



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO ELECTROMAGNETICO SOBRE POSIBLES  
DAÑOS NEURONALES DEBIDO AL USO DE  
TELEFONOS CELULARES

**T E S I S**

PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N :  
MONTES REYES LUIS  
PINILLA MORAN VICTOR DAMIAN

DIRECTORA: M. EN C. AMANDA O. GOMEZ GONZALEZ



CD. UNIVERSITARIA, D. F.

1993

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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

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

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

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

# ÍNDICE

<b>I INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
I.1 LAS RADIACIONES	4
I.1.1 RADIACIONES IONIZANTES	5
I.1.2 RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS	6
I.1.2.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL HORNO DE MICROONDAS	6
I.2 PLANTEAMIENTO	7
I.3 MÉTODO	8
<b>II FUNDAMENTOS ELECTROMAGNÉTICOS DE LAS FUENTES RADIANTES</b>	<b>11</b>
II.1 LA ANTENA	12
II.1.1 TIPOS DE ANTENA	13
II.2 PARÁMETROS DE LA ANTENA	13
II.2.1 PATRÓN DE RADIACIÓN	14
II.2.1.1 DESARROLLO DE LAS ECS. DE CAMPOS RADIANTES	14
II.2.1.1.1 VECTOR POTENCIAL MAGNÉTICO	14
II.2.1.1.2 VECTOR POTENCIAL ELÉCTRICO	17
II.2.1.1.3 SOLUCIÓN A LAS ECS. NO HOMOGÉNEAS DE LOS VECTORES POTENCIALES	19
II.2.1.1.4 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA LAS ECS. DE CAMPOS RADIANTES	23
II.2.1.1.5 ANTENAS LINEALES	24
II.2.2 POTENCIA	27
II.2.2.1 DENSIDAD DE POTENCIA	27
II.2.3 REGIONES DE SEPARACIÓN	29
II.2.3.1 REGIÓN DE CAMPO LEJANO	30
II.2.3.2 REGIÓN DE CAMPO CERCANO	30
II.3 EL MONOPOLO	30
II.3.1 ELEMENTOS LINEALES EN PRESENCIA DE PLANOS CONDUCTORES	31
<b>III EL TELÉFONO CELULAR COMO FUENTE RADIANTE DE POTENCIA ELECTROMAGNÉTICA</b>	<b>33</b>
III.1 DESARROLLO HISTÓRICO DE LA RADIO TELEFONÍA CELULAR	35
III.2 SISTEMA DE RADIO TELEFONÍA CELULAR	35
III.2.1 PARÁMETROS DE OPERACIÓN	37
III.2.2 PANORAMA GENERAL DE LA TELEFONÍA MÓVIL EN EL MUNDO	38
III.3 EL TELÉFONO CELULAR	39
III.3.1 TIPOS DE TELÉFONOS CELULARES	39
III.3.2 PARÁMETROS ELECTROMAGNÉTICOS	39

III.3.2.1 TABLA COMPARATIVA	40
III.3.3 DESARROLLO NUMÉRICO DE LAS ECS. DE CAMPOS RADIANTES	41

#### **IV ESTUDIO ANATÓMICO Y MORFOMÉTRICO DE LOS ÓRGANOS Y TEJIDOS DONDE SE REALIZA LA PROPAGACIÓN DE ENERGÍA RADIANTE**

IV.1 PIEL	52
IV.1.1 ESTRUCTURA	53
IV.1.1.1 EPIDERMIS	53
IV.1.1.2 DERMIS	53
IV.2 TEJIDO ÓSEO	54
IV.2.1 DESCRIPCIÓN DEL CRÁNEO HUMANO	54
IV.2.1.1 EL CRÁNEO HUMANO EN FUNCIÓN DE LA EDAD	57
IV.2.1.2 DIFERENCIAS SEGÚN EL SEXO EN EL CRÁNEO	58
IV.2.2 MEDICIÓN DEL CRÁNEO HUMANO	59
IV.2.2.1 PROTOCOLO DE MEDICIÓN Y PARTICIÓN DEL CRÁNEO	60
IV.2.2 CÉDULA PARA MEDICIÓN DE PUNTOS ESPECÍFICOS DE GROSOR DE CRÁNEO	61
IV.2.2.3 MEDICIONES DE ESPESOR CRANEAL Y RESULTADO ESTADÍSTICO	63
IV.2.3 CONCLUSIONES PRELIMINARES	66
IV.3 SISTEMA NERVIOSO CENTRAL	67
IV.3.1 TEJIDO NERVIOSO	67
IV.3.1.1 NEURONA DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL	67
IV.3.1.2 POTENCIAL DE MEMBRANA DE LA NEURONA Y EXCITACIÓN O INHIBICIÓN NEURONAL	68
IV.3.2 EL CEREBRO	70

#### **V ANÁLISIS TEÓRICO DEL AUMENTO DE TEMPERATURA EN TEJIDO CEREBRAL**

V.1 CARACTERÍSTICAS ELECTROMAGNÉTICAS PRIMARIAS	73
V.1.1 PERMITIVIDAD ELÉCTRICA	74
V.1.2 PERMEABILIDAD MAGNÉTICA	75
V.1.3 CONDUCTIVIDAD	75
V.1.4 CONDUCTORES Y DIELECTRICOS	76
V.2 PROPAGACIÓN EN MEDIOS CONDUCTORES	77
V.2.1 EFECTO PELICULAR PARA CADA MEDIO DE PROPAGACIÓN	79
V.2.2 MAGNITUD RELATIVA DEL CAMPO ELÉCTRICO EN FUNCIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN	80
V.2.3 NORMAS DE SEGURIDAD SOBRE LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN DE MICROONDAS	83
V.3 AUMENTO POTENCIAL DE TEMPERATURA DEBIDO A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS INDUCIDOS EN TEJIDO	

CEREBRAL	84
<b>VI COMPROBACIÓN DE LOS POSIBLES DAÑOS OCASIONADOS POR LA INCIDENCIA DE MICROONDAS</b>	91
<b>VII CONCLUSIONES</b>	97
<b>VIII BIBLIOGRAFÍA</b>	99

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

La evolución tecnológica de los últimos 100 años ha modificado significativamente la vida del hombre sobre la tierra. El Ser Humano en su mayoría ha pasado de ser un habitante rural acostumbrado a luchar personalmente por satisfacer sus necesidades básicas, a ser un integrante de una sociedad que tiene sus satisfactores al alcance de su mano, siempre y cuando pueda pagar por ellos. El hombre primitivo luchaba por sus alimentos, el hombre moderno por pagarlos.

A raíz de esta nueva lucha humana por el dinero, el Hombre moderno se ha ocasionado mas daño que beneficio. En su rápida carrera por alcanzar el bienestar se olvidó de cuidar lo más importante : **su salud.**

Ahora el hombre es capaz de desplazarse grandes distancias cómodamente y en poco tiempo; es capaz de conocer en el momento en que suceden acontecimientos al otro lado del mundo y de la misma forma, comunicarse con sus semejantes sin importar el lugar en que se encuentren.

Y el precio ha sido alto. Nunca en la historia del planeta se había creado una contaminación antinatural como la que se sufre al final del siglo XX, situación que pone en peligro la permanencia del hombre en la Tierra. Lo más lamentable es que el mismo ser humano está de acuerdo.

La ignorancia, la ambición y la apatía hacen del Humano su verdugo.

Durante la planeación del desarrollo tecnológico se toman en cuenta factores que a la larga nos dirán si el producto creado es exitoso. Se cuidan primordialmente factores de costo, de eficiencia, de análisis de mercado que aseguran de antemano su venta. Pero es raro (por no decir nulo) que se tome en cuenta el factor de modificación al entorno.

La industria automotriz durante mucho tiempo desarrolló increíbles automóviles potentes, ostentosos y veloces. Pero fue hasta que los precios de los combustibles crecieron debido a factores políticos, que se dieron a la tarea de crear motores más eficientes, mayor potencia por menor consumo. Más tarde al hacerse evidentes los daños ecológicos concentraron su atención en la reducción de emisiones contaminantes. Sin embargo los automóviles continúan creciendo en número y el desarrollo de unidades que funcionen a base de energía eléctrica es escaso. En consecuencia la contaminación sigue creciendo.

Fue necesario que el habitante de las grandes ciudades se diera cuenta que habita dentro de una enorme nube de suciedad que se dio a la tarea de combatirla. ¿Pero qué sucede cuando el Hombre no advierte que la contaminación está presente?

No toda la contaminación es visible a los ojos del hombre. Existe cierto tipo de contaminación de cuya presencia nos damos cuenta hasta que advertimos sus efectos.

El inmenso poder que ofrece la estructura y propiedades de la materia ha abierto las

puertas de increíbles avances pero ha puesto en las manos del hombre una herramienta muy peligrosa. Todos estamos conscientes de los enormes beneficios que proporciona la energía nuclear, pero también sabemos los perjuicios que ocasiona cuando no se le da el manejo adecuado.

Un claro ejemplo resulta el Televisor. Todos gozamos del uso de este aparato; la Televisión se ha convertido de ser un simple medio de comunicación, a un artículo de primera necesidad, a ser un miembro más de la familia. Pero nadie se ha detenido a pensar, antes de comprar un televisor a color de 30 pulgadas, que también esta adquiriendo una fuente de rayos X capaz de afectar su salud. Peor aún, el fabricante de tan hermoso aparato, que conoce perfectamente que puede provocar daños serios, por no perder sus ganancias económicas prefiere disfrazar el hecho.

Y así se pueden citar muchos ejemplos.

La necesidad del hombre de comunicarse a través de largas distancias lo ha llevado a desarrollar tecnologías que se han mejorado lo largo de los años. De aquel teléfono que construyó Alejandro Graham Bell en 1876 hasta los teléfonos actuales hay una gran diferencia. ¿Cuál sería la reacción del Sr. Bell si supiera que su invento ya no requiere de hilos para funcionar? La industria de la Telefonía Celular es una de las que más éxito a logrado en muy poco tiempo. A partir de 1979 cuando se instaló en Tokio el primer sistema comercial de Telefonía Celular se inició una floreciente industria llamada a convertirse en líder de las comunicaciones.

Cualquier persona, prácticamente en cualquier lugar del mundo, puede acceder al uso de un teléfono celular, y puede comunicarse de la misma forma a cualquier lugar del planeta.

Esta característica lo convierte en un artículo popular.

El manejo de conceptos fundamentales tanto científicos como tecnológicos, y algunas experiencias que serán relatadas en su oportunidad, nos hacen suponer que un teléfono celular podría representar una fuente de daño a la salud de quien lo usa.

Analizando superficialmente las características de operación de un teléfono celular se puede observar que guarda una gran similitud con otro aparato muy popular y del cual se tienen ciertas referencias como causante de daños a la salud : *El Horno de Microondas*.

En medio de una moda ecologista sufrida en E.U.A. durante los años 80's mucho se habló que un horno de microondas emitía radiaciones capaces de provocar cáncer y que incluso los alimentos cocinados en él se contaminaban. Esto dista mucho de ser verdad, en el sentido que un horno de microondas no trabaja con radiaciones de partículas ionizantes; el principio de funcionamiento de un horno de microondas es exponer al alimento a energía electromagnética de alta frecuencia, es decir, a *Microondas*, de ahí su nombre.



La parte verdadera de esta información radica en que existe la posibilidad de que la energía electromagnética se "fugue", es decir, que el blindaje del horno sea deficiente y las microondas además de incidir sobre el alimento, incidan sobre el usuario.

Este mismo fenómeno podría producirse en el usuario de un teléfono celular. El sustento de esta afirmación se basa en :

1) *La Frecuencia de Operación.* La frecuencia de la energía electromagnética que se hace incidir sobre los alimentos en un horno de microondas se ubica en el orden de los 2000 MHz, (clasificada como microonda). La frecuencia de operación de un teléfono celular tipo se encuentra próxima a los 1000 MHz (también se clasifica como microonda).

2) *La Potencia de Radiación.* El horno de microondas transfiere a los alimentos una potencia aproximada a los 800 W. El teléfono celular se diseñó para emitir una potencia de radiación entre 0.3 y 6 W. Estos niveles podrían no representar una amenaza si se comparan con los del horno, sin embargo, la tercera afirmación muestra lo contrario.

3) *La Cercanía entre la Fuente Radiante y el usuario.* La distancia que separa al punto de máxima intensidad de potencia y el usuario es mínimo y entre ambos no existe ningún medio atenuador, solo el espacio libre. No existe blindaje alguno.

La teoría Electromagnética ha estudiado como se comportan las ondas que inciden sobre diferentes medios de propagación. Se conoce que en función principalmente del tipo de material (propiedades electromagnéticas) y de la frecuencia de la onda, existe una determinada distancia de penetración de la onda en el material. A este concepto se lo conoce como *Profundidad de Penetración* [1].

Este efecto por sí mismo no nos dice nada, pero si retomamos el principio de funcionamiento del horno de microondas, debemos observar que es posible que la energía que alcanza a penetrar algún material, pudiera provocar *calentamiento*.

¿Qué implican estos fenómenos? Una fuente de energía electromagnética radiante, en este caso, un teléfono celular, que por su diseño se ubica muy cercano al usuario, podría inducir parte de su energía en la superficie y en los tejidos internos que conforman la cabeza humana; y en consecuencia provocar un aumento anormal de temperatura. Este aumento podría ser el causante de cambios en la fisiología normal del organismo.

## 1.1 LAS RADIACIONES.

Con base en esta hipótesis, es necesario conocer el comportamiento del cuerpo humano en presencia de energía externa.

Podemos dividir a esta energía en dos grandes grupos :

- 1) **RADIACIONES IONIZANTES.**
- 2) **RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS.**

### **I.1.1 RADIACIONES IONIZANTES.**

Se refiere a la emisión de partículas atómicas, fenómeno conocido como radioactividad.

La manipulación de las partículas atómicas (electrón, protón y neutrón) se han utilizado con fines médicos ya que presenta varias propiedades [2], entre las cuales se tienen :

- 1) Atraviesan más o menos a todos los cuerpos, según sea la naturaleza y densidad de los mismos.
- 2) Ejercen acción sobre los tejidos orgánicos y aplicados en exceso producen graves ulceraciones en la piel.
- 3) Impresionan las placas fotográficas y provocan otras reacciones químicas así como también la fluorescencia de muchas sustancias.

Estos fenómenos fueron observados accidentalmente por Wilhelm Roetgen [3] cuando experimentaba con un tubo de rayos catódicos. Dicho accidente ocurrió cuando un haz desviado por una hoja de papel cubierta con cinuro de platino incidió en una placa fotográfica. En su camino del haz desviado atravesó el cuerpo de un gato. Roetgen observó que en la placa se había impreso el esqueleto del animal. Como desconocía el carácter de estos rayos los llamó : *Rayos X*.

La aplicación que la ciencia médica le dio a este descubrimiento fue enorme. Los Médicos fueron capaces de diagnosticar directamente por observación desde fracturas de huesos hasta la presencia de tumores, ya que los Rayos X pueden ser producidos de tal forma, que se pueden imprimir diversos tipos de tejidos.

Sin embargo, la exposición continua a los Rayos X es altamente dañina, ya que puede producir desde afectaciones crónicas a nivel celular (cáncer, esterilidad, pérdida del cabello, descalcificación de los huesos) hasta quemaduras graves cuando la exposición es prolongada.

Con el desarrollo acelerado de la computación se logró evolucionar a la radiología, que ahora se pueden obtener imágenes ya no en un solo plano, como en una radiografía, sino en tercera dimensión con una resolución de imagen muy alta. La *Tomografía Computarizada* es a la radiografía lo que la película cinematográfica es a la fotografía. La tomografía computarizada [4] permite obtener cortes axiales transversos del cuerpo. De este modo se visualiza una delgada lámina como si se hubiera cortado del cuerpo y se observa de frente al igual que una radiografía convencional. Su visualización en forma de corte es posible

gracias a un proceso de reconstrucción que realiza una computadora, a la cual debe su nombre. De esta forma es posible observar partes del cuerpo en su tamaño y volumen real.

A estas las podemos considerar como dos aplicaciones representativas de la incidencia de radiaciones ionizantes sobre tejidos orgánicos vivos. Puede advertirse que los daños que se provocan son causados por las partículas ionizadas, a diferencia de los daños provocados por las radiaciones electromagnéticas.

## 1.1.2 RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS.

Las ondas electromagnéticas son afectaciones producidas en el espacio debido a la presencia de cargas eléctricas. Una onda electromagnética se forma de dos vectores; un vector de campo eléctrico y un vector de campo magnético que viajan ortogonales por un medio de propagación.

Un campo eléctrico es una porción de espacio afectado por una carga eléctrica. Es decir, si colocamos una carga eléctrica en ese espacio esta se verá afectada, a través de una fuerza de repulsión o atracción, debida a la carga que origina al campo.

Un campo magnético se produce alrededor de un conductor por el cual circula una corriente eléctrica. El campo magnético se forma de líneas cerradas en cuyo centro está dicho conductor.

La diferencia entre la radiación ionizante y la electromagnética resulta de que mientras la primera se constituye de la emisión de partículas, la segunda se conforma de campos de afectación, eléctricos y magnéticos.

### 1.1.2.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL HORNO DE MICROONDAS.

Toda materia [5] está conformada por moléculas, las cuales conservan un equilibrio entre sus partículas positivas y negativas. Cuando esta materia se encuentra libre de cualquier influencia electromagnética externa sus moléculas guardan una posición aleatoria. Sin embargo, al someter a esta materia a un campo electromagnético, dichas moléculas modificarán su posición orientándose en función de sus cargas eléctricas. A este fenómeno se le llama *Polarización*. Cuando este cambio de posición se hace a una gran velocidad, lo que significa someterlas a un campo de alta frecuencia, el movimiento por sí mismo provoca calentamiento. De esta manera es posible cocinar alimentos en un tiempo muy corto. Este es el principio de operación del horno de microondas.

El horno de microondas fue desarrollado en Holanda [6] en 1967 y rápidamente se extendió por todo el mundo. Adquirió su carácter comercial cuando se creó un modelo doméstico en los años 80's. Consiste simplemente en un generador de señales a alta frecuencia (2450 MHz) y a alta potencia (1500 W).

Hágase notar que en este caso el calentamiento de la materia no se debe a partículas externas; podemos decir que la materia se calienta por sí misma cuando se le afecta por un campo electromagnético de alta frecuencia.

Un tipo más de sistema que utiliza el principio de crear afectaciones debidas a energía externa es la *Ecografía*. También llamado *Ultrasonido*, [7] este sistema se basa en la variación de presiones alternativas (sobrepresiones y depresiones) resultado de la puesta en movimiento longitudinal de partículas que constituyen el medio de propagación. Es la utilización del efecto *Piezoelectrico*<sup>1</sup> de los materiales. La frecuencia de este movimiento es de 1 a 5 MHz.

El método Ultrasonico provoca efectos químicos, biológicos y físicos en función de la frecuencia, la intensidad y la duración de la aplicación del mismo. Sin embargo, en las dosis que se aplican en la realización de estos diagnósticos, hasta el momento presente no se ha obtenido prueba alguna de la existencia de enfermedades adquiridas, de lesiones macroscópicas inducidas y de malformaciones fetales como consecuencia directa y evidente estadísticamente hablando, imputables a la aplicación del ultrasonido. El número de fetos nacidos en el mundo desde la utilización diagnóstica de los ultrasonidos en las maternidades, no muestran ni un aumento de la tasa de malformaciones, ni de enfermedades adquiridas en relación a la población fetal que no ha recibido exploración ultrasónica alguna.

## I.2 PLANTEAMIENTO.

En los ejemplos antes mostrados se observa que la materia orgánica reacciona ante la presencia de energía. Las reacciones pueden ser de muchos tipos. En el caso específico de la radiación por microondas la literatura científica [8] cita gran variedad de efectos que provocan, principalmente las microondas, sobre la materia. Uno de los principales es la elevación de temperatura. Además de ser principio del horno de microondas, este fenómeno se utiliza industrialmente con el nombre de *Calentador Dieléctrico*, el cual consiste principalmente en calentar plásticos por medio de microondas. Así mismo, la *Diatermia* es el proceso mediante el cual se eliminan tumoraciones del cuerpo humano insertando dentro de ellos pequeñísimas antenas que al irradiar su potencia queman las células tumorizadas, que presentan poca resistencia contra el aumento de la temperatura.

