

T
574.1917
A 472

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA



**EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LOS CAMPOS ELÉCTRICOS
60 Hz Y LA EVALUACION DEL CASO ECUATORIANO**

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD
ESPECIALIZACION ELECTRONICA**

PRESENTADA POR

JUAN ALVARADO LOZADA



GUAYAQUIL

ECUADOR

1.987

A G R A D E C I M I E N T O

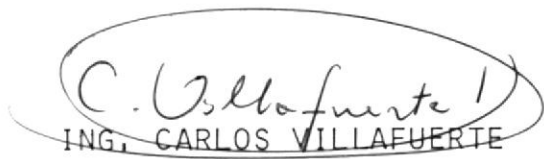
Deseo dejar constancia de mi imperecedero agradecimiento al Sr. Ing. CARLOS BECERRA, por su invaluable colaboración para la elaboración de esta tesis sin la cual, a no dudarlo, no hubiera sido posible llevarla a cabo.

DEDICATORIA

A MI ABUELO ESTEBAN

A ERCILIA Y ANTONIO, MIS PADRES

A GUILLERMINA, también mi madre
porque la flecha que el arco de
vuestra sabiduría un día impul-
sara continúa en su viaje.



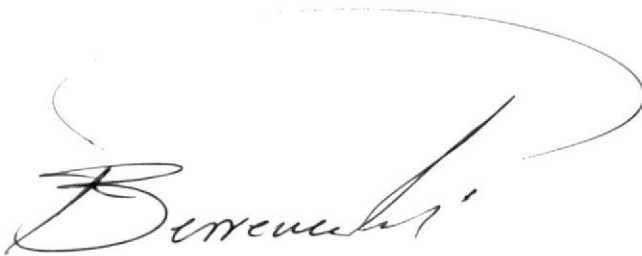
ING. CARLOS VILLAFUERTE

SUBDECANO
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

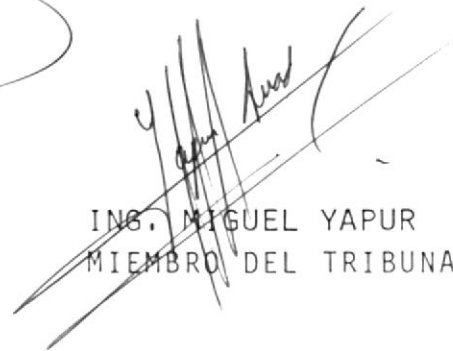


ING. CARLOS BECERRA

DIRECTOR DE TESIS



ING. RODRIGO BERREZUETA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



ING. MIGUEL YAPUR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).



JUAN ALVARADO LOZADA

R E S U M E N

Ante la creciente importancia que ha cobrado el estudio de los efectos biológicos de 60 Hz, en diferentes centros de investigación de países desarrollados, resulta en verdad necesario contar en el Ecuador con un informe detallado de los alcances que este problema pudiera tener en nuestro medio.

Para abordar el problema se comienza con una introducción histórica que sirve para establecer cuáles han sido los diferentes criterios que se han enunciado a lo largo de los años que se llevan de investigación.

En el segundo capítulo se analizan los diferentes ambientes que se producen por la presencia de campos eléctricos, de acuerdo a la fuente que los origine: Líneas de transmisión, artefactos eléctricos de uso doméstico, etc.

El problema de la inducción en seres vivientes es tratado en el tercer capítulo. La interacción campo eléc-

VII

trico ser viviente es estudiado para seres humanos, animales y plantas, presentándose los criterios tanto desde un punto de vista eléctrico como biológico.

En el capítulo cuarto se procede a describir los principales efectos biológicos que a 60 Hz se han reportado, efectuando una crítica a algunos de los estudios que han servido de sustento para reportar tales efectos.

Finalmente en el capítulo quinto se evalúa el caso ecuatoriano, fundamentándose para ello en la información de los cuatro capítulos precedentes. Primeramente se describe cuales son los sitios que presentan mayor contaminación en el país. Seguidamente se anotan las sugerencias técnicas que creo conveniente se deben seguir en el Ecuador a fin de precautelar la salud de la ciudadanía y finalmente, se incluyen las recomendaciones que en el futuro se deberían tener presente, con el objeto de no dejar inconcluso el proceso investigativo que se ha comenzado con la presente tesis de grado.

I N D I C E G E N E R A L

| | Pág. |
|--|------|
| RESUMEN | VI |
| INDICE GENERAL | VIII |
| INDICE DE FIGURAS | XI |
| INDICE DE TABLAS | XIV |
| INTRODUCCION | 16 |
| I. CAPITULO | 19 |
| INTRODUCCION HISTORICA | 19 |
| 1.1 Generalidades | 19 |
| 1.2 Primeros estudios sobre efectos bioló- gicos de campos eléctricos de 60 Hz. . | 21 |
| 1.3 Criterios actuales | 27 |
| II. CAPITULO | 32 |
| AMBIENTES PRODUCIDOS POR CAMPOS ELECTRICOS. | 32 |
| 2.1 Ambientes producidos por líneas de transmisión. | 32 |
| 2.1.1 Ambientes primarios producidos por líneas de transmisión. ... | 33 |
| 2.1.2 Ambientes colaterales producidos por líneas de transmisión. ... | 54 |
| 2.2 Ambientes domésticos de 60 Hz. | 55 |
| 2.3 Ambientes de subestaciones | 61 |

BIBLIOTECA



BIBLIOTECA

| | Pág. |
|--|------|
| 2.4 Acoplamiento entre campos eléctricos y seres vivientes. | 63 |
| 2.5 El problema del acoplamiento desde un punto de vista biológico. | 76 |
| 2.6 Niveles de percepción | 80 |
| III. CAPITULO | 83 |
| INDUCCION EN SERES VIVIENTES | 83 |
| 3.1 Planteamiento del problema | 83 |
| 3.2 Análisis teórico de la inducción | 84 |
| 3.2.1 Campo eléctrico alrededor de un humano. | 86 |
| 3.2.2 Corriente corporal total de un humano. | 95 |
| 3.2.3 Densidades de corriente en diferentes partes del cuerpo. | 100 |
| 3.2.4 Inducción en cerdos | 102 |
| 3.2.5 Análisis de estudios publicados sobre plantas. | 106 |
| IV. CAPITULO | 115 |
| DESCRIPCION DE LOS EFECTOS BIOLOGICOS A 60 Hz. | 115 |
| 4.1 Efectos biológicos y consecuencias en la salud. | 115 |
| 4.2 Análisis de los estudios epidemiológicos. | 118 |
| 4.3 Efectos biológicos de mayor importancia | 123 |

| | Pág. |
|---|------|
| 4.3.1 Efectos genéticos | 123 |
| 4.3.2 Efectos sobre la fertilidad, reproducción, crecimiento y desarrollo. | 126 |
| 4.3.3 Efectos sobre el comportamiento y el sistema nervioso. | 130 |
| 4.3.4 Efectos hematológicos y bioquímicos de la sangre. | 132 |
| 4.3.5 Efectos en las funciones cardiovasculares. | 137 |
| V. CAPITULO | 141 |
| DEFINICION DEL CASO ECUATORIANO | 141 |
| 5.1 Sitios contaminados | 141 |
| 5.2 Sugerencias técnicas | 143 |
| 5.3 Recomendaciones a futuro | 149 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 152 |
| BIBILIOGRAFIA | 156 |

INDICE DE FIGURAS

| Nº | | Pág. |
|-----|---|------|
| 1.1 | Afiches publicitarios de fines del siglo XIX que indican supuestas propiedades medicinales de la electricidad. | |
| 2.1 | Forma asumida por el campo eléctrico vertical por la presencia de un cuerpo humano conductor aterrizado. | 36 |
| 2.2 | Campo eléctrico medido bajo una línea de transmisión de 765 Kv. | 40 |
| 2.3 | Campo eléctrico vertical bajo la fase central de una línea de 765 Kv. | 41 |
| 2.4 | Componentes del campo magnético bajo una línea de 765 Kv. | 42 |
| 2.5 | Campo eléctrico bajo una línea de transmisión de 765 Kv, para 4 diferentes alturas del conductor. | 44 |
| 2.6 | Segmentos de medición en relación al sitio de ubicación de la vivienda. | 48 |
| 2.7 | Campo eléctrico en 4 diferentes segmentos . | 50 |
| 2.8 | Porcentaje del campo eléctrico con relación al medido en 4 diferentes segmentos. | 52 |
| 2.9 | Espectro de ruido acústico en la cercanía de un transformador. | 62 |

| Nº | | Pág. |
|------|--|------|
| 2.10 | Fenómeno de acrecentamiento del campo eléctrico. | 69 |
| 2.11 | Distribución de la densidad de corriente interna en un humano en posición erecta. a) Caso conductor. b) Por diferencia de potenciales. c) Flujo inducido por campo eléctrico. d) Flujo inducido por campo magnético. | 71 |
| 2.12 | Distribución de la densidad de corriente interna en un cuadrúpero. a) Caso conductor. b) Por diferencia de potenciales. c) Flujo inducido por campo eléctrico. d) Flujo inducido por campo magnético. . | 72 |
| 2.13 | Distribución del campo eléctrico y magnético en un biosistema. | 74 |
| 2.14 | Efecto de la presencia de un electrodo en la medición de campos. | 75 |
| 2.15 | Niveles de percepción del campo eléctrico | 81 |
| 3.1 | a) Campo eléctrico alrededor de un maniki en posición erecta. | 87 |
| | b) Corriente inducida en varias secciones del cuerpo. | 88 |
| 3.2 | Area equivalente de colección de carga para un humano. | 98 |
| 3.3 | Porcentajes de la corriente total de corto circuito y campo eléctrico superficial | |

XIII

| Nº | Pág. |
|--|------|
| en diferentes partes de un cerdo aterrizado expuesto a un campo vertical de 9.5 Kv/m. | 104 |
| 3.4 Densidades de corriente perpendiculares a la superficie del cuerpo y campo eléctrico superficial en diferentes partes del cuerpo de un cerdo y un humano expuesto a un campo eléctrico vertical de 10 Kv/m. | 105 |
| 5.1 Sistema Nacional de Transmisión a diciembre de 1988. | 144 |

INDICE DE TABLAS

| Nº | | Pág. |
|-------|---|------|
| I. | Sumario de los campos eléctricos y magnéticos producidos por una línea de transmisión de 765 Kv. | 38 |
| II. | Campo eléctrico de 60 Hz medido en la vecindad de electrodomésticos. | 58 |
| III. | Sumario de campos eléctricos y corrientes de artefactos eléctricos de uso doméstico.. | 60 |
| IV. | Gradientes de voltaje medidos al nivel de tierra en subestaciones de voltaje extremadamente alto. | 64 |
| V. | Normas de exposición soviéticas para trabajadores de subestaciones. | 65 |
| VI. | Factor de acrecentamiento del campo eléctrico en diferentes partes del cuerpo. | 96 |
| VII. | Porcentajes de la corriente total del corto circuito en diferentes partes del cuerpo. . | 99 |
| VIII. | Densidades de corriente estimadas en un cuerpo aterrizado de un humano de 1.7 m expuesto a un campo eléctrico vertical de 10 Kv/m 60 Hz. | 101 |
| IX. | Densidades de corrientes estimadas en un cuerpo aterrizado de un cerdo de 60 Kg expuesto a un campo eléctrico vertical de 10 Kv/m 60 Hz. | 107 |

| | Pág. |
|---|------|
| X. Sumario de las investigaciones sobre efectos genéticos. | 125 |
| XI. Sumario de estudios de efectos en la fertilidad, reproducción, crecimiento y desarrollo. | 128 |
| XII. Sumario de estudios que involucran mediciones del sistema nervioso o parámetros del comportamiento. | 131 |
| XIII. Sumario de estudios que involucran la medición de parámetros hematológicos. | 133 |
| XIV. Sumario de estudios que involucran la medición de parámetros bioquímicos de la sangre. | 135 |
| XV. Sumario de estudios que involucran la medición de parámetros orgánicos. | 138 |

I N T R O D U C C I O N

El medio en el que los seres que habitamos este planeta nos desarrollamos, está siendo continuamente amenazado por diversas formas de contaminación ambiental, unas muy conocidas como el llamado smoke producido por los motores de combustión y otras a las que por el contrario no se les ha prestado mayor atención. Dentro de estas últimas encontramos la llamada polución eléctrica.

Con el pasar de los años se ha ido incrementando, de manera muy acelerada la construcción de líneas de alta tensión, así como el uso de aparatos electrodomésticos, de forma tal que el ciudadano del siglo 20 vive hoy en día rodeado de una jungla de cables portadores de energía eléctrica, sin percartarse de que este habitat al que el desarrollo tecnológico lo ha sometido pueda en algún momento resultarle perjudicial.

La energía eléctrica que circula por un cable conductor no está tan solo confinada al interior de dicho cable, sino que es también propagada al ambiente que

lo rodea en forma de campos eléctricos y magnéticos. Basados en este hecho surgió la necesidad de determinar si una excesiva exposición a campos eléctricos de frecuencia de 60 Hz no pueda en algún momento resultar peligroso para los seres que pueblan este planeta, ya sean estos seres humanos, animales o plantas. Es así que desde hace algunos años los centros de investigación de los países industrializados han venido realizando una serie de trabajos conducentes a establecer los alcances reales de este problema.

Sin embargo en el Ecuador no se cuenta con un estudio sobre efectos biológicos producidos por campos eléctricos de 60 Hz que sea aplicado a la realidad nacional. Esta tesis de grado tiene como objetivo principal llenar este vacío existente, realizando una evaluación del caso ecuatoriano, partiendo del análisis de los principales estudios que a nivel internacional se han realizado tanto desde un punto de vista eléctrico como de la óptica biológica.

Se presenta en detalle y en un lenguaje de fácil comprensión cual es hasta el momento el estado de las investigaciones y a que conclusiones se han arribado. En el capítulo final, una vez que se ha logrado por medio de 4 capítulos previos un conocimiento cabal del

problema, se procede a analizar el caso ecuatoriano. En este capítulo se hace una aplicación de los resultados obtenidos en los estudios de mayor importancia a la situación actual y futura de nuestro país, para de esta manera poder aportar las sugerencias de carácter técnico y las recomendaciones necesarias que sirvan para garantizar que el ciudadano ecuatoriano no esté expuesto a los posibles peligros o daños que los campos eléctricos de 60 Hz puedan provocar.

CAPITULO I

INTRODUCCION HISTORICA



Como primer paso en el estudio de los efectos biológicos de los campos eléctricos de 60 Hz considero importante efectuar un análisis de la evolución histórica de los diferentes criterios que han existido en torno al problema, desde los tempranos días en que la electricidad fue usada a nivel comercial, hasta los tiempos de gran desarrollo tecnológico que hoy vivimos.

1.1 GENERALIDADES.-

El interés científico por realizar estudios que lleven a establecer los posibles efectos biológicos que los campos eléctricos generados por corrientes de 60 ciclos pudieran tener en los seres humanos es relativamente reciente.

De las investigaciones realizadas conjuntamente por biólogos e ingenieros se sabía que para, para que una radiación, de cualquier tipo que ésta sea, produzca alguna alteración en un organismo viviente debía tener capaci



dad de ionización, es decir capacidad de arrancar electrones de los átomos y consecuentemente de producir cambios químicos en las células. Partiendo de este principio se clasificó a las radiaciones en 2 grupos basados en su frecuencia de propagación: Un grupo correspondiente a radiaciones de frecuencia superior a la de la luz visible y otro que agrupaba a las radiaciones de baja frecuencia. En el primero de los mencionados se encuentran los rayos X, ultravioletas, radiaciones gamma, raayos cósmicos y son considerados potencialmente peligrosos para la salud ya que se trataba de ondas ionizantes que como se explicó pueden causar cambios químicos en las células.

Como radiaciones de baja frecuencia en cambio, se tiene a las infrarojas, de radar, microondas, UHF, VHF, ondas de radio y los campos de frecuencia extremadamente baja (ELF de su siglas en inglés) como las radiaciones de 60 Hz, por ejemplo. Estas radiaciones por el contrario, no constituían peligro alguno por no tener capacidad de ionización.

Fundamentados en estos conceptos es que por largos años el criterio general fue el de considerar a la energía eléctrica como una forma de energía limpia y segura confinada a los cables de transmisión que la transpor

taban desde las estaciones generadoras hasta las tomas en nuestros hogares, sin prestar mayor atención a las radiaciones que la corriente en movimiento por dichos cables producen.

Sin embargo, debido a los cada vez más crecientes niveles de exposición a las radiaciones de 60 Hz que los seres humanos estamos sometidos en el medio que nos rodea, surgió la inquietud por parte de algunos científicos de establecer si resultaría peligroso o no, ya sea a corto o largo plazo, esta excesiva exposición a radiaciones de baja frecuencia.

1.2 PRIMEROS ESTUDIOS SOBRE EFECTOS BIOLÓGICOS DE CAMPOS ELÉCTRICOS DE 60 Hz.-

El descubrimiento de la electricidad planteó la interrogante de conocer si existía alguna interrelación entre ésta y los seres vivos.

Científicos involucrados en dicho descubrimiento y en el estudio de las leyes que la gobiernan como Helmholtz, Hertz, Faraday, Tesla, Volta y Galvani mostraron gran interés por las implicaciones de carácter biológico que la electricidad pudiera tener. No obstante, en la mentalidad del ciudadano

común más bien estuvo presente la idea de que este tipo de energía pudiera ser beneficiosa para la salud como se puede inferir de las ilustraciones que se muestran a continuación y que corresponden a afiches publicitarios de principios de siglos en los que se anuncian diversos aparatos electromagnéticos que según sus inventores poseían supuestas propiedades curativas, las mismas que eran atribuidas a la energía eléctrica.

No obstante, la inicial preocupación mostrada por los pioneros científicos de la electricidad por asociar conceptos eléctricos y biológicos fue olvidada con el transcurrir de los años y es así que durante los 2 primeros tercios de este siglo, el estudio de la electricidad se concentró principalmente en comprender su interacción con objetos no animados.

El problema electricidad-seres vivientes es abordado nuevamente cuando el desarrollo tecnológico alcanzado permite disponer de niveles de operación de mayor voltaje. Las investigaciones en este caso apuntan a establecer datos como los referentes a el número de amperios necesarios para estimular un nervio, o para producir shock, muerte o quemadura en un organismo. Sin embargo, ningún trabajo

se efectuó en materia de radiación eléctrica hasta llegada la década de los 60.

Los primeros estudios tendientes a establecer posibles efectos biológicos producidos por campos generados por corrientes de 60 Hz. en seres humanos, se remontan al año de 1962.

En la Unión Soviética, poco tiempo después de que las primeras líneas de transmisión de 500 Kv entraran en funcionamiento, los trabajadores de algunas subestaciones empezaron a quejarse de dolores de cabeza y sensaciones de fatiga y somnolencia. Estas afecciones fueron directamente asociadas con la exposición excesiva a campos eléctricos por parte de los obreros. La preocupación mostrada por las autoridades soviéticas instó a iniciar investigaciones tendientes a establecer las causas que motivaron los desequilibrios en la salud de los trabajadores. Para el estudio se escogió a 250 trabajadores de subestaciones de 500 y 750 Kv, a los cuales se sometió a un seguimiento de largo tiempo con examinación sistemáticas para evaluar periódicamente sus condiciones. Los resultados obtenidos fueron comparados con los que arrojaron un muestreo similar hecho con trabajadores de subesta

ciones de más bajo voltaje. Las conclusiones a las que se arriaron establecieron que los trabajadores que habían laborado en subestaciones de 500 Kv por largo tiempo, sin ninguna medida de protección experimentaban un desequilibrio del estado dinámico del sistema nervioso central, del sistema cardíaco y del sistema sanguíneo. Llegando incluso a detectarse disminución de la potencia sexual en el caso de los obreros más jóvenes. A criterio de los investigadores soviéticos, la magnitud de la afección se relacionaba al parecer, directamente con la cantidad de tiempo que la persona estaba expuesta a los campos eléctricos.

Posteriormente, se continuaron efectuando estudios, disponiéndose entre ellos de por lo menos 5 estudios epidemiológicos que por abarcan a cuando menos 727 individuos expuestos a campos producidos por líneas de alta tensión.

El análisis de los resultados obtenidos ha servido para establecer en la Unión Soviética normas que regulan el grado de exposición premisible para los trabajadores de subestaciones, desarrollándose igualmente standars sobre la exposición del público en general y de campesinos que trabajan cerca

de los tendidos de alta tensión. Entretanto el uso de líneas de 750 Kv, ha sido restringido, tomándose precauciones como la de delimitar una zona de cerca de 360 pies de ancho centrada en las líneas, para uso tan solo de personal autorizado. De ninguna forma esta zona puede ser usada para fines recreativos o como lugar de congregación de gente, como parada de buses por ejemplo. No se permite que vehículos se detengan o sean reabastecidos de combustible bajo las líneas. Si alguna falla mecánica se presenta en el automóvil, este debe ser alejado de la zona. Protecciones metálicas deben ser usadas en los asientos de los tractores y otras maquinarias agrícolas empleadas por los campesinos a fin de reducir la magnitud del campo eléctrico.

Sin embargo, los criterios argumentados por los soviéticos no fueron ni son compartidos por los científicos occidentales. Los reportes presentados por la Unión Soviética han sido criticados ampliamente por la falta de suficientes datos cuantitativos y diagnósticos médicos precisos. Pese a todo, es importante recalcar que el hecho de haber realizados estudios que posteriormente condujeron al establecimiento de normas y reglas sobre la

exposición a campos eléctricos de los seres humanos, nos indica el grado de preocupación existente en la Unión Soviética por este problema. En los Estados Unidos, el primer trabajo de esta materia que se tiene conocimiento fue un pequeño estudio financiado por la Compañía Americana de Energía Eléctrica, llevado a cabo por la Universidad Johns Hopkins. Comenzando en 1963, 11 trabajadores de líneas fueron sometidos a chequeos periódicos durante un lapso de 9 años. En 1967 como resultado se presentaron 2 informes. En uno se reportaron las observaciones hechas en los trabajadores y en el otro se detallaron anotaciones sobre el comportamiento de ratones expuestos en laboratorio al mismo ambiente eléctrico que los trabajadores de líneas. Contrariamente al procedimiento usual para este tipo de experimentos, no se efectuó control alguno de grupo, una falla siempre imputada a los informes soviéticos. No se reportaron datos cuantitativos del tiempo o del nivel de exposición de los trabajadores. No se colectó información clínica. Durante los 9 años 1 trabajador se retiró y por lo tanto, no continuó en el estudio y 8 ascendieron a supervisores.

Como conclusión final del estudio se estableció

que no existieron cambios significativos de ninguna clase luego de la examinación física de los individuos. Se reportó que 3 trabajadores tuvieron una baja en la cantidad de esperma en las últimas examinaciones, pero los muestreos efectuados mostraron que la cantidad era muy variada a lo largo del estudio de lo que se infirió que debido al tamaño de la muestra, la variación era muy pequeña como para generalizar los resultados. En cuanto al experimento con ratones, estos tampoco presentaron cambio alguno. Los científicos de la Universidad Johns Hopkins consideraron insuficientes los dos estudios e instaron a continuar las investigaciones, pero no encontraron la suficiente ayuda económica por parte de la industria o el gobierno.

1.3 CRITERIOS ACTUALES.-

A excepción de los informes mencionados la literatura científica producida en los Estados Unidos desde 1882 hasta cerca de 1970 no contiene casi información ya sea a favor o en contra, experimental o teórica, que permita extraer alguna conclusión por la exposición a campos eléctricos de 60 Hz. Durante este período la industria de distribución eléctrica

creció hasta convertirse en gigantes empresas. Las únicas regulaciones que fueron tomadas para su control se sujetaron a asegurar que las líneas no produzcan grandes efectos como shocks o quemaduras. Respecto a otros efectos biológicos prevaleció la presunción de no existencia de los mismos. La falta de investigación científica acerca del peligro de la exposición excesiva a campos eléctricos fue aceptada como evidencia legal tendiente a probar la no existencia de peligro alguno.

Llegado los años 60, algunos investigadores trabajaban a nivel de laboratorio con radiaciones eléctricas en humanos y animales con diversos fines como: Alterar los patrones de crecimiento, estimular la regeneración, tratar tumores, cambiar el curso de ciertas enfermedades, entre otros, trabajando sin embargo, a frecuencias más elevadas.

Por esta época y a raíz de un proyecto de la marina de los Estados Unidos, una serie de estudios sobre radiaciones de frecuencia extremadamente baja tienen lugar, volcando de manera definitiva el interés científica sobre la posibilidad de encontrar efectos biológicos en los seres humanos producidos por dichas radiaciones. El proyecto mencio

nado recibió el nombre de Proyecto Sanguíneo y tenía como objetivo el construir una red de cables entre 26 condados situados al norte del estado de Wisconsin. Los campos generados por la antena resultaron ser similares en varios aspectos a los generados por líneas de alta tensión: La frecuencia de operación era esencialmente la misma, el campo magnético era el mismo, pero el campo eléctrico era de 1 millonésimo de aquel producido por líneas de alta tensión. La marina decidió entonces iniciar investigaciones tendientes a evaluar el impacto que el Proyecto Sanguíneo tendría en el medio.

Muchos investigadores de diversas universidades norteamericanas emprendieron estudios en diversas áreas: El estudio de la capacidad de los peces de percibir los campos, los efectos de estos en la orientación de los pájaros, la posibilidad de alterar la tasa de crecimiento de las ratas, efectos en la fisiología y comportamiento de los seres humanos, entre otros.

