de la investigación se ha hecho acerca de cómo los sistemas de distribución pueden ser diseñados para minimizar los campos. El instituto Sussman dijo a Spectrum. "Ya sabemos como cambiar los campos utilizando un enfoque de ingeniería de ataque frontal, sabemos que los campos decrecen con la distancia así que podemos utilizar postes más altos o hacer mas amplios sus derechos de vía, también sabemos que si en los sistemas de transmisión de tres fases se mueven las líneas hasta dejarlas más juntas se obtendrá una mayor cancelación de los campos y una disminución de los mismos. La desventaja de esta solución de cualquier forma es un mayor peligro de descarga del efecto corona interferencia de radio y ruido audible pero de acuerdo con el estudio Rhode Island reportado en Microwave News, También puede reducir los campos electromagnéticos en 45% o más.

Otras soluciones todavía están en una etapa de desarrollo de acuerdo con el Instituto Sussman un enfoque es un diseño de fases divididas en vez de los tres alambres. Cada circuito de transmisión tradicional es dividido por la mitad y orientado por un círculo o rectángulo de 6 cables con una cancelación de campo substancial. Los circuitos de fase reversible tienen unos efectos de cancelación similares, ambas técnicas involucran el cambio de las conexiones de fase en la subestación. De acuerdo con el EPRI Journal, se puede reducir los campos hasta en 50% apesar de que los costos puedan ser mucho más altos y la confiabilidad más baja que en los diseños tradicionales.

Una solución involucra el establecimiento de 4 cables en cada hogar en vez de los tres que se utilizan en E.U. actualmente el cuarto cable sería una tierra este sistema ya se está usando en algunos países Europeos.

El Mumetal puede ayudar en el recubrimiento, para campos relativamente pequeños, dijo Sussman. Mumetal es una aleación de níquel, molibdeno y hierro que ofrece una ruta controlada para las líneas de los campos electromagnéticos, materiales más exóticos que pueden contener a los campos incluyendo algunos tipos de polimeros, también están siendo desarrollados materiales y el trabajo está siendo realizado en recubrimientos que puedan alternar capas delgadas de aluminio y acero.

## **6.6 VIVIENDO CON RIESGO**

Hay algunas formas de manejar los campos electromagnéticos:

La primera es mantener el riesgo en perspectiva. Existen aproximadamente 2600 casos nuevos de niños con leucemia cada año en los E.U. La probabilidad de que un niño dado desarrolle leucemia en cualquier año es de aproximadamente 1 en 20 000. Contando que esto ocurriera a la edad de 5 años. Algunos estudios epidemiológicos han sugerido que inusuales campos electromagnéticos de gran intensidad pueden duplicar el riesgo del niño es decir aumentarlo a una posibilidad entre 10 000. Pero aun en aquellos estudios la vasta mayoría de los casos con leucemia ocurrieron en casas calculadas para tener bajos campos electromagnéticos.

Al final los padres deben hacer una decisión personal acerca de qué tanto preocuparse, así como lo hacen para cualquier otra preocupación de su vida diaria incluyendo la de sus hijos.

Es sensible y prudente enfocarse a maneras simples de reducir la exposición a los campos electromagnéticos más que hacer cambios radicales. M. Granger Morgan, un experto en políticas públicas en la Universidad de Carnegie Mellon, ha propuesto una estrategia que él llama "el evitar prudentemente" la cual involucra medidas simples de bajo costo o sin costo alguno. A pesar de que esto puede llevarse a cabo tan fácilmente como alejarse más de la pantalla de la computadora otros métodos de evitar el Campo Electromagnético son más dificultosos, tales como salirse de una casa, la cual está cerca de una línea de energía. El determinar si tal movimiento es prudencia o paranoia depende en gran manera de los propios sentimientos acerca de la naturaleza del riesgo. Algunas preguntas son muy grandes como para ser contestadas por los individuos o por las familias. Como por ejemplo, ¿qué tanto debe una comunidad gastar en trazar las rutas de transmisión de energía para que estén

lejanas a las escuelas?, ¿debe una línea de transmisión de alto voltaje ser puesta en torres más altas para minimizar los campos a nivel de tierra?

Tales decisiones pertenecen a la arena política, ya que ésta se involucra en el uso de fondos públicos o el control de las tasas de electricidad, de las tarifas de electricidad por las comisiones estatales de regulación. Por ejemplo, la comisión eléctrica de California recientemente decidió que de ahora en adelante las compañías de electricidad pueden añadir hasta un 4% del costo en las tarifas para construir las líneas de transmisión las cuales reduzcan la exposición a los campos electromagnéticos. En New Hampshire, el comité de escuelas de Souhegan Valley decidió gastar 100 000 dólares para reducir los campos electromagnéticos de las líneas de energía que pasan cerca de una nueva escuela.