El efecto demodulador [9] implica alteraciones de señales eléctricas debido a la presencia de otras diferentes. Como es conocido, el cuerpo humano y en especial el Sistema Nervioso es conductor y productor de señales eléctricas que llevan información. Es muy posible que estas señales puedan alterarse cuando otras señales más poderosas están presentes, modificándose la información original.

El efecto molecular consiste en que la energía electromagnética pueda provocar la

---

<sup>1</sup>Conversión de energía eléctrica a mecánica y de mecánica a eléctrica.

vibración de macromoléculas y átomos, así como provocar la polarización.

En conjunto estos efectos pueden modificar el funcionamiento físico del cuerpo, así como aspectos psicológicos y de conducta.

Por todo lo anterior, es posible sospechar que el efecto térmico, sea el principal causante de daños, y cuyos efectos pueden resultar evidentes por sobre los demás. El efecto térmico ofrece además la facilidad de contar con un respaldo de información científica teórica y práctica realizada en el campo de la Ingeniería. El análisis de efectos conductuales, por ejemplo, requeriría de conocimientos de campos diferentes (Psicología, Psiquiatría entre otros) y sería aventurado concluir sobre disciplinas tan distintas a la Ingeniería y que posiblemente requerirían de un tiempo de estudio muy prolongado para obtener datos representativos. Por esta razón se elige al efecto térmico para ser analizado con más profundidad, sin hacer de lado otros efectos que durante el desarrollo de esta investigación pudieran justificarse.

**El objetivo de esta investigación será tratar de determinar si la radiación emitida por un teléfono celular es capaz de causar daños debidos al aumento de temperatura en el sistema nervioso central, esto cuando la fuente radiante de energía se coloca muy cercana a la cabeza del usuario, como típicamente sucede.**

### 1.3 MÉTODO.

El camino que sigue la energía electromagnética desde su fuente emisora hasta el receptor se muestra en la siguiente figura:

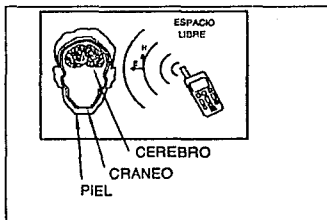


FIG. 1.1

La energía electromagnética se emite en el teléfono celular, primer componente de nuestro proceso. El hecho de querer conocer solo el comportamiento de esta energía nos lleva a considerar al teléfono celular como una fuente radiante de energía, sin importar su construcción ni sus componentes, a excepción de la antena. La Antena es un

dispositivo de transición entre una línea de transmisión y el espacio libre y de las características físicas de la antena, tal como forma y tamaño, depende la distribución de la energía en el espacio. Será fundamental el definir los parámetros de la antena para conocer las características de los campos radiados, el eléctrico y el magnético. A partir de experiencias científicas es posible comprobar que la componente que es causante directa del calentamiento es el campo eléctrico, mientras que los efectos debidos al campo magnético tienen otro carácter (que será analizado en su oportunidad).

Las características de la Onda Electromagnética cambian en función del medio de propagación en el que viajan. De la Fig. 1.1 observamos que básicamente se tienen dos medios principales :

- 1) El espacio libre.
- 2) La materia orgánica.

El espacio libre es un medio con características bien definidas y que a la distancia que existe entre la fuente y el receptor (posiblemente no más de 10 cm) no presenta pérdidas significativas. La manera en que se distribuye la energía está en función directa de la forma y el tipo de antena que la emite.

El segundo medio no es uniforme, está compuesto de tejidos diferentes que son :

- 1) Cabello.
- 2) Piel.
- 3) Hueso (cráneo).
- 4) Masa Encefálica.

El cabello si bien no es un tejido, es una etapa en la propagación de la onda, pero ya que no es compacto y se mezcla con el espacio libre, no representa un medio que pueda alterar las características de la onda, por lo que no se tomará en cuenta.

Los tejidos restantes si alteran a la onda. Ya que se enfocará el estudio hacia los efectos térmicos, podemos citar una característica definitiva : *El Contenido de Agua*. El agua funciona como un elemento que modifica la conducción de calor; en materiales con bajo contenido de agua la conducción de calor es baja, por lo que ocasiona mayor calentamiento. De la misma forma, para un material con un alto contenido de agua, este tendrá una mejor conducción de calor y el calentamiento será menor. En función de la cantidad de agua que contiene podemos hacer una clasificación alterna:

- 1) Tejidos con Bajo Contenido de Agua : Se incluyen los tejidos óseos y los tejidos grasos.
- 2) Tejidos con Alto Contenido de Agua : Se incluye a la piel y la masa encefálica.

En general para estos medios se deben especificar las características electromagnéticas, la profundidad de penetración del campo eléctrico, y el gradiente de intensidad de campo eléctrico en función del grosor de la etapa correspondiente. Una vez conocida la intensidad de campo eléctrico y la densidad de potencia que actúan sobre la masa encefálica se procederá a obtener el posible incremento de temperatura y con base en el resultado y en la literatura, especular sobre los posibles daños causados al cerebro.

La presente investigación se estructura en función de este análisis.

El segundo capítulo trata a fondo las bases teóricas de las fuentes electromagnéticas de potencia radiante, definiendo las expresiones matemáticas para los campos radiantes y la potencia radiada, todo en función de los parámetros físicos de la antena.

El tercer capítulo aplica los resultados del capítulo anterior a los parámetros de operación reales del sistema de Telefonía Celular y se citan resultados de la propagación de la energía en el espacio libre.

El cuarto capítulo describe anatómicamente los medios orgánicos de propagación. En él se desarrollan métodos por los cuales se obtienen parámetros físicos que son fundamentales para establecer características de propagación. Debe tomarse en cuenta que el estudio de medios orgánicos desde un punto de vista matemático enfrenta el reto de tratar con materiales no homogéneos, cuyas dimensiones son diferentes dependiendo de las características del individuo (raza, sexo, edad, etc) por tal razón se hizo un tratamiento estadístico de parámetros que prácticamente son aleatorios. En este mismo capítulo se detallan procesos funcionales propios del sistema nervioso central, de su unidad funcional que es la neurona y los cuales serán los directamente afectados por la energía electromagnética.

El quinto capítulo analiza a cada etapa de materia orgánica como un medio de propagación, definiendo el comportamiento de la energía hasta que ella incide sobre la masa encefálica. Una vez hecho esto trata de modelar y cuantificar el efecto de elevación de temperatura.

El sexto capítulo recopila la información bibliográfica realizada en relación a estos aspectos y que apoya los resultados anteriores. También se incluyen resultados obtenidos en el estudio de otros efectos provocados por las radiaciones electromagnéticas sobre organismos vivos (como el efecto de modulación), así mismo la opinión de expertos en los campos afines y las posibles recomendaciones para evitar el daño al organismo.

El séptimo capítulo contiene las conclusiones de la investigación.

**CAPÍTULO II :**

**FUNDAMENTOS**

**ELECTROMAGNÉTICOS**

**DE LAS**

**FUENTES RADIANTES.**



Lograr la transmisión de información entre dos puntos distantes de forma independiente a una conexión física (tal como un cable) ha sido uno de los principales retos a los que se enfrentan los sistemas de comunicación.

El desarrollo de la Teoría Electromagnética por parte de científicos como Faraday, Henry y Maxwell sentaron las bases para que otros como Hertz y Marconi lograran la transmisión de información por medio de ondas electromagnéticas a través del espacio libre.

La energía electromagnética posee características especiales. Una *onda electromagnética* se resume a un campo eléctrico y uno magnético, ortogonales, viajando juntos por un medio de conducción. Ambos campos varían en el tiempo.

El concepto de fuente radiante se aplica a un dispositivo que convierte magnitudes eléctricas como voltaje y corriente a ondas electromagnéticas que viajarán por un medio de propagación de un transmisor a un receptor. Este dispositivo se conoce como *Antena*.

En este capítulo se establecen las bases teóricas del análisis de la antena del teléfono celular. La conclusión de la definición de los parámetros electromagnéticos se hacen en el capítulo III donde se detallan las características físicas de dicha antena.

## II.1 LA ANTENA.

Una *Antena* [10] es una estructura transitoria entre el espacio libre y un dispositivo de conducción (electricamente hablando). Una línea de transmisión se usa para transportar energía electromagnética desde la fuente de transmisión a la antena, después de la antena transmisora a través de un medio de conducción a la antena receptora y de esta al receptor.

Además de la transmisión o recepción de energía, la antena se utiliza para optimizar o acentuar la radiación de la energía en ciertas direcciones y suprimirla en otras, por lo que una antena es un dispositivo direccional.

En la Fig. 2.1 se muestra una línea de transmisión de dos conductores acoplada a un generador. A lo largo de la parte uniforme de la línea, la energía es guiada como una onda plana de modo *TEM*<sup>1</sup>. El espaciado entre los conductores implica una pequeña fracción de la longitud de onda. Entre los conductores existe un campo eléctrico cuyas líneas parten de una carga positiva y terminan en una negativa. Ya que por la línea de transmisión fluye una corriente eléctrica esta provoca un campo magnético, cuyas líneas son trayectorias circulares cerradas en cuyo centro se encuentra el conductor.

El hecho es que cuando la distancia entre los conductores crece, las líneas de campo

---

<sup>1</sup>Onda electromagnética transversal [1]

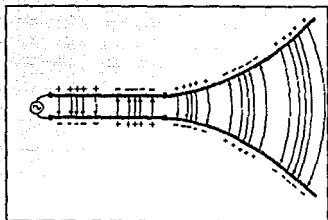


FIG. 2.1

deben recorrer distancias mayores (Fig. 2.2). En determinado momento las terminaciones abiertas de la línea de transmisión se conectan por medio de líneas de campos, estas líneas de campo tendrán una trayectoria más amplia en cuanto más grande sea la abertura.

### II.1.1 TIPOS DE ANTENA.

Existe una gran variedad de antenas [10], distintas por su forma, misma que es determinada por su aplicación. Las

más familiares son las llamadas de *Alambre (Dipolos)*. También existen otras llamadas de *Abertura o Cometas* o las de *Reflector* como las antenas *parabólicas*. Por otra parte se utilizan varios elementos que mejoran las características de la antena, formando arreglos tales como la *antena logoperiódica*.

Sin embargo existen otros tipos genéricos de antenas. Profundizaremos en dos tipos de ellos. La *Fuente Puntual Isotrópica* [11] es una antena físicamente irrealizable; su característica principal es que irradia la misma cantidad de energía en cualquier dirección. Esta idealización sirve como referencia para establecer las características de otros tipos de antenas. De hecho a partir de este modelo se establecen expresiones matemáticas generales que podemos ajustar a antenas reales.

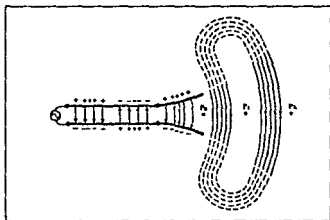


FIG. 2.2

Una de estas antenas es el *Dipolo*. Quizá la antena realizable más sencilla y la más utilizada y que aún es un tipo sencillo para modelar matemáticamente.

## II.2 PARÁMETROS DE LA ANTENAS.

Como ya se indicó, la antena isotrópica permite obtener de una manera más sencilla expresiones matemáticas generales. De tal forma, obtendremos inicialmente algunos parámetros de la antena isotrópica para que conforme sea necesario estos sean extrapolados a la antena real que debemos estudiar.

Algunos parámetros que definen el desempeño de una antena son:

- 1) Patrón de Radiación.
- 2) Potencia Radiada.
- 3) Regiones de Separación.

## II.2.1 PATRÓN DE RADIACIÓN.

El Patrón de radiación es la representación gráfica de la forma en que se distribuye en el espacio la energía radiada. La experiencia en el manejo de conceptos de radiación a establecido que es más sencilla la apreciación de un patrón de radiación cuando se expresa en coordenadas esféricas.

De acuerdo a la aplicación que desee darse al patrón de radiación, este puede graficarse en tres dimensiones, dos o solo en una, ya que los campos eléctrico y magnético obtienen su máxima intensidad en diferentes planos. También es posible graficar características tales como la potencia radiada.

### II.2.1.1 DESARROLLO DE LAS ECS. DE CAMPOS RADIANTES.

Es común proceder en este tipo de problemas de radiación, a partir de las fuentes que producen los efectos. Una notable herramienta es la introducción de funciones auxiliares, conocidas como *Vectores Potenciales*.

- A** --- Vector Potencial Magnético  
**F** --- Vector Potencial Eléctrico

Es posible calcular **E** (Campo Eléctrico) y **H** (Campo Magnético) a partir de **J** (Densidad de corriente eléctrica) y **M** (Densidad de corriente Magnética) pero se ha comprobado que es mucho más sencillo calcularlos por medio de las funciones auxiliares.

#### II.2.1.1.1 VECTOR POTENCIAL MAGNÉTICO.

Ya se aclaró que el vector potencial magnético es útil en la solución del problema. Partimos de :

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (1)$$

donde **B** = flujo de campo eléctrico

A partir de la divergencia y el rotacional se derivan muchas propiedades e identidades vectoriales.

$$\nabla \cdot \nabla \times \mathbf{A} = 0 \quad (2)$$

donde  $\mathbf{A}$  = Vector Potencial Magnético

La definición de campo magnético :

$$\mathbf{B}_A = \mu \mathbf{H}_A \quad (3)$$

$$\mathbf{H}_A = \frac{1}{\mu} \nabla \times \mathbf{A} \quad (3.a)$$

Auxiliándonos de las ecuaciones de Maxwell.

$$\nabla \times \mathbf{E}_A = -j\omega\mu\mathbf{H}_A \quad (4)$$

sustituyendo (3.a) en (4):

$$\nabla \times \mathbf{E}_A = -j\omega\nabla \times \mathbf{A} \quad (5)$$

que puede ser escrita como:

$$\nabla \times (\mathbf{E}_A + j\omega\mathbf{A}) = 0 \quad (6)$$

Auxiliándonos de un vector arbitrario:

$$\phi_x$$

Y de una identidad vectorial:

$$\nabla \times (-\nabla\phi_x) = 0 \quad (7)$$

Igualando (6) y (7)

$$\mathbf{E}_A + j\omega\mathbf{A} = -\nabla\phi_x \quad (8)$$

$$\mathbf{E}_A = -\nabla\phi_e - j\omega\mathbf{A} \quad (8.a)$$

Valiéndonos de la identidad vectorial :

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{A} = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}) - \nabla^2 \mathbf{A} \quad (9)$$

De (3.a) y substituyendo en (9)

$$\nabla \times (\mu \mathbf{H}_A) = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}) - \nabla^2 \mathbf{A} \quad (9.a)$$

Ya que se trata de un medio homogéneo

$$\mu = cte.$$

$$\mu \nabla \times \mathbf{H}_A = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}) - \nabla^2 \mathbf{A} \quad (10)$$

Por otra parte, de la ecuación de Maxwell:

$$\nabla \times \mathbf{H}_A = \mathbf{J} + j\omega \epsilon \mathbf{E}_A \quad (11)$$

esta ecuación resulta de :

$$\nabla \times \mathbf{H} = (\sigma + j\omega \epsilon) \mathbf{E}$$

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$$

Igualando (10) y (11)

$$\mu \mathbf{J} + j\omega \mu \epsilon \mathbf{E}_A = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}) - \nabla^2 \mathbf{A} \quad (12)$$

Substituyendo (8.a) en (12) se llega a :

$$\nabla^2 \mathbf{A} + K^2 \mathbf{A} = -j\mu \mathbf{J} + \nabla(\nabla \cdot \mathbf{A} + j\omega\mu\epsilon\phi_s) \quad (13)$$

donde :

$$K = \omega\sqrt{\mu\epsilon}$$

Para simplificar (13) se utiliza la Condición de Lorentz [12] [13] que dice:

$$\nabla \cdot \mathbf{A} = -j\omega\mu\epsilon\phi_s \Rightarrow \phi_s = -\frac{1}{j\omega\mu\epsilon} \nabla \cdot \mathbf{A} \quad (14)$$

Substituyendo (14) en (13)

$$\nabla^2 \mathbf{A} + K^2 \mathbf{A} = -\mu \mathbf{J} \quad (15)$$

Substituyendo (14) en (8.a)

$$\mathbf{E}_A = -j\omega \mathbf{A} - j\frac{1}{\omega\mu\epsilon} \nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}) \quad (16)$$

Ya que  $\mathbf{A}$  es conocido,  $\mathbf{H}_A$  puede obtenerse de (3.a) y  $\mathbf{E}_A$  de (16).

### II.2.1.1.2 VECTOR POTENCIAL ELÉCTRICO.

La fuente de corriente magnética es físicamente irrealizable. El campo generado por una corriente magnética en una región homogénea con :

$$\mathbf{M} \neq 0, \mathbf{J} = 0$$

debe satisfacer:

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = 0 \quad (17)$$

esta es la relación de la Ley de Gauss en una región libre de carga.

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \quad (17.a)$$

donde :

$$\rho = 0$$

$\rho$  : densidad de carga.

El campo eléctrico en función del vector potencial  $\mathbf{F}$  está dado por:

$$\mathbf{E}_p = -\frac{1}{\epsilon} \nabla \times \mathbf{F} \quad (18)$$

Substituyendo en la ecuación de Maxwell:

$$\nabla \times \mathbf{H}_p = \mathbf{j} \omega \epsilon \mathbf{E}_p \quad (19)$$

se obtiene :

$$\nabla \times (\mathbf{H}_p + \mathbf{j} \omega \mathbf{F}) = 0 \quad (20)$$

Utilizando de nuevo la identidad vectorial (7) aplicada a este caso:

$$\nabla \times (-\phi_m) = 0 \quad (21)$$

igualando (20) y (21)

$$\mathbf{H}_p = -\nabla \phi_m - \mathbf{j} \omega \mathbf{F} \quad (22)$$

donde :

$\phi_m$  representa un potencial magnético escalar el cual es función de la posición.

Retomando (18) y aplicándole  $\nabla$  a ambos miembros de la ecuación :

$$\nabla \times \mathbf{E}_p = -\frac{1}{\epsilon} \nabla \times \nabla \times \mathbf{F} \quad (23)$$

igualando a la identidad vectorial :

$$\nabla \times \mathbf{F} = \nabla (\nabla \cdot \mathbf{F}) - \nabla^2 \mathbf{F} \quad (24)$$

$$\nabla \mathbf{E}_p = -\frac{1}{\epsilon} [\nabla \nabla \cdot \mathbf{F} - \nabla^2 \mathbf{F}] \quad (25)$$

e igualando a la ecuación de Maxwell :

$$\nabla \times \mathbf{E}_p = -\mathbf{M} - j\omega \mu \mathbf{H}_p \quad (26)$$

$$\nabla^2 \mathbf{F} + j\omega \mu \epsilon \mathbf{H}_p = \nabla \nabla \cdot \mathbf{F} - \epsilon \mathbf{M} \quad (27)$$

substituyendo (22) en (27) y retomando la cantidad  $K^2$

$$\nabla^2 \mathbf{F} + K^2 \mathbf{F} = -\epsilon \mathbf{M} + \nabla (\nabla \cdot \mathbf{F} + j\omega \mu \epsilon \phi_M) \quad (28)$$

Utilizando la condición de Lorentz para este caso:

$$\phi_M = -\frac{1}{j\omega \mu \epsilon} \nabla \cdot \mathbf{F} \quad (29)$$

substituyendo (29) en (28)

$$\nabla^2 \mathbf{F} + K^2 \mathbf{F} = -\epsilon \mathbf{M} \quad (30)$$

substituyendo (29) en (22)

$$\mathbf{H}_p = -j\omega \mathbf{F} - \frac{j}{\omega \mu \epsilon} \nabla (\nabla \cdot \mathbf{F}) \quad (31)$$

Ya que  $\mathbf{F}$  es conocido,  $\mathbf{E}_p$  se obtiene de (18) y  $\mathbf{H}_p$  de (31) ó de (26) con  $\mathbf{M}=0$ .