Los resultados obtenidos fueron diversos no pudiéndose extraer información concluyente que establezca de manera definitiva los peligros del Proyecto Sanguíneo. Lo que si se logró fue alertar a la comuni

dad científica acerca de la necesidad de esclarecer las dudas existentes.

Mucho tiempo ha pasado desde aquel setiembre de 1882, cuando la histórica estación eléctrica de la calle Pearl de la ciudad de New York alimentara una red de 220 v y posteriormente una línea de 11 Kv. Los requerimientos eléctricos han ido en constante ascenso. La tasa de crecimiento anual de los Estados Unidos entre 1912 y 1970 fue de 7.5%. Para satisfacer esta demanda las compañías de distribución han ido aumentando su voltaje de operación paulatinamente. Las líneas de transmisión más grande que se disponían antes de 1950 era de 138 o 230 Kv. Para los años 50, la siguiente generación de líneas de transmisión fue diseñada para 345 Kv. Para fines de los 60 entran en servicio las primeras líneas de 765 Kv y una de 800 Kv DC. En la actualidad existen más de 1000 millas de tendidos que transportan 765.000 v en los Estados Unidos, previendo que para el futuro entren en funcionamiento líneas de 1500 o 2000 Kv.

En el Japón se han considerado voltajes de 1200 Kv para los años venideros. Y así en muchísimos otros países.

Se torna imperante por tanto el establecer de manera definitiva si es que existe o no consecuencias biológicas en los seres humanos expuestos a campos eléctricos de frecuencia comercial.

Este trabajo se basa en la recopilación de la información más importante existente en el medio y pretende ser la base de futuros trabajos que en material de solución eléctrica se hagan en el país, a fin de que en un futuro próximo el Ecuador pueda contar con normas que regulen la exposición de nuestros trabajadores eléctricos, campesinos y público en general a fin de precautelar la vida de nuestros ciudadanos.

CAPITULO II

AMBIENTES PRODUCIDOS POR CAMPOS ELECTRICOS

Un t3pico de suma importancia que se debe considerar para poder comprender la interacci3n existente entre los campos el3ctricos y los seres vivientes, es el concerniente a los ambientes producido por dichos campos. En el presente cap3tulo se describen en detalle los ambientes formados por las diversas fuentes de campos el3ctricos de 60 Hz existentes. As3 mismo se analiza el problema del acoplamiento campo-seres vivientes tanto desde un punto de vista el3ctrico como de un punto de vista biol3gico.

2.1 Ambientes producidos por l3neas de transmisi3n:

Debe reconocerse que las l3neas de transmisi3n de alta tensi3n A.C., no solo forman campos el3ctricos sino un ambiente muy complejo. La presencia del campo el3ctrico y su relacionado campo magn3tico producen efectos colaterales como: Peque1as descargas de arcos, ionizaci3n del aire, ruido ac3stico de bajo nivel y ruido de radio. Todos estos efectos se en

cuentran confinados a algunos cientos de pies de las líneas de transmisión.

2.1.1 Ambientes primarios producidos por líneas de transmisión.-

Se pueden observar tres ambientes primarios de carácter electromagnético en la cercanía de la tierra:

1. Un campo eléctrico vertical predominante
2. Un campo eléctrico horizontal cerca de la superficie y en el interior de la tierra.
3. Un campo magnético de tres componentes variables en el tiempo.

Cabe aquí el realizar una muy breve explicación sobre los campos producidos por la corriente en movimiento en los tendidos. Existen dos campos básicos creados en las líneas: El campo eléctrico y el campo magnético.

El campo eléctrico es directamente proporcional a la magnitud del voltaje (carga Q) e inversamente proporcional a la distancia:

$$E = V/D \quad (2.1)$$

Por su parte el campo magnético es directamente proporcional a la magnitud de la corriente e inversamente proporcional a la distancia:

$$B = I/D \quad (2.2)$$

La frecuencia debe ser considerada debido a su significativa influencia sobre la intensidad de los efectos observados. La frecuencia de los campos sigue a la frecuencia de transmisión. En occidente es de 60 Hz, en tanto que los países del este trabajan a 50 Hz. Es decir que se tratan, como anteriormente se mencionó de radiaciones de frecuencia extremadamente baja, ELF.

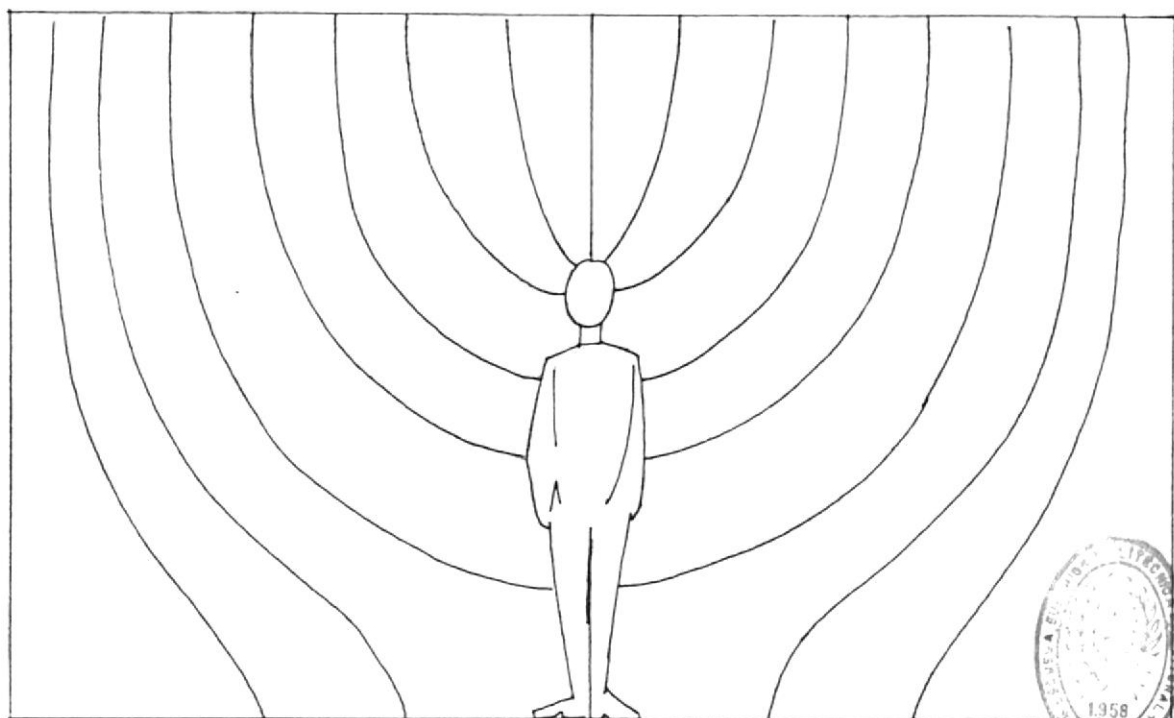
Las ecuaciones (2.1) y (2.2) establecen tan

solo la forma como los campo eléctrico y magnético son determinados. El cálculo matemático es mucho más complejo y es función de la geometría de las líneas de potencia, esto es del tamaño del conductor, espaciamiento y altura sobre la tierra.

Usualmente los campos eléctricos de 50/60 Hz son descritos en función de su contorno espacial no perturbado. El término no perturbado se refiere a la forma que el campo asumiría si no estuviera presente objeto conductor alguno. Un humano parado en un campo eléctrico vertical, como es la característica predominante en las líneas de transmisión perturba el campo de tal forma que todas las líneas de campo interceptan verticalmente el cuerpo, ya que la conductividad de los tejidos es muy alta, como se ve en el siguiente gráfico. Al contrario de los campos eléctricos, los campos magnéticos son perturbados solo ligeramente por los tejidos biológicos.

De los estudios emprendidos de campos eléctricos no perturbados y campos magnéticos de

BIBLIOTECA



BIBLIOTECA

FIG. 2.1

FORMA ASUMIDA POR EL CAMPO ELECTRICO VERTICAL
POR LA PRESENCIA DE UN CUERPO HUMANO CONDUCTOR
ATERRIZADO

líneas de transmisión, se ha podido extraer diversa información: Los campos eléctricos al nivel de tierra dentro del área correspondiente al derecho de vía de líneas de alta tensión varía desde algunos cientos de voltios por metro al borde del área de derecho de vía, hasta algunos miles de voltios por metro directamente bajo los conductores. Los campos magnéticos son proporcionales a la corriente transportada por las líneas. Valores máximos de campo magnético en la cercanía de tierra son de alrededor de 0.5 gauss.

Fuera de la zona de derecho de vía la intensidad del campo eléctrico decrece en forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la línea. La intensidad magnética decrece más despacio, debido a contribuciones de las corrientes en la tierra y pequeños desbalances en las corrientes de la línea trifásica.

La Tabla # I que se presenta a continuación presenta un sumario de ambientes eléctricos y magnéticos de una línea de 765 Kv de 3 fa

TABLA I
 SUMARIO DE LOS CAMPOS ELECTRICOS Y MAGNETICOS PRODUCIDAS
 POR UNA LINEA DE TRANSMISION DE 765 Kv*

| | |
|--|----------------------------|
| CAMPO ELECTRICO VERTICAL | |
| Cerca de la torre | 0 |
| A medio camino del centro del vano | 6 Kv/m |
| Cerca del centro del vano | 8 Kv/m |
| A 38.1m de distancia en dirección perpendicular del centro del vano. | 2.5 Kv/m |
| CAMPO ELECTRICO HORIZONTAL (EN TIERRA) | |
| Campo eléctrico paralelo a la línea | 2.3×10^{-2} V/m |
| Campo eléctrico perpendicular a la línea. | 5×10^{-2} V/m |
| CAMPO MAGNETICO A CORRIENTE DE LINEA MAXIMA. | |
| Vertical | 240×10^{-3} Gauss |
| Horizontal perpendicular al eje de la línea. | 160×10^{-3} Gauss |
| Horizontal paralelo al eje de la línea. | 20×10^{-3} Gauss |

* 3 fases horizontales de 15 metros de altura y 13.7 metros de separación. Corriente de fase de plena carga 2000 A.

ses horizontales, 15 metros de altura, 13.7 metros de separación, 2000 amperes de corriente de fase a plena carga. Los datos que han servido para la elaboración de la tabla fueron obtenidos mediante medición y son presentados en 3 gráficos, también mostradas a continuación.

La Figura 2.2 , muestra la intensidad del campo eléctrico vertical en el vano medio como una función de la posición de medición perpendicular a la dirección de la línea. La Figura 2.3, presenta el campo eléctrico vertical como una función de la posición bajo la fase central a lo largo de la línea. Nótese que el campo eléctrico vertical se corta en la vecindad de la torre metálica aterrizada. También note en la figura que la intensidad mayor del campo se encuentra en el centro del vano e inmediatamente bajo los conductores. La Figura 2.4 , muestra las curvas correspondientes a las 3 componentes espaciales del campo magnético, medidas también en el vano medio. Las diferencias de fase se entre las corrientes en los cables causan que los vectores de campo magnético ro-

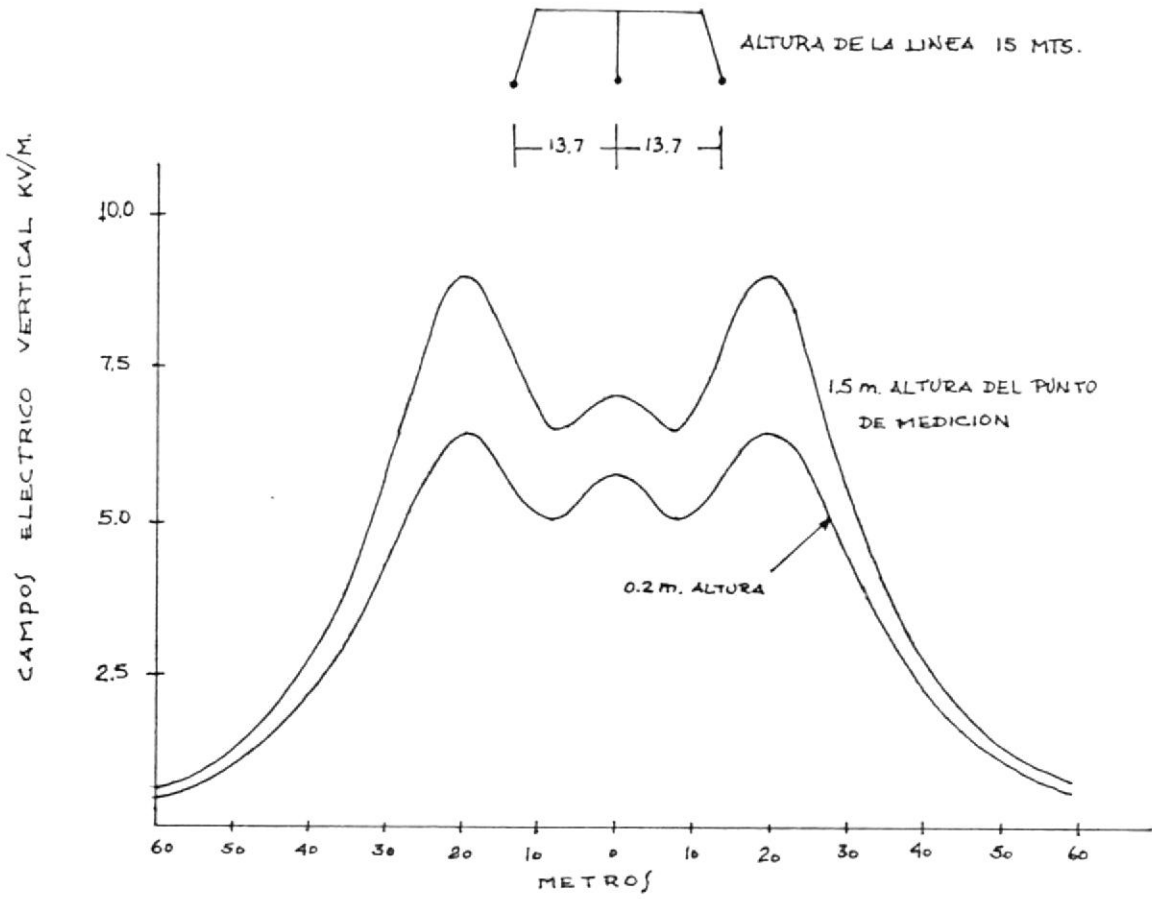


FIG. 2.2. CAMPO ELECTRICO MEDIDO BAJO UNA LINEA DE TRANSMISION DE 765 KV

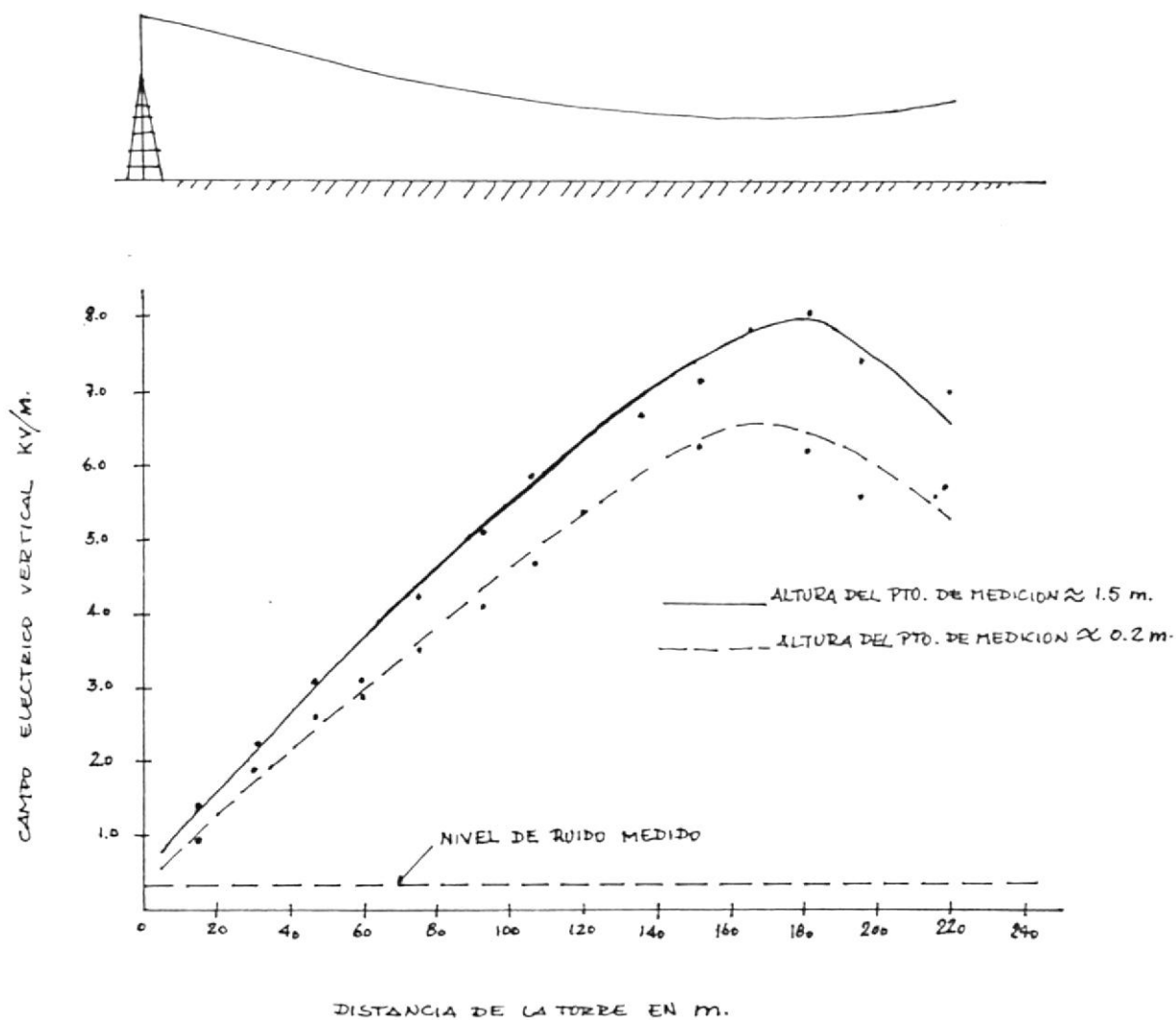


FIG. 2.3. CAMPO ELECTRICO VERTICAL BAJO LA FASE CENTRAL DE UNA LINEA DE 765 KV.

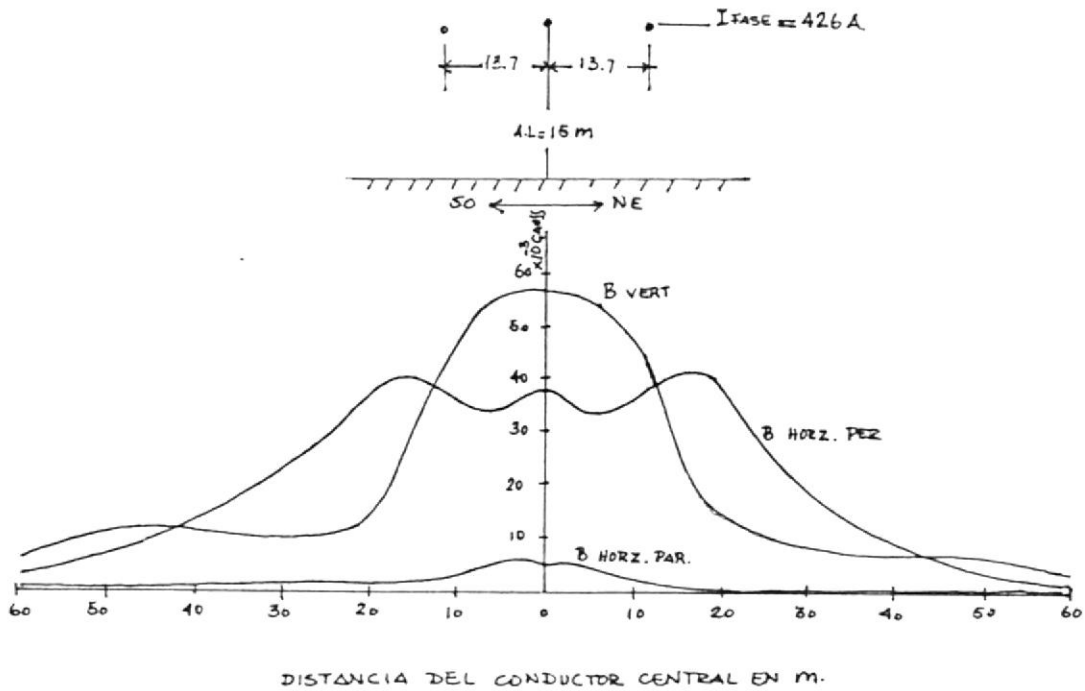


FIG. 2.4

COMPONENTES DEL CAMPO MAGNETICO BAJO
UNA LINEA DE 765 KV.

ten en el espacio para formar los 3 componentes espaciales. La corriente de la línea en este caso es de 425 amperes y corresponde a la corriente de plena carga. Para una carga de 1000 amperes el campo magnético aproximado bajo la fase central de la misma línea medida 5 pies sobre la tierra es 0.15 gauss y para 2000 amperes es 0.31 gauss. Debe notarse que el campo magnético es función de la corriente y por tanto la configuración del campo será similar para cualquier voltaje con la misma magnitud de la corriente.

Una conclusión muy importante que se puede extraer de los gráficos #2.2 y 2.4 es la rápida reducción de la magnitud del campo con el incremento de la distancia de la línea de transmisión. Este hecho ilustra que el área de interés para este estudio, está confinada directamente en la vecindad de la línea de transmisión.

Por otro lado en la Figura 2.5 se muestra el campo eléctrico a una altura de 1 metro sobre la tierra para cuatro diferentes alturas de la línea. En esta gráfica observamos como incrementos progresivos de la altura de

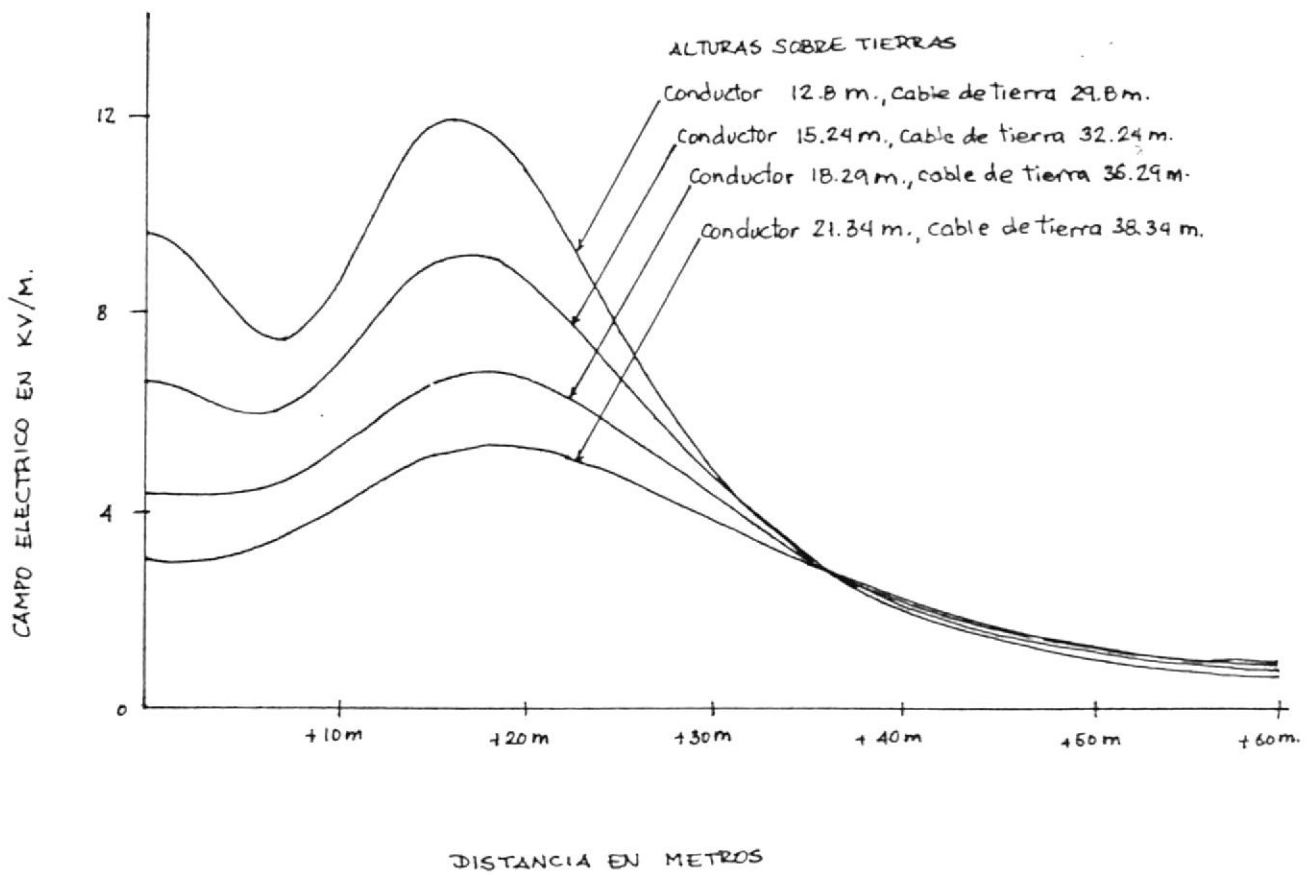


FIG. 2.5.

CAMPO ELECTRICO BAJO UNA LINEA DE TRANSMISION DE 765 KV., PARA 4 DIFERENTES ALTURAS DEL CONDUCTOR

La línea reduce el campo al nivel de tierra bajo la línea e incrementa el campo al nivel de tierra a distancias lejanas de la línea.