Hay que tomar en cuenta que no se ha determinado el factor de exposición (de tiempo y de intensidad), y en que circunstancias, Sin embargo es bueno tomarlo en cuenta como un posible riesgo para la salud.

## CONCLUSIÓN

Hasta la fecha no se ha podido especificar desde el aspecto biomédico, qué alcance puede tener la exposición a campos electromagnéticos, se menciona que si producen alteraciones en los seres vivos, y dependen de los médicos como manejen la radiación para que sean benéficos o perjudiciales (Tomando en cuenta que para que sean benéficos es necesario controlar todo el sistema). Además, se dice que después de estar un ser vivo expuesto a este tipo de radiaciones regresa a su estado normal, pero el hecho es que estamos expuestos diariamente a estas radiaciones. En el caso de los niños con leucemia del estudio realizado en Denver, toda su vida vivieron cerca de una fuente de radiación, como son los transformadores en líneas de distribución de energía. Y no sólo eso, los mismos electrodomésticos nos pueden radiar.

Debemos estar enterados de este peligro invisible, para que no suceda como con la contaminación ambiental de la Ciudad de México, que se empezó a hacer algo después de que ya estábamos sumergidos en ella, y depende de cada uno de nosotros el darle el grado de importancia a esto. Es necesario estar enterados de la instalación eléctrica de nuestras casas y ver si cumplen las normas. Además es necesario exigir a la compañía que nos suministra energía y a nuestros representantes en el gobierno, la oportuna información de esto y lo que se sucite con el tiempo, atendiéndolo lo antes posible.

Se puede hacer algo mientras la comunidad científica de todas las disciplinas, despierta su interés para atacar esta consecuencia del desarrollo tecnológico. En el caso de la compañía de luz y fuerza, y luz y fuerza del centro, pueden darle más distancia de separación entre líneas de distribución sobre todo a los transformadores, con los lugares donde la gente pasa más tiempo (casas, oficinas, etc.). Así como a las



## CONCLUSIÓN

Hasta la fecha no se ha podido especificar desde el aspecto biomédico, qué alcance puede tener la exposición a campos electromagnéticos, se menciona que sí producen alteraciones en los seres vivos, y dependen de los médicos como manejen la radiación para que sean benéficos o perjudiciales (Tomando en cuenta que para que sean benéficos es necesario controlar todo el sistema). Además, se dice que después de estar un ser vivo expuesto a este tipo de radiaciones regresa a su estado normal, pero el hecho es que estamos expuestos diariamente a estas radiaciones. En el caso de los niños con leucemia del estudio realizado en Denver, toda su vida vivieron cerca de una fuente de radiación, como son los transformadores en líneas de distribución de energía. Y no sólo eso, los mismos electrodomésticos nos pueden radiar.

Debemos estar enterados de este peligro invisible, para que no suceda como con la contaminación ambiental de la Ciudad de México, que se empezó a hacer algo después de que ya estábamos sumergidos en ella, y depende de cada uno de nosotros el darle el grado de importancia a esto. Es necesario estar enterados de la instalación eléctrica de nuestras casas y ver si cumplen las normas. Además es necesario exigir a la compañía que nos suministra energía y a nuestros representantes en el gobierno, la oportuna información de esto y lo que se sucite con el tiempo, atendándolo lo antes posible.

Se puede hacer algo mientras la comunidad científica de todas las disciplinas, despierta su interés para atacar esta consecuencia del desarrollo tecnológico. En el caso de la compañía de luz y fuerza, y luz y fuerza del centro, pueden darle más distancia de separación entre líneas de distribución sobre todo a los transformadores, con los lugares donde la gente pasa más tiempo (casas, oficinas, etc.). Así como a las

líneas de transmisión. Reglamentando esto y hacer normas. También porque no, que tengan ellos mismos investigaciones al respecto.

Por otro lado nosotros también podemos disminuir el riesgo. Como se ha mencionado los lugares donde hay mayor riesgo, pasar el menor tiempo posible, reacomodando la casa, los electrodomésticos utilizarlos lo menos posible.