La siguiente inquietud será resolver la herramienta que nos simplifica el trabajo : Los vectores potenciales  $\mathbf{F}$  y  $\mathbf{A}$ .

### II.2.1.1.3 SOLUCIÓN A LAS ECUACIONES NO HOMOGÉNEAS DE LOS VECTORES POTENCIALES.



Durante nuestro desarrollo nos encontramos a la ecuación (15) como :

$$\nabla^2 \mathbf{A} + K^2 \mathbf{A} = -\mu \mathbf{J}$$

Para la solución suponemos que la fuente con densidad de corriente  $\mathbf{J}_z$  está en el origen del sistema  $\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{Z}$  ; que la corriente fluirá a lo largo del eje  $\mathbf{Z}$ , de tal forma que solo exista componente  $\mathbf{A}_z$  (Fig 2.3).

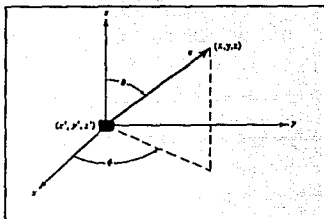


FIG. 2.3

$$\nabla^2 \mathbf{A}_z + K^2 \mathbf{A}_z = -\mu \mathbf{J}_z \quad (32)$$

Exactamente en el origen  $\mathbf{J}_z = 0$  por lo que (32) se reduce a:

$$\nabla^2 \mathbf{A}_z + K^2 \mathbf{A}_z = 0 \quad (33)$$

Ya que la fuente es puntual, significa que  $\mathbf{A}_z$  no es función de la posición  $(\theta, \phi)$  en un sistema de coordenadas esféricas se define:

$$\mathbf{A}_z = \mathbf{A}_z(r)$$

donde  $r$  es la distancia radial. Reescribiendo (33) en coordenadas esféricas :

$$\frac{d^2 \mathbf{A}_z(r)}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d\mathbf{A}_z(r)}{dr} + K^2 \mathbf{A}_z(r) = 0 \quad (34)$$

La ecuación diferencial tiene dos soluciones independientes:

$$\mathbf{A}_{z1} = C_1 \frac{e^{-jKr}}{r} \quad (35)$$

$$\mathbf{A}_{z2} = C_2 \frac{e^{+jKr}}{r} \quad (36)$$

donde :

(35) Representa en dirección al exterior (en dirección radial) a la onda viajera.

(36) Describe el viaje interno ,asumiendo una variación en el tiempo tal como

$$e^{j\omega t}$$

Ya que nuestro problema requiere la dirección hacia el exterior se elige a (35).

$$A_z = A_{z1} = C_1 \frac{e^{-jk_r r}}{r} \quad (37)$$

En el caso estático ( $\omega = 0, K = 0$ )

$$A_z = \frac{C_1}{r} \quad (38)$$

Con base en este resultado, para los puntos fuera de la fuente la solución que varía en el tiempo y la estática son diferentes solo por el factor :  $e^{-jk_r r}$

Dicho de otra forma la solución variante en el tiempo se obtiene multiplicando la solución estática por el citado factor.

Para el caso en que  $J_z = 0$  y  $K = 0$  (33) se reduce a:

$$\nabla^2 A_z = -\mu J_z \quad (39)$$

Esta ecuación se conoce como *Ecuación de Poisson*.

Una de sus soluciones a esta ecuación se basa en el potencial eléctrico escalar en función de la densidad de carga eléctrica.

La solución de (39) será :

$$A_z = \frac{\mu}{4\pi} \iiint_V \frac{J_z}{r} dv' \quad (40)$$

Esta es la solución para el caso estático, pero ya es conocida la relación entre el caso

estático y el dinámico

$$A_n = \frac{\mu}{4\pi} \iiint_V J_s \frac{e^{-jkr}}{r} dv \quad (41)$$

Esta será la misma para densidades de corriente en los ejes X y Y. En forma vectorial:

$$A = \frac{\mu}{4\pi} \iiint_V J \frac{e^{-jkr}}{r} dv' \quad (42)$$

En el caso en que la fuente esté fuera del origen (Fig. 2.4)

$$A(X, Y, Z) = \frac{\mu}{4\pi} \iiint_V J(X', Y', Z') \frac{e^{-jkr}}{R} dv' \quad (43)$$

donde:

$(X, Y, Z)$  son las coordenadas del punto de observación.

$(X', Y', Z')$  son las coordenadas donde está ubicada la fuente.

$R$  es la distancia entre puntos.

En un desarrollo idéntico se tiene

$$F(X, Y, Z) = \frac{\epsilon}{4\pi} \iiint_V M(X', Y', Z') \frac{e^{-jkr}}{R} dv' \quad (44)$$

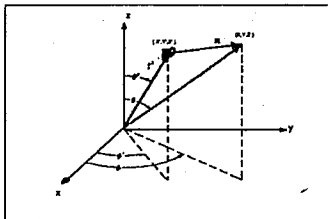


FIG. 2.4

Si  $J$  y  $M$  representan densidades lineales ( $m^{-1}$ ), (43) y (44) se reducen a integrales de superficie.

$$A = \frac{\mu}{4\pi} \iint_S J_s(X', Y', Z') \frac{e^{-jkr}}{R} ds' \quad (45)$$

Si hablamos de corrientes eléctricas ( $I_e$ ) y magnéticas ( $I_m$ ) estas solo se aplican en una dirección.

$$\mathbf{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int_V \mathbf{J}_e(x', y', z') \frac{e^{-jkr}}{R} dV' \quad (46)$$

$$\mathbf{F} = \frac{\epsilon}{4\pi} \int_V \mathbf{J}_m(x', y', z') \frac{e^{-jkr}}{R} dV' \quad (47)$$

#### 11.2.1.1.4 PROCEDIMIENTO DE CALCULO PARA LAS ECUACIONES DE CAMPOS RADIANTES.

Una vez resueltas las incógnitas podemos resumir el procedimiento que nos permitirá obtener el campo eléctrico y magnético de una fuente radiante.

El procedimiento requiere que las funciones auxiliares  $\mathbf{A}$  y  $\mathbf{F}$  generadas respectivamente por  $\mathbf{J}$  y  $\mathbf{M}$  sean encontradas primero. Después los correspondientes campos eléctricos y magnéticos ( $\mathbf{E}_A$ ,  $\mathbf{H}_A$  producidos por  $\mathbf{A}$  y  $\mathbf{E}_F$ ,  $\mathbf{H}_F$  debidas a  $\mathbf{F}$ ). Los campos totales se obtienen por la superposición de los campos individuales.

SUMARIO :

1) Especificar  $\mathbf{J}$  y  $\mathbf{M}$  (densidades de corriente eléctrica y magnética).

2) Utilizar :

a) Encontrar  $\mathbf{A}$  debido a  $\mathbf{J}$  con la ecuación (42). Esta expresión es la solución a la ecuación de onda no homogénea (15).

b) Encontrar  $\mathbf{F}$  debido a  $\mathbf{M}$ , con una ecuación análoga a (42)

$$\mathbf{F} = \iiint_V \mathbf{M} \frac{e^{-jkr}}{R} dV' \quad (42.a)$$

esta expresión es la solución a la ecuación (30).

Para ambas expresiones  $k^2 = \omega^2 \mu \epsilon$  y  $R$  es la distancia de cualquier punto de observación a la fuente.

3) Utilizar :

a) Las expresiones (3.a), (16) ó en su defecto (11) con  $\mathbf{J} = 0$  para encontrar  $\mathbf{H}_A$  y  $\mathbf{E}_A$ .

b) Las expresiones (18), (31) ó en su defecto (26) con  $\mathbf{M} = 0$  para encontrar  $\mathbf{E}_F$  y  $\mathbf{H}_F$ .

4) Los campos totales serán :

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_A + \mathbf{E}_F = -\frac{1}{j\omega\epsilon} \nabla \times \mathbf{H}_A - \frac{1}{\epsilon} \nabla \times \mathbf{F} \quad (48)$$

ó

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_A + \mathbf{E}_F = -\frac{1}{j\omega\epsilon} \nabla \times \mathbf{H}_A - \frac{1}{\epsilon} \nabla \times \mathbf{F} \quad (48.a)$$

y

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}_A + \mathbf{H}_F = \frac{1}{\mu} \nabla \times \mathbf{A} - j\omega \mathbf{F} - j \frac{1}{\omega\mu\epsilon} \nabla (\nabla \cdot \mathbf{F}) \quad (49)$$

ó

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}_A + \mathbf{H}_F = \frac{1}{\mu} \nabla \times \mathbf{A} - \frac{1}{j\omega\mu} \nabla \times \mathbf{E}_F \quad (49.a)$$

### II.2.1.1.5 ANTENAS LINEALES.

Este tipo de fuentes radiantes son el más conocido, versátil y simple de todas las fuentes radiantes. Por esta razón son utilizadas como inicio en todo análisis, minimizando la estructura de la antena.

Un dipolo infinitesimal ( $l \ll \lambda$ ) se posiciona simétricamente en el origen de un sistema de coordenadas a lo largo del eje Z. Así como el dipolo es extremadamente corto, también es muy delgado.

La corriente que alimenta al dipolo se considera constante y está dada por :

$$I(z') = I_0 \delta \quad (50)$$

Como ya se detalló, para encontrar  $\mathbf{E}$  y  $\mathbf{H}$  se procede con la definición de las funciones potenciales auxiliares  $\mathbf{A}$  debido a  $\mathbf{J}$  y  $\mathbf{F}$  debido a  $\mathbf{M}$ , tal como se cita en el sumario.

Por definición la fuente solo transporta corriente eléctrica  $I_0$ , por lo tanto la corriente

magnética  $I_m = 0$ . En consecuencia el potencial  $F = 0$ . Para deducir  $\mathbf{A}$  :

$$\mathbf{A}(X, Y, Z) = -\frac{\mu}{4\pi} \int_c I_0(X', Y', Z') \frac{e^{-jkr}}{R} dl' \quad (46.a)$$

donde :

$(X, Y, Z)$  son las coordenadas del punto de observación.

$(X', Y', Z')$  son las coordenadas de la fuente.

$R$  es la distancia entre el punto y la fuente.

El límite de integración  $c$  es a lo largo de esta trayectoria.

La corriente está dada por :

$$I_0(X', Y', Z') = I_0 \delta \quad (51)$$

por definición del dipolo infinitesimal :

$$X' = Y' = Z' = 0 \quad (52)$$

la distancia  $R$  está dada entonces por :

$$R = \sqrt{(X-X')^2 + (Y-Y')^2 + (Z-Z')^2}$$

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} = r \quad (53)$$

$$r = \text{constante} \quad (53.a)$$

$$dl' = dz' \quad (54)$$

substituyendo (51) y (54) en (46.a)

$$\mathbf{A}(X, Y, Z) = 2 \frac{\mu I_0}{4\pi r} e^{-jkr} \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} dz'$$

El siguiente paso es deducir  $\mathbf{H}_A$  con (3.a) y  $\mathbf{E}_A$  con (16) ó con (11) y  $\mathbf{J} = 0$ .

$$A(X, Y, Z) = 2 \frac{\mu I_0 l}{4 \pi r} e^{-jkr} \quad (55)$$

A partir de la experiencia se ha demostrado que es más práctico y hace fácil la representación de resultados el expresar las relaciones en coordenadas esféricas.

Utilizando la matriz de transformación de coordenadas rectangulares a esféricas se obtiene :

$$A_r = A_z \cos \theta = \frac{\mu I_0 l e^{-jkr}}{4 \pi r} \cos \theta \quad (56.a)$$

$$A_\theta = -A_z \sin \theta = -\frac{\mu I_0 l e^{-jkr}}{4 \pi r} \sin \theta \quad (56.b)$$

$$A_\phi = 0 \quad (56.c)$$

La ec. (3.a) puede ser expresada también en coordenadas esféricas :

$$H_\theta = j \frac{KI_0 l \sin \theta}{4 \pi r} \left[ 1 + \frac{1}{jkr} \right] e^{-jkr} \quad (57.a)$$

y

$$H_r = H_\phi = 0 \quad (57.b)$$

**J = 0** El campo eléctrico se obtiene utilizando (16) ó (11) con

$$E = E_A = \frac{1}{j\omega\epsilon} \nabla \times H \quad (58)$$

Aplicando la fórmula del rotacional de H se obtiene:

$$E_r = \eta \frac{I_0 l \cos \theta}{2\pi r^2} \left[ 1 + \frac{1}{jKr} \right] e^{-jKr} \quad (59.a)$$

$$E_\theta = j\eta \frac{KI_0 l \sin \theta}{4\pi r} \left[ 1 + \frac{1}{jKr} - \frac{1}{(Kr)^2} \right] e^{-jKr} \quad (59.b)$$

$$E_\phi = 0 \quad (59.c)$$

Las unidades para las expresiones son :

$$\text{Campo Eléctrico : } \frac{V}{m}$$

$$\text{Campo Magnético : } \frac{A}{m}$$

Las expresiones (57.a), (57.b), (59.a), (59.b) y (59.c) son las expresiones para los campos radiantes del dipolo infinitesimal. El patrón de radiación se obtiene graficando en función de  $r, \theta, \phi$  la componente deseada de los campos radiantes.

## II.2.2 POTENCIA.

La antena como cualquier otro componente de un sistema, realiza transferencia de energía.

Para realizar el cálculo de la potencia que disipa una antena se recurre al concepto de *Vector de Poynting* [1], donde se involucra directamente al campo eléctrico y al magnético. Puede advertirse que la potencia no tendrá una distribución uniforme, en lo que corresponde a componentes reales y reactivos. De hecho adelantando resultados observaremos que habrá una componente dominante en función de la distancia a la que se mide la potencia.

### II.2.2.1 DENSIDAD DE POTENCIA

Esta se obtiene a partir del vector de Poynting [1] :

$$W = \frac{1}{2} (E \times H^*) \quad (60)$$

substituyendo las componentes **E** y **H**



$$W = \frac{1}{2} (E_r \rho + E_\theta \theta) \times (H_\phi^* \phi) \quad (61)$$

$$W = \frac{1}{2} [E_\theta H_\phi^* \rho + E_r H_\phi^* \theta] \quad (62)$$

substituyendo y obteniendo en coordenadas esféricas se obtiene:

$$W_r = \frac{\eta}{8} \left| \frac{I_0 I}{\lambda} \right|^2 \frac{\text{Sen}^2 \theta}{R^2} \left[ 1 - j \frac{1}{(KR)^3} \right] \quad (63)$$

$$W_\theta = j \eta \frac{K |I_0 I|^2 \text{Cos} \theta \text{Sen} \theta}{16 \pi^2 R^3} \left[ 1 + \frac{1}{(KR)^2} \right] \quad (64)$$

Con estas expresiones se obtiene la densidad de potencia en tales coordenadas con unidades  $\frac{W}{m^2}$ .

Para obtener la potencia radiada se integra esta última expresión en un esfera cerrada de radio  $r$ .

$$P = \iint_S W ds = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi (W_r R + W_\theta \theta) R \cdot R^2 \text{Sen} \theta d\theta d\phi \quad (65)$$

Se puede observar que la componente  $W_\theta$  es puramente imaginaria, por lo que no contribuye a la potencia real radiada.

También observamos que la componente  $W_r$  tiene una parte compleja, que es la contribución de la potencia reactiva de la antena. Con base en esto :

$$P = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi W_r \cdot R^2 \text{Sen} \theta d\theta d\phi$$

La parte real de esta expresión :

$$P = \eta \frac{\pi}{3} \left| \frac{I_0 l}{\lambda} \right|^2 \left[ 1 - j \frac{1}{(KR)^2} \right] \quad (66)$$

$$P_{RAD} = \eta \left( \frac{\pi}{3} \right) \left| \frac{I_0 l}{\lambda} \right|^2 \quad (67)$$

La parte imaginaria de esta expresión:

$$P_{REACTIVA} = -\eta \left( \frac{\pi}{3} \right) \left| \frac{I_0 l}{\lambda} \right|^2 \frac{1}{(KR)^2} \quad (68)$$

Puede observarse en esta última expresión que debido al signo negativo la energía eléctrica es mayor que la magnética. También podemos decir que para valores de :

$$KR > 1, R > \lambda$$

la energía reactiva disminuye y se desvanece en :

$$KR \rightarrow \infty$$

### II.2.3 REGIONES DE SEPARACIÓN.

La energía radiada por una antena no se distribuye uniformemente en el espacio. Por esta razón se divide al espacio entre la antena y el punto de observación en tres regiones :

- 1) **Campo Lejano** (Región de Fraunhofer)
- 2) **Campo Cercano Radiante**
- 3) **Campo Cercano Reactivo**<sup>2</sup>

La definición de estas zonas permite hacer simplificaciones importantes en las expresiones matemáticas. De hecho, en la gran mayoría de la literatura los desarrollos se expresa haciendo la simplificación de campo lejano.

En la Fig.2.5 se muestra un dipolo de longitud  $l$  y las distancias (en función de  $l$ ) a las cuales se considera las fronteras de las regiones de campo.

---

<sup>2</sup> A la región de Campo cercano se le conoce en general en sus dos regiones como Región de Fresnel.

### II.2.3.1 REGIÓN DE CAMPO LEJANO

Esta aproximación se hace cuando la distancia de la fuente radiante R al punto de observación cumple con :

$$r \gg 2 \left( \frac{l^2}{\lambda} \right) \quad (69)$$

Esta aproximación garantiza que la potencia predominante radiada por la antena es real.

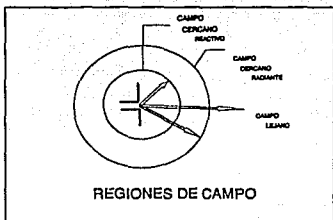


FIG. 2.5

### II.2.3.2 REGIÓN DE CAMPO CERCANO

#### A) Zona Radiante

Esta aproximación se hace cuando la distancia de la fuente radiante R al punto de observación cumple :

$$2 \frac{l^2}{\lambda} \gg r \gg 0.62 \sqrt{\frac{l^3}{\lambda}} \quad (70)$$

A esta región se le conoce como zona radiante porque la densidad de potencia radiada es mayor que la densidad de potencia reactiva.

#### B) Zona reactiva.

Para el intervalo :

$$0.62 \sqrt{\frac{l^3}{\lambda}} \gg r \gg 0 \quad (71)$$

En esta región la densidad de potencia reactiva es la predominante.

## II.3 EL MONOPOLO.

Las ecuaciones antes definidas describen el comportamiento de un dipolo infinitesimal (o fuente puntual isotrópica) colocado en el origen. Estas ecuaciones pueden ser modificadas en función del modelo de antena que se desee estudiar.

El teléfono celular portátil utiliza un monopolo con una longitud en función de la longitud de onda de la señal a la que opera. El monopolo es una variante del dipolo, por lo que se procede a analizar primeramente esta antena, con la variante de operar en presencia de un plano conductor infinito.

### II.3.1 ELEMENTOS LINEALES EN PRESENCIA DE PLANOS CONDUCTORES.

La presencia de ciertos elementos altera las características radiantes de las antenas. En la práctica uno de estos elementos, el más común, es la tierra. Energía radiada sobre el plano de tierra provoca reflexión; la cantidad reflejada en tal dirección depende de la geometría y los parámetros constitutivos del plano.

En general, la tierra se comporta como un medio con pérdidas, ( $\sigma \neq 0$ ), con la salvedad que la conductividad crece con la frecuencia. A cierta frecuencia podemos considerar a la tierra como un excelente conductor. Para nuestro estudio utilizaremos a la tierra como un conductor perfecto.

Para el análisis siguiente recurriremos una vez más a las idealizaciones. Se utilizarán fuentes virtuales imaginarias que combinaremos con conceptos reales. Asumiremos que un dipolo vertical está localizado a una distancia  $h$  sobre un plano conductor perfecto infinito.