Los campos eléctricos y magnéticos pueden inducir cargas superficiales en los humanos y esto genera un flujo de corriente dentro del cuerpo. En el caso de un humano en posición erecta, la máxima corriente inducida en el cuerpo por un campo eléctrico de una línea de transmisión es mucho más grande que la corriente del cuerpo o la densidad de corriente del cuerpo inducida por el campo magnético. La distribución de la densidad de corriente interna del cuerpo varía a lo largo del cuerpo de un humano erecto y el máximo valor ocurre en las partes bajas de las piernas. Un valor típico para la corriente en el cuerpo inducida por el campo eléctrico en las piernas es de 15 $\mu\text{A}/\text{Kv}/\text{m}$. A manera de ejemplo, una persona promedio parada en un campo de 8 Kv/m como se anotó en la Tabla I experimentaría una corriente máxima en el cuerpo de 120 μA . Estos datos han sido dados tan solo como referencia. En un capítulo aparte se abordará más deta-

lladamente el análisis de las corrientes inducidas en seres humanos y animales.

En este aparte vale hacer una acotación sobre las líneas de distribución de bajo e intermedio voltaje, aún cuando los valores de intensidad y la forma de los campos no estén bien documentados al moento. De consideraciones teóricas y algunas mediciones de que se tiene conocimiento, los campos eléctricos de las líneas de distribución se sabe que son menores a 100 V/m al nivel de tierra. Al igual que las líneas de transmisión el campo eléctrico decrece en forma inversa al cuadrado de la distancia de la línea. Las mediciones del campo magnético en líneas de distribución son escasas, pero generalmente varían de 0 a 0.05 gauss directamente bajo la línea. Actualmente se encuentran en desarrollo programas tendientes a profundizar los conocimientos en esta área.

Para concluir el estudio de los ambientes primarios producidos por líneas de transmisión considero importante el incluir información acerca de las características que

presentan los ambientes en zonas residenciales densamente pobladas. Los reportes generalmente encontrados analizan el problema de los efectos biológicos usando valores de campo calculados para terrenos planos sin objetos que perturben la presencia del campo, sin embargo cuando se tiene el caso de una línea de transmisión que atravieza un poblado observamos la presencia de casas, árboles y una serie de objetos que influyen y que hacen que el campo tome valores diferentes a los esperados, debido al fenómeno de apantallamiento.

Para ilustrar lo mencionado analicemos el siguiente caso: Se tiene una línea de transmisión de 230 Kv y a una distancia de 11.6 m de su línea central una casa que está rodeada por un cerramiento de 1.7 m; en el patio posterior existen arbustos y pequeños árboles. En la Figura 2.6 se indica tanto la altura como la posición respecto de la línea. Las dimensiones de la estructura que sostiene las líneas también está indicada, el diámetro de los conductores es de 36.25 mm y del cable de tierra es 9.53 mm. El voltaje de la línea en el momento de realizar las medi

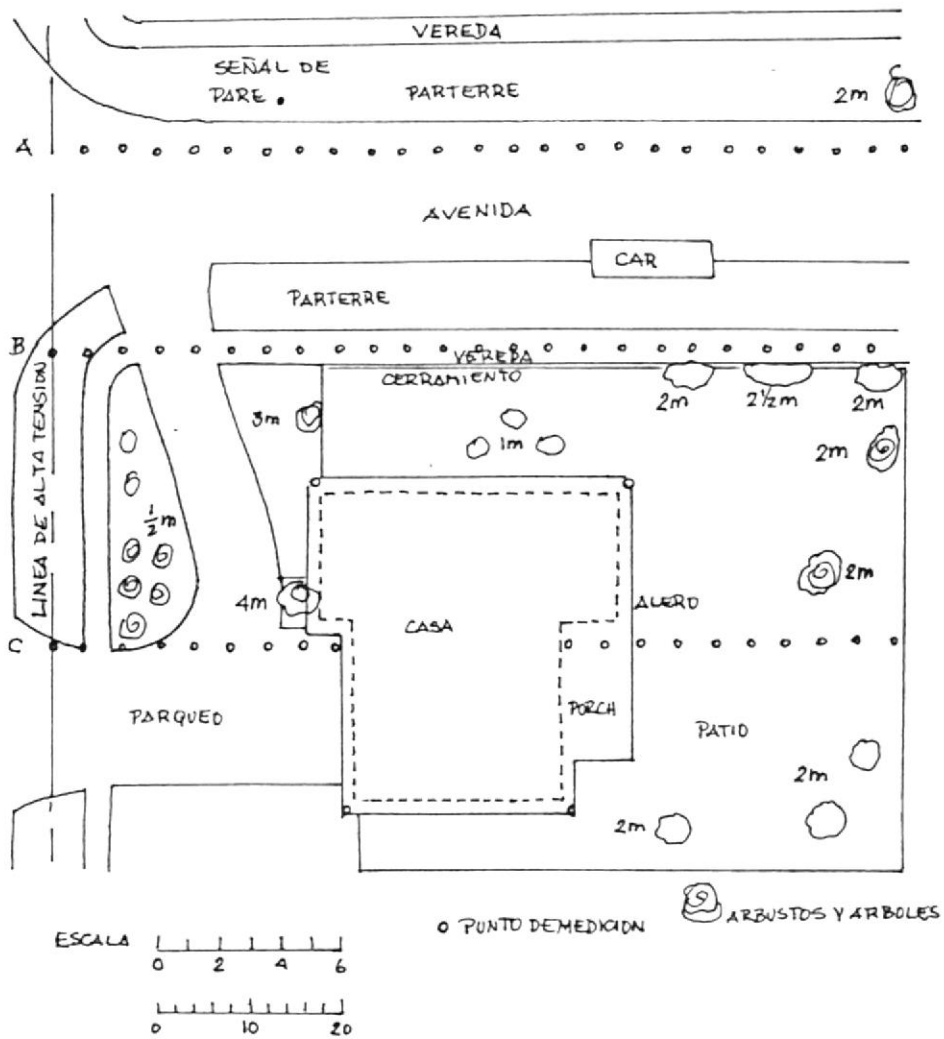


FIG. 2.6. SEGMENTOS DE MEDICION EN RELACION AL SITIO DE UBICACION DE LA VIVIENDA

ciones fue aproximadamente 239.5 Kv.

Se realizaron mediciones en 3 diferentes segmentos los mismos que se muestran en la figura 2.6 . La altura para todas las mediciones fue de 1 m sobre tierra. El primer segmento coincide con la calle y se lo escogió así por ser la zona más despejada, por tanto con menor apantallamiento.

El segundo segmento corre por la vereda y junto a la verja de la casa, se lo escogió así para observar principalmente los efectos de esta última en el campo eléctrico.

El tercer segmento pasa exactamente por la puerta de entrada a la casa, atravieza la casa y pasa por el patio trasero y se la escogió de esta manera para ver los efectos de la presencia de la casa.

Los resultados obtenidos fueron comparados con los extraídos de un análisis teórico de la misma línea, trabajando en condiciones similares pero con la asunción de que el terreno es plano y sin objetos presentes.

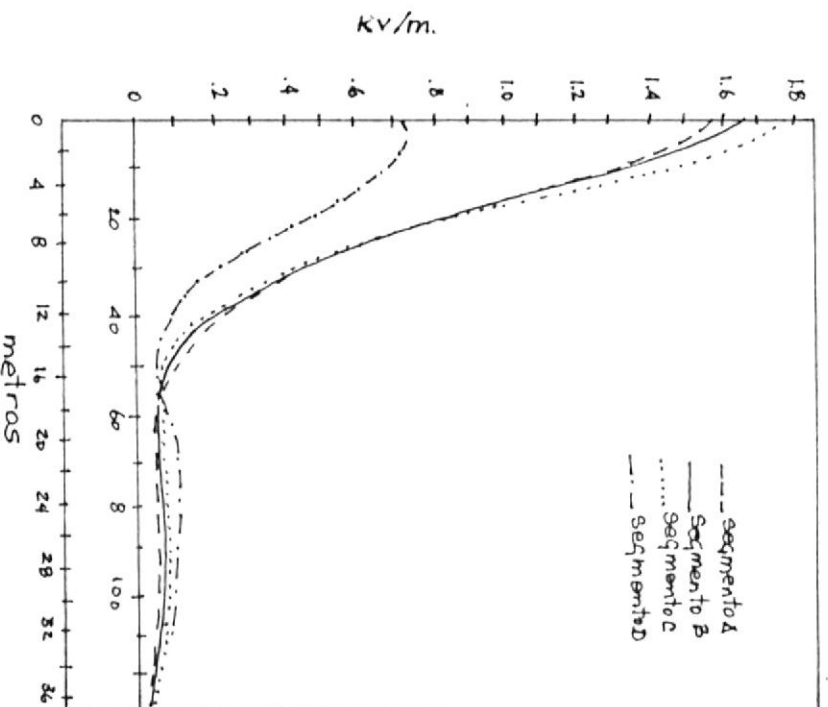


FIG. 2.7. CAMPO ELECTRICO EN 4 DIFERENTES
SEGMENTOS

En la Figura 2.7 se muestran las curvas obtenidas. Las pequeñas variaciones de los valores teóricos observadas son debidas a que los conductores tienen diferente altura en los tres diferentes sitios indicados, por ejemplo el segmento C coincide con el vano medio y por tanto se obtuvo intensidades mayores bajo los conductores en ese caso.

Para ilustrar mejor el proceso de apantallamiento que tiene lugar se expresan las intensidades de campo medidas en cada punto como porcentaje del valor calculado en el mismo punto. Así, si no existe apantallamiento del campo eléctrico debido a la presencia de los objetos circundantes el valor tomado será de 100%. Un valor superior al 100% indica un fenómeno de acrecentamiento del campo y el caso contrario es decir un valor inferior significa que ha ocurrido una supresión del campo debido al apantallamiento.

Las figuras 2.8 mostradas en la página siguiente corresponden a las gráficas de los porcentajes en cada segmento, indicándose la posición de los objetos que causan el apantallamiento.

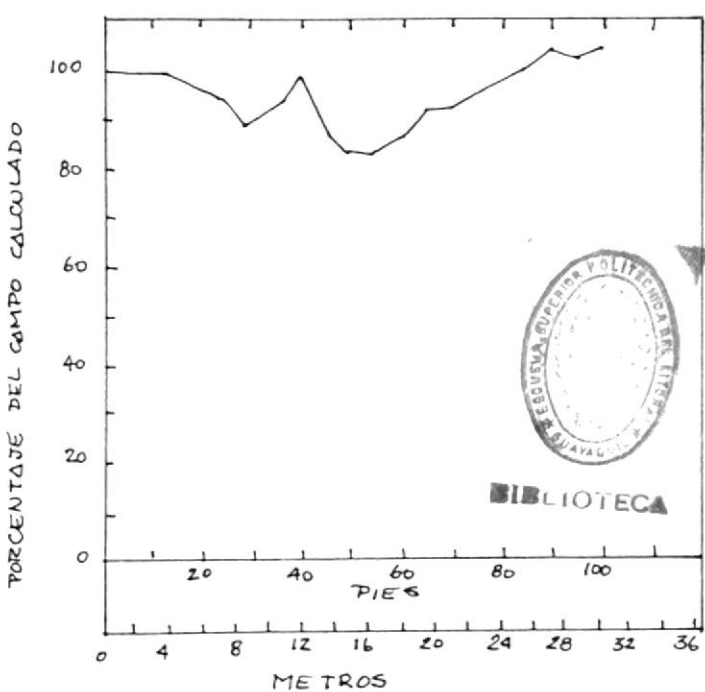
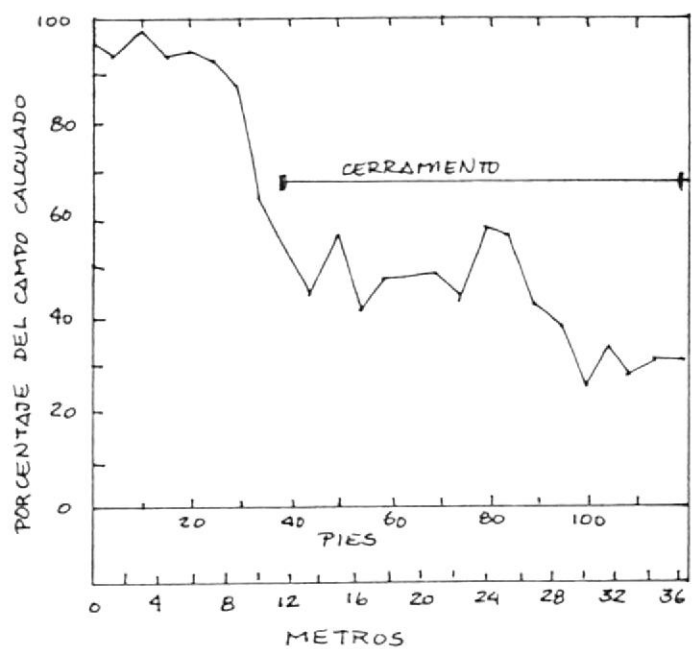
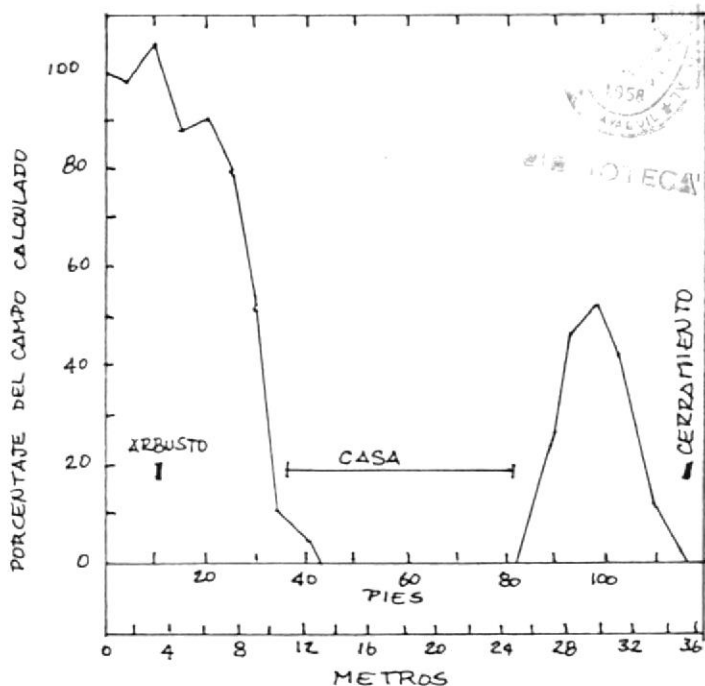
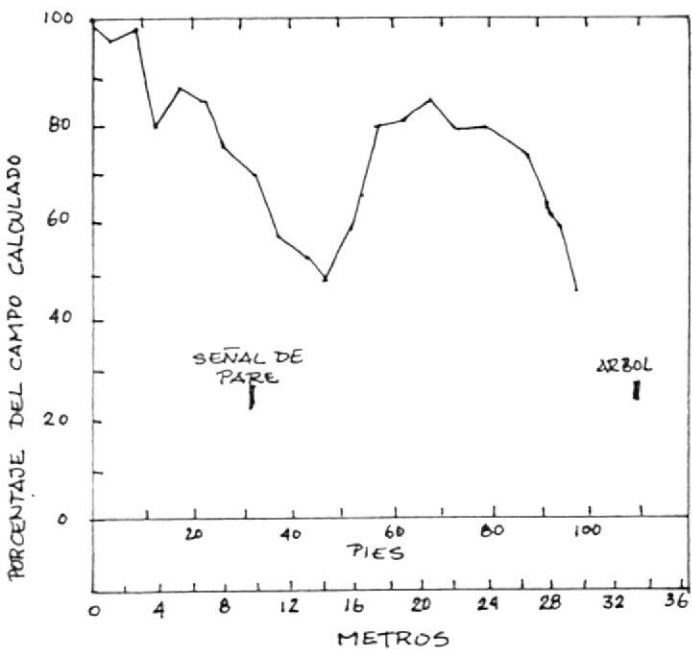


FIG. 2.8. PORCENTAJE DEL CAMPO ELECTRICO CON RELACION AL MEDIDO EN 4 DIFERENTES SEGMENTOS

En el gráfico del segmento A el cual fue escogido por considerarse mínima la influencia de la casa y los arbustos, se nota una reducción en la intensidad de campo debida a la presencia de la señal de disco pare y de pequeños árboles junto a la calle. Estos estaban localizados a 2 y 3 m respectivamente de la línea de medición.

El gráfico correspondiente al segmento B muestra un significativo apantallamiento debido a la presencia de la verja, asentuándose más el efecto en la parte posterior debido a la presencia de arbustos de mayor altura que la verja.

En el segmento C se encuentra que el campo eléctrico llega prácticamente a tener un valor de cero cuando alcanza la casa, incrementando su valor al llegar al patio, pero otra vez se hace cero por la presencia de la verja.

A manera de conclusión se puede anotar lo siguiente: La presencia de objetos tales como casas, árboles, arbustos y otros objetos en

la cercanía de líneas de transmisión reduce el valor del campo eléctrico de manera notable. La presencia de una casa provee de suficiente apantallamiento para reducir el valor del campo en su interior prácticamente a cero. Este hecho es fundamental, ya que muchos estudios que se han efectuado han empleado valores de campo calculados para terrenos planos y despejados en estudios de zonas pobladas, lo que como se ha comprobado es incurrir en un error.

2.1.2 Ambientes colaterales de 60 Hz.-

En un humano parado en la tierra y bajo una línea de transmisión, el campo eléctrico de la línea induce como ya se mencionó, corrientes en el cuerpo, la misma que tiende a fluir por la parte baja hacia tierra. Este flujo de corriente puede causar un voltaje entre la persona parada sobre un material aislante (como suelas de caucho) y un objeto conductor aterrizado. Si el individuo aislado alcanza a tocar el objeto aterrizado, una serie de pequeños arcos se formarán en el extremo de la parte del cuerpo en

contacto con el objeto y la corriente fluirá hacia el mismo. De manera inversa, un evento similar ocurre cuando una persona aterrizada toca un objeto de metal aislado. Este fenómeno es similar a las descargas estáticas que normalmente se observan en una persona que camina en una alfombra durante un día seco toca un objeto metálico aterrizado, tal como una perilla de una puerta, una bombilla eléctrica o el botón para llamar un ascensor.

Otros ambientes colaterales incluyen ruido acústico de bajo nivel (menos de 55 dBA) y ruido de radio. También se ha mencionado que líneas de alto voltaje AC pueden alterar la conductividad del aire o el ambiente de iones del aire, pero las mediciones que lo comprueban no han sido realizadas. Algo de preocupación se ha expresado en lo que concierne al ozono, pero los estudios efectuados han demostrado que las líneas de alta tensión existente no crean una contribución considerable al ambiente de ozono.

2.2 AMBIENTES DOMESTICOS DE 60 Hz.-

De gran importancia son las corrientes que se pueden desarrollar en el cuerpo debido al uso de electrodomésticos y otros utensilios eléctricos de ya que ocurren en un ambiente que no tiene competencia de otras fuentes de campos de 60 Hz y porque estas corrientes del cuerpo son comparables a aquellas inducidas por el campo eléctrico de una línea de transmisión. Valores de corriente corporales de 30 uA pueden medirse producto de campos inducidos por electrodomésticos. De acuerdo a los standards impuestos por el Instituto Nacional Americano de Standards (ANSI), la máxima corriente corporal permisible (o corriente de fuga) debido a contacto físico directo es 500 uA para electrodomésticos portátiles y 750 uA para electrodomésticos fijos. Previa la introducción y uso de la norma ANSIC101.1 o su equivalente para el laboratorio Underwrite, corrientes de fuga mayores a 2 mA fueron ocasionalmente medidas. Corrientes corporales de limbo a limbo mayores a 500 uA son perceptibles y en caso de valores algo mayores son capaces de inducir una reacción de susto por medio de un breve shock, suave e inesperado. La norma ANSI C101.1 ha sido plenamente aceptada y casi todos los electrodomésticos portátiles son diseñados para satisfacerla. La corriente de fuga medida para la norma ANSI C101.1 es el límite superior de corrientes corpo-

rales actualmente experimentado por usuarios de electrodomésticos. Sin embargo este valor máximo de corriente de fuga es a menudo reducido por impedancias adicionales que aparecen en serie con el electrodoméstico y tierra. Estas incluyen la resistencia de los zapatos y la resistencia de paso a tierra. Aun si la resistencia DC de la suela de los zapatos es muy grande, corrientes corporales del orden de 20 μA han sido medidas en el interior de un individuo parado en una hoja de lucita de 3 mm de espesor colocada en una placa aterrizada mientras el individuo tocaba un electrodoméstico. El uso del tercer cable de tierra puede reducir la corriente de fuga a valores despreciables. Las herramientas de potencia más modernas también emplean doble aislamiento para reducir la corriente de fuga. Usualmente los valores mayores de corriente de fuga a los que se está expuesto son limitados a un breve espacio de tiempo, aun cuando se puede encontrar excepciones cuando se usan herramientas o electrodomésticos portátiles en forma continua sobre superficies conductoras como puede ocurrir cuando se emplean aspiradoras no aterrizadas en pisos húmedos.

La Tabla II contiene los valores de campos correspondientes a algunos electrodomésticos de uso común.

TABLA II
CAMPO ELECTRICO DE 60 HZ MEDIDO EN LA VECINDAD DE ELECTRO
DOMESTICOS

| ELECTRODOMESTICO | CAMPO ELECTRICO V/m |
|------------------|------------------------|
| Colcha eléctrica | 250 |
| Horno eléctrico | 130 |
| Equipo de sonido | 90 |
| Refrigerador | 60 |
| Plancha | 60 |
| Mezclador | 50 |
| Tostadora | 40 |
| Tonógrafo | 40 |

Una observación importante es el hecho de que los valores listados de campos están altamente localizados y son virtualmente despreciables a cualquier distancia del utensilio. En algunos casos sin embargo, si electrodoméstico es usado en contacto cercano con el cuerpo, tal como sucede con las frazadas eléctricas y las secadoras de pelo.

Para completar los estudios en esta sección se incluye otra tabla con valores de corriente de fuga y corrientes inducidas de electrodoméstico. Las corrientes inducidas fueron medidas fluyendo en el brazo aterrizado de un individuo de 80 Kg y 1.75 m de estatura con un heating pad o una frazada eléctrica en lugares representativos. En el caso de una persona no aterrizada durmiendo bajo una frazada eléctrica con la cabeza no haciendo contacto pero a pocos centímetros de una placa aterrizada vertical, la corriente del cuerpo se estima es de 7 uA en el tórax.

Debe resaltarse que las corrientes corporales inducidas por electrodomésticos son solo referencialmente comparables a las corrientes inducidas por campos eléctricos de líneas de alta tensión. La principal diferencia radica en la distribución espacial de las corrientes internas del cuerpo.)

TABLA III
SUMARIO DE CAMPOS ELECTRICOS Y CORRIENTES DE ARTEFACTOS
ELECTRICOS DE USO DOMESTICO

| | |
|------------------------|-------------|
| CAMPOS | |
| Colcha eléctrica | 250 V/m |
| Secadora de pelo | 40 V/m |
| Tren eléctrico | 60 V/m |
| Asistente de cocina | 50 V/m |
| CORRIENTES DE FUGA | |
| Molino de café | 380 μ A |
| Refrigerador | 40 μ A |
| Máquina de coser | 34 μ A |
| Cafetera | 6 μ A |
| CORRIENTE INDUCIDA | |
| Bolsa de calentamiento | 18 μ A |
| Colcha eléctrica | 27 μ A |

NOTA: Campo eléctrico medido a 30 cm de distancia, corriente inducida medida otra vez de un brazo aterrizado, corriente de fuga medida a tierra.

2.3 AMBIENTES DE SUBESTACIONES.-

Información más detallada del ambiente total encontrado en subestaciones queda aun por recabar, sin embargo se dispone de algunos datos que considero importante anotar.