La manera más simple de reducir la exposición interior a los campos electromagnéticos es tomar la ventaja del hecho de que la intensidad del campo decrece rápidamente con la distancia. Uno puede poner un reloj eléctrico en la esquina opuesta de la cama de un niño; se pueden utilizar calentadores en vez de cobijas eléctricas o comprar una cobija de bajo campo eléctrico que hay ahora en el mercado; cuando uno está cocinando se puede tener cuidado de no acercarse demasiado al horno de microondas, el cual puede producir campos locales bastante altos, apagar los monitores de computadoras cuando no se estén utilizando.

Es más difícil remediar otro tipo de fuentes de campos caseros tales como los flujos disperejos de electricidad hacia y de la casa. En muchos casos alrededor de la caída de servicio donde la electricidad del vecindario alimenta la casa.

Si una revisión de la instalación de su casa revela campos altos alrededor de la caída de servicio, se le puede pedir a un electricista que se asegure que el sistema de tierra está en orden sin corrosión o pérdida de cableado y se pueden acomodar los muebles de una forma tal que se pase el menor tiempo posible cerca de las instalaciones eléctricas; más allá de esto no se puede hacer mucho.

Actualmente se llevan a cabo investigaciones acerca de nuevos métodos para reducir estos tipos de campos, por ejemplo, la inserción de empalmes no conductores en tubos de metal con agua, lo cual podría hacer imposible que las corrientes viajaran de casa a casa o ejemplo cambios en los sistemas de tierra, pero tales modificaciones aún no están disponibles en el mercado o cuando se hacen de una manera inadecuada pueden crear un riesgo de corto circuito o incendio.

---

**BIBLIOGRAFÍA:**

- **Dinamica de Acumulación de Contaminantes sobre Aisladores de Líneas de Transmisión y Distribución.**  
Tesis: Maestro en ciencias; Felipe de Jesus Gonzalez Moreno  
Centro de graduados e instituto tecnologico de la Laguna  
Torreon Coahuila. 1988
  
- **Elaboración de Bases de Datos para Diseño de Líneas de Transmisión.**  
Tesis: Ingeniero Industrial Electrico; Jose Luis Gomez Maya  
Instituto tecnologico de Pachuca  
Pachuca Hidalgo. Nov. 1988
  
- **Electricidad**  
Harry Mileaf  
Limusa serie uno siete
  
- **Electromagnetic Fields and Circadian Rhythmicity**  
Martin C. Moore, Scott S. Campbell, Russel J. Reiter  
Birkhäuser Boston 1992
  
- **Estudio Electromagnético sobre Posibles Daños Neuronales Debido al Uso de Telefonos celulares.**  
Tesis: Montes Reyes Luis, Pinilla Moran Victor Damian.  
Dirigida por: M. en C. Amanda O. Gomez Gonzalez.  
Facultad de Ingenieria (U.N.A.M.) 1993
  
- **Fundamentos de Electricidad y Magnetismo**  
Arthur F. Kip  
Mc. Graw Hill.
  
- **Maquinas Electricas**  
A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley jr., Stephen D. Umans  
Mc. Graw Hill
  
- **Radiación Ionizante y Sustancias Químicas que Provocan Leucemia.**  
Tesis: Maria del Rosario Lira Moreno  
F. E. S. Cuautitlan (U.N.A.M.) Sep. 1987
  
- **Redes Electricas I**  
Jacinto Viqueira Landa  
Representaciones y Servicios de Ingenieria, S. A.

- **Redes Electricas 2**  
Jacinto Viqueira Landa  
Representaciones y Servicios de Ingenieria, S. A.
- **Sistemas para el Mantenimiento de Lineas de Transmisi3n**  
Tesis: Lic. en Informatica; Yadira Reyna Maldonado  
Instituto Tecnologico de Zacatecas  
Zacatepec Mor. 1994
- **The Aging Clock. The Pineal Gland and other Pacemakers in the Progression of Aging and Carcinogenesis.**  
Walter Pierpaoli, William Regelson, and Nicola Fabris  
The New York Academy of Scienses. N.Y., N.Y. 1994