Cada fuente irradia en todas direcciones. Para un punto (Fig. 2.6)  $P_1$ , inciden en él además de una onda directa, otras reflejadas, cuyas direcciones se determinan por la Ley de Reflexión.

Analizando geoméricamente las trayectorias, podemos observar que las ondas reflejadas se originan en una fuente virtual posicionada a una distancia  $h$  por debajo del plano conductor.

Retomando las ecuaciones que describen a los campos eléctricos y magnéticos y en adición a lo anterior podemos deducir que tendremos dos tipos de componentes, uno para la fuente directa y otro para la fuente reflejada.

$E_0^d$  : Campo debido a la fuente directa.

$E_0^r$  : Campo debido a la fuente reflejada.

El campo total está dado por la suma de las componentes directa y reflejada.

Las componentes serán entonces :

$$E_0^d = j\eta \frac{KI_0 l \text{Sen}\theta}{4\pi r_1} \left[ 1 + \frac{1}{jKr_1} - \frac{1}{(Kr_1)^2} \right] \quad (72)$$

$$E_0^f = j\Psi \frac{KI_0 l \text{Sen}\theta}{4\pi r_2} \left[ 1 + \frac{1}{jKr_2} - \frac{1}{(Kr_2)^2} \right] \quad (73)$$

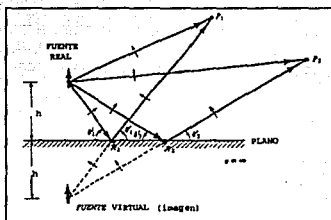


FIG. 2.6

donde :  $\Psi$  es el coeficiente de reflexión de la tierra, mismo que por considerarse conductor perfecto, tiene un valor unitario.

Las distancias  $r_1$  y  $r_2$  que son las distancias de las fuentes radiantes al punto de observación dependen de la geometría del sistema y se analizarán en el siguiente capítulo.

Esta teoría nos permite calcular el campo eléctrico debido a un elemento, es decir, a una sola fuente. El Monopolo es solo una fuente sobre un plano de tierra.

La densidad de potencia está dada por :

$$W_r^f = \frac{\eta}{8} \left| \frac{I_0 l}{\lambda} \right|^2 \frac{\text{Sen}^2\theta}{r_1^2} \left[ 1 - j \frac{1}{(Kr_1)^2} \right] \quad (74)$$

$$W_r^d = \frac{\eta}{8} \left| \frac{I_0 l}{\lambda} \right|^2 \frac{\text{Sen}^2\theta}{r_2^2} \left[ 1 - j \frac{1}{(Kr_2)^2} \right] \quad (75)$$

La densidad de potencia total radiada será la suma de ambas componentes.

La Potencia radiada está dada por :

$$P_{rad} = \eta \frac{\pi}{3} \left| \frac{I_0 l}{\lambda} \right|^2 \quad (76)$$

A partir de esta expresión puede obtenerse la corriente de alimentación  $I_0$ .

## **CAPÍTULO III**

### **EL TELÉFONO CELULAR**

**COMO FUENTE RADIANTE DE**

**POTENCIA ELECTROMAGNÉTICA.**

En 1969, aplicando el concepto de la comunicación Full-Duplex<sup>1</sup> un grupo de investigadores de los Países Nórdicos y de oriente se dedicaron a realizar estudios para crear una nueva red de radio telefonía móvil altamente automatizada, la cual permitió una configuración más amplia del sistema con infraestructura de radio, lo que hoy conocemos como *Radio Telefonía Celular*<sup>2</sup>.

Después de 10 años de investigaciones y pruebas la telefonía celular tiene su primera aplicación comercial en Japón (1979). Posteriormente, en 1981, se aplica también en Suecia y Finlandia.

Desde entonces la evolución y penetración de este sistema a nivel mundial, ha sido en gran escala. El mercado de la telefonía móvil celular está creciendo a pasos agigantados y se estima que para el año 2000 habrá en uso 20 millones de teléfonos celulares en todo el mundo.

En la década de los 90's la telefonía celular, junto con el facsímil (popularmente llamado "fax") se convierte en el último grito de la moda en comunicaciones; la posibilidad de hacer un enlace telefónico independiente de conexiones físicas y la publicidad dirigida a estratos altos de la sociedad, hacen de la telefonía celular un símbolo más de posición y solvencia. No es para menos, el costo de utilizar un teléfono celular es mínimo 10 veces mayor que el del teléfono convencional, por lo que no es accesible para la mayoría de la población.

### III.1 DESARROLLO HISTÓRICO DE LA RADIO TELEFONÍA CELULAR.

Después de los trabajos [14] iniciales de Hertz en 1880, Marconi realizó varios trabajos experimentales y posteriormente llevó a cabo la transmisión por radio hacia un barco en 1887. Durante la Primera Guerra Mundial, los sistemas de radio comunicación móvil tuvieron un uso muy limitado. Fue hasta 1921 cuando se instaló el primer sistema de radio telefonía móvil con el principio "Full-Duplex" por el Departamento de Policía de la ciudad de Detroit en los E.U.A. (sistema de despacho). Este sistema operaba en la banda de los 2 MHz; sin embargo, en la medida que los adelantos tecnológicos y la demanda de servicios fueron aumentando, se inició la tendencia hacia el uso de mayores frecuencias.

En los años 30's varios canales se usaron sobre una base experimental. Hacia

---

<sup>1</sup>Es aquella en la que se puede transmitir y recibir al mismo tiempo.

<sup>2</sup>El término celular se adoptó por la estructura del sistema, cuyo diseño adquirió la forma de células biológicas; estas células representan áreas geográficas, las que agrupadas conforman el área de servicio o cobertura.

mediados de los 40's se instalaron nuevos sistemas comerciales en las bandas de los 33 y 150 MHz. La operación de estos sistemas fue en un sólo sentido a la vez<sup>1</sup> y se requería de un operador de teléfono para poder colocar la llamada. Además, el usuario tenía que buscar manualmente un canal que se encontrara libre.

Hacia mediados de los años 60's se tienen nuevos sistemas en la banda de 150 MHz con operación en ambos sentidos, búsqueda automática de canales y marcación desde y hacia la estación móvil. Sistemas semejantes se tuvieron hacia finales de esa década en la banda de los 450 MHz. Ejemplos de estos sistemas son el MK (en la banda de los 150 MHz) y el sistema MJ (en la banda de los 450 MHz) diseñados por la Bell Telephone. Estos sistemas fueron parte o predecesores de lo que posteriormente se llamó sistema IMTS (Improved Mobile Telephone System), el cual se convirtió en un estándar para los sistemas de telefonía móvil.

En 1978, en la ciudad de Chicago E.U.A., comenzó a instalarse en su fase experimental el sistema AMPS (Advance Mobile Phone Service), en la banda de los 900 MHz disponiendo de 666 canales (capacidad total). Este sistema, el cual es ya un sistema celular, cubrió en su fase experimental una extensión de aproximadamente 5400 Km<sup>2</sup> con 10 células y 136 canales para 2000 abonados y después se instaló en 1983 en forma comercial con los 666 canales y con una capacidad inicial de 30,000 abonados.

Paralelamente, en Europa se instaló el primer sistema celular de tipo experimental en la banda de los 450 MHz, denominándolo NMT (Nordic Mobile Telephone System). Este sistema entró en operación comercial en 1981 cubriendo gran parte de países nórdicos y más adelante este mismo sistema se instaló en otros países europeos.

En Japón se instaló el primer sistema celular comercial en 1979, en la banda de los 900 MHz.

Actualmente, entre otras características, el trabajo de investigación y desarrollo está orientado hacia una nueva generación de sistemas celulares que utilizan esquemas de modulación digital en la transmisión y una cobertura más amplia. En párrafos subsiguientes de este capítulo se dan conceptos básicos sobre telefonía celular. Así mismo, de manera general se describe la operación del sistema AMPS y se establece un cuadro comparativo de los diversos sistemas que existen en la actualidad.

## **III.2 EL SISTEMA DE RADIO TELEFONÍA CELULAR.**

La telefonía celular recibe su nombre gracias a que un área de gran tamaño se divide en sectores o celdas, que conceptualmente tienen la particularidad de representarse en forma de hexágono. Cada celda tiene su propio equipo (estación base, RBS) para transmitir y recibir

---

<sup>1</sup>Sistema "Semi-Duplex"



hacia y desde los móviles. Aunque un sistema celular podría usar celdas cuadrangulares o rectangulares (las cuales no tienen traslapes), se han escogido celdas de forma hexagonal porque permiten cubrir un área mayor con un número menor de estaciones base.

Las RBS se colocan en el centro de la celda en sus primeras etapas de desarrollo empleando antenas omnidireccionales para comunicarse con los móviles; posteriormente a esta etapa las RBS se instalan en las esquinas de los hexágonos y se utilizan antenas direccionales con un ancho del lóbulo de radiación de  $120^\circ$ , que permite cubrir parte de las tres celdas adyacentes. Esto es debido a que permite tener diversidad y menor interferencia entre canales de la misma frecuencia.

La comunicación entre el abonado celular y la radio base es de la forma Full-Duplex en FM.

El sistema consta de (Fig. 3.1) :

- Una Central de Conmutación Telefónica o CCT.
- Una Central de Conmutación de Telefonía Celular o MTX.
- Radio Bases Celulares o RBS.
- Estaciones Móviles o Abonados Celulares.

El espectro de frecuencias destinado a este propósito se divide para dos concesionarios, las bandas "A" y "B" las cuales trabajan la primera de 870 a 880 MHz y la segunda de 890 a 900 MHz con una distancia duplex de 45 MHz. Esto quiere decir que la frecuencia de transmisión será de 870 a 890 MHz mientras que la de recepción será de 825 a 845 MHz (Fig 3.2).

El número de canales que hay en la banda celular es de 666 con un ancho de banda por canal de 30 KHz debido a que se tienen 20 MHz del espectro total asignado a la telefonía celular dividida entre 666 canales.

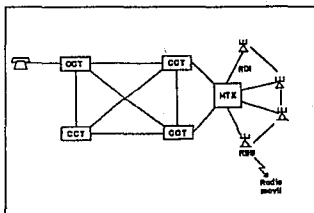


FIG 3.1

A cada celda se le asigna un número fijo de canales. Puesto que cada RBS cubre nominalmente sólo una de éstas, el grupo de canales asignados a cada una puede usarse en otra cuando están separados por una distancia adecuada. Esta técnica se conoce como *Reuso de frecuencias* y determina una de las características esenciales de los sistemas celulares.

Entonces, en lugar de cubrir el área total mediante un transmisor de gran potencia y situado a una gran elevación, se puede proporcionar el servicio mediante varios transmisores de potencia moderada distribuidos de manera adecuada en toda el área, como se muestra en la figura (Fig. 3.3).

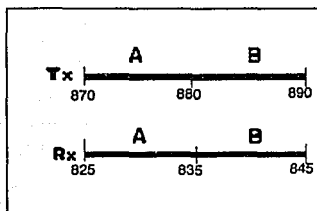


FIG 3.2

Esto permite un gran incremento en la capacidad del sistema, pero ocasiona que se pueda tener interferencia entre canales que usan la misma frecuencia.

Como ya se mencionó anteriormente, el sistema se encuentra maduro y se utilizan antenas direccionales en las RBS, las cuales tienen un ancho de lóbulo de  $120^\circ$ . Entonces cada RBS tiene tres antenas direccionales para transmisión y otras tres para recepción, permitiendo cubrir los  $360^\circ$ . Se puede asignar un máximo de 32 canales a cada antena.

Cuando un móvil está realizando una llamada y se mueve por el área de servicio, se realizan mediciones de la intensidad de potencia que se recibe en la RBS. La medición se realiza a intervalos de unos pocos segundos. Esta medición determina si la antena que está sirviendo actualmente al móvil debe cambiarse a otra antena, ya sea de la misma o de otra celda. Este proceso se llama *Transferencia de llamada* (Hand-off).

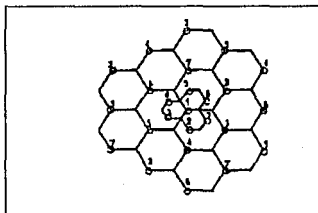


FIG 3.3

### III.2.1 PARÁMETROS DE OPERACIÓN.

La siguiente tabla presenta los parámetros fundamentales de los tres sistemas existentes que son el Europeo (GSM), el Norteamericano (E.U.A. y Canadá) y el Japonés.

CARACTERÍSTICAS	GSM NORTEAMÉRICA	JAPÓN	MÉXICO
Bandas de Frecuencia de :			
transmisión [MHz]			

estaciones base	935-960	869-894	810-830	825-845
Estaciones móviles	890-915	824-849	1.5 GHz*	870-890
Potencia de Radiación máx. de la estación base [W] valor de cresta de la portadora RF	300	300	*	300
Potencia de transmisión nominal del móvil (W)	2-0.25	0.3-3	*	0.3-6
Radio de la célula (Km)				
min.	0.5	0.5	0.5	5
max.	35	20	20	*
			hasta 120	

\* Implica dato no disponible.

### III.2.2 PANORAMA GENERAL DE LA TELEFONÍA MÓVIL EN EL MUNDO.

Actualmente en el mundo existen unos 7 millones de abonados móviles (sistemas públicos celulares) lo cual representa menos del 1% del número de aparatos telefónicos en el mundo; sin embargo, el número de abonados móviles tiene un enorme crecimiento. En Europa existen 11 tipos de sistemas de telefonía en 20 ciudades.

En junio de 1989 se estimaron alrededor de 2 millones de abonados en Europa y actualmente se estiman más de 2.4 millones, lo que representa alrededor de 35% del mercado mundial.

Los E.U.A. actualmente tienen el nivel de crecimiento más grande del mundo. A finales de 1988 existían en este país más de 2 millones de abonados y en la actualidad hay cerca de 4 millones; se estima que para finales del presente siglo existirán entre 15 y 20 millones de abonados. Este mercado representa alrededor del 55% del número de teléfonos móviles en el mundo.

En Japón se espera que para finales del siglo XX cuando menos 10% de todos los

automóviles estén equipados con teléfono móvil.

México ocupa [15] actualmente el 12º lugar a nivel mundial por su número de usuarios e incluso, está por encima de países más desarrollados como Bélgica, España, Austria y Holanda.

### III.3 EL TELÉFONO CELULAR.

Debe quedar debidamente establecido que para los fines que persigue este estudio, el único componente del sistema de la Telefonía Celular que se tomará en cuenta será el teléfono, es decir el aparato que utiliza el abonado para lograr la comunicación.

No todos los teléfonos celulares son iguales. Las compañías concesionarias ponen a disposición de sus clientes varios modelos. Estos podemos clasificarlos en 4 tipos [16] :

#### III.3.1 TIPOS DE TELÉFONOS CELULARES.

##### 1. Fijos

Son aquellos llamados bases celulares y son de uso residencial en zonas donde no hay acceso de líneas de telefonía convencional.

##### 2. Móviles

Es aquel que requiere una instalación especial y definitiva en un vehículo.

##### 3. Transportable

Este modelo es del tamaño de un pequeño maletín ya que está equipado con baterías más grandes que proporcionan mayor reserva para ampliar su uso. Este modelo cayó en desuso cuando el tipo portátil aumentó su reserva sin aumentar su tamaño.

##### 4. Portátil

Es un aparato compacto y ligero que permite ser llevado con uno mismo. Es el modelo más utilizado, lo cual los hace los más avanzados tecnológicamente hablando; llegan a medir hasta 15 cm. de largo. algunos pesan al rededor de 220 gms. y permiten hasta 120 minutos de llamada continua o 24 hrs. en espera (StandBy).

#### III.3.2 PARÁMETROS ELECTROMAGNÉTICOS.

Para los fines que persigue esta investigación, no le es muy importante diferenciar

entre los modelos de teléfonos celulares; lo que en verdad resulta importante es el hecho de que la antena, la fuente radiante, se ubique muy cerca de la cabeza del usuario.

Por su construcción, ni el modelo fijo ni el móvil cumplen este requisito; es el modelo portátil y en menor medida el transportable los modelos que se ajustan a nuestro propósito. Sin embargo, no se excluye a ningún otro modelo que cumpla esta condición.

En la siguiente tabla comparativa se muestran los parámetros electromagnéticos que se requieren para obtener resultados a partir de las relaciones matemáticas obtenidas en el capítulo II.

### III.3.2.1 TABLA COMPARATIVA

MODELO	TRANSPORTABLE	PORTÁTIL
Potencia de salida <sup>4</sup>	3W	6 W, 3 W, <sup>5</sup> y 0.6 a 0.3 W
Tipo de antena	monopolo	monopolo
Longitud de antena <sup>6</sup>	1/2	1/2, 1/4, 3/8

Estos datos fueron proporcionados por detallistas de teléfonos celulares.

A partir de estos datos y retomando los objetivos de esta investigación se utilizará un teléfono celular portátil como fuente de potencia radiante, cuyas características serán:

Potencia de Salida 3 W y 0.3 W.

Longitud de Monopolo 1/2, 1/4, 3/8 de longitud de onda.

---

<sup>4</sup>Estos datos varían un 5% en función de la carga de la batería

<sup>5</sup>El modelo de teléfono con 6 W de potencia se encuentra en desuso; sin embargo, aún es posible encontrar el modelo con 3 W de potencia.

<sup>6</sup>Medidas en función de la longitud de onda una de 3 a 20 cm. dependiendo del modelo en específico.

Frecuencia<sup>7</sup> 890 MHz

El medio de propagación en esta etapa es el espacio libre, cuyas características electromagnéticas son:

$$\epsilon_r = 1$$

$$\epsilon = 8.85 \times 10^{-12} \left[ \frac{F}{M} \right]$$

$$\epsilon = \epsilon_0$$

$$\mu_r = 1$$

$$\mu = 4\pi \times 10^{-7} \left[ \frac{H}{m} \right]$$

$$\mu = \mu_0$$

$$c = 3 \times 10^8 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$\eta = 120\pi \text{ } [\Omega]$$

### III.3.3 DESARROLLO NUMÉRICO DE LAS ECUACIONES DE CAMPOS RADIANTES.

En el capítulo anterior se encontraron las expresiones matemáticas para los campos

---

<sup>7</sup>Dato de frecuencia máxima que corresponde a la transmisión del teléfono a la radiobase.

radianes de la antena del teléfono celular.

Ya se citó que se conoce que solo el campo eléctrico es el productor de efectos térmicos en la materia orgánica. El campo eléctrico posee dos componentes,  $(E_r, E_\theta)$  pero ya que no consideraremos variantes en la componente radial.

$$E_r = cte.$$

El campo eléctrico se forma de dos componentes :

$$E_\theta^d = j\eta \frac{KI_0 l \text{Sen}\theta}{4\pi r_1} \left[ 1 + \frac{1}{jKr_1} - \frac{1}{(Kr_1)^2} \right] e^{-jKr_1} \quad (72)$$

$$E_\theta^r = j\eta \frac{KI_0 l \text{Sen}\theta}{4\pi r_2} \left[ 1 + \frac{1}{jKr_2} - \frac{1}{(Kr_2)^2} \right] e^{-jKr_2} \quad (73)$$

La geometría del sistema, mostrado en la Fig. 3.4 nos indica que  $r_1$  y  $r_2$  son :

$$r_1 = \sqrt{r^2 + h^2 - 2rh\text{COS}\theta} \quad [m] \quad (77)$$

$$r_2 = \sqrt{r^2 + h^2 - 2rh\text{COS}(\pi - \theta)} \quad [m] \quad (78)$$

$r_1, r_2$  = Distancia de las fuentes radiantes al punto de observación. Para este caso, el plano de tierra es la tierra eléctrica del Teléfono, es decir, el chasis. La distancia de la fuente al plano de tierra es entonces, la longitud del monopolo.

$l = h$  : altura del Monopolo al plano de tierra [m].

$r$  : Distancia del Monopolo al punto de observación [m].