Intensidades de campo eléctrico y magnético mayores a las de líneas de transmisión son posibles de encontrar en la cercanía de buses elevador y equipos relacionados. La posibilidad de tener mayor número de pequeñas descargas de arco también existen en subestaciones en donde objetos metálicos aterrizados y no aterrizados son más factibles de ser tocados. No se han reportado estudios sobre la generación de ozono o la alteración del ambiente aire-iones aun cuando estas puedan existir. El ambiente químico puede estar afectado también por componentes propios de las subestaciones tales como vapores de los transformadores de aceite o humo de motores de combustión interna auxiliares. El ruido acústico es también significativo. El fenómeno conocido como magnetostricción en los transformadores de alta potencia convierte una pequeña fracción de energía eléctrica en energía acústica de baja frecuencia de 100 a 200 Hz. Mediciones especiales del ruido acústico se han efectuado en

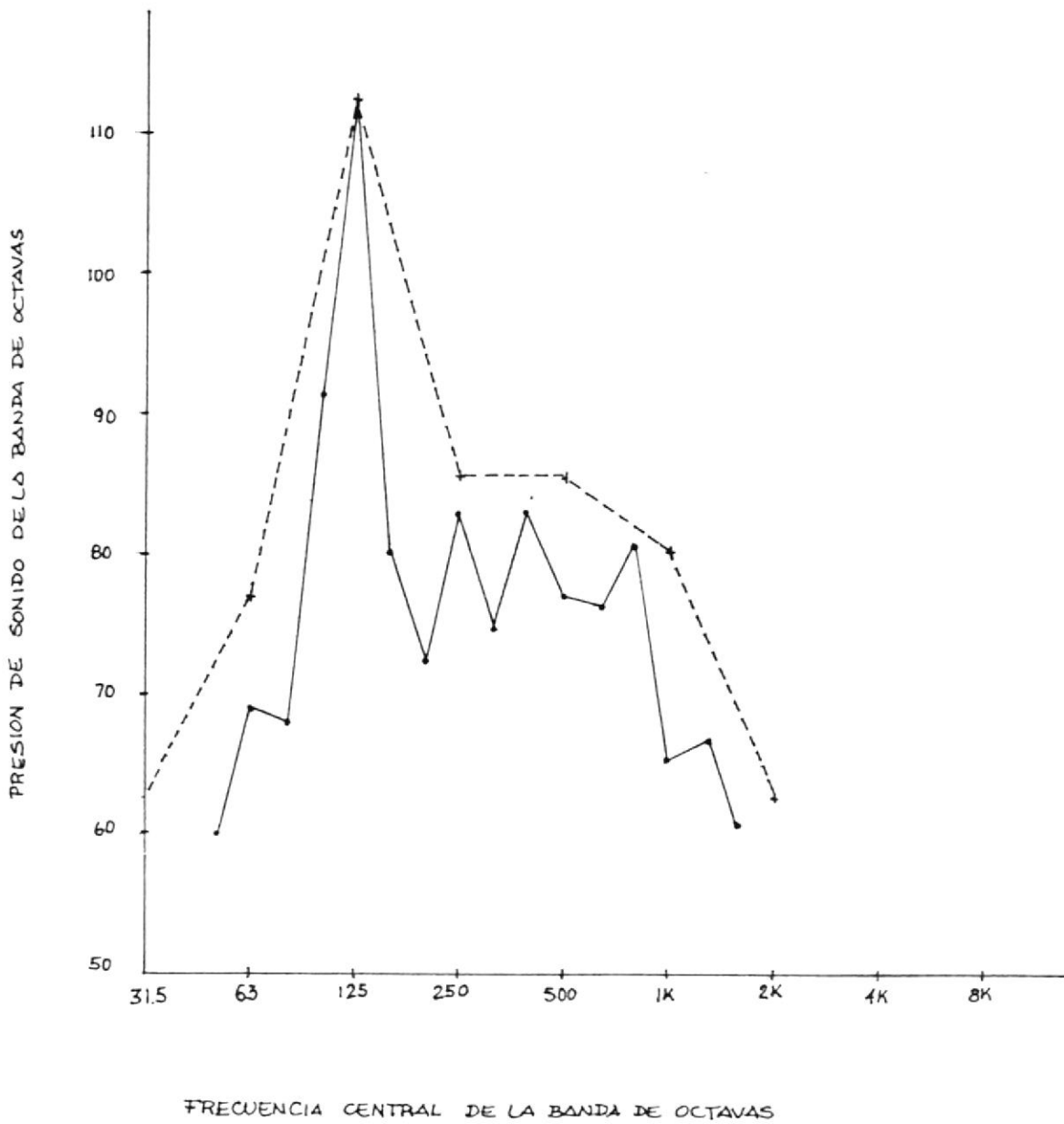


FIG. 2.9. ESPECTRO DEL RUIDO ACUSTICO EN LA CERCANIA DE UN TRANSFORMADOR

una subestación de 765 Kv en el centro Wilson en Inglaterra. La Figura 2.9 muestra los resultados de estas mediciones acústicas dentro de una distancia de 5 pies de los transformadores de poder. Nótese el pico espectral que se produce a 120 ciclos, de aproximadamente 104 dB que se origina del fenómeno de magnetostricción en los transformadores de poder. Algunas mediciones fueron hechas en diversas partes de la subestación y se encontraron valores de 97 dB a 6 m y de 83 dB a 44 m. En las subestaciones soviéticas para el caso de ruido acústico, se registró el pico a 100 Hz. Es de notar que en las instalaciones donde resultados negativos fueron reportados, se requería de operación manual de los equipos, a la vez que los obreros se encontraban diariamente expuestos al ambiente de subestaciones.

Finalmente la Tabla IV presenta algunos valores de gradiente de voltaje típicos de diferentes subestaciones que resultan muy útiles para tener una mejor comprensión del nivel de exportación a que los trabajadores están sometidos.

2.4 ACOPLAMIENTO ENTRE CAMPOS ELECTRICOS Y SERES VIVIENTES.

TABLA IV

GRADIENTES DE VOLTAJE MEDIDOS AL NIVEL DE TIERRA EN SUBESTACIONES DE VOLTAJE EXTREMADAMENTE ALTO

| VOLTAJE (KV) L-L | GRADIENTE MAXIMO MEDIDO (KV/m) | ALTURA DEL BUS (m) | CARACTERISTICAS GEOMETRICAS | |
|------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| | | | Espaciamiento de las fases (m) | Altura de la base (m) |
| 345 | 7.5 | 7 | 4.5 | 4.0 |
| 520 | 8.5 | 9 | 7.5 | 5.0 |
| 765 | 9.0 | 12 | 15.6 | 6.5 |



BIBLIOTECA

TABLA V

NORMAS DE EXPOSICION SOVIETICAS PARA TRABAJADORES DE SUB
ESTACIONES

| INTENSIDADES DE CAMPO ELECTRICO Kv/m (50 Hz) | TIEMPO PERMITIDO DE EXPOSI- CION EN UN PERIODO DE 24 Hr. (min) |
|--|--|
| 5 | ilimitado |
| 10 | 180 |
| 15 | 90 |
| 20 | 10 |
| 25 | 5 |

Es de suma importancia el comprender como los cam
pos eléctricos son acoplados en los cuerpos de los
seres vivientes.

De los estudios efectuados se ha llegado a cono-
cer que los campos eléctricos pueden hacer solo
2 cosas;

1. Inducir campos externos en la superficie de los
biosistemas, más grandes que el campo del espa-
cio libre.
2. Introducir corrientes y voltajes en distribucio
nes variables a través del biosistema. Esto im
plica que para efectos de investigación son
más útiles los criterios de campos vertical o
de densidad de corriente internas y distribu-
ciones de voltaje inducidos en biosistemas que
el criterio del campo libre.

El campo vertical se relaciona con la habilidad de
los seres humanos y animales de detectar la presen
cia del campo eléctrico. Un ejemplo es el de po-
der sentir el campo por medio de la estimula-
ción del cabello, también llamada piloerección.

La densidad de corriente interna, ya sea generada por contacto galvánico directo o por flujo de corriente inducida, es responsable de la habilidad de los seres vivientes de detectar la presencia de corriente por medio de una sensación de hormigueo. Si la densidad de corriente es incrementada se puede producir incluso la parálisis de varios músculos.

Véamos la manera como los campos eléctricos inducen corrientes y voltajes en animales y humanos. En el caso de un animal que camina bajo una línea de transmisión, las cargas eléctricas en la línea forman fuerzas de campo, las cuales causan que cargas opuestas se acumulen en la superficie más cercana del animal a los cables. A medida que la corriente AC fluye en el conductor las cargas cambian de polaridad y esto a su vez causa un cambio de polaridad de las cargas en la superficie del animal. Este cambio de polaridad provoca que las cargas fluyan dentro del animal generando un flujo de corriente AC. Este flujo de corriente es llamado corriente de desplazamiento. Otro tipo de flujo de corriente ocurre cerca de líneas de transmisión debido a la pequeña conductividad del aire. En el caso de líneas AC, las corrientes con las corrientes de desplazamiento y como consecuen

cia pueden ser despreciada en la mayoría de los casos.

[En general para efectos de cálculo, el análisis cuasiestático simplificado es el más apropiado ya que el tamaño del objeto es pequeño comparado con la longitud de onda. En el análisis la forma del biosistema es importante. Como se mencionó la carga se acumula en superficies cercanas a la línea y si dichas superficies son pequeñas y elevadas, considerable acumulación de carga por unidad de área se produce. Ya que la intensidad de campo es proporcional al número de cargas por unidad de área, campos eléctricos de gran intensidad se pueden encontrar en superficies de objetos cercanos a la línea.] En la Figura 2.10 se muestra el efecto del acrecentamiento del campo cerca al tope de un esferoide elongado de plano central aterrizado.

Se puede observar que el campo se incrementa a medida que la altura del esferoide aumenta, mientras que el diámetro de la base se mantiene constante. Este efecto se puede observar por ejemplo, en las orejas o el rabo de un perro.

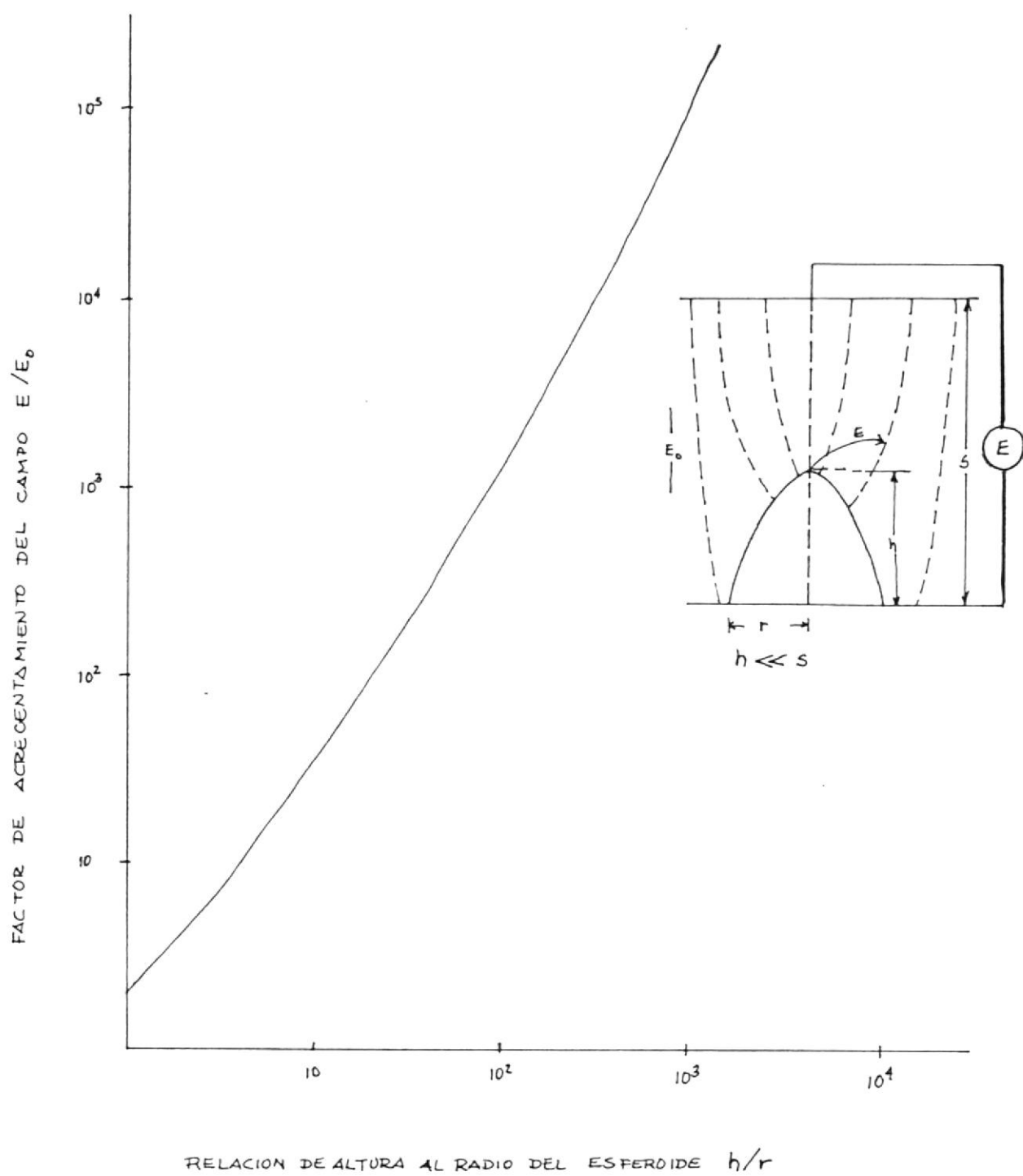


FIG. 2.10. FENOMENO DE ACRECENTAMIENTO DEL CAMPO ELECTRICO

Existen cuatro formas posibles por las cuales se puede causar que una corriente fluya, ya sea por conducción o inducción en un cuerpo. En las Figuras 2.11 y 2.12 se puede encontrar los casos tanto para un hombre como para un perro. En el caso de campo eléctrico como el de la Figura 2.11c) la corriente de desplazamiento abandona el cuerpo de manera perpendicular a la superficie.]

Una observación importante que se puede hacer de las gráficas, es la diferencia en el flujo de corriente, principalmente cuando las corrientes son inducidas por un campo eléctrico. En el caso del perro se puede notar una reducción de la corriente en la región central del cuerpo en tanto que en las orejas y en el rabo existe una mayor concentración de corrientes de desplazamiento.

[Los análisis electromagnéticos que se han utilizado para los estudios, se los han hecho en función de modelos como esferas o esferoides, los mismos que han resultado muy útiles en el proceso de comprender la interacción de campos eléctricos con biosistemas. Sin embargo, en el caso de objetos irregulares, tal como sucede con plantas y animales se ha podido observar concentración de densidades de corrientes internas o campos superficiales

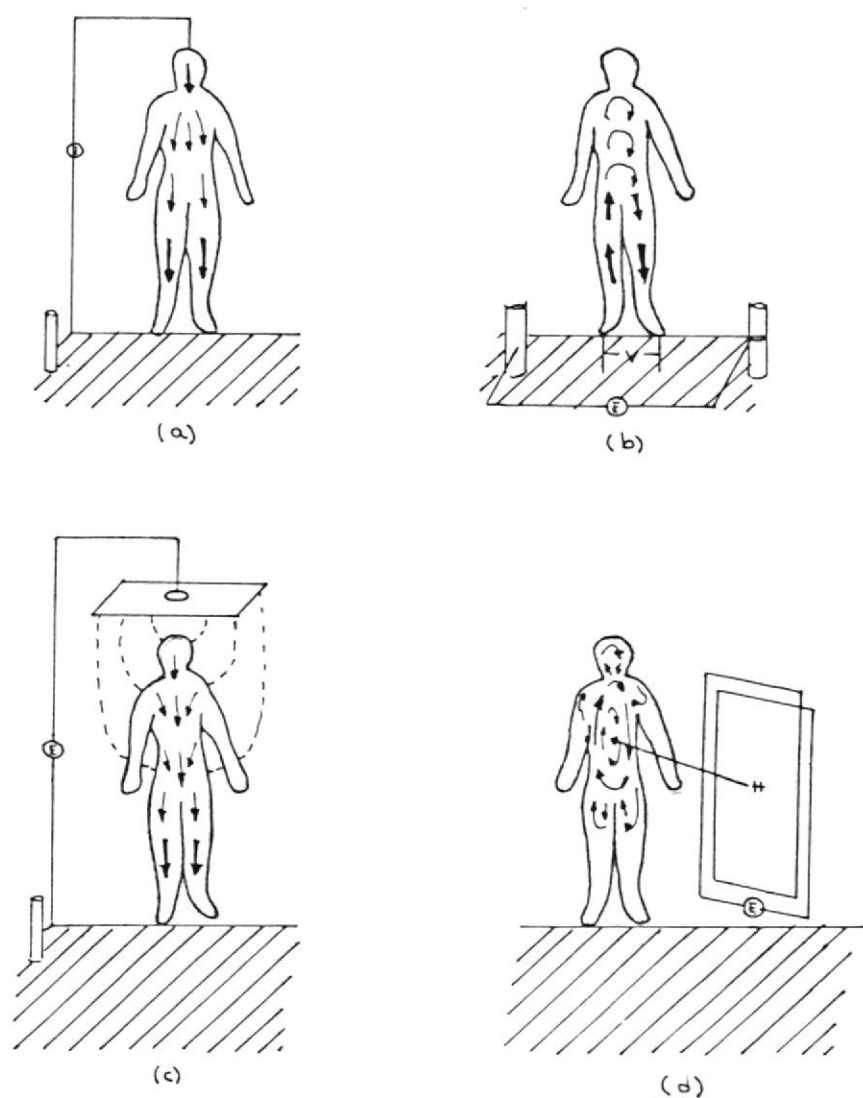
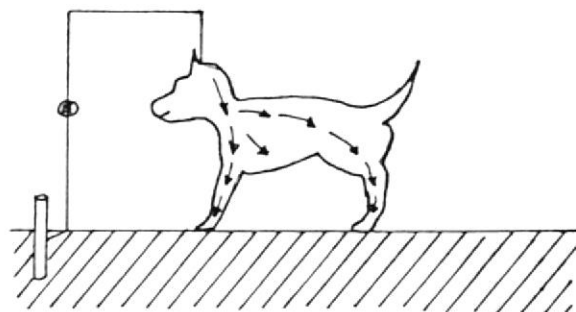
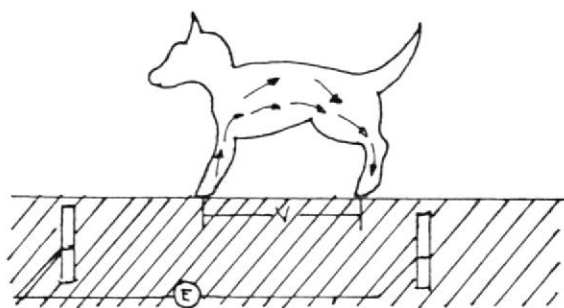


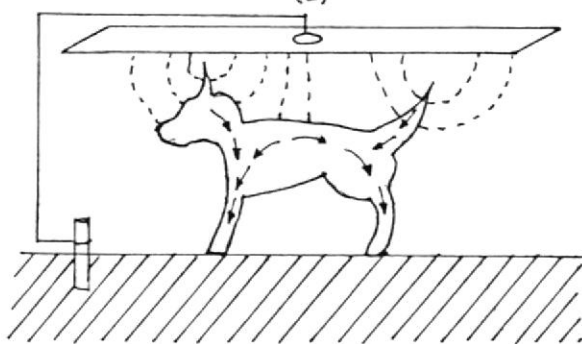
FIG. 2.11. DISTRIBUCION DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE INTERNA EN UN HUMANO EN POSICION ERECTA. (a). CASO CONDUCTOR. (b). POR DIFERENCIA DE POTENCIALES (c). FLUJO INDUCIDO POR CAMPO ELECTRICO. (d). FLUJO INDUCIDO POR CAMPO MAGNETICO



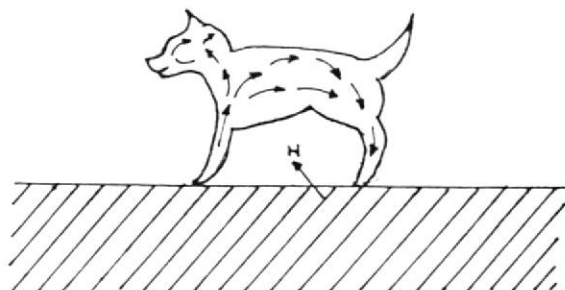
(a)



(b)



(c)



(d)

FIG. 2.12.

DISTRIBUCION DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE INTERNA EN UN CUADRUPEDO. (a). CASO CONDUCTOR. (b). POR DIFERENCIA DE POTENCIALES (c). FLUJO INDUCIDO POR CAMPO ELECTRICO. (d). FLUJO INDUCIDO POR CAMPO MAGNETICO

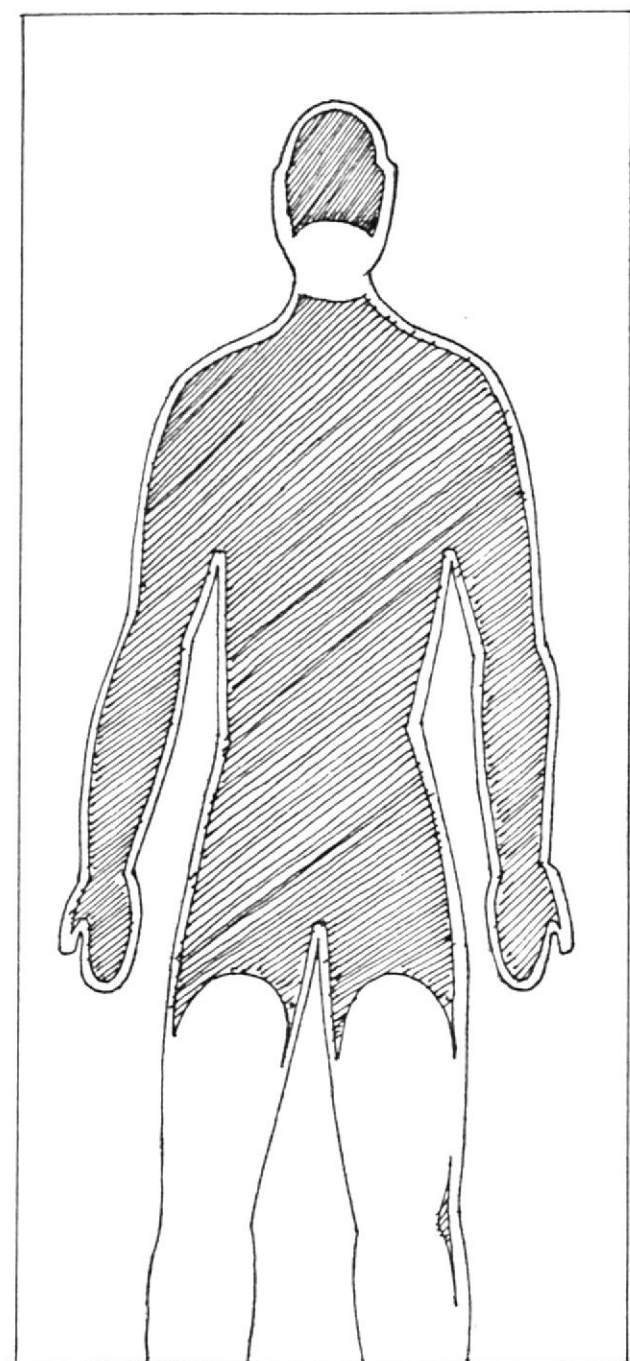
BIBLIOTECA



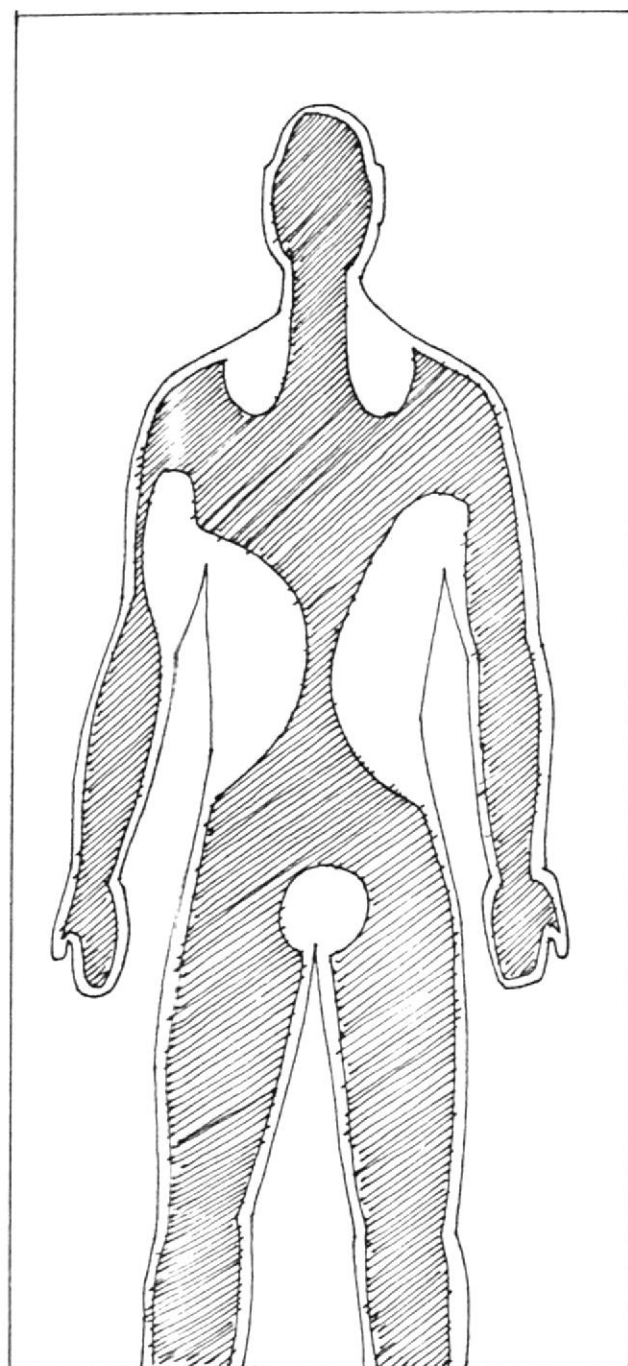
BIBLIOTECA

externos en la cercanías de esquinas o bordes. El fenómeno de concentración de densidades de corrientes en ciertas zonas del cuerpo ha sido demostrado. Estas regiones llamadas "manchas calientes" están presentes tanto ante la exposición de campos eléctricos como de campos magnéticos. Para un ser humano expuesto a campos eléctricos, las manchas están localizadas en el cuello y los tobillos. En el caso de campos magnéticos se encuentran distribuidos en diferentes regiones, a lo largo de la parte superior de la espina o en la parte superior de la espina o en la cercanía de la ingle. En la Figura 2.13 se ilustran las llamadas manchas calientes para ambos casos.