## HEMEROGRAFÍA:

- **A Method for the Exposure of Miniature Swine to Vertical 60Hz Electric Fields.**  
Khune, W.T., Phillips, R.D., Hjersen, D.L., Richardson, R.L., Beamer, J.L. (1978).  
IEEE Trans Biomed 3: 276-283.
- **An Electromagnetic Environmental Monitoring System that Interlocks with Malfunctions.**  
Masao Masugi, Kusuo takagi and Masaharu Sato, Fujio Amemiya and Masamitsu Tokuda.  
Electornics and Comuncations in Japan, Part I Vol.77 No.1 1994
- **An Intuitive Look at Electromagnetic Theory**  
William P. Rice  
Radio- Electronics December 1991 p. 60-62
- **Build this Magnetic Fields Meter**  
Reinhard Metz  
Radio-Electronics April 1991 p. 33-42
- **Cellular Automata as an Environment for Simulating Electromagnetic Phenomena.**  
Neil R. S. Simons, Greg E. Bridges, Blake W. Podaima, and Abdel R. Sebak.  
IEEE Microwave and Guided Wave Letters. Vol. 4 No.1 July 1994 p.247-249
- **Chronic Exposure to a 60Hz Electric Field: Effects on Neuronuscular Function of the Rat.**  
Jaffe, R. A., Laszewski B.L., Carr, D.B. (1981)

---

Bioelectromagnetics 2: 239-242

- Chronic Exposure to 60Hz Electric Field: Effects on Pineal Function in the Rat.  
Wilson, B.W., Chess, Anderson, L.E., Hilton, D.I., Phillips, R.D. (1981)  
Bioelectromagnetics 2: 371-380
  
- Chronic Exposure to 60Hz Electric Field: Effects on Synaptic Transmission and Peripheral Nerve Function in the Rat.  
Jaffe, R.A., Laszewski, B.L., Carr, D. B., Phillips, R.D. (1980)  
Bioelectromagnetics 1 : 131-137.
  
- Detection of 60Hz Electric fields by Rats.  
Stern, S., Laties, V.G., Stancampiano, C.V., Cox, C., De Lorge J. O. (1983)  
Bioelectromagnetics 4 : 215- 247
  
- Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation.  
Department of Health, Education and Welfare and environmental Protection Agency  
National Academy of Sciences Advisory Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations. Nov. 72
  
- Electromagnetic Fields  
Consumer Reports  
May 1994 p.354-359
  
- El Peligro Invisible  
Pablo Villa Rubia  
Año Cero 10-0110-04 X-94
  
- Geomagnetic Activity and Enhanced Mortality in Rats with Acute (Epileptic) Limbic Liability  
Yves R.J. Bureau and M.A. Persinger  
International Journal Biometeorology (1992) 36 : 226-232
  
- Los Campos Electromagnéticos y el Cáncer  
Dr. Samuel Kronheim S. ( Ginecología y Obstetricia, Emiliano Zapata No.13 P.B. San Lucas T. Edo. de México•)  
Infomédica S@telite, No.24, Nov./Dic., 1994 p.6-7
  
- Manual de Dise#o de Obras Civiles (Estructuras)  
C.2.3. Estructuras para Transmisi#n de Energ#a Electrica  
Comision Federal de Electricidad  
Instituto de Investigaciones El#ctricas
  
- Manual de Gaussmeter GM1A  
Applied Magnetics Laboratory, Inc. 1404 Bare Hills Road

- Baltimore, MD 21209 (301) 583-2100
- Normas de Distribución-Construcción-Líneas Aereas (Conductores y Cables)  
Comisión Federal de Electricidad  
04 CO 00
  - Normas de Distribución-Construcción-Líneas Aereas (Transformadores)  
Comisión Federal de Electricidad  
08 TR 00
  - Perceptibility and Electro Physiological Response of Small Birds to Intense 60Hz Electric Fields.  
Graves, H.B., Carter, J.H., Kellmer, D., Cooper, L. (1978).  
IEEE Trans Power 97 : 1070-1073
  - Relationship Between Field Strength and Arousal Response in Rats Exposed to 60hz Electric Fields.  
Rosenberg, R.S., Duffy, R.H., Sanchez, G. A., Ehret, C.F. (1983)  
Bioelectromagnetics 4 : 181-191
  - Today's View of Magnetic Fields  
Tekla S. Perry  
IEEE Spectrum December 1994 p.14-23
  - 60Hz Electric field Effectson Pineal Melatonin Rhythms.  
Wilson, B.W., Chess. Anderson, L.E. (1986)  
Bioelectromagnetics 1 : 239-242

## INFORMACIÓN POR RED:

- Electrical Hypersensitivity in Sweden, Uncovering The Cover Up  
Leif Sodergren  
INTERNET at this address: <http://www.isy.liu.se/~tegen/febost.html>
- Technical Guide For The Electrically Sensitive  
The Swedish Association For The Electrically and VDT injured  
Feb. 1994  
INTERNET at this address: <http://www.isy.liu.se/~tegen/febost.html>
- Electrically Hypersensitive Individuals Join Hands Across The World  
September 26, 1994  
INTERNET at this address: <http://www.isy.liu.se/~tegen/febost.html>