$\eta$  : Impedancia Intrínseca del Medio de Propagación  $[\Omega]$

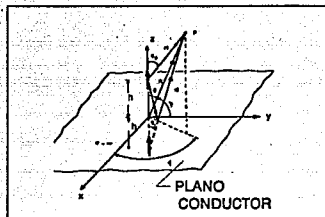


FIG. 3.4

ω

$$K = \omega \sqrt{\mu \epsilon}$$

Velocidad Angular  $\left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$

$$\omega = 2\pi F$$

$\mu$  : Permeabilidad Magnética  $\left[ \frac{\text{H}}{\text{m}} \right]$

$\epsilon$  : Permitividad Eléctrica  $\left[ \frac{\text{F}}{\text{m}} \right]$

$I_0$  : Corriente de Alimentación [A]

$l$  : Longitud del Dipolo [m]

La única incógnita en estas expresiones es la corriente de alimentación  $I_0$ . Esta se obtiene a partir de la potencia radiada

$$P_{\text{rad}} = \eta \left( \frac{\pi}{3} \right) \left| \frac{I_0 l}{\lambda} \right|^2 \quad [\text{W}] \quad (76)$$

$\lambda$  : Longitud de onda [m]

La densidad de Potencia está dada por:



$$I_0 = \sqrt{\frac{3 \times P_{rad}}{\pi \lambda \eta}} \left( \frac{\lambda}{l} \right) \quad [A] \quad (79)$$

$$W_r^T = W_r^d + W_r^f \quad (80)$$

donde :

$$W_r^d = \frac{\eta}{8} \left| \frac{I_0 l}{\lambda} \right|^2 \frac{\text{Sen}^2 \theta}{r_1^2} \left[ 1 - j \frac{1}{(K r_1)^3} \right] \quad (74)$$

$$W_r^f = \frac{\eta}{8} \left| \frac{I_0 l}{\lambda} \right|^2 \frac{\text{Sen}^2 \theta}{r_2^2} \left[ 1 - j \frac{1}{(K r_2)^3} \right] \quad (75)$$

$r_1$  y  $r_2$  son los mismos que para el campo eléctrico.

El factor  $K r_1$  y  $K r_2$  que aparece varias veces permite simplificaciones.

Para las condiciones de trabajo ya especificadas, la constante  $K$  que es función de la frecuencia y ya que esta está en el orden de los MHz se tiene

$$K \gg 1$$

Las distancias  $r_1$  y  $r_2$  dependen de  $r$  y  $h$ . Para nuestros propósitos  $r$  estará en el orden de los cm.

$$r < 0.1 \text{ m}$$

$h$  representa la altura de la fuente radiante sobre el plano de tierra. El plano de tierra corresponde al neutro eléctrico del teléfono, es decir, su chasis. Por lo tanto, la altura de la fuente es la longitud del monopolo.

$$h = l$$

Obviamente los factores

$$K r_1 > 1$$

$$K r_2 > 1$$

Por lo que

$$\frac{1}{Kx_1} < 1$$

$$\frac{1}{Kx_2} < 1$$

y

$$\frac{1}{(Kx_1)^2} < 1$$

$$\frac{1}{(Kx_2)^2} < 1$$

Estos factores se pueden eliminar, ya que su valor está en el orden de las milésimas.

Naturalmente que

$$\frac{1}{(Kx_1)^3}$$

y

$$\frac{1}{(Kx_2)^3}$$

Son insignificantes.

De hecho  $1/Kr_1$  y  $1/Kr_2$  permiten eliminarse si las expresiones de trabajo son pocas. En mucha literatura se elimina ya que al momento de escribir dichos textos el uso de una computadora no es tan accesible.

Las siguientes fórmulas fueron programadas para poder obtener las variaciones de campo eléctrico y densidad de potencia para el monopolo con condiciones de trabajo ya especificadas:

$$E_0^d = j\eta \frac{KI_0 l \text{Sen}\theta}{4\pi r_1} \left[ 1 + \frac{1}{jKr_1} \right] e^{-jKr_1} \quad (81)$$

$$E_0^r = j\eta \frac{KI_0 l \text{Sen}\theta}{4\pi r_2} \left[ 1 + \frac{1}{jKr_2} \right] e^{-jKr_2} \quad (82)$$

$$E_0^T = E_0^d + E_0^r \quad (83)$$

$$r_1 = \sqrt{r^2 + h^2 - 2rh \text{Cos}\theta} \quad (77)$$

$$r_2 = \sqrt{r^2 + h^2 - 2rh \text{Cos}(\pi - \theta)} \quad (78)$$

$$W_r^d = \frac{\eta}{8} \left| \frac{I_0 l}{\lambda} \right|^2 \frac{\text{Sen}^2\theta}{r_1^2} \quad (84)$$

$$W_r^r = \frac{\eta}{8} \left| \frac{I_0 l}{\lambda} \right|^2 \frac{\text{Sen}^2\theta}{r_2^2} \quad (85)$$

$$W_r = W_r^d + W_r^r \quad (86)$$

Tanto el campo eléctrico como la densidad de potencia se grafican en coordenadas polares, mostrándose los patrones de radiación y los valores más significativos para las condiciones de trabajo ya especificadas. En la siguiente tabla se muestran valores para el primer cuadrante, considérese que los valores se repiten para sus ángulos complementarios.

POT	0.3 W	0.3 W	0.3 W	3 W	3 W	3 W
$l$	$\frac{1}{2} \lambda$	$\frac{1}{4} \lambda$	$\frac{3}{8} \lambda$	$\frac{1}{2} \lambda$	$\frac{1}{4} \lambda$	$\frac{3}{8} \lambda$
0°	0	0	0	0	0	0
15°	13.464	65.524	31.727	42.564	207.205	71.540
30°	26.742	93.547	42.777	84.545	295.822	132.605
45°	39.562	104.991	50.523	125.078	332.012	182.677
60°	50.903	113.009	60.944	160.939	357.367	222.918
75°	58.927	118.852	70.190	186.310	375.843	250.230
90°	61.845	121.047	73.835	195.539	382.785	260.017

TABLA 1 VALORES PARA EL CAMPO ELECTRICO.

POT	0.3 W	0.3 W	0.3 W	3 W	3 W	3 W
$l$	$\frac{1}{2} \lambda$	$\frac{1}{4} \lambda$	$\frac{3}{8} \lambda$	$\frac{1}{2} \lambda$	$\frac{1}{4} \lambda$	$\frac{3}{8} \lambda$
0°	0	0	0	0	0	0
15°	0.215	1.782	0.901	2.149	7.823	4.609
30°	0.746	4.426	2.065	7.457	44.266	14.931
45°	1.362	6.076	2.705	13.612	60.765	25.301
60°	1.878	6.939	3.016	18.778	69.386	32.923
75°	2.207	7.348	3.159	22.063	73.476	37.335
90°	2.318	7.468	3.201	23.176	74.684	38.762

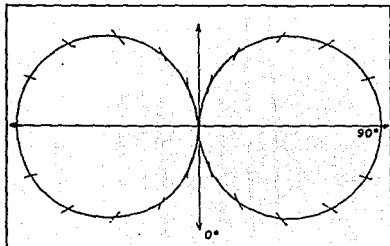
TABLA 2 VALORES DE DENSIDAD DE POTENCIA

UNIDADES :

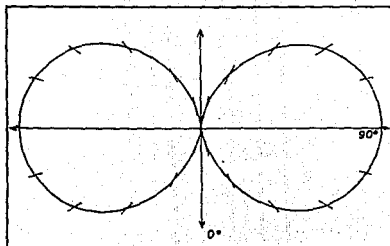
**Campo Eléctrico :**  $\frac{V}{m}$

**Densidad de Potencia :**  $\frac{mW}{cm^2}$

POTENCIA:  $3w$   
 LONGITUD:  $(1/2)\lambda$

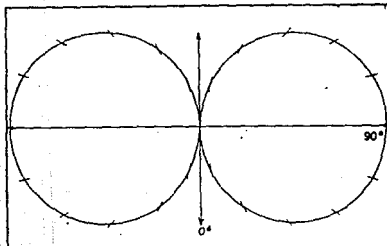


a) Campo Eléctrico

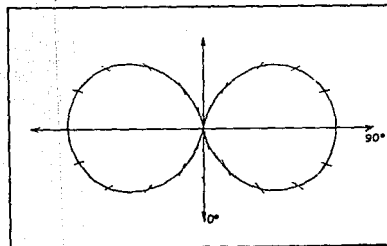


b) Densidad de Potencia

POTENCIA:  $0.3w$   
 LONGITUD:  $(1/2)\lambda$

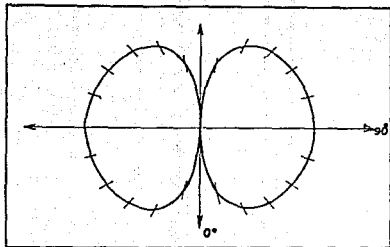


a) Campo Eléctrico

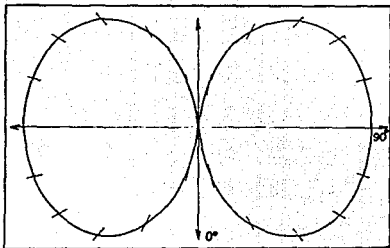


b) Densidad de Potencia

POTENCIA:  $0.3 \text{ w}$   
 LONGITUD:  $(1/4) \lambda$

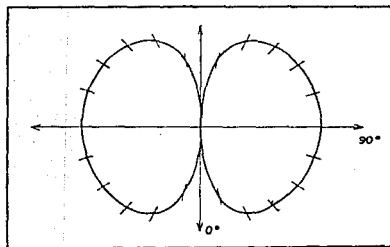


a) Campo Eléctrico

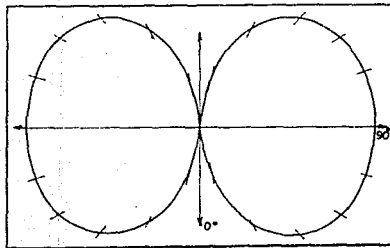


b) Densidad de Potencia

POTENCIA:  $3 \text{ w}$   
 LONGITUD:  $(1/4) \lambda$

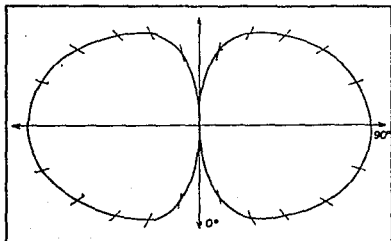


a) Campo Eléctrico

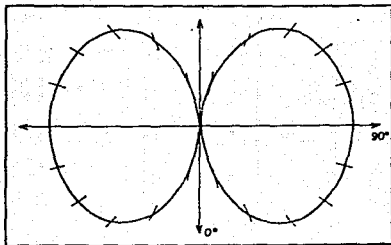


b) Densidad de Potencia

POTENCIA: 0.3 w  
LONGITUD:  $(3/8) \lambda$

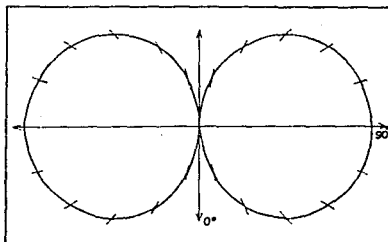


a) Campo Eléctrico

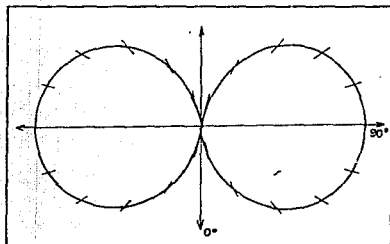


b) Densidad de Potencia

POTENCIA: 3w  
LONGITUD:  $(3/8) \lambda$



a) Campo Eléctrico



b) Densidad de Potencia



## **CAPÍTULO IV:**

**ESTUDIO ANATÓMICO Y**

**MORFOMÉTRICO DE LOS**

**ÓRGANOS**

**Y TEJIDOS DONDE SE REALIZA LA**

**PROPAGACIÓN DE ENERGÍA**

**RADIANTE.**

La teoría Electromagnética exige, para lograr la total definición del comportamiento de la materia ante la energía radiante, el completo conocimiento de las constantes eléctricas, magnéticas así como de las dimensiones físicas de esta. La materia orgánica no es la excepción. Los tejidos vivos poseen las mismas características electromagnéticas que cualquier otro material. En este capítulo se describen anatómicamente y en la secuencia en que reciben a la energía electromagnética a los diferentes tejidos que el ser humano posee en la cabeza. Así mismo se citan datos, y los procesos que se instrumentaron para obtenerlos, que serán indispensables en el desarrollo de los métodos matemáticos para la cuantificación de los fenómenos electromagnéticos que atañen a esta investigación.

## IV.1 PIEL.

La piel [18] es el órgano de mayor tamaño del cuerpo. Aparte de su función sensorial, constituye una capa impermeable al agua, destinada a impedir la pérdida de fluidos; es también responsable de la regulación de la temperatura, tanto por variaciones en su vascularización como por la presencia de las glándulas sudoríparas. Es un órgano excretor de ciertos cristaloides, por medio del sudor; y es un órgano secretor gracias a sus glándulas sebáceas cuya secreción grasa no solo colabora en el mantenimiento de la impermeabilidad, sino que también puede activarse por la luz para producir vitamina D. La piel puede reaccionar a una fricción continuada aumentando el grosor de sus capas superficiales, a la luz y el calor incrementando su pigmentación y a las heridas aumentando su capacidad de crecimiento y reconstrucción. Contiene cabello en casi toda su superficie y produce las uñas.

### IV.1.1 ESTRUCTURA.

La piel está formada por una capa superficial la *epidermis*, y una capa profunda, la *dermis* (Fig. 4.1).

#### IV.1.1.1 EPIDERMIS.

Se trata de una capa de epitelio [19] escamoso estratificado que varía de grosor entre 0.3 y rara vez pasa de 3 mm. Consta principalmente de queratina blanda y se halla en constante renovación. En la epidermis no existen vasos sanguíneos ni nerviosos.

#### IV.1.1.2 DERMIS.

Su base la constituye un entramado de fibras colágenas y elásticas. La dermis contiene vasos sanguíneos y linfáticos, nervios, glándulas sebáceas, las partes superficiales de las glándulas sudoríparas y los folículos pilosos, y así mismo los músculos de los folículos pilosos (los erectores de los cabellos). La mayor parte de las terminaciones nerviosas cutáneas

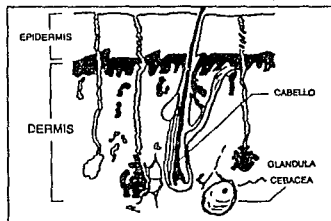


FIG. 4.1

se encuentran en la dermis, especialmente en su capa papilar, aunque algunas fibras nerviosas se introducen entre las células de la epidermis.

## IV.2 TEJIDO ÓSEO.

La palabra *esqueleto* [18] proviene del griego "Skeletos" que significa *seco*, lo cual no implica que el hueso sea una estructura seca. De hecho los huesos en el ser vivo son tejidos plásticos, con componentes que cambian extraordinariamente con la edad y que exhiben ostensibles variaciones de forma y tamaño, capaces de mostrar *diformismo sexual*. Aunque principalmente su misión es hacer de soporte, los huesos ejercen otras importantes funciones: están sometidos a factores genéticos y ambientales externos e internos, viéndose así afectados no solo por las consecuencias directas de las enfermedades, sino también, indirectamente por procesos fisiológicos y patológicos en los que se ven implicados otros órganos. Al estudiar algún hueso, o un esqueleto completo, se debe tomar en cuenta la información sobre sexo, edad, estatura, hábitos corporales, salud, dieta, raza, condiciones endócrinas y genéticas e incluso la *idiosincrasia personal*. Aún más, se han desarrollado técnicas para evaluar la antigüedad de los restos esqueléticos, proporcionando así información de interés antropológico.

El hueso vivo consta de fibras de tejido conjuntivo impregnado de sustancias minerales que lo hacen igualmente resistente a la compresión que a la tensión, al tiempo le proporciona una considerable elasticidad. Si un hueso es *descalcificado* no se altera su forma, pero se vuelve flexible, debido a la destrucción de las sustancias minerales del *armazón fibroso*. Por otra parte, si el tejido fibroso es destruido por el fuego, permanece aún su forma, pero se vuelve quebradizo e inelástico y puede deshacerse.

### IV.2.1 DESCRIPCIÓN DEL CRÁNEO HUMANO.

El cráneo es la parte del esqueleto encargada de proteger al *encéfalo*. Compuesto de varios huesos es una estructura que refleja fuertemente las características de edad y sexo del individuo. Es una estructura compleja funcionalmente desarrollada para permitir el funcionamiento del cerebro y de los órganos de los sentidos.

Para su estudio el cráneo se divide en *normas*, una para cada lado de observación más una por el interior, obteniéndose en total 6.

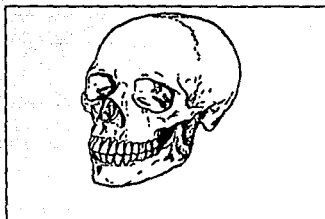


FIG. 4.2 El Cráneo Humano

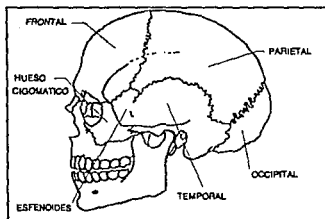


FIG 4.3 Norma Lateral.

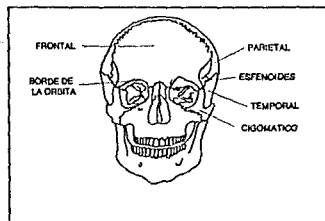


FIG. 4.4 Norma Frontal.

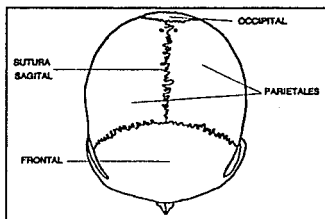


FIG 4.5 Norma Superior.

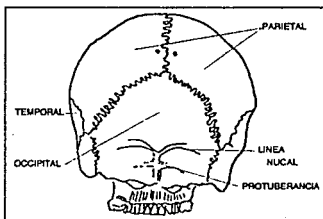


FIG 4.6 Norma Posterior.

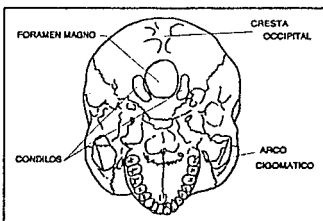


FIG 4.7 Norma Basal.

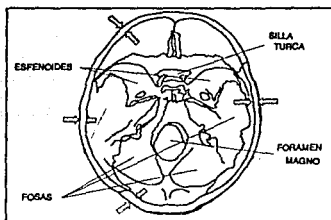


FIG 4.8 Norma Interior.

#### IV.2.1.1 EL CRÁNEO EN FUNCIÓN DE LA EDAD

Al nacer el cráneo [20] es relativamente grande y la cara pequeña: cerca de un octavo del total del cráneo en comparación con un tercio en el adulto.

Los bordes de los huesos de la bóveda craneal no están aún muy encajados en forma de sierra y quedan separados por bandas de tejido fibroso. Proporciona cierta movilidad a los huesos y permite que se superpongan entre sí en el momento del nacimiento. Los huesos son delgados, pero no susceptibles de fractura a causa de su movilidad y flexibilidad.

Hasta la madurez, la edad puede ser asegurada aproximadamente estudiando el cráneo y los dientes. Durante el primer año en los huesos temporales y en el esfenoide las partes separadas se unen más firmemente, la fontanela anterior se cierra y aparece la apófisis mastoideas. Durante el tercer año las porciones laterales del hueso occipital se unen con la escama del occipital.

Las dos mitades del hueso frontal están casi completamente unidas en el sexto año y durante el mismo hace erupción el primer molar permanente. Si el tercer molar ha salido en el interior de la bóveda craneana es indicativo de la edad más real que el estudio de las mismas en la parte externa. En el interior del cráneo, el cierre de la catearé sagital normalmente comienza alrededor de los 25 años y se completa a los 31 años. Le siguen la

Después de la madurez, el desgaste de los dientes y el grado de obliteración de las suturas pueden constituir un dato indicativo aproximado de la edad. El estado de las suturas en el interior de la bóveda craneana es indicativo de la edad más real que el estudio de las mismas en la parte externa. En el interior del cráneo, el cierre de la catearé sagital normalmente comienza alrededor de los 22 años y se completa a los 31 años. Le siguen la

catearé coronal a los 24 años y casi está totalmente cerrada a los 30 años, aunque no completa hasta los 40 años. La catearé lambdoidea no comienza a cerrarse hasta los años, aunque rápidamente se cierra para completarse cerca de los 40 años.