Este tipo de acumulación o concentración de densidades de corriente también se ha detectado en experimentos de exposición rutinarios en los cuales se usa terminales para medir electroencefalogramas, colocados en la cabeza o en el pecho. El efecto de colocar electrodos en la cabeza de un gato ha sido registrado usando Termogramas y se muestra a continuación. Este fenómeno ha dado lugar muchas veces a errores de apreciación en algunos experimentos, siendo los resultados extraídos falsos y debidos a un error de procedimiento, como es el de usar terminales que sirven como concentradores de campos.



CAMPO ELECTRICO



CAMPO MAGNETICO

FIG. 2.13.

DISTRIBUCION DE LOS CAMPOS ELECTRICOS Y MAGNETICOS
EN UN BIOSISTEMA

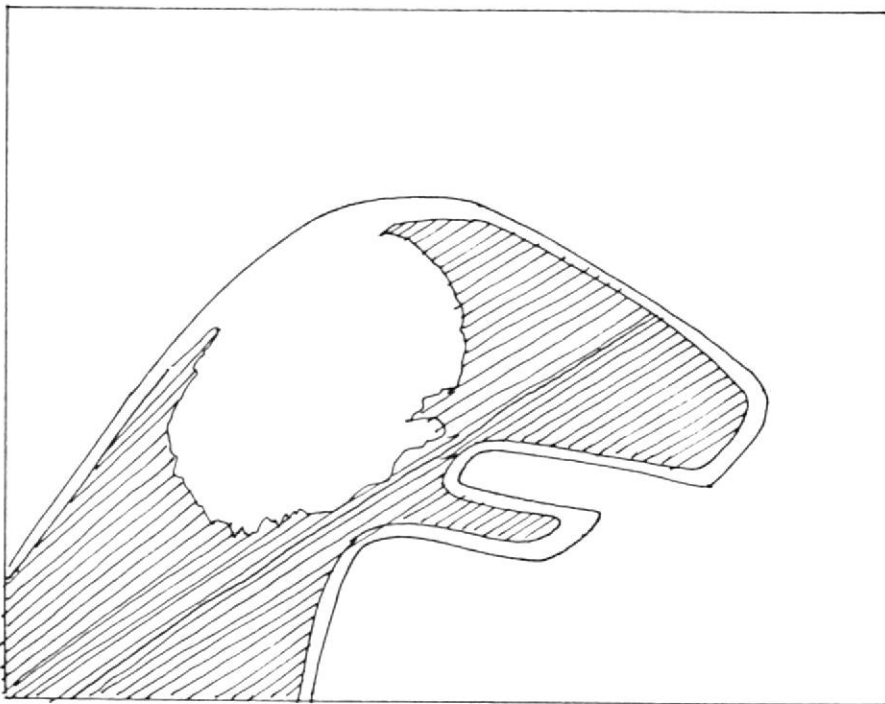
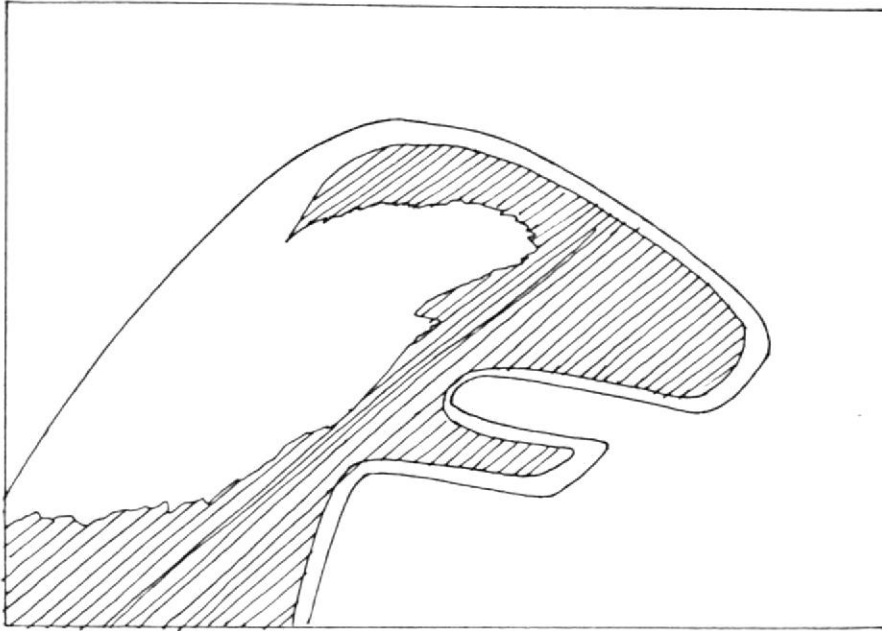


FIG. 2.14. EFECTOS DE LA PRESENCIA DE UN ELECTRODO EN LA MEDICION DE CAMPO

2.5 EL PROBLEMA DEL ACOPLAMIENTO DESDE UN PUNTO DE VISTA BIOLÓGICO.

En este aparte se trata de visualizar el problema de la interacción desde un punto de vista biológico. Las radiaciones del tipo ionizante afectan los tejidos mediante el rompimiento de las uniones atómicas o moleculares. Las radiaciones no ionizantes del tipo de microondas en cambio lo hacen calentando los tejidos. En cambio, las radiaciones de frecuencia extremadamente baja no tienen ninguna de las capacidades mencionadas.

Un quantum de energía a frecuencias menores de 300 ciclos debería de ser 10 trillones más grande para provocar rompimiento de las uniones moleculares.

Por otro lado, para inducir calentamiento por medio del efecto Joule, a la frecuencia de 60 ciclos que sea comparable a la tasa metabólica humana de 1 watt/Kg, se necesitaría un campo eléctrico entre 10^7 y 10^8 V/m o un campo magnético del orden de $4 \cdot 10^4$ o $5 \cdot 10^5$ gaus. Los campos

usualmente encontrado son del orden tan solo de algunos miles de voltios por metro y de decenas de gauss. Es más, campos eléctricos de $6 \cdot 10^6$ V/m no pueden ser mantenidos en el aire sin producir un rompimiento dieléctrico.

Tampoco los campos de 60 Hz pueden perturbar el potencial eléctrico que existe a través de las paredes externas de las células. El potencial a través de la membrana de una célula de 10^{-8} m es de alrededor de 100 mV, lo que quiere decir que el gradiente de voltaje es de más o menos $7 \cdot 10^7$ V/m. Este gradiente no puede ser significativamente perturbado por los campos eléctricos y magnéticos a los valores usualmente encontrados.

Sin embargo, existen dos mecanismos por medio de los cuales campos de frecuencia extremadamente baja pueden aparentemente interactuar con seres vivos para producir algún efecto: El primero consiste en la estimulación de receptores neurales en la superficie de la piel o en su cercanía, mediante procesos como la vibración del pelo.

El segundo mecanismo involucra un proceso de interacción entre el campo y células individuales, pro-

bablemente a través de un mecanismo transductor no lineal en la membrana de la célula.

Existen evidencias que respaldaban la existencia del primero de los mecanismos mencionados. Los seres humanos y animales pueden sentir la presencia de campos eléctricos de algunos Kv/m. o más. Se ha reportado sensaciones de hormigueo en la piel expuesta. Mediante la disección de neuronas individuales de la espina dorsal de gatos vivos, investigadores han medido la respuesta de sensores neurales táctiles cuando son expuestos a campos de 60 ciclos de gran intensidad.

El segundo de los mecanismos indicados resulta algo más complejo de demostrar ya que se refiere a interacción a nivel celular. La membrana externa de las células está compuesta de una doble capa de fosfolípidos y moléculas de colesterol que forman una película fina y elástica. En esta doble capa de lípidos flotan una variedad de proteínas que juegan un rol crítico en muchas actividades celulares, incluidas entre ellas el transporte de información y material a través de la membrana.

Algunos experimentos se han efectuado tratando de encontrar alguna interacción a nivel celular.

Un grupo de investigadores de un hospital de Loma Linda, California, han observado que la tasa a la cual iones de calcio son liberados de los tejidos neurales puede ser afectada por la exposición a campos de frecuencia extremadamente baja de intensidades de algunas decenas de V/m. El calcio es importante en algunos procesos biológicos, incluida la transmisión de impulsos nerviosos. Se ha encontrado que el efecto es dependiente de la frecuencia y la intensidad del campo, lo que sugiere la existencia de alguna clase de mecanismo resonante. Estas conclusiones son apoyadas por otro trabajo realizado por la Agencia Protectora del Medio Ambiente de los Estados Unidos.

Otras investigaciones muestran que campos eléctricos de gran intensidad pueden modificar significativamente la forma de onda de las señales de nervios en el cerebro de ratones.

Científicos de la Universidad de California, en Riverside ha reportado que la interacción de la coleratoxina química con las células de los hue-

Los ratas es afectada por campos eléctricos de 60 ciclos y que el efecto ocurre en los lugares receptores en la superficie de la membrana.

El proceso investigativo sigue adelante, pero hasta el momento permanece incierto cual es el proceso que toma lugar a nivel celular que como consecuencia signifique un detrimento en la salud del hombre o de animales.

2.6 NIVELES DE PERCEPCION.-

En la Figura 2.15 se indican los diferentes niveles de percepción de los campos por parte de humanos y animales, lo cual constituye una buena referencia para cualquier estudio biológico que se quiera realizar. Para propósitos comparativos, varios ambientes de campos eléctricos asociados con algunos voltajes de operación de líneas de transmisión son presentados. También se incluyen, los rangos, de campos eléctricos equivalentes necesarios para producir una corriente corporal, en humanos comparable a la que se produce al tocar electrodomésticos o herramientas eléctricas.

En la Figura 2.15 podemos observar que el caso que

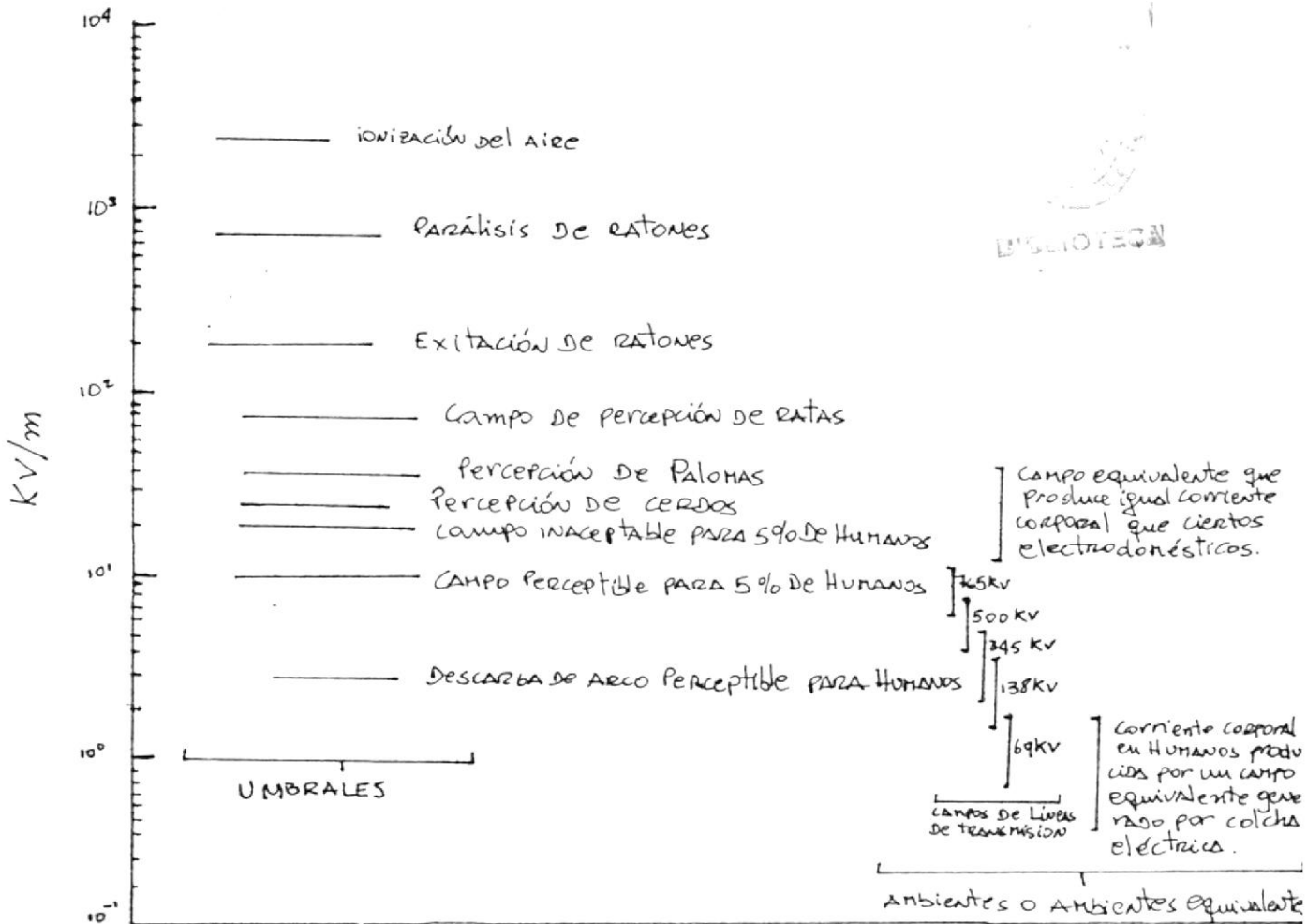


FIG. 2.15. NIVELES DE PERCEPCION DEL CAMPO ELECTRICO



mayores probabilidades presenta de percibirse el campo es mediante descarga de arco al tocar un objeto aislado tal como un automóvil con llantas de goma, ubicado en las cercanías de una línea de transmisión.

Una conclusión de suma importancia que se puede extraer al revisar los diferentes niveles presentados es que la intensidad de campo requerida para inducir la máxima corriente corporal comparable a aquella experimentada por humanos al tocar un electrodoméstico o herramienta eléctrica, es algunas veces mayor que la intensidad de campo que usualmente se encuentra bajo líneas de transmisión de alto voltaje.

CAPITULO III

INDUCCION EN SERIES VIVIENTES

Se había mencionado en la sección anterior la importancia de los análisis electromagnéticos para la mejor comprensión de la interacción de campos y seres vivientes. En el presente capítulo se aborda este tópico presentando un análisis teórico y experimental, basado en estudios realizados por algunos científicos sobre inducción en seres vivientes.

3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.-

El planteamiento del problema de inducción en seres vivientes se lo hace analizando el caso de un humano o animal parado sobre y en contacto con tierra, por ejemplo la superficie terrestre, expuesto a un campo eléctrico uniforme y predominantemente vertical.

Las razones para efectuar este planteamiento son:

1. De los ambientes producidos por campos eléctricos

de frecuencia de 60 Hz, existe una mayor preocupación por los generados por líneas de transmisión de alto voltaje, en los cuales los campos no perturbados a nivel de tierra presentan la características de ser aproximadamente vertical y uniforme.

2. Aunque cuando una persona parada sobre tierra puede o no estar aterrizada, los cálculos presentados establecen que mayores valores de campo y corrientes inducidas son medidas cuando el sujeto está aterrizado. En el caso de experimentos con animales en laboratorios, sus cuerpos son aterrizados para minimizar la posibilidad de shocks durante la exposición.

3.2 ANALISIS TEORICO DE LA INDUCCION.-

De estudios presentados se conoce que la relación entre la intensidad de campo en la superficie del cuerpo y la intensidad en el interior es aproximadamente de 10^6 . Esto quiere decir que la carga dentro del cuerpo es muy pequeña comparada con la carga en la superficie. De donde se puede inferir que:

- La densidad de carga inducida en la superficie del cuerpo y el campo externo, solo dependen de la naturaleza del campo aplicado, la forma del cuerpo y la localización y orientación del cuerpo con relación a tierra.
- El campo eléctrico externo es aproximadamente perpendicular a la superficie del cuerpo.

Por estas razones, un modelo conductor puede substituir a un hombre o animal sin cambios significativos en la densidad de carga superficial inducida o en el campo eléctrico en la superficie del cuerpo.

La densidad de carga inducida en la superficie del cuerpo está continuamente cambiando al oscilar la corriente aplicada de 60 ciclos en el tiempo. Este cambio produce corrientes eléctricas al interior del cuerpo. Estas corrientes tienen 2 componentes: Componente conductiva y componente capacitiva o de desplazamiento. En el caso de tejidos de seres vivientes a 60 Hz, la componente capacitiva es pequeña y puede ser despreciada. Para el caso de modelos conductivos, la corriente capacitiva es despreciada. Una corriente inducida de especial significado es la corriente de cortocircuito la

cual pasa entre el cuerpo aterrizado y tierra.

El modelo conductor puede ser usado para medir la corriente que pasa por diferentes secciones del cuerpo. Considérese el caso de medir la corriente que pasa por el cuello de un hombre o animal aterrizado. Esta corriente es la misma que se induce en la cabeza de un modelo conductor aterrizado que tenga la misma forma y puede ser medida usando un modelo que tenga la cabeza eléctricamente aislada del resto del cuerpo y directamente aterrizada. La componente axial de la densidad de corriente, es decir la componente paralela al eje del cuello, puede ser calculada dividiendo la corriente medida para la sección transversal del área del cuello.

3.2.1 Campo eléctrico alrededor de un humano.-

En la siguiente figura se ilustra el campo eléctrico alrededor de un maniki.

El campo eléctrico uniforme, llamado campo de inducción es indicado por las flechas que apuntan para abajo y en este caso es de 5.75 Kv/m. Esto corresponde a un potencial

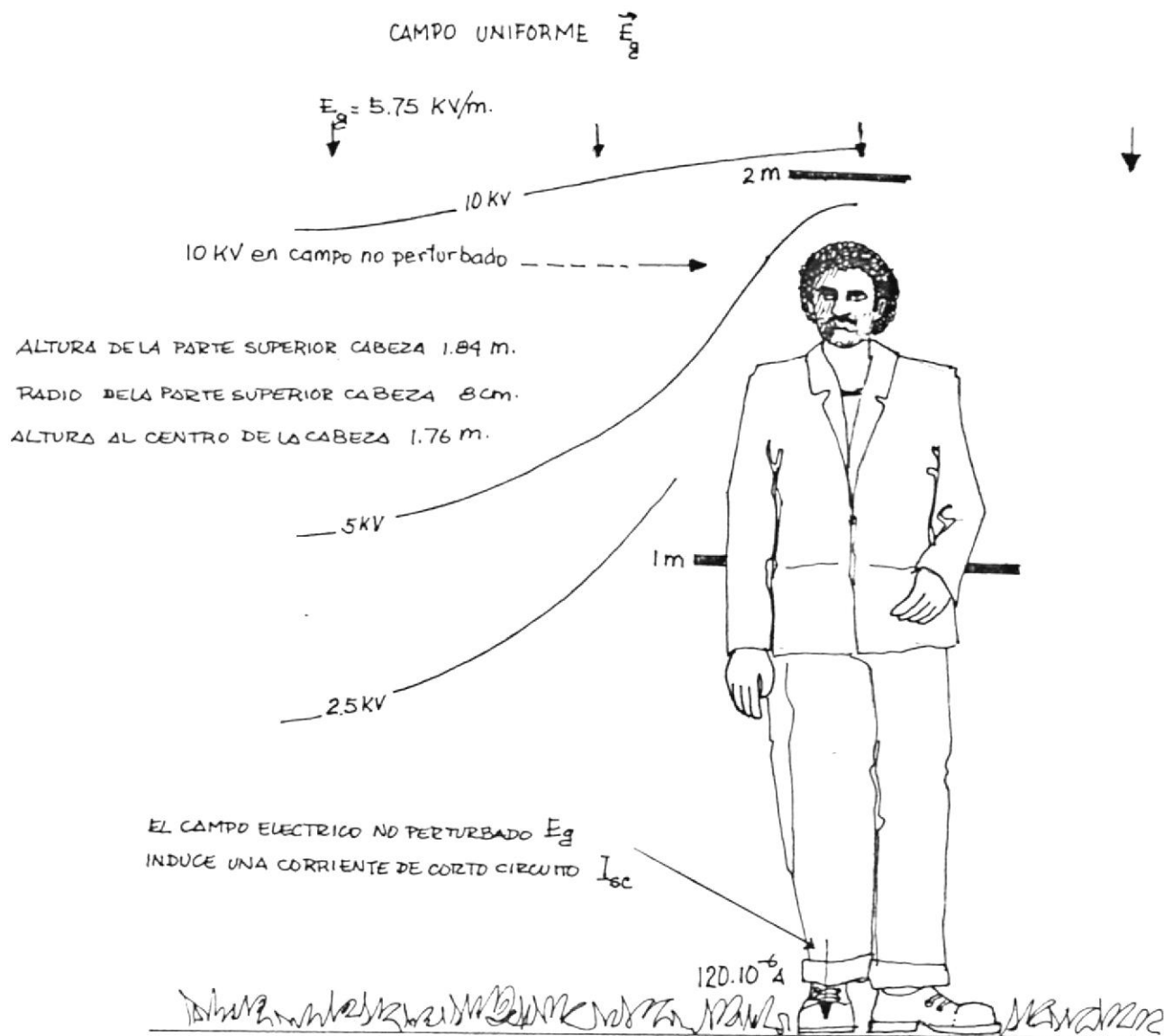


FIG. 3.1. (a)

CAMPO ELECTRICO AREDEDOR DE UN MANIQUI
 EN POSICION ERECTA

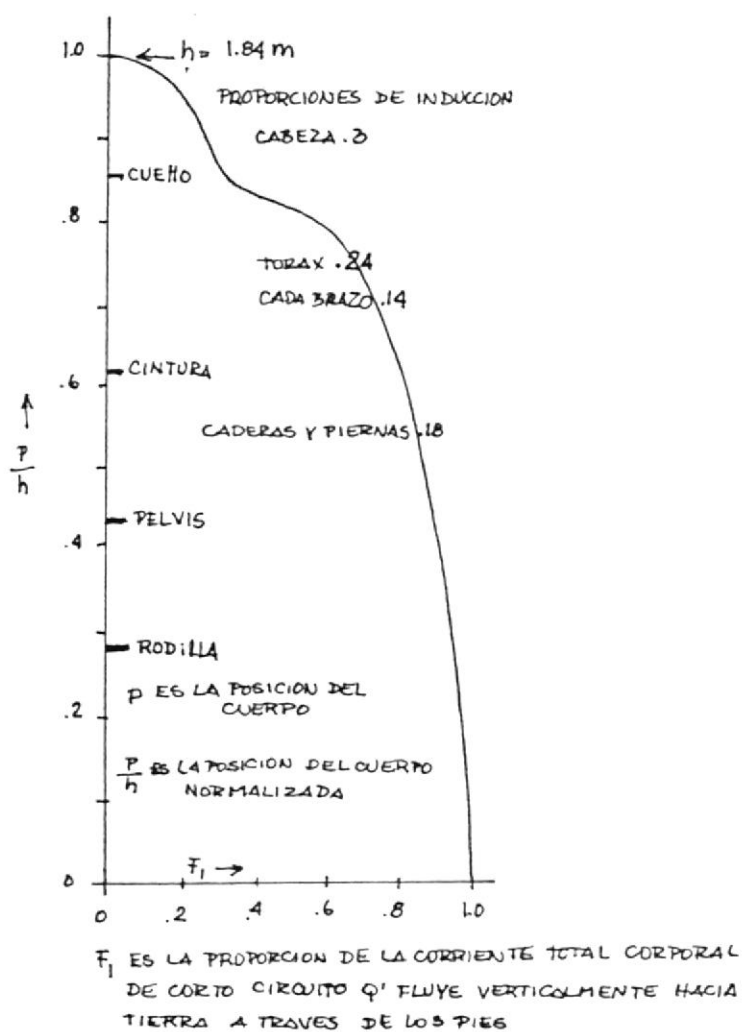


FIG. 3.1.(b) CORRIENTE INDUCIDA EN VARIAS SECCIONES DEL CUERPO

espacial de 10 Kv/m en el centro de la cabeza a una altura h_c de 1.76 metros sobre tierra.

La presencia del cuerpo humano cambia el campo eléctrico como se ve en el mapa de potencial espacial de 2.5 Kv, 5 Kv y 10 Kv en la figura anterior. En la parte superior que sobresale, es decir la cabeza, el campo muestra una gran concentración. Para efectos de cálculo este hecho simplifica los cálculos, y si aplicamos el razonamiento anteriormente presentado, podemos reemplazar a la cabeza con un modelo equivalente conductivo como puede ser una esfera metálica.

La capacitancia de una esfera colocada sobre un plano de tierra está dada por la siguiente fórmula:

$$C_{og} = 4\pi\epsilon \frac{1}{\frac{1}{r} - \frac{1}{2h}}$$

Donde:

r : Radio electrostático equivalente

h : Altura del objeto

Si $h > 2r$ Se puede asumir que la carga neta está uniformemente distribuida sobre la superficie de la esfera.