En la vejez la bóveda craneana puede ser más gruesa debido al depósito de hueso sobre la superficie externa; pero en casi todos los casos los huesos son más delgados y el cráneo más ligero, debido a la absorción del diploe, asociado con una expansión y aumento de los senos paranasales. Como consecuencia de la falta de los dientes, se produce en el anciano una disminución del tamaño de la mandíbula, debido a la reabsorción de las paredes de los alvéolos.

#### **IV.2.1.2 DIFERENCIA SEGÚN EL SEXO EN EL CRÁNEO.**

Existen [20] pocas diferencias entre los cráneos de niños y niñas hasta la pubertad. Sin embargo, el cráneo de la mujer, en conjunto es más pequeño que el del hombre. A menudo no es posible saber con certeza si un cráneo es de un hombre o de una mujer. Varios de los criterios seguidos para distinguirlos aparecen o se hacen más marcados en la pubertad, y muchos se modifican con la edad. Las diferencias sexuales que se mencionaran se observan en individuos de 30 a 50 años.

El cráneo de la mujer es más ligero que el del hombre y su arquitectura es más frágil; los relieves musculares son menos pronunciados y las apófisis mastoides relativamente más pequeñas. La gabela y los arcos superciliares son menos prominentes; la frente por lo tanto es más vertical y las eminencias frontales son más prominentes; las aberturas de las órbitas son más redondeadas y el borde superior de las mismas es más agudo. La región facial es más redondeada, la cigomática más ligera y comprimida. El paladar tiende a ser más pequeño y de forma parabólica. La mandíbula es más pequeña y la altura de la sínfisis es en ella menor.

Cuando más lisa aparece la superficie externa de la escama del hueso occipital, más probable es que el cráneo sea de mujer. Los cóndilos occipitales son más pequeños. Se dice que el vértex es más plano y la altura relativa del cráneo es menor. La línea donde se inserta el músculo temporal es más desarrollada en el hombre. Las cejas son más destacadas en el hombre, así como el proceso mastoideo.

Debido a las características de la mandíbula de la mujer, se puede decir que el ángulo que se forma entre las ramas de la mandíbula es de 125° grados, menor en el hombre (mandíbula más cuadrada).

El tubérculo de inserción de los músculos del cuello es más desarrollado en el hombre (probablemente las mujeres que acostumbran cargar cosas en la cabeza se les desarrolle de la misma forma).

Los intentos que se han hecho de determinar el sexo de una cráneo mediante la

comparación de ciertas medidas han demostrado que la variabilidad de esto para cada sexo hace que resulte difícil diferenciarlos. Ninguna dimensión o medida tomada aisladamente es del todo fiable, pero si se consideran todas ellas, y en su conjunto, resultan grandes o pequeñas, entonces aumenta sensiblemente el nivel de confianza en la determinación del sexo en un determinado cráneo.

## IV.2.2 MEDICIÓN DEL CRÁNEO HUMANO

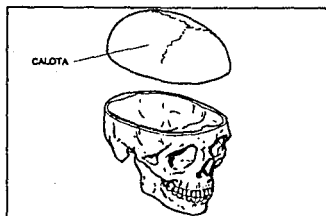


FIG 4.9 Corte que permite observar el interior del cráneo.

En el análisis de la penetración de la energía electromagnética en el hueso, es necesario conocer las diferentes dimensiones de grosor de la pared craneal.

En Antropometría la definición de los puntos craneales se hace generalmente con base en identificarlos por ser los puntos más destacados, o por el contrario, que presentan depresiones; por ser la confluencia, proyectada hacia el exterior de algunos huesos; etc. A la antropometría le es importante medir distancias entre puntos, ya que en función de estas

distancias se hace una clasificación relativa a la raza del individuo al cual pertenece el cráneo bajo estudio. Este objetivo no satisfacía las expectativas buscadas, que eran las de conocer los diferentes grosores de la cavidad craneal.

El propósito de esta investigación es: "el cráneo será bañado por ondas electromagnéticas, que por la disposición de la fuente radiante, la gran parte de energía se concentrará hacia la parte lateral y posterior de la cavidad craneana".

Para el efecto se obtuvo una muestra de 25 cráneos (por considerar este el número capaz de proporcionar datos representativos) de individuos adultos, aparentemente normales con edades aproximadas entre los 20 y 60 años. Dada la heterogeneidad del material biológico el primer paso fue seleccionar las muestras con base en las características morfológicas y hacer la determinación de la edad aproximada a través de las características dentarias y el estado de las suturas entre los huesos.

Para delimitar esa zona, el siguiente paso fue el proceso de delimitación y justificación que se hizo tomando como modelo a los ejes cartesianos, es decir, se definió un eje vertical y uno horizontal. Sobre cada eje se determinaron 4 puntos equidistantes que fueron las coordenadas desde donde se trazaron líneas paralelas a los ejes. Para el eje vertical se definieron los puntos **A** a ambos lados. El punto **A** corresponde a la base del proceso cigomático en el hueso temporal. El eje se forma de la unión de ambos puntos **A**. Para el eje



horizontal se utilizó el mismo punto **A** y el punto que se denominó **D**. Este punto se localiza en las líneas parasagitales que van del borde interno de las órbitas hasta los bordes laterales del *Foramen Magno*, para cada lado se tomó el punto medio sobre esta línea tomando en consideración la longitud que hay desde el cruce sobre la sutura occipito-parietal y la línea curva occipital, a nivel de la fosa cerebral.

Una vez considerados estos factores se delimitaron los puntos que conformaron al área de medición y se estableció el orden en que deben ser obtenidos, para el efecto se creó una cédula de captación de datos, la cual fue validada en repetidas ocasiones. Cabe mencionar que siendo el cráneo un volumen irregular cuyas dimensiones dependen de la edad, raza y sexo del individuo, no se obtuvieron áreas conformadas por el mismo número de puntos.

#### **IV.2.2.1 PROTOCOLO DE MEDICIÓN Y PARTICIÓN DEL CRÁNEO**

**PUNTO B** : Punto representado por el ángulo superiomedial de la órbita con relación a la línea media.

**PUNTO C** : Borde lateral del agujero magno del occipital.

**LÍNEA BC** : Se forma paralela a la línea media a una distancia promedio de las obtenidas en los puntos B y C.

**PUNTO D** : El cruce de la línea BC sobre la cresta del occipital en el punto medio entre el borde superior de la línea curva occipital y la sutura occipito-parietal; a nivel de la fosa cerebral.

**PUNTO A** : Sobre el temporal (parte media) en el cruce de su eje horizontal y vertical (a nivel del proceso cigomático).

**LÍNEA AA** : Se unen los puntos A a ambos lados del cráneo (eje vertical).

**LÍNEA AD** : Se forma uniendo los puntos A y D (eje horizontal).

**PUNTOS E, F, G** : Se sitúan en forma equidistantes sobre la línea AD entre los puntos A y D (coordenadas horizontales).

**PUNTO H** : En el cruce de la línea AA con la línea BC.

**PUNTOS I, J, K** : Se sitúan en forma equidistantes sobre la línea AA entre los puntos A y H (coordenadas verticales).

Trazar líneas paralelas a los ejes en cada coordenada. Medir en los puntos antes definidos y en los que se obtienen de la intersección entre todas las coordenadas horizontales y verticales.

Para el trazado de los puntos y del área se utilizaron instrumentos tales como escuadras y compás de dibujante. Sin embargo, el grosor de la pared craneal se obtuvo por medio del *Compás de brazos curvos*.

También llamado compás de espesor [21], consta de dos ramas o brazos de acero inoxidable en forma de hoz abierta o signo de interrogación, articulados por su extremo recto. Los extremos o puntas de la parte arqueada son agudos. Articulado por su extremo a la rama izquierda ( en el punto en que la parte curva se une a la recta) va una regla con la escala milimétrica reducida en una proporción, que se sujeta a la rama derecha y permite su deslizamiento por medio de una canal. Para usarlo, se toman

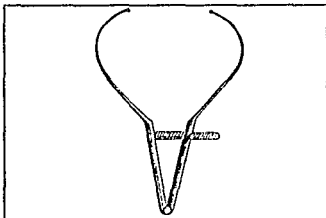


FIG 4.10 Compas de brazos curvos.

los brazos arqueados con el pulgar y el índice, colocando la regla con la escala en su posición correspondiente en la canal. Se apoyan las yemas de los dedos junto con el compás sobre los puntos cuya distancia de uno a otro se desea medir y se produce la lectura en la escala de la regla. Permite tomar todas las distancias rectilíneas, diámetros, alturas, cuerdas, etc.

Para cada muestra se constituyó una cédula donde sistemáticamente se asentaron los datos obtenidos.

#### IV.2.2.2 CEDULA PARA MEDICIÓN DE PUNTOS ESPECÍFICOS DE GROSOR DE CRÁNEO

FECHA : \_\_\_\_\_ EVALUADOR : \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES : SEXO: \_\_\_\_\_ EDAD APROX: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

CRÁNEO NO. \_\_\_\_\_

- 1) Obtener eje horizontal del temporal izq. \_\_\_\_\_
- 2) Obtener eje horizontal del temporal der. \_\_\_\_\_
- 3) Obtener eje vertical del temporal izq. \_\_\_\_\_
- 4) Obtener eje vertical del temporal der. \_\_\_\_\_
- 5) Obtener punto A izq. \_\_\_\_\_
- 6) Obtener punto A der. \_\_\_\_\_
- 7) Obtener punto B izq. Dato: \_\_\_\_\_

- 8) Obtener punto B der. Dato: \_\_\_\_\_  
 9) Obtener punto C izq. Dato: \_\_\_\_\_  
 10) Obtener punto C der. Dato: \_\_\_\_\_  
 11) Promedio entre los puntos B y C izq. Dato: \_\_\_\_\_  
 12) Promedio entre los puntos B y C der. Dato: \_\_\_\_\_  
 13) Línea BC izq. \_\_\_\_\_  
 14) Línea BC der. \_\_\_\_\_  
 15) Distancia entre el borde sup. de la línea curvo-occipital y la sutura occipital izq. Dato: \_\_\_\_\_  
 16) Distancia entre el borde sup. de la línea curvo-occipital y la sutura occipital der. Dato: \_\_\_\_\_  
 17) Punto D izq. Dato: \_\_\_\_\_  
 18) Punto D der. Dato: \_\_\_\_\_  
 19) Línea AD izq. Dato: \_\_\_\_\_  
 20) Línea AD der. Dato: \_\_\_\_\_  
 21) Distancia entre E,F,G izq. (AD/4 izq.). Dato: \_\_\_\_\_  
 22) Distancia entre E,F,G der. (AD/4 der.). Dato: \_\_\_\_\_  
 23) Punto H izq. Dato: \_\_\_\_\_  
 24) Punto H der. Dato: \_\_\_\_\_  
 25) Distancia entre I,J,K izq. (H/4 izq.). Dato: \_\_\_\_\_  
 26) Distancia entre I,J,K der. (H/4 der.). Dato: \_\_\_\_\_

#### MEDICIÓN DEL ESPESOR DEL HUESO EL LOS PUNTOS DEFINIDOS

IZQUIERDA		DERECHA	
PUNTO	ESPESOR (mm)	PUNTO	ESPESOR (mm)
1)	_____	_____	_____
2)	_____	_____	_____
3)	_____	_____	_____
4)	_____	_____	_____
5)	_____	_____	_____
28)	_____	_____	_____
29)	_____	_____	_____
30)	_____	_____	_____

OBSERVACIONES :

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

FECHA : \_\_\_\_\_

EVALUADOR : \_\_\_\_\_

### IV.2.2.3 MEDICIONES DE ESPESOR CRANEAL Y RESULTADOS ESTADÍSTICOS<sup>1</sup>

MUESTRA: 1		2		3		4		5		6		7				
SEXO	M	F	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M			
EDAD	35 - 40	20 - 25	25 - 30	25 - 30	30 - 35	25 - 30	30 - 35	25 - 30	30 - 35	25 - 30	30 - 35	25 - 30	> 40			
IZO	IZO		DER		IZO		DER		IZO		DER		IZO		DER	
	DER	IZO	DER	IZO	DER	IZO	DER	IZO	DER	IZO	DER	IZO	DER	IZO	DER	
1	A	3	1	3	3	2	2	4	2	5	5	4	2	2	1	
2	E	5	4	2	2	4	4	5	3	3	3	4	2	3	2	
3	F	6	6	3	4	5	5	4	5	2	1	4	5	4	5	
4	G	6	5	3	4	7	7	5	6	6	5	6	5	4	4	
5	D	7	7	4	3	8	7	6	6	5	5	4	6	3	3	
6	I	6	8	2	2	4	5	4	3	4	3	4	4	1	2	
7	EI	6	6	4	3	5	4	7	6	4	3	4	4	4	5	
8	FI	5	6	4	4	7	5	6	5	5	3	5	4	4	3	
9	GI	7	7	6	7	9	9	7	6	6	6	6	6	5	4	
10	DI	SD	9	6	7	8	7	5	5	7	5	6	6	6	5	
11	J	7	7	3	3	3	4	6	5	6	4	7	5	3	4	
12	EJ	7	6	4	4	7	6	7	5	6	5	7	6	3	3	
13	FJ	6	5	6	6	8	7	9	5	5	5	8	7	4	4	
14	GJ	6	5	6	7	9	9	5	4	5	5	8	8	5	4	
15	DJ	8	7	SD	SD	8	8	6	5	5	5	7	8	4	5	
16	K	5	5	2	4	6	7	7	7	9	5	7	7	6	7	
17	EK	6	5	5	5	7	8	5	4	5	5	6	7	5	5	
18	FK	6	6	6	7	8	6	7	4	7	8	8	8	4	4	
19	OK	SD	SD	SD	SD	SD	9	5	SD	SD	SD	8	9	SD	SD	
20	DK	7	8	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	8	8	SD	SD	
21	H	7	5	3	5	8	7	5	6	7	7	9	9	7	8	
22	EH	6	7	5	6	4	4	5	5	4	4	7	8	6	6	
23	FH	7	10	4	6	9	10	4	4	5	4	6	6	8	5	
24	GH	SD	SD	5	6	8	SD	4	4	4	5	8	8	5	5	
GROSOR																
MEDIO:		6.1 6.1		4.1 4.7		5.4 6.4		5.6 4.8		5.3 4.6		6.2 6.1				
4.4 4.3																
MIN.:		3	1	2	2	2	2	4	2	2	1	4	2	1	1	
MAX:		8	10	6	7	9	10	9	7	7	8	9	9	8	8	

<sup>1</sup> Todas las mediciones se dan en milímetros [mm]. SD (Sin Dato) Implica que ese punto no se localizó en dicha muestra. Los datos fueron procesados en la Hoja Electrónica de Cálculo Lotus 123 Versión 3.1

MUESTRA: 8		9		10		11		12		13		14			
SEXO	M	M		F	F		M	F		M		M			
EDAD	> 30	30		25 - 30		40		25 - 30		30 - 35		> 50			
IZO	DER	IZO	DER	IZO	DER	IZO	DER	IZO	DER	IZO	DER	IZO	DER		
1	A	3	2	2	3	1	1	3	4	2	3	5	4	3	2
2	E	2	2	3	3	1	3	3	3	2	3	4	4	4	3
3	F	4	4	4	6	2	3	2	2	4	4	5	5	6	5
4	G	5	5	5	5	3	3	4	6	5	3	5	7	6	6
5	D	4	5	5	5	4	4	4	5	4	5	6	8	6	6
6	I	4	5	2	4	1	2	3	4	3	1	4	3	3	4
7	EI	5	5	6	6	4	4	4	3	5	4	7	6	4	4
8	FI	4	4	6	6	3	3	4	4	4	4	6	5	5	5
9	GI	6	5	6	6	5	5	3	5	5	4	9	5	6	6
10	DI	7	6	5	4	6	5	6	6	4	7	5	6	7	7
11	J	5	4	5	3	4	4	5	8	3	3	6	5	5	5
12	EJ	5	4	7	6	4	4	4	6	5	5	7	6	5	5
13	FJ	5	5	7	7	4	4	4	5	5	4	7	6	4	5
14	QJ	6	5	6	6	5	5	7	5	4	4	7	6	5	6
15	DJ	SD	SD	SD	SD	6	6	6	6	6	7	7	7	SD	SD
16	K	5	5	7	7	4	5	5	5	6	5	8	6	5	8
17	EK	6	5	7	8	6	6	5	4	5	4	8	6	5	4
18	FK	6	5	7	7	5	6	6	6	4	4	8	7	6	6
19	QK	SD	SD	SD	SD	7	6	6	6	SD	SD	SD	SD	SD	SD
20	DK	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
21	H	6	4	9	8	5	5	4	5	7	7	10	9	7	6
22	EH	5	6	5	6	5	2	6	6	5	1	7	7	3	4
23	FH	6	6	6	8	6	8	4	3	3	5	7	8	6	5
24	GH	5	5	6	6	7	5	6	5	5	6	8	7	6	6
GROSOR															
MEDIO:		4.9	4.6	6.9	6.7	4.2	4.3	4.5	4.8	4.4	4.2	6.6	6.0		
5.1	5.1														
MIN.:		2	2	2	3	1	1	2	2	2	1	4	3	3	2
MAX:		7	6	9	8	7	8	7	8	7	7	10	9	7	8

MUESTRA: 15		16		17		18		19		20		21	
SEXO	F	M	M	F	M	M	F	M	M	F	F	F	F
EDAD	20 - 25	> 60	50 - 60	45 - 60	30 - 35	40 - 45	40 - 50	30 - 35	40 - 45	40 - 50	40 - 50	40 - 50	40 - 50
	IZO	DER	IZO	DER	IZO	DER	IZO	DER	IZO	DER	IZO	DER	IZO
1	A	1 3	3 3	3 3	1 2	4 1	2 3	2 1	2 1	2 1	2 1	2 1	2 1
2	E	2 1	2 2	2 2	2 1	5 4	2 1	2 1	2 1	2 1	2 1	2 1	2 1
3	F	3 3	2 4	3 4	3 2	4 4	3 2	4 2	4 2	4 2	4 2	4 2	4 2
4	G	3 3	6 8	5 4	4 2	5 5	5 5	5 5	5 5	5 5	5 5	5 5	5 5
5	D	2 2	5 5	4 3	3 2	6 5	3 3	6 5	3 3	4 5	4 5	4 5	4 5
6	I	3 2	4 3	1 2	3 2	5 2	1 1	5 2	1 1	2 1	2 1	2 1	2 1
7	EI	3 4	4 4	2 4	2 4	6 7	4 4	6 7	4 4	4 3	4 3	4 3	4 3
8	FI	3 3	4 4	4 3	3 3	7 6	3 3	7 6	3 3	4 4	4 4	4 4	4 4
9	GI	5 5	5 6	5 5	4 4	6 5	4 3	6 5	4 3	5 4	5 4	5 4	5 4
10	DI	5 6	4 4	5 3	3 3	6 6	6 6	6 6	6 6	6 5	6 5	6 5	6 5
11	J	3 4	4 5	5 5	4 4	5 3	5 5	5 3	5 5	4 4	4 4	4 4	4 4
12	EJ	4 4	4 3	4 4	4 3	7 5	5 5	7 5	5 5	3 3	3 3	3 3	3 3
13	FJ	4 3	5 5	7 4	4 4	8 6	4 4	8 6	4 4	4 4	4 4	4 4	4 4
14	GJ	5 5	5 4	7 6	5 5	7 6	4 4	7 6	4 4	5 4	5 4	5 4	5 4
15	DJ	6 5	5 5	7 7	3 5	8 6	5 6	8 6	5 6	5 5	5 5	5 5	5 5
16	K	5 6	5 5	8 7	5 5	5 5	6 6	5 5	6 6	5 4	5 4	5 4	5 4
17	EK	5 5	5 5	8 6	4 4	5 5	6 5	5 5	6 5	3 5	3 5	3 5	3 5
18	FK	5 5	4 5	9 7	6 5	6 6	5 4	6 6	5 4	4 5	4 5	4 5	4 5
19	GK	5 4	5 5	8 8	6 6	SD SD	8 5	SD SD	8 5	6 SD	6 SD	6 SD	6 SD
20	DK	6 5	5 5	8 8	7 7	SD SD	SD 7	SD SD	SD 7	SD SD	SD SD	SD SD	SD SD
21	H	5 6	8 8	8 9	5 5	5 5	7 7	5 5	7 7	4 7	4 7	4 7	4 7
22	EH	4 5	7 7	8 7	5 5	6 5	6 7	6 5	6 7	1 5	1 5	1 5	1 5
23	FH	5 6	6 6	8 9	4 5	5 5	8 7	5 5	8 7	5 6	5 6	5 6	5 6
24	QH	6 6	5 6	SD SD	7 6	8 8	7 7	8 8	7 7	6 5	6 5	6 5	6 5
<b>GROSOR</b>													
MEDIO:		4.0	4.2	4.6	4.7	5.6	5.2	4.0	3.9	5.9	5.0	4.7	4.5
4.0	3.9												
MIN.:	1	1	2	2	1	2	1	1	4	1	1	1	1
MAX:	6	6	8	8	9	9	7	7	8	8	8	7	6