Entonces:

$$C_{og} = 4\pi\epsilon r = C_s$$

La carga total en la superficie de un objeto se obtiene integrando la densidad de carga sobre la superficie.

$$q = \int ds = \int \vec{\epsilon} \cdot \vec{E}_r \cdot \vec{r} ds$$

Para una esfera situada sobre tierra la ecuación anterior se convierte en:

$$q = 4\pi r^2 \epsilon |\vec{E}_r|$$

De donde extraemos que la intensidad del campo eléctrico en la superficie de la esfera es:

$$E_r = \frac{q}{4\pi\epsilon r^2}$$

El potencial en la superficie de la esfera relativo a tierra viene dado por:

$$V_{sp} = - \int_{\infty}^r \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

El potencial espacial y la carga están relacionados por:

$$V_{og} = V_{sp} + \frac{q}{4\pi\epsilon r}$$

Si consideramos una esfera aterrizada:

$$V_{og} = 0$$

La carga en la esfera es entonces:

$$q = 4\pi\epsilon r (-V_{sp})$$

Sustituyendo en la ecuación anterior la expresión de capacitancia para una esfera aislada tenemos:

$$q = -C_s V_{sp}$$

La carga que fluye fuera de la esfera es el negativo de la carga remanente en ella. Te-

nemos entonces que la carga puntual para la cabeza aterrizada es:

$$q_{sc} = -q$$

La densidad de carga superficial promedio es igual a la carga puntual dividida para el área de la esfera:

$$q_s = \frac{C V_{sp}}{4\pi r^2}$$

El campo eléctrico promedio en la superficie es igual a la carga promedio en la superficie dividido para la permittividad:

$$E_s = q_s / \epsilon$$

Substituyendo de las anteriores ecuaciones:

$$E_s = E_g \quad hc/r$$

Consideremos ahora el problema del factor de forma producto de la concentración de campos antes mencionada en la cabeza. Considérese una esfera sobre tierra, no conec-

tada a ella y sin carga neta. La corriente que fluye entre sus hemisferios es:

$$I = j\omega 3\pi r^2 \epsilon E$$

Considere ahora una esfera sin carga y con plano equipotencial coincidiendo con el plano de tierra.

El área efectiva del hemisferio para la corriente de corto circuito es 3 veces el área seccional en el plano de tierra.

El factor de forma es la razón entre el área de recolección de carga y la misma área proyectada a tierra:

$$\frac{I_{\text{hemisfere}}}{I_{\text{circle}}} = \frac{j\omega 3\pi r^2 \epsilon E}{j\omega \pi r^2 \epsilon E} = 3$$

Lo que nos dá un factor de forma de 3 y una área de recolección de carga equivalente igual a :

$$S = 3 (\pi r^2)$$

Para obtener el campo total en la cabeza debemos añadir el factor mencionado igual a 3:

$$E_T = E_g \frac{hc}{r} + 3 E_g$$

$$\frac{E_s}{E_g} = \left(\frac{hc}{r} + 3 \right)$$

Al substituir las dimensiones del maniki encontramos que el factor de acrecentamiento es igual a:

$$\frac{E_s}{E_g} = \left(\frac{1.76}{0.08} + 3 \right) = 25$$

Ya que las dimensiones de la cabeza y la altura de una persona varían de manera más o menos proporcional es prácticamente independiente de la altura de la persona.

El campo eléctrico superficial puede ser evaluado usando la densidad de corriente superficial inducida por medio de la siguiente ecuación:

$$E_s = \frac{I}{\omega \epsilon \text{ Area}}$$

Para una frecuencia de 60 Hz tenemos que:

$$E_s = \frac{(3 \cdot 10^8) (I \text{ en Amperes})}{(\text{Area en m})} \text{ v/m}$$

Usando esta fórmula y mediante la medición experimental de la corriente el doctor Deno encontró los siguientes valores de factor de acrecentamiento. Los valores obtenidos están de acuerdo con el obtenido de 25 para el caso de la parte superior de la cabeza.

3.2.2 Corriente corporal total de un humano.-

Para objetos en tierra la corriente de corto circuito está definida como la corriente de desplazamiento por unidad de área multiplicada por el área equivalente de recolección:

$$\vec{I} = \omega \epsilon \vec{E}$$

Experimentalmente el doctor Deno llegó a la

TABLA VI
 FACTOR DE ACRECENTAMIENTO DEL CAMPO ELECTRICO CON DIFE-
 RENTES PARTES DEL CUERPO

| POSICION Y SUJETO | FACTOR DE ACRECENTAMIENTO |
|---|---------------------------|
| FRENTE Maniki Humano | 23.3 20 |
| TOPE DE LA CABEZA Maniki Humano | 16.6 18.3 |
| PARTE POSTERIOR DE LA CA- BEZA. Maniki Humano | 18.3 15.2 |
| BRAZO IZQUIERDO POSICION Brazo humano a un lado del cuerpo. Brazo humano extendido | 7.7 9.3 |

siguiente expresión del área de recolección como se ve en la figura

De donde la corriente de corto circuito es igual a:

$$I_{SC} = \omega \epsilon E (\pi h^2 \tan^2 35.7^\circ)$$

$$I_{SC} = 5.4 \times 10^{-9} h^2 E$$

DISTRIBUCION DE CORRIENTE EN UN HUMANO EN POSICION ERECTA:

En la figura mostrada al inicio de esta sección se puede observar una gráfica de la distribución de corrientes en un humano erecto con los pies aterrizados. El factor de distribución f_1 fue determinado mediante mediciones en el maniki. La parte de la cabeza de la distribución de corriente es la única parte del cuerpo que puede ser determinada aproximadamente con facilidad de forma teórica. Basados en ecuaciones anteriores tenemos que:

$$I = (V_{sp}) (j\omega) (c)$$

CORRIENTE DE DESPLAZAMIENTO POR UNIDAD DE AREA

$$\vec{I} = \omega \epsilon \vec{E}$$

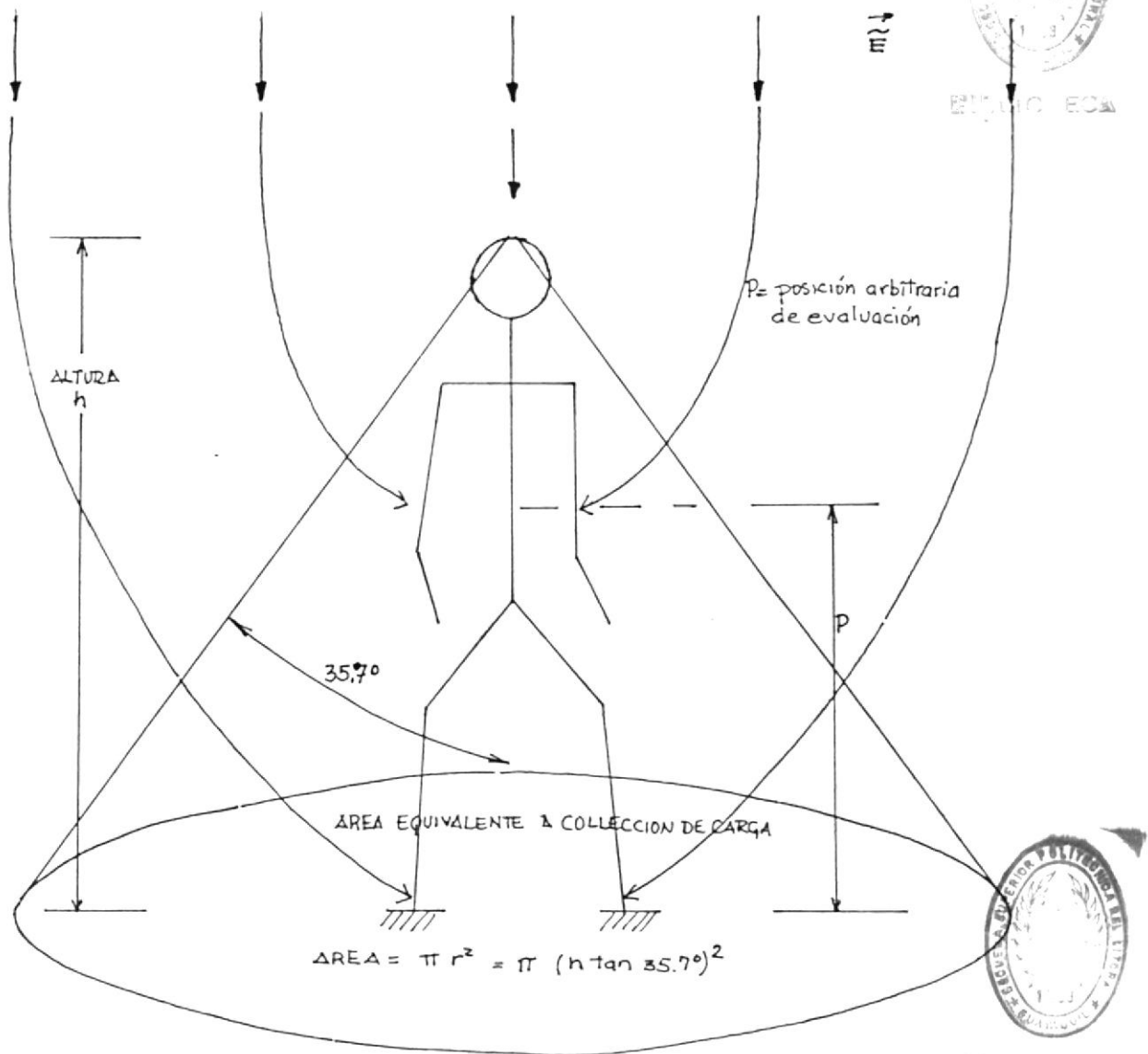


FIG. 3.2. AREA EQUIVALENTE DE COLECCION DE CARGA PARA UN HUMANO

BIBLIOTECA

TABLA VII
 PORCENTAJE DE LA CORRIENTE TOTAL DE CORTO CIRCUITO EN DIFERENTES PARTES DEL CUERPO

| PARTE DEL CUERPO | VALOR DE F_1^* |
|------------------|------------------|
| Cuello | 0.3 |
| Cintura | 0.8 |
| Pelvis | 0.9 |
| Rodilla | 0.94 |

* Proporción de la corriente corporal total de corto circuito que fluye a tierra verticalmente por un tamaño de 1.84 m., parado en un campo eléctrico uniforme de 5.75 Kv/m.

Substituyendo valores obtenidos de la gráfica inicial:

$$I = (10.000v) (j\omega) (4\pi.08\epsilon)$$

$$I = 35.5 \times 10^{-6} A$$

De una corriente total de corto circuito de 120×10^{-6} Amperes, un 30% fluye en la cabeza tal como se muestra usando el factor f_1 en la grafica inicial.

Usando el factor mencionado se han encontrado los siguientes valores de f_1 para las diversas partes del cuerpo.

3.2.3 Densidades de corriente en diferentes partes del cuerpo.-

Basándonos en los criterios presentados en párrafos anteriores es posible calcular las corrientes que atraviezan diferentes partes del cuerpo tanto de un hombre como de un cerdo. Dividiendo posteriormente las corrientes por la respectiva área seccional obtendremos los valores promedios de la com

TABLA VIII

DENSIDADES DE CORRIENTE ESTIMADAS EN UN CUERPO ATERRIZADO DE UN HUMANO DE 1.7 M EXPUESTO A UN CAMPO ELECTRICO VERTICAL DE 10 Kv m, 60 Hz.

| PARTE DEL CUERPO | COMPONENTE DE LA DENSIDAD- CORRIENTE | CORRIENTE CIRCULANDO POR LA SECCION (A) | AREA DE LA SECCION. (cm ²) | DENSIDAD DE CORRIENTE (nA/cm ²) |
|-------------------------------|--------------------------------------|---|--|---|
| Cuello | Axial promedio | 47 | 45 | 550 |
| Pecho | Axial promedio | 120 | 630 | 190 |
| Antebrazo | Axial promedio | 22 | 95 | 230 |
| Pelvis | Axial promedio | 130 | 540 | 250 |
| Muslo | Axial promedio | 73 | 200 | 370 |
| Tobillo | Axial promedio | 78 | 40 | 2000 |
| Tope de la cabeza. | Normal a la superficie | - | - | 60 |
| Frente | Normal a la superficie | - | - | 67 |
| Parte posterior de la cabeza. | Normal a la superficie | - | - | 50 |
| Antebrazo | Normal a la superficie | - | - | 27 |

ponente axial de la densidad de corriente. Igualmente usando valores de los campos superficiales se puede calcular la componen-te normal, mediante la fórmula:

$$J_N = 2\pi f \epsilon_0 E$$

Donde E_s es el campo eléctrico al exterior de la superficie.

Los cálculos efectuados son hechos para una intensidad de campo de 10 Kv/m. En el caso del humano la altura es de 1.7m. Los datos de las áreas seccionales corresponden a una persona promedio. La Tabla VIII nos indica los resultados .

3.2.4 Inducción en animales.-

Los resultados obtenidos de un experimento hecho con cerdos expuestos a campos eléctricos verticales de 60Hz nos permite tener la siguiente información. La corriente de corto circuito de un cerdo de 60 Kg expuesto a un campo eléctrico vertical E_0 es:

$$I_{sc} = (7\mu\Delta - m/Kv) E_0$$

El factor de acrecentamiento en la parte superior de la espalda del animal del campo eléctrico es igual a 7.

Mediciones han sido realizadas de la distribución de la corriente inducida y del campo eléctrico superficial usando modelos conductores de cerdos sometidos a una intensidad de campo de 9.5 Kv/m. Se obtuvo un valor de corriente total de cortocircuito en 6 secciones diferentes del cuerpo del animal, como se puede ver en la figura 3.3. También se muestran 6 mediciones de campo eléctrico en la superficie del modelo. El factor de acrecentamiento encontrado en la parte superior de la espalda fue de 6.7, el cual es aceptable respecto del valor de 7 presentado.

Partiendo de los porcentajes de corriente de corto circuito que circulan por las diferentes partes del cuerpo de un cerdo, llamamos a la fracción de la corriente total. Usando la ley de Kirchhoff en la figura 3.3 tenemos las corrientes en las siguientes partes:

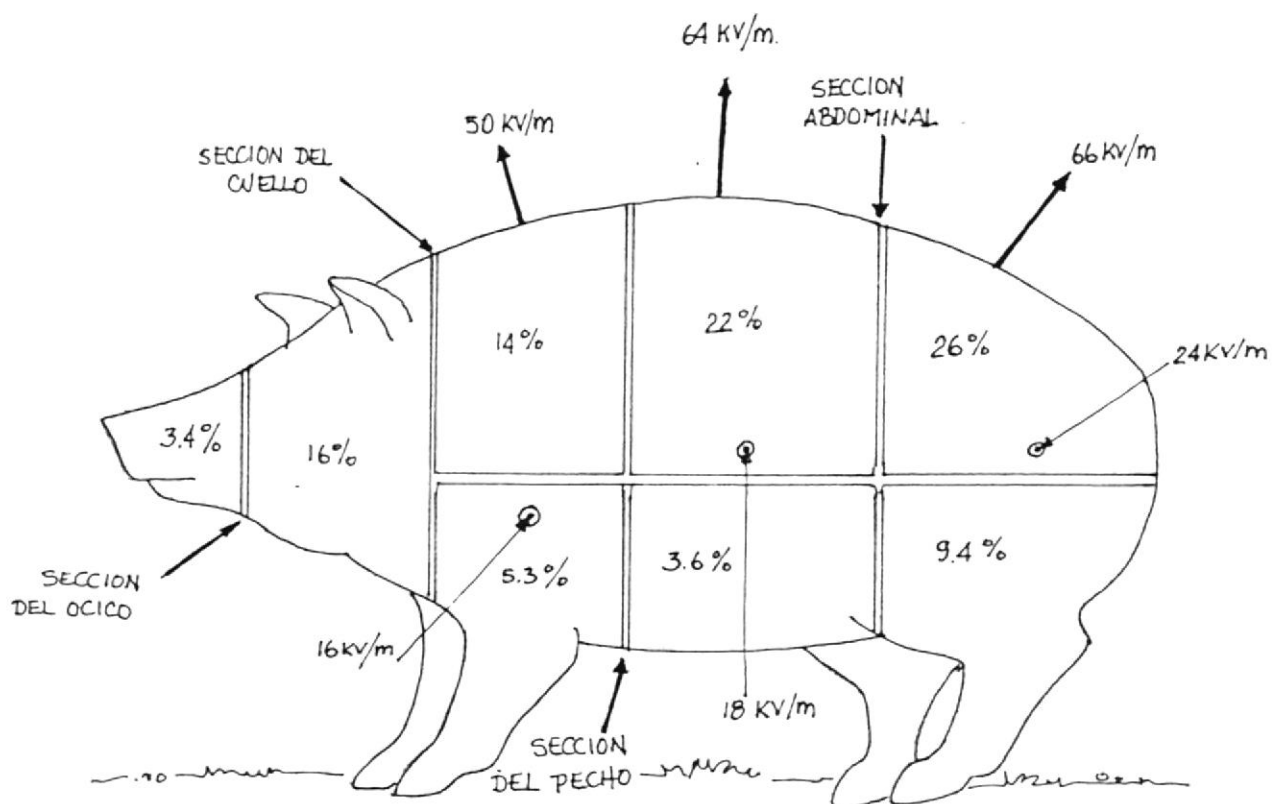


FIG. 3.3.

PORCENTAJES DE LA CORRIENTE TOTAL DE CORTOCIRCUITO Y CAMPO ELECTRICO SUPERFICIAL EN DIFERENTES PARTES DE UN CERDO ATERRIZADO EXPUESTO A UN CAMPO VERTICAL DE 9.5 KV/m.

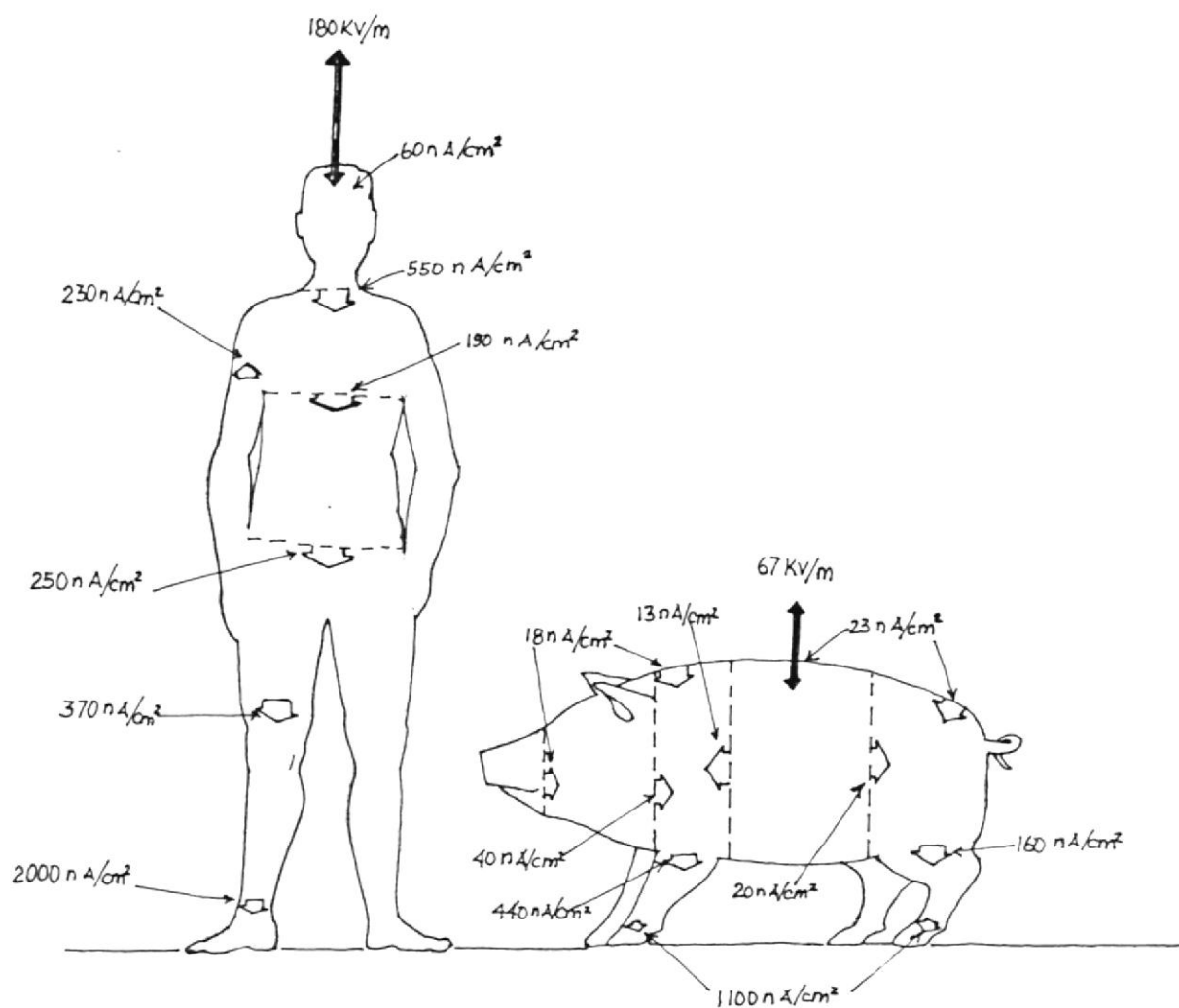


FIG. 3.4.

DENSIDADES DE CORRIENTES PERPENDICULARES A LA SUPERFICIE DEL CUERPO Y CAMPO ELECTRICO SUPERFICIAL EN DIFERENTES PARTES DEL CUERPO DE UN CERDO Y UN HUMANO EXPUESTOS A UN CAMPO VERTICAL DE 10 kV/m .

$$\begin{aligned} \text{Trompa } I &= 0.034 I_{SC} & \text{cuello } I &= 0.19 I_{SC} \\ \text{Pecho } I &= (\lambda - 0.39) I_{SC} & \text{abdomen } I &= (0.65 - \lambda) I_{SC} \end{aligned}$$

Para un cerdo de 60 Kg la corriente de corto circuito total es de 70 uA. La fracción puede variar de acuerdo a la posición del animal. Sin embargo para el presente caso asumimos que está distribuida de igual forma en el frente como en la parte posterior del animal, estos es = 0.5.

Estableciendo promedios en diferentes animales se llegó a los diferentes valores de áreas seccionales usados para los respectivos cálculos. Los datos obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

3.2.5 Análisis de estudios publicados sobre plantas.-

De la información a que se tiene acceso se conoce que campos eléctricos de gran intensidad pueden alterar la fisiología de las plantas mediante la producción de calor dentro de sus tejidos y por la ionización de las moléculas de aire en los extremos de la misma.

TABLA XIX.

DENSIDADES DE CORRIENTES ESTIMADAS EN UN CUERPO ATERRIZADO DE UN CERDO DE 60 Kg EXPUESTO
A UN CAMPO ELECTRICO VERTICAL DE 10 K/V, 60Hz

| PARTE DEL CUERPO | COMPONENTE DE LA DENSIDAD-CORRIENTE | CORRIENTE CIRCULANDO POR LA SECCION (μ A). | AREA DE LA SECCION (cm^2) | DENSIDAD DE CORRIENTE (nA/cm^2) |
|-----------------------------------|-------------------------------------|---|--------------------------------------|---|
| Hocico | Axial promedio | 2.4 | 130 | 18 |
| Cuello | Axial promedio | 13 | 330 | 40 |
| Tórax | Axial promedio | 8 | 600 | 13 |
| Abdomén | Axial promedio | 10 | 500 | 20 |
| Codo | Axial promedio | 18 | 40 | 440 |
| Rodilla | Axial promedio | 18 | 110 | 160 |
| Espolón | Axial promedio | 18 | 15 | 1100 |
| Tope de la espaldada. | Normal a la superficie | - | - | 23 |
| Tope del cuello | Normal a la superficie | - | - | 18 |
| Tope de las nalgas. | Normal a la superficie | - | - | 23 |
| Lado de la trompa. | Normal a la superficie | - | - | 6 |
| Lado del muslo | Normal a la superficie | - | - | 9 |
| Lado de la pata superior frontal. | Normal a la superficie | - | - | 6 |

En el caso de campos que no tienen capacidad de producir efectos térmicos, como los campos de frecuencia extremadamente baja, algunos estudios sugieren que pueden alterar la germinación y el desarrollo inicial de las plantas.

El propósito de esta sección es el presentar un resumen de uno de esos estudios, el mismo que fue llevado a cabo por los doctores Andrew A. Merino, Francis X. Hart y María Reichmanis acerca de la alteración en la germinación de girasoles debido a campos eléctricos débiles de frecuencia de 60 ciclos.

El experimento consistió en exponer semillas de girasoles a campos de frecuencia de 60 ciclos y a una intensidad variable entre 1 y 5 Kv/m durante la germinación. El período de exposición fue de 5 días. El experimento fue cuidadosamente elaborado a fin de minimizar los errores de procedimientos usualmente encontrados en trabajos similares.

Los resultados obtenidos indicaron que a

una intensidad de campo de 5 Kv/m, el porcentaje de germinación de las semillas expuestas fue menor que el de las semillas controladas, tal como lo expresa la tabla siguiente.

Esta diferencia entre los grupos expuesto y controlado fue encontrada también en 4 experimentos que se hicieron siguiendo las mismas condiciones del original. El porcentaje de germinación promedio del grupo de semillas expuestas fue significativamente menor que aquel del grupo controlado.

En cambio, cuando se trabajó a una intensidad de 1 Kv/m no se encontraron mayores diferencias en los porcentajes de germinación entre ambos grupos, salvo en 1 de 6 experimentos que se realizaron repitiendo las mismas condiciones, en el cual se reportó una disminución del porcentaje de germinación en el grupo expuesto.

Para comprobar que las variaciones encontradas cuando se expusieron las semillas a una intensidad de campo eléctrico de 5 Kv/m no era debida a algún factor ambiental desconog

cido, se realizaron 6 experimentos iguales pero sin la presencia de campo eléctrico alguno. Los porcentajes de germinación encontrados en estos casos fueron los mismos tanto para ambos grupos, de tal forma que se estableció que los efectos observados bajo la presencia del campo eléctrico de intensidad de 5 Kv/m eran únicamente atribuibles a dicho campo. Teóricamente se ha establecido los valores de intensidades de campo en el exterior de la semilla. A frecuencia de 60 Hz, la constante dieléctrica K_1 y la conductividad g_1 , para una semilla con un contenido de humedad del 6%, están en el orden de:

$$K_1 = 4 \text{ S/M} \quad G_1 = 3.3 \times 10^{-9} \text{ S/M}$$

El campo eléctrico en el terreno alejado de la semilla es determinado en función de las características del terreno, las que dependen del porcentaje de humedad del mismo. La constante dieléctrica K_2 se puede estimar de su conductividad de baja frecuencia g_2 . En el experimento que se hace referencia en esta sección, se encontraron los siguientes valores de conductividad.

$$g_2 = 10^{-6} \text{ S/M terreno seco}$$

$$g_2 = 0.5 \text{ S/M terreno húmedo}$$

Los respectivos valores de constantes dieléctricas están en el orden de 10^2 y 10^5 respectivamente. Tanto para el caso de terreno seco, como húmedo se tiene que:

$$g_2/2\pi f K_2 \epsilon_0 \gg 1$$

Donde f es la frecuencia y ϵ_0 es la permitividad del espacio libre.

Por consiguiente, el campo en el terreno a frecuencia de 60 Hz está determinado por su conductividad. Considerando que el espacio libre como capacitor y al terreno puramente resistivo, se establece que el campo E_s en el terreno respecto al campo en el espacio libre E_a es igual a:

$$E_s = 2\pi f \epsilon_0 E_a / g_2$$

Antes de regar el terreno, las semillas están rodeadas de un terreno seco. En este caso tenemos que:

CAPITULO IV

DESCRIPCION DE LOS EFECTOS BIOLOGICOS A 60 Hz

Una vez que se ha estudiado en los capítulos previos, el problema de la interacción campo eléctrico-seres vivos, procederemos en este capítulo a describir los principales efectos biológicos que a frecuencia de 60 Hz se tiene conocimiento. Primeramente se presenta una crítica de los procedimientos comunmente empleados en algunos trabajos experimentales.

4.1 EFECTOS BIOLOGICOS Y CONSECUENCIA EN LA SALUD.-

Es común el relacionar efectos biológicos con efectos nocivos a la salud de un ser viviente. Sin embargo sucede que un efecto biológico no implica necesariamente un detrimento significativo en la salud de una persona o un animal. Por ejemplo, el cuerpo de un hombre, luego de trotar media milla experimenta una serie de cambios; el ritmo respiratorio y el pulso cambian, así como varios niveles hormonales.

Estos cambios constituyen efectos biológicos, los

$$K_2 \gg K_1, \quad \rho_2 \gg \rho_1$$

Se conoce que el campo en la semilla E está relacionado con el campo en el terreno por la siguiente expresión:

$$E = C_1 - 1/R \quad E_s$$

Donde R es el factor geométrico relacionado con la forma de la semilla.

Por lo tanto, el campo en el interior de la semilla depende tan solo de su forma geométrica y es independiente de sus propiedades eléctricas.

Para una semilla de girasol, tal como la de experimento mencionado se tienen las siguientes dimensiones: 0.45 x 0.69 x 1.48 cm. El campo en este caso tiene un valor de:

$$E = 2.3E_s$$

En el caso de tener un terreno mojado y la semilla seca, las condiciones son simi-

BIBLIOTECA



BIBLIOTECA

lares al ya mencionado es decir:

$$K_2 \gg K_1 ; \quad g_2 \gg g_1$$

Y otra vez se tiene que el campo es igual a:

$$E = 2.3 \text{ Es}$$

En el caso de tener semillas húmedas y terreno igualmente húmedo, aun cuando los valores de la constante dieléctrica y la conductividad de la semilla aumentan, estos valores probablemente no se aproximarán a los del terreno húmedo. Bajo esta premisa encontramos otra vez un valor de campo igual a:

$$E = 2.3 \text{ Es}$$

Entonces se tiene que el campo en el interior de la semilla respecto del campo en el espacio libre es igual a:

$$E = 4.6\pi f_{\epsilon_0} Ea/g_2$$

Si se tiene un campo de intensidad igual a 5 Kv/m y de frecuencia de 60 Hz, el campo en el interior de la semilla será de $E = 37.5$ V/m para el primer caso y 7.4×10 V/m para los otros 2 mencionados. Los resultados encontrados muestran que a frecuencia de 60 Hz las variaciones de la intensidad encontrados son asociadas con el decremento de aproximadamente 5% en el porcentaje de germinación.

Aun cuando la diferencia encontrada es pequeña, lo significativo de la observación radica en el hecho de haberse establecido que la fisiología de las plantas pueden ser alteradas por campos eléctricos débiles y que por tanto no es errado pensar que efectos mayores pueden encontrarse bajo condiciones diferentes de exposición.

mismos que pueden no afectar la salud de la persona o pueden talvez de alguna forma producir cambios beneficiosos o perjudiciales en dicho individuo. El trotar ocasionalmente probablemente no producirá cambio alguno en la salud. El hacerlo regularmente puede fortalecer el sistema cardiovascular mejorando la salud del deportista. En algunos casos sin embargo, este ejercicio puede sobrecargar el cuerpo y llevarlo a extremos tales como el sufrir un ataque al corazón.

El cuerpo humano posee un sistema altamente adaptivo que involucra múltiples procesos de control. De ahí que un efecto biológico observado de la exposición a una condición particular no implica necesariamente alguna consecuencia en la salud. El cuerpo simplemente se adaptará a la nueva condición. Este criterio debe ser tenido muy en cuenta cuando se trate de evaluar los resultados de los diversos estudios presentados.

Un aspecto muy importante que debe considerarse en esta sección es el efectuar una crítica sobre los procedimientos seguidos en los diversos experimentos llevados a cabo.

Muchos de los descubrimientos que se catalogaron

como positivos hasta antes de 1975 son probablemente nulos, debido a que fueron productos de los llamados "artefactos", creados en los experimentos tales como shocks, vibraciones, ozono o ruido. Inclusive experimentos recientes, cuidadosamente diseñados pueden presentar problemas relacionados con los "artefactos".

Para ejemplificar este hecho tomemos el caso de una serie de 3 experimentos conducidos en el laboratorio de Batelle, Estados Unidos, por el científico Wilson y su equipo de trabajo entre 1981 y 1984: Al someterse una hormona llamada melatonina pineal a los efectos de un campo eléctrico de 40 Kv/m, se observó cierto efecto durante los períodos nocturnos. Al tratar de encontrar los mismos efectos en otro período de tiempo, no fue posible de lograrlo. Luego de una meticulosa investigación se pudo concluir que la discrepancia fue debida a la filtración de luz en el cuarto de exposición, proveniente de una ventana sin cubrir y por la degradación de encimas que había ocurrido en las muestras congeladas durante el almacenamiento previo al análisis.

Este tipo de problemas se ha presentado a menudo en los experimentos de exposición a campos

eléctricos. El fenómeno puede ser debido a que importantes variables no han sido aun identificadas y controladas. Esta parece ser también la mayor deficiencia en un gran número de estudios epidemiológicos efectuados sobre la misma materia.

En este tipo de estudios se ha notado errores en lo que concierne a la falta de control de los grupos controlados y expuestos. La metodología empleada en el estudio de ambos grupos ha sido diferente por lo que como consecuencia, se han obtenido resultados muy variados.

En estudios de este tipo, en los que se evalúa posibles efectos ambientales, es necesario que tanto el grupo expuesto como el controlado sean tratados lo más similar posible a fin de minimizar errores. En lo posible, los componentes de cada grupo deberían ser sometido a las mismas pruebas y al ser seleccionados deberían buscarse individuos con características similares de sexo, edad, alimentación, horarios de trabajo y otros factores que puedan afectar su estatus fisiológico.

4.2 ANALISIS DE LOS ESTUDIOS EPIDEMIOLOGICOS.-

Algunos estudios epidemiológicos sobre efectos de

campos eléctricos han sido efectuados, entre los que podemos citar los realizados por los científicos Kauvenhoven, Singewala y Strumza.

Singewala y Strumza tomaron parte del anteriormente mencionado programa de investigación efectuado por la Universidad Johns Hopkins. 11 trabajadores de líneas fueron estudiados en un período de 42 meses, siendo posteriormente sometidos a exámenes médicos. De entre los 11 individuos investigados 4 tuvieron muchas horas de trabajo a mano descubierta, lo cual implica el estar sometido a campos de gran intensidad.

Como conclusión al informe establecido que ninguno de los hombres mostraron cambio alguno en sus características físicas y mentales o en su estado emocional. Los exámenes fisiológicos tampoco arrojaron resultados negativos.

Strumza efectuó a su vez, en Francia estudios durante un período de 3 años 9 meses. Se incluyó en el estudio preguntas sobre gastos médicos, número de visitas a doctores y drogas consumidas entre otras, las mismas que fueron hechas a familias que habitaban en zonas rurales, totalizando 267 personas que habitaban a una distancia de 25 metros de

líneas de transmisión de 200 y 400 Kv.

Los datos obtenidos fueron comparados con los aportados por un grupo similar de 250 personas que vivían a distancias de por lo menos 125 metros de las mismas líneas. Los análisis estadísticos presentados mostraron que no existía ninguna diferencia entre los dos grupos.

Un aparte merecen también los estudios hechos sobre efectos de campos producidos por subestaciones. Como ya se había mencionado, los ambientes creados por líneas de transmisión, difieren notablemente de los generados por subestaciones. El científico Fole reportó cambios en el ritmo cardíaco y cardiovascular, acompañado de sensaciones de fatiga y cansancio en un grupo de 6 personas sometidas a 4 horas de permanencia en subestaciones de 400 Kv.

Otro científico, Roberge a diferencia de Fole, no reportó efecto alguno que pueda ser atribuido a los campos eléctricos en un grupo de 50 hombres dedicados a labores de mantenimiento durante al menos el 50% de sus horas de trabajo, por un período de 2 años, en una subestación hidráulica de 735 Kv, situada en Quebec, Canadá.

No está por demás mencionar los estudios efectuados por los soviéticos realizados con trabajadores de subestaciones de alta tensión. En dichos estudios se menciona una serie de malestares reportados por los trabajadores tales como: excitación, dolores de cabeza, somnolencia, fatiga y nausea. Partiendo de este estudio en la Unión Soviética se establecieron normas que regulan la exposición de los trabajadores en función de la intensidad de campo y el tiempo permisible de permanencia en varias zonas de diferentes intensidades. En la tabla siguiente se muestran las normas anotadas.

Los resultados negativos generalmente encontrados en los diferentes estudios epidemiológicos de largo plazo como los de Kouvenhoven, Singewala y Strumza, no obstante no pueden ser considerados como definitivos, ya que ninguno de ellos desarrolla un control del tiempo de exposición a los diferentes niveles de intensidad de campo o no presentan sumarios estadísticos.

El reporte de Roberge aun cuando define los rangos de los niveles de campo en forma precisa, adolece también de datos sobre la duración de la exposición. Fole encontró resultados positivos pero no mencionó las intensidades de campo medidas en

los lugares donde se realizaron las pruebas.

En forma similar los estudios soviéticos han sido ampliamente criticados en occidente pues son considerados incompletos al ignorar mediciones de cofactores presentes en las subestaciones tales como la concentración de ozono, el ruido acústico infrasónico y vapores contaminantes que pueden provocar efectos similares a los supuestamente imputados a los campos eléctricos.

Muchos científicos son del concepto de que no existen efectos biológicos perjudiciales para los seres humanos y animales, basándose en los resultados casi siempre negativos encontrados en los estudios epidemiológicos antes mencionados y apoyados en el hecho antes mencionado de la corriente corporal experimentada por un humano al tocar un electrodoméstico o herramienta eléctrica, es algunas veces mayor a la corriente corporal inducida por campos eléctricos de líneas de transmisión, a los niveles y duraciones usualmente encontrados. Es decir que si el principal criterio de análisis son las corrientes corporales o las densidades de corrientes internas, los máximos niveles de exposición en una sociedad industrializada ocurren no en las cercanías de líneas transmisión, sino provienen de electrodomésticos y equipos industriales.

Sin embargo se nota también falta de datos estadísticos, especialmente comparativos que permitan enunciar una conclusión definitiva acerca de los riesgos relativos entre líneas de transmisión y electrodomésticos o equipos industriales.

4.3 EFECTOS BIOLÓGICOS DE MAYOR IMPORTANCIA.-

En esta sección se analizan los más importantes estudios efectuados hasta la fecha sobre efectos biológicos de campos eléctricos de 60 Hz. Los resultados encontrados son muy diversos, no pudiéndose por tanto establecer de manera concluyente si existen efectos y cuales son estos.

Existen dos razones por las cuales aparentemente no se ha arribado a una conclusión definitiva. Una de ellas, ya mencionada, es la poca comprensión que se tiene al momento del proceso que ocurre a nivel celular. La otra guarda relación con la no determinación aun de que niveles de intensidad de campo, del rango existente, son peligrosas y potencialmente causantes de efectos de alguna clase.

La mayoría de los científicos se inclina por pensar que mientras mayor sea la intensidad de campo

más factible es de encontrar efectos en un ente biológico. Los que así piensan sugieren que como nivel crítico que separa lo 100% seguro de lo que resulta peligroso a una intensidad de 5 Kv/m.

Otros en cambio señalan que existe un cierto valor de intensidad de campo, aun no determinado, al cual se producen efectos nocivos. A este valor, el campo eléctrico actuaría como disparador de una serie de procesos que ocurrirían a nivel celular, y que provocarían una alteración en el estado de equilibrio del biosistema.

Como se ve el proceso investigativo está aun muy lejos de alcanzar resultados definitivos. Mientras no se esclarezcan las dudas existentes será muy difícil el poder decir con certeza que tipo de efectos existen y a que intensidad tienen lugar.

4.3.1 Efectos genéticos.-

Los campos eléctricos de 60 ciclos a las intensidades normalmente encontradas, al contrario de las radiaciones ultravioletas e ionizantes, no parecen tener capacidad de producir mutaciones. Los datos disponibles sugieren que no existen efectos genéticos atribui-

TABLA X
SUMARIO DE LAS INVESTIGACIONES SOBRE EFECTOS GENETICOS

| INVESTIGADOR | SUJETO | ESTIMULO | RESULTADO |
|-------------------------|------------|--|----------------------------------|
| KRUEGER | POLLOS | 12 semanas de exposición 60 Hz 3.4 KV/m , 1.4 G | No se reportaron efectos |
| HELLER | PAR DE AJO | 5 minutos de exposición 27 MHZ | Efectos anotados |
| TAKASHIMA | ADN | Campos de frecuencia extremadamen te baja hasta microndas, 300 V (pico a Pico) | No se reportaron efectos |
| HAMIRICK | ADN | Micronda (2450 MHZ) | Efectos térmicos únicamente |
| GANN | | 60HZ, 600 KV/M | Ningún efecto arriba de 200 KV/M |
| RIVIERE | BACTERIA | Exposición continua a 10,50 y 200 KV/M. | No se reportaron efectos |
| COATE Y NEGERDAN | DROSOFILA | 48 horas de exposición a 45 o 75 HZ, 10-20 V/M, 1.0 - 2.06 | Efectos reportados |
| BEADER | DROSOFILA | 48 horas de exposición a 45 o 75 HZ, 10-20 V/M, 1.0 - 2.06 | No se reportaron efectos |
| MIHHER | DROSOFILA | 5 días de exposición a 45 a 75 HZ, 10 V/M, 1.06 | No se reportaron efectos |
| GOTZ y GOTZ | DROSOFILA | Exposición continua a 9.6 KHZ, 25 G. | No se reportaron efectos |
| PORTNOR | DROSOFILA | 24horas de exposición,50HZ,330KV/M | Efectos anotados |
| KNICKERBOCKER | RATONES | 6.5horas por día de exposición du rante 10.5 meses, 160 KV/M. | No se reportaron efectos |
| MARINO, BECKER Y UNRICH | RATONES | 3 generaciones, 60 HZ, 10 KV/M | Efectos anotados |
| BAUM | RATAS | 94 semanas, 447 KV/M | No se reportaron efectos |

bles a los campos eléctricos.

Algunos resultados que inicialmente se tomaron como positivos han sido desechados posteriormente al demostrarse que fueron productos de imperfecciones en los procedimientos. Este es el caso de un experimento conducido por los científicos Coate y Negerton, en el cual usaron moscas expuestas por 48 horas. Los resultados que obtubieron se pensaron positivos, pero fueron luego atribuidos a defectos en el protocolo concerniente a la pureza genética de los insectos, al no poderse obtener resultados similares cuando el experimento fue repetido por otros científicos como Bender y Mittler.

La Tabla X nos muestra un sumario de las investigaciones efectuadas sobre posibles efectos genéticos.

4.3.2 Efectos sobre efectos en la fertilidad, reproducción, crecimiento y desarrollo.-

En la Tabla XI se presenta un resumen de los principales estudios sobre efectos en la fer

tilidad, reproducción, crecimiento y desarrollo que se dispone en la literatura científica. La Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos, revisó dichos estudios a excepción de 2, y determinó con los datos disponibles, que hasta la fecha no existe evidencia lo suficientemente fuerte para concluir que el ambiente creado por campos eléctricos pueda afectar la fertilidad, reproducción o desarrollo de un ser viviente.

Otra vez los resultados positivos publicados no han podido ser encontrados en estudios repetidos siguiendo las mismas condiciones del original. Este es el caso de el experimento efectuado en ratas por el científico Noval. Su colega Mathewson no pudo verificar los efectos catalogados como positivos en el crecimiento de las ratas, en experimentos que usaron los mismos niveles de exposición y siguiendo iguales procedimientos.

Kruger y su equipo de investigación trabajaron con pollitos, reportando efectos en el crecimiento de los animales. El análisis posterior determinó que los resultados fueron producto de fallas en el diseño de la jaula

TABLA XI

SUMARIO DE ESTUDIOS DE EFECTOS EN LA FERTILIDAD, REPRODUCCION, CRECIMIENTO Y DESARROLLO

| INVESTIGADOR | SUJETO | INTENSIDAD DE CAMPO | FRECUENCIA | EXPOSICION | MEDICION RELEVANTE |
|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|--|---|
| NOVAL et Al. | Ratas | 0.001-0.1 KV/M | 45 HZ | 30-51 DIAS | (+) Crecimiento |
| MATHEWSON et Al | Ratas | 0.002-0.1 KV/M | 45 HZ | 28 DIAS (c) | (-) Crecimiento |
| KRUEGER Y REED | Ratones Hembr. | 0.005 o 0.1 KV/M | 45 o 75 HZ | Hasta 36ds(c) | (-) Crecimiento |
| MARINO et Al, 1976 | Ratones Machos y Hembras | 10 o 15 KV/M | 60 HZ | De la concep- ción a la madu- rez, 3 genera- ciones (c) | (-) Número de críos y ta- maño de la camada |
| MARINO et Al | Ratones Machos | 15 KV/M | 60 HZ | 1 Mes (c) | (+) Crecimiento |
| LE BARS Y ANDRE | Ratones Hem - bras | 50 KV/M | --- | Hasta 100días incluyendo la gestación | (-) Crecimiento (-) Número de implantacion es e implantes sobre vivos |
| LE BARS Y ANDRE | Conejos | 50 KV/M | --- | Hasta 100días | (-) Crecimiento |
| BANKOSKE et Al | CUY | 50 KV/M | --- | 4 semanas | (-) Crecimiento (-) Comportamiento |
| CERRAHELLI Y MALAGUT | Ratones Machos | 100 KV/M | 50 HZ | Varios perío- dos (0.5 Ø 8) | (+) Número de apareamien- tos y preñez (-) Morfología gonodial (-) Espermalogénesis (-) Embriones supervivien- tes, morfología |
| KRNEGER Et Al | Pollos machos y hembras | 1.6KV/M O 1.2 G | 60 HZ | 12 semanas(c) | (+) Producción de huevos (-) Porcentaje de huevos fértils, porcentaje de huevos |
| GIAROLA Y KRUE- GER | Pollos | 3.5KV/M, 1.3 G | 45 o 60 HZ | 28 días | (+) Crecimiento |
| DURFEE etAl1975 Parte I | Pollos Ma - chos y hembr. | 0.001-3.5 KV/M 1-30 G | 60 Ø 75 HZ 45,60 o 75 HZ | Previa a la in- cubación Hasta 4 semanas | (-)Empollamiento, super- vivencia de embriones (-)Crecimiento prematu- ro en el postempolla- miento y desarrollo |
| DURFEE etAl1975 Parte IV | Pollos ma - chos y Hemb. | 5 G | 60 HZ | Previa a la incubación | (-)Premaduración y de- sarrollo |



donde se tuvo cautivo a los pollos y también de la falta de control en el experimento, produciéndose descargas y microshocks que afectaron el desarrollo de las pruebas al igual que no se mantuvieron las intensidades de campo en los rangos reportados.

Durfee en un experimento cuidadosamente elaborado expuso pollos a un rango similar de intensidades pero no pudo observar tales variaciones en el crecimiento.

Estudios conducidos por Marino también presentaron errores debidos a microshocks en los ratones que utilizó, al momento de que estos comían o tomaban agua.

Ceretelli y Malaguti reportaron disminución en el aparejamiento de ratas expuestas a intensidades de campo de 100 Kv/m en sesiones de 30 minutos, pero ninguna anomalía en animales expuestos a períodos de 8 horas. Esta diferencia sumada a otras incongruencias hace que el grado de validez de este estudio sea difícil de establecer.

4.3.3 Efectos sobre el comportamiento y el sistema nervioso.-

De acuerdo a las investigaciones conducidas por la Academia Nacional de Ciencia de Estados Unidos, se concluye que no existen efectos en el comportamiento, efectos neurofisiológicos o efectos neuroquímicos debido a los campos eléctricos de frecuencia de 60 ciclos. La Tabla XII ilustra algunos de los estudios en que se basan las investigaciones mencionadas.

Sin embargo, es de notarse que tan solo unos pocos estudios sobre efectos en el comportamiento o en el sistema nervioso, han sido hechos a intensidades de campo usualmente encontradas bajo líneas de transmisión.

Las conclusiones a que se ha hecho referencia se limitan a campos de baja intensidad. Es de importante en adelante incluir en las investigaciones el rango de intensidad de líneas de transmisión de alto voltaje.

En los experimentos hechos por Gavalas-Medici y Waibel es muy probable que los resultados

TABLA XII
SUMARIO DE ESTUDIOS QUE INVOLUCRAN MEDICIONES DEL SISTEMA NERVIOSO O PARAMETROS DEL COMPORTAMIENTO

| INVESTIGADOR | SUJETO | INTENSIDAD DE CAMPO | FRECUENCIA | EXPOSICION | MEDICION RELEVANTE |
|----------------------|--------|---------------------|------------------|---|--|
| Noval et. al. | Rata | 0.001-0.1 KV/M | 45 HZ | 30-40 Días | (+) |
| Gavalas Medias et.al | Mono | 0.001 - 0.056 | 7,45, 60 o 75 HZ | Hasta 4 horas | (+) |
| Krueger y Reca | Ratón | 0.005 - 0.1 KV/M | 45 HZ | --- | (-) |
| Silny | Gato | 60 KV/M | 50 HZ | 6 Horas | (.) EE 6 |
| Silny | Rata | 80 KV/M | 60 HZ | 3 horas (2 Períodos de 4 horas encendido y 4 horas apagado). | (.) EE 6 |
| Hauf G. Y. Hauf, R. | Humano | 1, 15 o 20 KV/M | 50 HZ | Hasta 2 horas | (.) Tiempo de reacción (-) EEG |
| Mantal y Hauf, R. | Humano | 3 G | 50 HZ | 3 H | (-) Tiempo de reacción y EEG. |
| Rupilius y Hauf, R. | Humano | 20 KV/M, 3G | 50 HZ | 3 H | (-) Tiempo de reacción y EEG. |
| Eisemann y Hauf, R. | Humano | 200 MA | 50 HZ | 3 H | (-) Tiempo de reacción y EEG. |
| Waibel | Humano | --- | 50 HZ | 3 min. | (+) EEG (al momento de activar el campo) |
| Fole | Humano | --- | --- | Hasta 30.5 horas (60-90 minutos de descanso después de 4 horas) | (-) Dinamometría manual |

- (+) Indica que ningún efecto fue reportado
 (.) Indica que se observaron diferencia entre los grupos expuestos y controlado pero que éstas estaban dentro de los rangos normales.
 (-) Indica que ningún efecto fue reportado

presentados sean producto del ruido acústico, ya que no se reportó ninguna medida para eliminarlo. En el caso de los resultados positivos encontrado por Silny, estos son atribuidos a la gran concentración de densidades de corriente que se produce al usar electrodos para las mediciones de electroencefalogramas, como en anterior capítulo ya se mencionó.

4.3.4 Efectos hematológicos y bioquímica de la sangre.-

Algunos investigadores han observado cambios en los valores hematológicos en animales que fueron expuestos a radiaciones de campos de frecuencia extremadamente baja, tal como se puede ver en la Tabla XIII. La variable afectada más frecuentemente fue la distribución de leucocitos, con un incremento predominante de neutrofilos. Se observó también, un decremento en glóbulos rojos.