MUESTRA:		22		23		24		25		PROMEDIO POR PUNTO:	
SEXO	F	M		M		M		M		IZO	DER
EDAD	30 - 35	30 - 40		25 - 30		20 - 25		20 - 25		IZO	DER
	IZO	DER	IZO	DER	IZO	DER	IZO	DER		IZO	DER
1	A	5	4	4	3	4	4	5	4	2.84	
2	E	5	3	4	2	4	4	4	2	2.86	
3	F	4	5	8	5	3	4	5	3	3.86	
4	G	5	4	6	5	6	5	5	5	4.84	
5	D	3	4	7	6	6	6	7	3	4.78	
6	I	3	3	4	3	3	3	3	4	3.06	
7	EI	4	5	5	6	4	4	4	4	4.46	
8	FI	4	4	5	6	5	5	4	4	4.40	
9	GI	6	4	6	8	6	7	6	5	5.82	
10	DI	6	5	8	8	7	6	6	6	5.77	
11	J	4	4	5	6	5	4	6	5	4.58	
12	EJ	5	5	6	7	5	5	5	5	5.00	
13	FJ	6	5	6	7	6	7	4	5	5.42	
14	GJ	5	5	10	10	7	7	5	5	5.78	
15	DJ	5	5	11	10	6	7	6	6	6.21	
16	K	6	5	8	8	8	5	7	8	5.92	
17	EK	5	5	7	7	6	6	5	5	5.48	
18	FK	6	5	10	8	7	7	5	5	6.02	
19	OK	6	5	SD	SD	SD	6	SD	SD	6.32	
20	DK	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	6.85	
21	H	7	8	10	11	7	5	6	6	8.28	
22	EH	5	4	9	9	5	6	7	8	5.52	
23	FH	7	7	12	9	7	5	7	9	6.34	
24	GH	SD	SD	12	12	6	7	6	5	6.30	
<b>GROSOR</b>											
MEDIO:	5.1	4.7	7.3	7.9	5.5	5.4	5.4	5.1			
MIN.:	3	3	4	2	3	3	3	2			
MAX:	7	8	12	12	7	7	7	9			

El mínimo valor de toda la muestra es : 1 mm  
 El máximo valor de toda la muestra es : 12 mm  
 El promedio de todos los puntos es : 5.19 mm

#### IV.2.3 CONCLUSIONES PRELIMINARES

A partir de la observación del tratamiento estadístico de los datos de grosor craneal tanto como por muestra y sobre todo por punto (coordenada) podemos concluir lo siguiente:

- + El grosor y las zonas de engrosamiento varían también en los diferentes ciéneos.
- + Las áreas cubiertas con músculos, como es el caso de la fosa temporal y el suelo

de la fosa craneal posterior son más delgadas que las no cubiertas con músculos.

+ El grosor del cráneo varía también con la edad y sexo.

+ Normalmente el cráneo es más delgado en la mujer que en el hombre.

Si bien el detalle de todos los puntos por muestra nos dá un panorama general de la morfometría del cráneo humano, para nuestros fines ya citados, los datos de interés serán los promedios por punto, ya que esta será la dimensión numérica involucrada directamente en los desarrollos matemáticos posteriores.

### **IV.3 SISTEMA NERVIOSO CENTRAL.**

El Sistema Nervioso del ser Humano se divide en tres sistemas [17]:

1) Sistema Nervioso Central.

Comprende al cerebro, la médula espinal, tallo cerebral y cerebelo.

2) Sistema Nervioso Periférico.

Todas las ramificaciones nerviosas, algunas de las cuales transmiten de la periferia al centro las impresiones sensoriales y sensitivas, en tanto que el resto lleva del centro a la periferia.

3) Sistema Nervioso Vegetativo.

Este es el encargado de regir las funciones de los órganos internos y sus sensibilidades.

De los cuales nos enfocaremos sólo al Sistema Nervioso Central debido a que es la región donde se considera que se podrían provocar anomalías por el uso del teléfono celular.

#### **IV.3.1 TEJIDO NERVIOSO.**

El tejido nervioso del cerebro, médula espinal o nervios periféricos, contienen dos tipos básicos de células [22]:

1. Neuronas

Conducen las señales en el sistema nervioso y de las cuales hay aproximadamente 100,000 millones en todo el sistema.

2. Células Glia

Entre otras funciones sirven de sostén y aislamiento en el sistema nervioso.

##### **IV.3.1.1 NEURONA DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL.**



Las partes principales de una neurona característica del cerebro son (Fig. 4.11):

1. Cuerpo Celular

A partir de este, crecen todas las partes de la neurona. Dentro de ésta, se encuentran los organelos u organitos.

2. Dendritas

Estas son muchas ramificaciones del cuerpo celular. Son las partes receptoras principales de la neurona. Las dendritas de cada neurona suelen recibir señales de miles de puntos de contacto con otras neuronas.

3. Axon

Cada neurona tiene un axon o cilindro eje. Los axones transmiten las señales nerviosas hacia la siguiente célula nerviosa. Es el más largo y principal.

4. Botón Terminal

Es el extremo final del axon, es un lóbulo especializado que a su vez se encuentra en contacto con el cuerpo celular de otra neurona o axon. Las señales se transmiten a través del botón de una neurona hacia la siguiente. Cuando se estimula el botón sináptico<sup>1</sup>, libera una cantidad minúscula de una hormona llamada "Neurotransmisor" hacia el espacio entre el botón y la membrana de una neurona y a continuación, el neurotransmisor estimula también a la neurona.

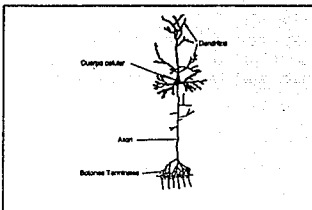


FIG 4.11

#### IV.3.1.2 POTENCIAL DE MEMBRANA DE LA NEURONA Y EXCITACIÓN O INHIBICIÓN NEURONAL.

Según se ilustra en la figura (Fig. 4.12) el potencial de membrana del cuerpo celular neuronal central, que también se llama soma, es de  $-70\text{mV}$  (mientras que en la fibra nerviosa periférica es de  $-90\text{mV}$ ).

Predominan en la neurona dos elementos, (Fig. 4.13) el Sodio ( $\text{Na}^+$ ) que se ubica en

<sup>1</sup>Sinápsis: es la separación que existe entre dos botones axonianos o entre cualquier unión neuronal por donde se transmiten señales de una hacia otra, también conocida como hendidura sináptica.

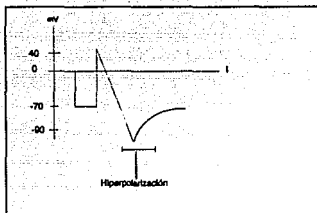


FIG 4.12

en la sinápsis se provoca la liberación del transmisor excitador hacia la hendidura entre los otros botones sinápticos y aumenta la permeabilidad de la neurona que permite que fluyan con rapidez iones de Sodio en concentración muy elevada en el líquido extracelular hacia el interior de la célula provocando la salida de iones de Potasio.

Una explicación más detallada de este fenómeno se da con la ayuda de las figuras (Figs 4.12, 4.13).

Primero tenemos que en la membrana neuronal, en la sinápsis, existe un flujo de Potasio hacia afuera de la neurona de manera muy lenta. Como ya se mencionó en el interior de la neurona existe una gran cantidad de Potasio, debido a que en este mismo la neurona contiene proteínas con una polaridad negativa. En este momento es cuando tenemos el nivel de -70mV.

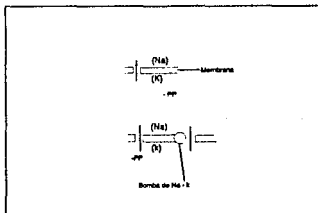


FIG 4.13

Cuando llega a existir una señal se provoca una entrada abrupta de Sodio y una salida igual de Potasio con una razón de 3 de Sodio por 2 de Potasio hasta que se equilibran las cantidades en el interior y en el exterior, en este momento tenemos un aumento del potencial hasta aproximadamente de 40mV. Para regresar a su estado original entra en acción la bomba de Sodio-Potasio (ATPasa de Na-K, ya que se produce un gasto de energía). En este momento, esta puede llevar a la neurona a un estado de Hiperpolarización o período refractario en el cual la neurona no permite la entrada de otro estímulo hasta que no se recupere de éste.

el exterior del cuerpo neuronal y el Potasio ( $K^+$ ) ubicado en el interior de la neurona.

La concentración de Sodio fuera de la membrana que delimita a la neurona es aproximadamente 10 veces mayor que la concentración de este elemento en el interior de la misma, pero la diferencia de concentración de iones de Potasio es lo contrario; aproximadamente 35 veces más Potasio dentro de la célula que fuera de ella.

En una neurona en reposo el potencial neuronal intracelular es de -70mV. Sin embargo, cuando un estímulo se recibe

### IV.3.2 EL CEREBRO.

Es un órgano de funciones complejas, compuesto de células muy especializadas; la disposición física de la mayoría de sus componentes es muy compleja; el problema fundamental es que casi todos los procesos que podemos estudiar, observando la totalidad de un comportamiento (el de leer por ejemplo), implica una compleja interacción de varias regiones del cerebro, diferentes y cada una con su modo peculiar de tratar la información. El hecho de delimitar a una región una función resulta equivocado, ya que todas las funciones cerebrales se realizan en varias partes del cerebro, aunque en determinadas zonas se concentran algunas actividades. Rara vez sabemos que operación está ejecutando cada región, o sea como se relacionan las entradas y salidas de estímulos nerviosos [23].

El cerebro es tan complejo que las posibilidades de llegar a predecir su comportamiento, a base tan solo de un estudio de sus partes no vale la pena considerarlo.

Por lo general al cerebro se le considera como un órgano relacionado únicamente con el pensamiento, la memoria y la conciencia y si bien estas son algunas de sus funciones, tiene muchas otras. Toda información referente al mundo que nos rodea es conducida centralmente hacia el encéfalo a través de un complicado sistema sensorial.

La atención, la conciencia, la experiencia emocional y el sueño son todas funciones nerviosas centrales. Las funciones neuronales superiores como la memoria, imaginación, pensamiento y capacidad creadora son escasamente conocidas, pero sin duda deben ser estas vinculadas con una actividad neuronal muy compleja.

Por todo lo anteriormente mencionado, a continuación se describirán algunas partes de la anatomía cerebral que se "relacionan" teóricamente con determinadas funciones (Fig. 4.14).

**Zona 1:** La circunvolución frontal ascendente y el borde anterior de la cisura de Rolando abarcan el área motora primaria, en la que están representadas todas las partes del cuerpo de un modo distorsionado, aunque topográfico (Fig. 4.14a)

**Zona 2:** Las porciones triangular y opercular dominante (generalmente del izquierdo en las personas diestras) son las llamadas áreas del lenguaje de Broca, porque es esta la región relacionada con los mecanismos motores de la formulación de la palabra y la audición, así como también la memoria y el sentimiento (Fig. 4.14b).

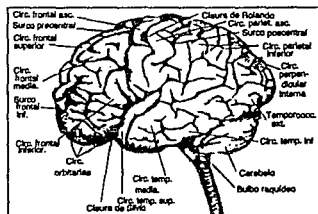


FIG 4.14

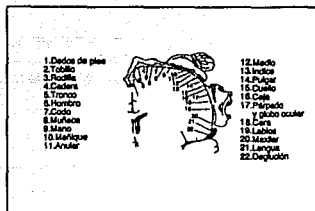


FIG 4.14a

**Zona 3:** El margen posterior de la cisura de Rolando y la circunvolución parietal ascendente forman el área somestésica primaria, la región cortical donde convergen y están representados somatotópicamente los impulsos relacionados con las sensaciones táctiles y cinestésicas provenientes de receptores superficiales y profundos (también representada en la Fig. 4.14b).

**Zona 4:** La circunvolución o lobulillo parietal inferior representan un área de asociación cortical en la que se superponen diversas percepciones multisensoriales de

nivel más alto. Esta área tiene especial relación con las constelaciones mnémicas que constituyen la base para comprender e interpretar las señales sensoriales. Se trata de una región de la corteza en la que se producen trastornos muy dispares como consecuencia de lesiones en el hemisferio dominante y no dominante. Por ejemplo, la creatividad, la imaginación, el arte y la sensibilidad.

**Zona 5:** En el lóbulo temporal la circunvoluciones transversas de Heschl, constituyen la corteza auditiva primaria en el hombre.

**Zona 6:** A través de distintas influencias que modifican la actividad eléctrica de la corteza cerebral, el tálamo desempeña importantes papeles en el despertar, en mantener el estado de conciencia y en diferentes mecanismos que producen los distintos tipos de sueño (Fig. 4.14c)

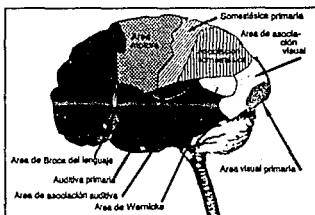


FIG 4.14b

El tálamo es una pequeña parte del encéfalo que está en relación con:

- La distribución de la mayor parte de los impulsos aferentes hacia la corteza cerebral.
- El control de la actividad electrocortical de la corteza cerebral.
- La integración de las funciones motrices al proporcionar las conexiones a través de las cuales los impulsos que provienen del cuerpo estriado y del cerebelo pueden llegar a

a la corteza motora.

**Zona 7:** El hipotálamo está relacionado con la actividad visceral, endócrina y metabólica, así como con la regulación de la temperatura, el sueño, las sensaciones de la sed y el hambre, la sexualidad, el gusto y la emoción (Fig. 4.14d)

**Zona 8:** En el subtálamo en su núcleo y las vías que atraviesan esta región se relacionan con la integración de la función somatomotora (Fig. 4.14d).

**Zona 9:** El cerebelo recibe aferencias directa o indirectamente de todos los receptores sensitivos inclusive de aquellos de los sentidos especiales, pero esta información no entra en la esfera de la conciencia. Hasta el momento, las evidencias sugieren que el cerebelo funciona a modo de una computadora especial, que procesa, organiza e integra las aferencias sensoriales en forma automática, y que suministra respuestas rápidas que contribuyen al control efectivo y a la progresión uniforme de la función motriz (Fig. 4.14b).

**Zona 10:** El área de la corteza cerebral hacia la que se proyectan las señales sensoriales se llama *corteza sensorial somática*. En el hombre, esta zona se halla principalmente en las porciones anteriores de los lóbulos parietales. Se sabe de dos zonas distintas y separadas que reciben fibras nerviosas aferentes directas de los núcleos de relevo del tálamo: las llamadas *zona sensorial somática I* y *zona sensorial somática II*.

Área sensorial somática II. La segunda área cortical hacia la que se proyectan las fibras somáticas aferentes, el área sensorial somática II, es mucho más pequeña y se encuentra por detrás y por debajo del extremo lateral de área sensorial somática I. El grado de localización de las diferentes partes del cuerpo es muy pobre en esta área en comparación con la anterior.

Se conoce tan poco sobre la función del área sensorial somática II que no se puede hablar de esta con claridad.

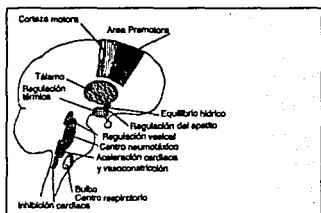


FIG 4.14c

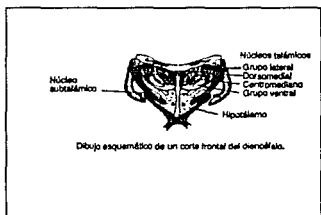


FIG 4.14d

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS TEÓRICO DEL AUMENTO**

### **DE LA TEMPERATURA EN TEJIDO**

### **CEREBRAL.**

Uno de los efectos producto de la dosificación de energía electromagnética en cualquier material es el aumento de temperatura.

Este principio es ampliamente aplicado; un ejemplo es el ya citado horno de microondas.

La energía electromagnética de alta frecuencia produce un efecto similar cuando actúa sobre los tejidos del cuerpo, y la intensidad de este efecto térmico está en función de las características primarias y secundarias, electromagnéticamente hablando, del tejido humano.

Ya diferenciados los tres principales tejidos que conforman la cabeza, el siguiente paso es definir sus propiedades electromagnéticas, clasificarlos como dieléctricos o conductores para después detallar su comportamiento térmico frente a la energía electromagnética de alta frecuencia.

## V.1 CARACTERÍSTICAS ELECTROMAGNÉTICAS PRIMARIAS.

### V.1.1 PERMITIVIDAD ELÉCTRICA.

También llamada *Constante Dieléctrica*, [1] es una cantidad que nos habla de la capacidad de un material para oponerse al paso de un campo eléctrico. Está íntimamente relacionada con la disposición de los átomos a ceder o ganar electrones.

Se obtiene numéricamente a partir de la *Ley Experimental de Coulomb* para cargas eléctricas ubicadas en el vacío.

La permitividad se expresa como :

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \left[ \frac{F}{m} \right] \quad (87)$$

donde :

$\epsilon$  : Permitividad Eléctrica del Dieléctrico  $\left[ \frac{F}{m} \right]$

$\epsilon_0$  : Permitividad del espacio libre  $\left[ \frac{F}{m} \right]$

$\epsilon_r$  : Permitividad relativa del medio [ADIM]

La permitividad del vacío tiene un valor de :

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \left[ \frac{F}{m} \right]$$

### V.1.2 PERMEABILIDAD MAGNÉTICA.

De la misma forma que la permitividad eléctrica se asocia con el campo eléctrico, la *Permeabilidad Magnética* [2] es una constante que nos indica que tan dispuesto es un material para oponerse al paso de un campo magnético.

La permeabilidad se expresa como :

$$\mu = \mu_0 \mu_r \left[ \frac{H}{m} \right] \quad (88)$$

donde :

$\mu$  : Permeabilidad Magnética del Medio  $\left[ \frac{H}{m} \right]$

$\mu_0$  : Permeabilidad del Espacio Libre  $\left[ \frac{H}{m} \right]$

$\mu_r$  : Permeabilidad relativa del medio [A.D.M.]

La permeabilidad del vacío tiene un valor de :

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \left[ \frac{H}{m} \right]$$

### V.1.3 CONDUCTIVIDAD.

Todo material se opone al paso de una corriente eléctrica a través de él, es decir, ofrece una "resistencia". Esta resistencia depende de las características propias del material tal como la forma y el tamaño. La característica de la materia que se relaciona con la oposición al paso de una corriente eléctrica se conoce como *Resistividad*.