El investigador Mathewson obtuvo incrementos en el conteo de glóbulos rojos, pero falló al intentar obtener los mismos resultados al repetir la experiencia. Un estudio mues-

TABLA XIII

SUMARIO DE ESTUDIOS QUE INVOLUCRAN LA MEDICION DE PARAMETROS HEMATOLÓGICOS

| INVESTIGADOR | SUJETO | INTENSIDAD DE CAMPO | FRECUENCIA | EXPOSICION | MEDICIONES RELEVANTES |
|------------------------------------|--------|---------------------|------------|--|---|
| Blanchi et. al. | Ratón | 0.01 KV/M | 50 HZ | 1000 horas (9 horas activado, 3 horas apagado) | (+) Distribución diferencial de leucocitos. |
| Blanchi et. al | Rata | 0.01 KV/M | 50 HZ | 6 horas | (+) Distribución diferencial de leucocitos |
| Mathewson et.al. | Rata | 0.002- 0.1 KV/M | 45 HZ | 28 días | (-) Cuenta de glóbulos rojos, hematocritos (-) Leucocitos, neutrofilos, limfocitos |
| Carretelli y Magalati | Perro | 25 KV/M | 50 HZ | 30 minutos u 8H/día (total - ?) | (+) Distribución diferencial de leucocitos, cuenta de glóbulos rojos, hemoglobina (-) Todas las otras mediciones |
| Le Bars y Andre, Le Loch y Cabanes | Conejo | 50 KV/M | 50 HZ | 24 o 70H. u 8H/día durante 100 días | (+) Total de leucocitos, distribución diferencial de leucocitos, glóbulos rojos. (-) Todas las otras mediciones |
| Le Bars y Andre, Le Loch y Cabanes | Rata | 50 KV/M | 50 HZ | 8H/día durante 30 días | (-) Todos los parámetros medidos |
| Carretelli y Magalati | Rata | 100 KV/M | 50 HZ | 30 min. u 8H/día (total - ?) | (+) Distribución total de leucocitos (-) Todos los parámetros medidos |
| Hauf, G. y Hauf, R. | Humano | 1,15 Ø 20 KV/M | 50 HZ | 3 horas | (.) Total de leucocitos, neutrofilos, reticulocitos. |
| Mantel y Hauf | Humano | 3 G | 50 HZ | 3 horas | (-) Todos los parámetros medidos |
| Rupilius y Hauf | Humano | 20 KV/M, 3 G | 50 HZ | 3 horas | (-) Todos los parámetros medidos |
| Lisemann y Hauf | Humano | 200 M A | 50 HZ | 3 horas | (-) Todos los parámetros medidos |

tra un ligero incremento en los leucocitos y en el número de neutrophils y reticulocitos luego de la exposición, sin embargo los valores encontrados están todavía dentro de los rangos fisiológicos normales.

Otra vez nos encontramos con el caso de no poder atribuir las diferencias encontradas en la cuenta de leucocitos entre el grupo expuesto y controlado en los experimentos, con plena certeza a los campos eléctricos ya que falta control sobre otras posibles fuentes de tales variaciones como microshocks y estímulo acústico o vibratorio, que también pudieron haber contribuido a la observación anotada.

Mathewson incluye en su estudio control sobre las fuentes mencionadas y como consecuencia reportó resultados negativos respecto a la variación del número de leucocitos y la distribución relativa de neutrofilos y linfocitos de ratas expuestas a una intensidad de 0.1 Kv/m. De manera análoga, Le Bars y Andre no observaron diferencia hematológica alguna entre grupos controlados de ratas y expuestos a campos de intensidad de 50 Kv/m

TABLA XIV

SUMARIO DE ESTUDIOS QUE INVOLUCRAN LA MEDICION DE PARAMETROS BIOQUIMICOS DE LA SANGRE

| INVESTIGADOR | SUJETO | INTENSIDAD DE CAMPO | FRECUENCIA | EXPOSICION | MEDICIONES RELEVANTES |
|------------------------------------|---------------------------|---------------------|------------|------------------|--|
| Noval et. al. | Rata | 0.002 - 0.1 KV/M | 45 HZ | 30 - 40 días | (+) Niveles de corticosterna del plasma |
| Mathewson et.al. | Rata | 0.002 - 0.1 KV/M | 45 HZ | 28 días | (.) Total de proteínas, globulina, glucosa (-) Total de lípidos, colesterol, triglicéridos |
| Marino et al | Rata | 15 KV/M | 60 HZ | 1 mes | (+) Porcentaje de germen de las proteínas hidrocorticoses |
| Cerretelli y Magati | Perro | 25 KV/M | 50 HZ | Aguda y crónica | (-) Todos los parámetros medidos |
| Le Bars y Andre, Le Loch y Cabanes | Conejo | 50 KV/M | 50 HZ | 24 Ø 70H. | (+) Calcio, Glucosa, Urea (-) Creatinina, Bilirubin, Total de proteínas, Albúminas, Globulina, Total de lípidos, Colesterol |
| Le Bars y Andre Le Loch y Canabes | Rata | 50KV/M | 50 HZ | 8H/día, 100 días | (.) Urea, creatinina, bilirubin, Total de proteínas, Globulina, Lípidos, Triglocéridos, Colesterol |
| Cerretelli y Magati | Rata | 100 KV/M | 50 HZ | Aguda y Crónica | (-) Calcio y Albúmina (-) Todos los parámetros medidos. |
| Enstein y Ondra | Glóbulos rojos de humanos | 9.63 KV/M | 60 HZ | 10 horas | (+) Concentración de glucosa de los glóbulos rojos |
| Rupilius y Hauf | Humano | 20 KV/M, 36 | 60 HZ | 3 horas | (-) Germen del colesterol, triglicéridos |

en un período de 30 días.

Los estudios de la bioquímica de la sangre son listados en la Tabla XIV . Existe la hipótesis de que la exposición a campos eléctricos de frecuencia extremadamente baja puede producir stress biológico, al variar ciertos parámetros bioquímicos de la sangre como la corticoides. Sin embargo, los estudios fallan al precisar si las variaciones en corticoides y otro parámetros como proteínas, glucosa o urea no pueden ser debida a otros factores.

Marino en sus investigaciones ha obtenido resultados positivos en unos casos, y negativos en otros tantos. Los experimentos conducidos por Le Bars y Andre y Le Loch y Cabanes indican la variación de ciertos parámetros bioquímicos en ratas, de otras en ratones pero solo los niveles de urea fueron alterados en ambos casos.

Se concluye entonces, que la información disponible hasta la fecha no es suficiente para concluir que la variación de parámetros hematológicos y bioquímicos de la sangre, pro

ducto de la exposición a campos de frecuencia extremadamente baja pueden producir stress u otro cambio biológico en animales o seres humanos.

4.3.5 Efectos en las funciones cardiovasculares.-

La Tabla XV presenta los principales estudios que en este ámbito se han efectuado. En estudios conducidos en humanos, se ha notado una cierta variación en el ritmo cardíaco durante la exposición o después de ella.

El científico Hauf reportó un incremento en el ritmo de aproximadamente 10%, observación hecha algunas horas después del período de exposición de 2 horas a intensidades de campo 20 Kv/m. Sin embargo, esta variación no fue registrada con períodos de exposición de 1.5 hoas y a intensidades menores entre 1 a 15 Kv/m.

Los estudios de Fole, Waibel y Hauf no se pueden tomar como evidencia de alteración de las funciones cardiovasculares, ya que presentan fallas en la elaboración de los experimentos.

TABLA XV

SUMARIO DE ESTUDIOS QUE INVOLUCRAN LA MEDICION DE PARAMETROS ORGANICOS

| INVESTIGADOR | SUJETO | INTENSIDAD DE CAMPO | FRECUENCIA | EXPOSICION | MEDICION RELEVANTE |
|-----------------------|--------|---------------------|------------|---|--|
| Blanchi et. al. | Ratón | 0.01 KV/M | 50 HZ | 1000 Horas (9horas encendido, 3 horas apagado) | (+) EKG |
| Blanchi et. al. | Cerdo | 0.9 KV/M | 50 HZ | 30 Min. | (+) EKG |
| Fischer et. al. | Rata | 0.05 o 5.3 KV/M | 50 HZ | 15 minutos o 50 días | (+) Ritmo cardiaco |
| Cerretelle y Malaguti | Perro | 25 KV/M | 50 HZ | Aguda y crónica (no definida) | (+) Ritmo cardiaco (en el momento de activarse el campo) |
| Silny | Gato | 60 KV/M | 50 HZ | 6 horas | (.) Ritmo cardiaco |
| Cenetelli y Malaguti | Conejo | 80 KV/M | 50 HZ | Hasta 500 horas | (-) Lecturas cardiacas, Ritmo cardiaco y presión sanguínea |
| Philies et. al. | Ratas | 80 KV/M | 60 HZ | 8 horas o 8Hrs/Día para 5 días | (-) Ritmo cardiaco |
| R. Hauf | Humano | 1 o 15 KV/M | 50 HZ | 45 minutos | (-) Ritmo cardiaco, pulso y presión sanguínea |
| G. Hauf | Humano | 1,15 Ø 20 KV/M | 50 HZ | Hasta 2 horas | (.) Pulso (-) EKG, Presión Sanguínea |
| Mantel y R. Hauf | Humano | 3 G | 50 HZ | 3 horas | (-) EKG, pulso, presión sanguínea |
| Rupibilus y R. Hauf | Humano | 20 KV/M, 3 G | 50 HZ | 3 horas | (-) EKG, pulso, presión sanguínea |
| Eisemann y R. Hauf | Humano | 200 MA | 50 HZ | 3 horas | (-) EKG, pulso, presión sanguínea |
| Wcibel | Humano | --- | 50 HZ | 3 minutos | (.) Ritmo cardiaco (al momento de desactivar el campo) |
| Fole | Humano | ---- | --- | Hasta 8.5 horas (60-90 minutos de descanso después de 4Hrs) | (+) Ritmo cardiaco presión sanguínea |

Los estudios conducidos en animales por Cere^lelli y Malaguti muestran un incremento en el ritmo cardíaco de perros en el momento que un campo de 25 Kv/m fue encendido y apagado. Esto puede representar también la detección por parte del animal de estímulo acústico o vibratorio.

En resumen, la evidencia que se dispone sobre efectos en las funciones cardiovasculares durante la exposición a campos eléctricos de frecuencia extremadamente bajo, es insuficiente para concluir que las intensidades de campo en los rangos de interés de este estudio presentan algún peligro de alteraciones de las funciones cardiovasculares.

A manera de corolario de esta sección considero importante agregar las conclusiones presentadas por un grupo de investigadores que trabajó bajo el auspicio de la Organización Mundial de la Salud, O.M.S., y que se pueden resumir como sigue:

- a) Los estudios experimentales establecen que campos eléctricos de hasta una intensi-

dad de 20 Kv/m no constituyen peligro para la salud.

- b) Los síntomas de stress reportados en algunos casos no deben ser considerados como efectos primarios de los campos eléctricos.
- c) Los estudios epidemiológicos de largo plazo no han podido hasta la fecha demostrar la existencia de efectos perjudiciales para la salud.
- d) No se ha podido precisar el mecanismo de interacción existente entre el campo eléctrico y los seres vivientes.
- e) No se han detectado síntomas específicos en humanos como consecuencia de la exposición a campos eléctricos.
- f) Los campos eléctricos producidos por líneas de transmisión de hasta 420 Kv no constituyen peligro de ninguna clase.

CAPITULO V

DEFINICION DEL CASO ECUATORIANO

Como capítulo final se presenta el análisis y la evaluación del caso ecuatoriano. En la primera sección se procede a describir los sitios de mayor contaminación de campos eléctricos de 60 Hz existentes en el país. Seguidamente y basados en la información presentada en los capítulos anteriores se anotan las sugerencias técnicas que considero conveniente se deben adoptar en el Ecuador y finalmente en la última sección, se incluyen las recomendaciones que a futuro se deberían seguir con el fin de no dejar inconcluso el trabajo iniciado con esta tesis de grado.

5.1 DESCRIPCION DE LOS SITIOS CONTAMINADOS.-

Para describir los sitios que presentan contaminación en el país, tomaremos como criterio de evaluación el que sostiene que el mayor agente de contaminación de campos eléctricos son las líneas de transmisión.

En nuestro país existen operando al momento líneas de 230 Kv, 136 Kv y 69 Kv; no se ha previsto en el futuro superar dichos voltajes.

Para señalar los sitios de mayor contaminación hay que remitirse por tanto a las zonas por donde pasan las líneas de transmisión y en particular la línea de 230 Kv. Como se vió el campo decrece inversamente a la distancia y está confinado a las inmediaciones de la línea, con este razonamiento se establece que las áreas de mayor contaminación estarán limitadas por el derecho de vía de la línea

Bajo este concepto el grupo humano más susceptible a estar expuesto son los campesinos que realizan sus faenas agrícolas bajo las líneas de transmisión o a corta distancia de ellas, durante varias horas al día y seguramente durante muchos años de su vida.

Otro grupo que se podría pensar esté afectado sería el de los habitantes de los distintos poblados por los que pasan las líneas, sin embargo como se demostró en el Capítulo 2 el efecto de apantallamiento producido por las casas y demás objetos existentes en el medio reducen el valor del campo eléctrico a valores despreciables.

En la página siguiente se presenta un mapa del Ecuador en el que se indican las rutas por donde pasan los tendidos de las líneas de transmisión que al momento operan en el país. Atención principal debe ponerse al trazado de la línea de 230 Kv.

5.2 SUGERENCIAS TECNICAS.-

En los capítulos precedentes se han analizado en profundidad las diferentes opiniones que sobre los efectos biológicos de 60 Hz se tienen.

Tal y como se ha visto, existe una marcada diferencia en la forma de tratar el problema entre los científicos norteamericanos y europeos y sus colegas de la Unión Soviética. Estos últimos basados en experimentos efectuados en los primeros años de la década de los 70, han aceptado la existencia de efectos perjudiciales para la salud y debido a ello adoptaron una serie de medidas tendientes a regular la exposición a campos eléctricos, tanto de trabajadores de subestaciones y líneas, como del público en general.

En cambio, el criterio que ha primado hasta la fecha en occidente ha sido el de no establecer restricciones, ya que no se ha podido comprobar de manera



FIG. 5.1. SISTEMA NACIONAL DE TRANSMISION A DICIEMBRE DE 1988

definitiva la existencia de riesgo para los seres vivientes.

Este último criterio ha sido aceptado como el más valedero, ya que del análisis de los diversos estudios presentados se infiere que los resultados son muy diversos como para afirmar al momento que existen efectos de algún tipo y cuales son estos.

Los resultados positivos algunas veces reportados la generalidad de las veces obedecen a errores en el procedimiento de los experimentos, como más tarde se ha comprobado al tratar de fallidamente repetirlos, o por el contrario los efectos encontrados han sido a intensidades y frecuencias que no corresponden a los valores comerciales. Hasta la presente fecha, tan solo se puede afirmar con seguridad que los campos eléctricos son biológicamente activos, pero no se puede aseverar que sean dañinos para la salud.

Sin embargo, no es correcto tampoco el asumir la no existencia de efectos por no haberse podido determinar cuales son. Es preciso señalar cual es el rango de intensidades dentro de las cuales se considera completamente seguro a los campos eléctri-

cos y cual por el contrario es el rango en el que se pueden producir ciertos efectos.

Para esclarecer este punto nos basaremos en un estudio llevado a cabo bajo el auspicio de una entidad de gran prestigio como lo es la Organización Mundial de la Salud, O.M.S., institución perteneciente a las Naciones Unidas. Las conclusiones a las que arribaron luego de un minucioso trabajo de investigación establecieron como completamente seguros a los campos eléctricos producidos por líneas de transmisión de hasta 420 Kv. Igualmente se estableció que el valor máximo de intensidad de campo hasta el cual se podía garantizar la no existencia de efectos, era igual a 20 Kv/m.

Pienso que cualquier sugerencia técnica que se haga respecto de esta materia debe tomar en cuenta aunque sea de manera referencial, los criterios enunciados por la O.M.S., ya que hasta la fecha esta es la institución de mayor prestigio que se ha pronunciado al respecto.

Para analizar el caso ecuatoriano debemos remitirnos a la parte anterior, ya que en el se establecieron cuáles son las zonas de mayor contaminación en

el país. Como se mencionó, basándose en el criterio de mayor voltaje de operación-mayores posibilidades de encontrar efectos, el principal foco de contaminación está dado en el Ecuador por las líneas de transmisión y en particular por la línea de 230 Kv, que es el máximo voltaje de operación existente en el país.

Comparando esta información con la arrojada por el estudio de la O.M.S., encontramos que los campos eléctricos existentes en el ambiente ecuatoriano están dentro del rango que la mencionada institución internacional considera como seguro.

Si el análisis se limita a los criterios enunciados en los párrafos anteriores el caso ecuatoriano estaría resuelto. No obstante no todo está dicho al momento. Los rangos anotados deben tomarse como probables y no como definitivos. Los criterios emitidos no son aceptados de maneja universal. Es así que se tiene que un grupo de investigadores considera que los mayores riesgos no se presentan a mayores intensidades necesariamente, sino que ocurren a una cierta intensidad llamada por ellos crítica, a la cual el campo eléctrico actuaría como disparador de una serie de procesos a nivel celular.

Si es que este es el criterio bajo el cual se evalúa el caso ecuatoriano tendríamos que concluir que bien podríamos estar ante un serio problema porque la llamada intensidad crítica podría estar situada dentro de las intensidades típicas encontradas por ejemplo, bajo líneas de 230 Kv.

Como se ve nada es definitivo aun. Sin embargo es necesario el pronunciarse ya que a mi modo de ver el problema involucra inclusive, de alguna forma los derechos humanos de los habitantes de este país y que como sabemos son deber del estado el hacerlos respetar.

Es mi criterio que se deben de adoptar un mínimo de medidas de carácter preventivo, sin ser de ninguna forma restrictivas. Ante la ausencia de un criterio comprobado y universalmente aceptado por la comunidad científica, me pronuncio por que la política a seguir sea la de informar antes que prohibir.

El mínimo de medidas preventivas que se han de tomar, deben apuntar a lo siguiente:

- Se debe de informar a la ciudadanía en especial

a los campesinos cuyas labores diarias se realizan en las inmediaciones de las líneas de transmisión y que por consiguiente son propensos a estar expuestos durante varias horas al día, de los posibles riesgos a que están sometidos por la exposición continua a campos eléctricos de 60 Hz. Se hace necesario el lograr que las personas que viven o trabajan cerca de las líneas no se expongan a los posibles peligros de manera involuntaria. Se debe procurar que las personas que entran en el derecho de vía de las líneas lo hagan voluntariamente y con conocimiento de los posibles riesgos que la exposición crónica y de largo tiempo a campos eléctricos de 60 Hz se tiene.

5.3 RECOMENDACIONES A FUTURO.-

Uno de los fines que esta tesis ha perseguido ha sido el de alertar a la comunidad ecuatoriana de los posibles riesgos a los que pueden estar sometidos los habitantes de este país debido a la exposición a campos eléctricos de 60 Hz. En este sentido el presente trabajo debe considerársele como la piedra inicial de un proceso investigativo de largo plazo, debiendo por tanto ser complementa-

do en el futuro con nuevos estudios que cuenten con el auspicio de las entidades competentes.

Considero que quien debe llevar a la realidad las sugerencias anotadas en el aparte anterior y que se refieren a la labor de informar a la ciudadanía de los posibles peligros a que están expuestos, es INECEL por ser el organismo que tiene a cargo la generación y distribución de energía eléctrica en el país.

A manera de ejemplo se debe tomar lo que acontece con las compañías tabacaleras, las cuales por disposiciones legales están obligadas a informar a sus consumidores, mediante un anuncio impreso en las cajetillas de las posibles consecuencias que puede tener en la salud humana el fumar cigarrillos. De manera análoga INECEL debería emprender una campaña tendiente a alertar a la ciudadanía, en especial a los campesinos que desarrollan sus labores agrícolas en las inmediaciones de las líneas de transmisión. Quedaría a criterio personal el seguir o no las sugerencias presentadas.

Por otro lado como ya mencione los estudios no tienen que ser abandonados y quien debe tomarlos

a cargo, como ha acontecido en este caso, es la ESPOL por intermedio de la FIE. Debe establecerse contacto con los centros de investigación en las diferentes partes del mundo, donde se encuentren realizando estudios, de tal forma que se esté actualizando continuamente de material bibliográfico que nos permita estar al tanto de los progresos que se realicen sobre la materia y así poder en el momento que se torne necesario alertar sobre la necesidad de establecer normas que restrinjan la exposición.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Pese a todos los esfuerzos que se han realizado hasta la presente fecha por tratar de establecer si existen o no efectos biológicos debidos a la exposición a campos eléctricos de 60 Hz, no se ha podido arribar a una conclusión definitiva.

La diversidad de resultados arrojados por los estudios efectuados, unas veces positivos otros tantos negativos, imposibilitan aun el poder pronunciarse de manera concluyente.

El criterio que prevalece es el de considerar a los campos eléctricos de 60 Hz como biológicamente activos, es decir capaces de interactuar con un ser vivo, pero no se puede afirmar que de este proceso se produzca algún efecto. Se han calculado y se los acepta como ciertos, parámetros tales como la densidad de corriente en el cuerpo de un humano o animal debido a la presencia de un campo eléctrico generado por las líneas de alta tensión. Pero se ha fracasado en tratar de explicar que alteraciones o cam-

bios se provocan en el funcionamiento a nivel celular del biosistema.

Las investigaciones apuntan a esclarecer este hecho y su realización escapa hoy en día el campo de conocimiento de un ingeniero para convertirse también en materia de estudio de los especialistas en biología.

No es posible por tanto determinar todavía con precisión a que nivel de intensidad de campo existen problemas ni que tiempo de exposición resulta peligroso. Sin embargo, prevalecen al momento dos teorías sobre las cuales se sigue la discusión.

La primera de ellas indica que la posibilidad de existencia de efectos es mayor mientras mayor sea el voltaje de operación. Esta teoría tiene gran aceptación y está respaldada por estudios realizados por instituciones de gran prestigio, como el llevado a cabo por la Organización Mundial de la Salud, O.M.S., entidad de las Naciones Unidas. En este estudio se sostiene que los campos eléctricos producidos por líneas de hasta 420 Kv no constituyen peligro para la salud. Refiriéndonos al caso ecuatoriano se estableció que el máximo voltaje de operación existente en el país es de 230 Kv; por lo tanto si el análisis

se lo realiza basados en esta teoría se debe concluir forzosamente que no existen riesgos de ninguna clase en el Ecuador.

Sin embargo, si hay una segunda teoría que indica que los efectos se presentan a una cierta intensidad crítica, aun no determinada, a la cual el campo eléctrico actuaría como disparador de una serie de procesos que tendrían lugar a nivel celular. Si se efectúa el análisis ecuatoriano bajo esta teoría se tiene que concluir que el problema está latente ya que bien podría estar situada la intensidad de campo crítica dentro de los rangos usualmente encontrados por ejemplo bajo los tendidos de 230 Kv.

Las dudas todavía existentes evidencian la razón por la que no han sido adoptadas normas de carácter restrictivo. Salvo el caso de la Unión Soviética, no existe legislación en ningún país que limite la exposición a campos eléctricos, aun cuando ya se encuentran en funcionamiento líneas de más de 1000 Kv.

Considero por lo tanto que no se deben tomar normas restrictivas en el Ecuador al momento. La política a seguirse, por intermedio de INECEL, debe ser la de informar a la ciudadanía en especial a los agricultor

res que realizan sus tareas en las cercanías de las líneas de transmisión, particularmente de 230 Kv, de la posibilidad de estar sometidos a un cierto peligro aun no determinado por la exposición continua a los campos eléctricos.

Es lo mínimo que puede hacerse por preservar la salud de la ciudadanía mientras la incognita de saber si existen efectos biológicos causado por campos eléctricos de 60 Hz, y a que intensidad y en que tiempo se presentan, sea totalmente despejada.

Entre tanto la ESPOL y por su intermedio la FIE debe entrar en contacto con los centros que se encuentran desarrollando la actividad investigativa a nivel mundial, para así mantenerse informado de los progresos que se realizan y de creerlo en algún momento conveniente alertar a las autoridades competentes de la necesidad de adopción de normas que restringan la exposición.

B I B L I O G R A F I A

1. Andrew A. Marino and Robert J. Becker (1978) "Hazard at a distance". Environment, Vol. 20 N° 9: 9-15.
2. Louis B. Young (1978) "Danger: High Voltage". Environment, Vol. 20 N° 4: 16-20, 37-39.
3. Róbert Gannon (1984) "La Jungla Electromagnética" Algo, Mayo 1984: pg: 27-29.
4. Pamela W. Lurito (1984) "The message was electric". IEEE Spectrum, Vol. 21 N° 9: 84-95.
5. Eric J. Lerner (1984) "Biological effects of electromagnetic fields". IEEE Spectrum, mayo 84 pg: 57-69.
6. Morgan, Flary, Nair and Lincoln (1985) "Power line fields and human health". IEEE Spectrum, Febrero 1985 pg: 62-68.

7. Don W. Deno (1977) "Currents induced in the human body by high voltage transmission line electric field, measurement and calculation of distribution and dose". IEEE transactions pas-96 N° 5: 1517-1527.
8. Don W. Deno (1975) "Electrostatic effect induction formulae". IEEE Transactions pas-94 N° 5: 1524 - 1536.
9. J.E. Bridges (1978) "Environmental considerations concerning the biological effects of power frequency electric fields". IEEE transactions pas-97 N° 1: 19-32.
10. J. E. Bridges and M. Preache (1981) "Biological influences of power frequency electric fields. IEEE Proceedings vol 69 N° 9: 1092-1119.
11. G.E. Atoien (1978) "Are there biological and physiological effects due to extra high voltage installations?" IEEE transactions pas-97 N° 1: 8-18.
12. Don W. Deno (1976) "Transmission line fields". IEEE Transactions pas-95 N° 5: 1600-1611.

13. P. D. Jacobs and F.M. Dietrich (1984) "Measurement of transmission line fields in a residential environment". IEEE Transactions pas-103 N° 8: 2237-2243.



A.F. 141509