De tal forma, al recíproco de la resistividad, o mejor dicho, la disposición del material para servir como conductor se le conoce como *Conductividad*.

$\sigma$  : Conductividad  $\left[ \frac{U}{m} \right]$  donde :  $U = \frac{1}{\Omega}$  (MHO)

Es a partir de este parámetro que podemos clasificar a los materiales en función de su comportamiento al conducir una corriente eléctrica.



En un material *Dieléctrico* o *aislador* los electrones no son libres de moverse, por lo que su conductividad es cero. En otros materiales la conductividad es diferente de cero y en función de este y otros parámetros (como la frecuencia) se define a ese material como conductor, dieléctrico o dieléctrico con pérdidas.

### V.1.4 CONDUCTORES Y DIELECTRICOS.

La clasificación de un material como conductor o dieléctrico está en relación directa con su conductividad. Sin embargo, otro factor muy importante es la frecuencia. Algunos materiales pueden comportarse como conductores en determinada frecuencia y ser aislante en otra.

Para ser más específico se clasifican a los materiales como pertenecientes a uno de los tipos de acuerdo con el valor de la razón  $\frac{\sigma}{\omega\epsilon}$  como sigue :

A) Dieléctricos

$$\frac{\sigma}{\omega\epsilon} < \frac{1}{100}$$

Dieléctrico Perfecto si  $\sigma = 0$

B) Dieléctricos con pérdidas

$$\frac{1}{100} < \frac{\sigma}{\omega\epsilon} < 100$$

C) Conductores

$$100 < \frac{\sigma}{\omega\epsilon}$$

donde :

$\omega$  : velocidad angular  $[\frac{rad}{s}]$

$$\omega = 2\pi f$$

$f$  : frecuencia [Hz]

## V.2 PROPAGACIÓN EN MEDIOS CONDUCTORES.

Este finalmente es el concepto que nos permitirá conocer la magnitud del campo eléctrico y la densidad de potencia en cada una de las fronteras de los distintos tejidos de la cabeza humana y principalmente las magnitudes que inciden directamente sobre el cerebro (fig. 5.1).

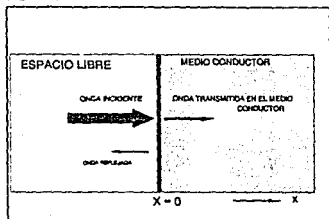


FIG 5.1

A partir de la ecuación de onda para un medio conductor :

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} - \gamma^2 E = 0 \quad (89)$$

donde :

$\gamma$  : constante de propagación.

Una solución de esta ecuación para una onda que viaja en la dirección

positiva de X es :

$$E = E_0 e^{-\gamma x} \quad (90)$$

La cte. de propagación es un número complejo, es decir, tiene una parte real y una imaginaria.

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad (91)$$

La parte real está asociada con la atenuación que sufre la onda a su paso por el material. La parte imaginaria está asociada con la fase de la onda. En consecuencia :

$$E = E_0 e^{-\alpha x} e^{-j\beta x} \quad (92)$$

donde :

$$\alpha = \frac{\omega \sqrt{\mu \epsilon}}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon}\right)^2 - 1} \quad \left\{ \frac{Np}{m} \right\} \quad (93)$$

$\alpha$  : Cte. de Atenuación.

$$\beta = \omega \frac{\sqrt{\mu\epsilon}}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)^2 + 1} \quad \left[ \frac{\text{rad}}{\text{m}} \right] \quad (94)$$

$\beta$  : Cte. de Fase.

A las magnitudes  $\alpha$  y  $\beta$  se les conoce como *Constantes Electromagnéticas Secundarias* [24].

El efecto que se estudiará será la atenuación, razón por la cual no se tomará en cuenta a la cte. de fase.

Si la ecuación (92) se le expresa de la forma :

$$E = E_0 e^{-\frac{x}{\delta}} \quad (95)$$

donde :

$$\delta = \frac{1}{\alpha} \quad [m]$$

en (95) si  $x=0$   $E = E_0$  Esta es la amplitud del campo en la superficie del conductor.

Ahora si  $x=\delta$  la amplitud del campo es:

$$E = E_0 e^{-1} = E_0 \frac{1}{e}$$

$$\frac{1}{e} = 0.367879$$

Para  $x=\delta$  el campo disminuye al **36.78 %** de su valor inicial. A  $\delta$  se le conoce como *Profundidad de Penetración* para una onda electromagnética que incide perpendicularmente sobre un conductor.

Por simple inspección, se deduce que un campo de alta frecuencia reduce más su magnitud en una distancia más corta que un campo de baja frecuencia. A este efecto se le

conoce como *Efecto Pelicular* (Skin Effect).

A partir de la ec. (95) podemos calcular el efecto pelicular para cada medio de transmisión. Consecuentemente para conocer la intensidad de campo eléctrico en la superficie del cerebro.

### **V.2.1 EFECTO PELICULAR PARA CADA MEDIO DE PROPAGACIÓN.**

Primeramente debemos caracterizar cada medio de propagación. Las características electromagnéticas primarias (permitividad, permeabilidad y conductividad) son cantidades dependientes de la frecuencia [25]. A partir de experimentaciones se han desarrollado modelos matemáticos con una aproximación muy aceptable. Estos modelos toman en cuenta valores de referencia de otros materiales, en especial, del agua con soluciones salinas que son expuestas a voltajes a cierta frecuencia.

Sin embargo estos modelos son inestables a determinada frecuencia (principalmente a niveles altos). Para tejidos corporales se disponen de tablas de valores para la permitividad, permeabilidad y la conductancia a distintas frecuencias. Desafortunadamente para los tejidos piel, hueso y cerebro no se disponen estos datos para frecuencias de microondas. Siendo que existen para tejidos de hígado, bazo, pulmón y médula ósea. Las razones de la falta de datos para los tejidos que atañen a esta investigación se deben a dos factores: la cantidad de grasas y la conformación multitejido de los órganos.

El modelo matemático utiliza como referencia las características del agua más otras soluciones; ya que los tejidos contienen grasas el modelo es muy diferente al tejido real en algunas frecuencias. Por otra parte los órganos se conforman de varios tejidos, aspecto que impide considerarlos como un medio aproximadamente homogéneo, principalmente la piel y por sobre todo al cerebro. Por esta razón el modelo no ofrece datos representativos a altas frecuencias para estos tejidos.

Otro tipo de modelo [26] desarrollado utiliza el mismo principio de referenciar con respecto al agua; pero este no busca datos para tejidos tan particulares. Este modelo se enfoca directamente al estudio de efectos térmicos y divide a los tejidos en función de la cantidad de agua que contienen.

Se presentan dos tablas de valores, para tejidos con alto contenido de agua (Piel y Cerebro) y para tejidos con bajo contenido de agua (hueso) para frecuencias desde 1 a 10,000 MHz [9].

FREC [MHz]	$\epsilon_r$	$\mu_r$	$\sigma$	$\alpha$	$\frac{\sigma}{\omega\epsilon}$	$\delta$
750	52	0.68	1.54	31.446	0.710	3.18
890	51.848	0.629	1.591	31.658	0.62	3.159
915	51	0.660	1.6	32.895	0.616	3.04

TABLA 1 TEJIDOS CON ALTO CONTENIDO DE AGUA

FREC [MHz]	$\epsilon_r$	$\mu_r \times 10^{-3}$	$\sigma$	$\alpha$	$\frac{\sigma}{\omega\epsilon}$	$\delta$
750	5.6	6.816	93.9	43.478	402.06	23
890	5.6	6.026	96.142	45.051	346.91	22.197
915	5.6	9.028	98.164	56.497	344.52	17.7

TABLA 2 TEJIDOS CON BAJO CONTENIDO DE AGUA

UNIDADES :

 $\delta$  (cm)

## V.2.2 MAGNITUD RELATIVA DEL CAMPO ELÉCTRICO EN FUNCIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN.

Retomando la tabla para valores de campo y densidad de potencia del capítulo III y la figura, se aplica la ec. (95) para cada medio de propagación. Los resultados se presentan en las tablas 3 y 4.

Los valores presentes en el primer renglón corresponden en orden a los valores máximos para el campo eléctrico para cada potencia y longitud de antena (tabla 1 cap. III).

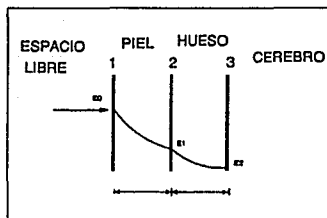


FIG 5.2

POT	0.3 W	0.3 W	0.3 W	3 W	3 W	3 W
$\lambda$	$\frac{1}{2}\lambda$	$\frac{1}{4}\lambda$	$\frac{3}{8}\lambda$	$\frac{1}{2}\lambda$	$\frac{1}{4}\lambda$	$\frac{3}{8}\lambda$
1)E.L.	61.845	121.047	73.835	195.539	382.785	260.017
2)PIEL	57.12	111.81	68.20	180.62	353.579	240.178
3)HUESO	45.211	84.498	53.98	142.962	279.86	190.103

TABLA 3. PROPAGACIÓN DE CAMPO ELÉCTRICO.

Los valores presentes en el primer renglón corresponden en orden a los valores máximos para la densidad de potencia para cada potencia y longitud de antena (tabla 2 cap. III).

POT	0.3 W	0.3 W	0.3 W	3 W	3 W	3 W
$\lambda$	$\frac{1}{2}\lambda$	$\frac{1}{4}\lambda$	$\frac{3}{8}\lambda$	$\frac{1}{2}\lambda$	$\frac{1}{4}\lambda$	$\frac{3}{8}\lambda$
1)E.L.	2.318	7.447	5.200	23.176	74.684	38.762
2)PIEL	2.141	6.879	4.803	21.407	68.986	35.804
3)HUESO	1.695	5.444	3.801	16.943	54.602	28.339

TABLA 3. PRCPAGACIÓN DE DENSIDAD DE POTENCIA.

Los parámetros utilizados en la ec. (95) son :

	X	$\delta$	%
1)PIEL	2.5	3.15	92.37
2)HUESO	5.19	22.19	79.15
TOTAL	7.69		73.11

Donde :

X : Promedio de grosor [mm]

$\delta$  : Profundidad de penetración [cm]

Como se puede observar tanto el campo como la densidad de potencia sufren una atenuación al 73.11% de su valor en el espacio libre (en la superficie de la piel).

Utilizando los valores de grosor promedio por punto obtenidos para el cráneo humano en el capítulo IV, se detallará la distribución del campo eléctrico y la densidad de potencia únicamente para el máximo valor posterior a la piel.

$$E=353.579 \left[ \frac{V}{m} \right] \quad W_r=68.986 \left[ \frac{mW}{cm^2} \right]$$

Datos correspondientes al teléfono portátil con monopolo de longitud  $\frac{1}{4} \lambda$  y potencia de 3 W.

PUNTO	%	CAMPO	$W_r$	PUNTO	%	CAMPO	$W_r$
A	98.72	348.08	68.103	FJ	97.58	345.02	67.32
E	98.87	349.58	68.206	GJ	97.42	344.46	67.21
F	98.27	347.46	67.79	DJ	97.24	343.82	67.08
G	97.84	345.94	67.49	K	97.36	344.24	67.16
D	97.86	345.94	67.51	EK	97.55	344.95	67.30

I	98.63	348.73	68.04	FK	97.32	344.10	67.13
EI	98.01	346.54	67.61	GK	97.19	343.64	67.05
FI	98.03	346.61	67.613	DK	96.96	342.83	66.88
GI	97.49	344.7	67.25	H	96.33	340.60	66.45
DI	97.43	344.49	67.21	EH	97.54	344.88	67.29
J	97.95	346.33	67.57	FH	97.18	343.60	67.04
EJ	97.77	345.69	67.44	GH	97.20	343.68	67.05

**TABLA 6** ATENUACIÓN PARA PUNTOS DE GROSOR CRANEAL.

**ATENUACIÓN PARA EL PUNTO MÍNIMO** : 1 mm, 99.55% (de su valor inicial)

**ATENUACIÓN PARA EL PUNTO MÁXIMO** : 12 mm, 94.73% (de su valor inicial)

### V.2.3 NORMAS DE SEGURIDAD SOBRE LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN DE MICROONDAS.

Estudios realizados [8] [27] por científicos norteamericanos dejaron como conclusión una normatividad con respecto a la exposición ocupacional a la energía electromagnética en el rango de las microondas. Los valores de exposición permitidos son :

**CAMPO ELÉCTRICO** :  $200 \left[ \frac{V}{m} \right]$

**CAMPO MAGNÉTICO** :  $0.5 \left[ \frac{A}{m} \right]$

**DENSIDAD DE POTENCIA** :  $10 \left[ \frac{mW}{cm^2} \right]$

**RANGO DE FRECUENCIA** : 10 MHz a 100 GHz

**TIEMPO DE EXPOSICIÓN** : 6 min

Los estándares de seguridad equivalentes para la ex URSS no expresan valores para campo eléctrico y magnético.

**DENSIDAD DE POTENCIA** :  $0.01 \left[ \frac{mW}{cm^2} \right]$

**TIEMPO DE EXPOSICIÓN** : 1 DÍA



La diferencia de ideologías entre ambos sistemas económicos influye en la realización de las investigaciones y esta es la causa posible de la diferencia entre las normatividades. Debe notarse que la norma Soviética es mucho más estricta que la norteamericana. Sin embargo, debido a que los científicos norteamericanos no fueron capaces de reproducir las experimentaciones Soviéticas, la norma norteamericana ha sido aceptada por la mayoría de los organismos rectores de las comunicaciones en el mundo.

Observese las tablas de campo eléctrico y densidad de potencia del capítulo III.

Los modelos iniciales de teléfonos celulares, que actualmente se siguen usando (3 W de potencia) sobrepasan por mucho esta norma. Si bien la tendencia es reducir la potencia que emite un teléfono celular las densidades de potencia que provocan modelos con un décimo de potencia aún emiten densidades de potencia considerables pese a estar por debajo de la norma.

La norma norteamericana es utilizada como parámetro en diferentes experimentos que tratan de comprobar los efectos ocasionados por la exposición de energía electromagnética de alta frecuencia.

### **V.3 AUMENTO POTENCIAL DE TEMPERATURA DEBIDO A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS INDUCIDOS EN TEJIDO CEREBRAL.**

A partir de modelos experimentales que intentan reproducir tejidos orgánicos y su comportamiento ante la radiación a alta frecuencia es que se ha podido obtener expresiones matemáticas que modelan los efectos ocasionados dentro del cerebro debido a la presencia de campos radiantes.

Por muy complejos que resulten estos modelos están aún lejos de considerarse exactos debido a los factores prácticamente aleatorios que intervienen en el modelaje de tejidos orgánicos.

Una de estas expresiones matemáticas que involucra factores corporales tales como el fluido sanguíneo es el referido en [28] [29] y [30]. Este modelo es ampliamente aceptado ya que ha podido comprobarse parcialmente en laboratorio [25],[26],[28]-[34].

La cuantificación de un posible aumento de temperatura en un punto específico dentro del cerebro esta invariablemente relacionado con mecanismos de disipación de calor. Cuando se habla de disipación de calor por el cuerpo humano esta se produce principalmente por medio del sudor. Claro está que los órganos no tienen la capacidad de sudar. En los órganos el principal mecanismo de disipación de calor se realiza por convección por causa del fluido sanguíneo.

El modelo matemático que cuantifica un incremento de temperatura a partir de un campo eléctrico incidente es [32] - [34] :

$$\rho C = \frac{\partial T'}{\partial t} = k \nabla^2 T' - V_S (T' - T_0) + Q \quad (96)$$

donde :

$\rho$  : Densidad específica del tejido en  $[\frac{g}{cm^3}]$ .

$C$  : Calor específico del tejido en  $[\frac{cal}{g^\circ C}]$

$k$  : Constante de conducción de calor  $[\frac{cal}{cm s^\circ C}]$

$V_S$ : Producto del flujo y capacidad de calor de la sangre  $[\frac{cal}{cm^3 s^\circ C}]$

$Q$  : Entrada de calor debida al campo electromagnético  $[\frac{cal}{cm^3 s}]$

$T'$ : Temperatura [ $^\circ C$ ]

$T_0$ : Temperatura ambiental de la sangre y tejido [ $^\circ C$ ]

Este problema se examina por medio de la solución de esta ecuación. Un solo experimento no es suficiente para definir todos los parámetros de esta ecuación. Uno de estos experimentos previos consiste en la creación de un modelo esférico que simula a las diferentes características de la cabeza humana. Consiste en varias esferas concéntricas (una por cada medio de propagación) la cual es mantenida a una temperatura ambiente constante. La esfera contiene un líquido compuesto de tal forma que sus características electromagnéticas son semejantes a las de los tejidos de la cabeza humana.

Este modelo es expuesto a la energía electromagnética y por medio de termopares insertados en lugares precisos estereotóxicamente se determinan puntos de máxima temperatura (*Hot spot*). De esta manera se obtienen dos parámetros muy importantes :

- 1) El radio de la esfera donde se localiza el punto de mayor calentamiento.
- 2) La razón de absorción de energía.

Paralelamente se le dá un tratamiento matemático a la ecuación.

La ec. (96) se transforma en :

$$\mu \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla^2 T - \lambda T + Q \quad (97)$$

donde :

$$\mu = \frac{\rho C}{k}, \quad \lambda = \frac{V_s}{k}, \quad Q = \frac{Q_0}{k} \quad (98)$$

Ya que se trata de una ecuación diferencial se resolverá para su estado estable.

$$\frac{dT}{dt} = 0 \quad (99)$$

$$\nabla^2 T - \lambda T = -Q \quad (100)$$

$$Q = \frac{Q_0}{k} \quad R \leq A \quad (101)$$

$$Q = 0 \quad R > A \quad (102)$$

donde :

**A** : Radio de la esfera [m]

**R** : Distancia al punto de máximo calentamiento (PMC)

Si  $T_1$  es la solución para  $R \leq A$  y  $T_2$  para  $R > A$ , que son las condiciones de frontera y si se considera medios uniformes y el coeficiente de conducción  $k$  es el mismo en ambas regiones :

$$\text{en } R \leq A \quad T_1 = T_2, \quad \frac{\partial T_1}{\partial R} = \frac{\partial T_2}{\partial R}$$

$$\text{en } R = \infty \quad T = 0 \quad (103)$$

Las soluciones a estas condiciones son :

$$T_1 = \frac{Q}{\lambda} \left[ 1 - (\rho+1) e^{-\rho} \frac{\text{Senh}\sqrt{\lambda R}}{\sqrt{\lambda R}} \right] \quad R \leq A \quad (104)$$

$$T_2 = \frac{Q}{2\lambda} \left[ (\rho-1) e^{\rho} + (\rho+1) e^{-\rho} \right] \frac{e^{-\sqrt{\lambda R}}}{\sqrt{\lambda R}} \quad R > A \quad (105)$$

donde :

$$\rho = \sqrt{\lambda A}$$

Las condiciones típicas en el cerebro son :

$$k = 0.001 \left[ \frac{\text{cal}}{\text{cm s}^\circ \text{C}} \right]$$

$$\rho C = 1 \left[ \frac{\text{cal}}{\text{cm}^3 \cdot \text{C}} \right]$$

$$V_s = 0.00186 \left[ \frac{\text{cal}}{\text{cm}^3 \text{ s}^\circ \text{C}} \right] \quad (\text{promedio del flujo de sangre para el hombre})$$

$$\lambda = 1.85 \left[ \frac{1}{\text{cm}^2} \right]$$

$$\mu = 1000 \left[ \frac{\text{s}}{\text{cm}^2} \right]$$

Se ha demostrado experimentalmente que para una esfera de radio igual a 5 cm se obtiene un PMC a un radio de 1 cm trabajando a 1000 MHz.

Si bien este trabajo ha obtenido resultados a una frecuencia de 890 MHz tomaremos el ejemplo antes mencionado para mostrar el posible incremento de temperatura confiando en que la diferencia de frecuencias no ofrezca resultados muy diferentes.

En el trabajo realizado se encontró que el material que simulaba a los tejidos orgánicos presenta una razón de absorción de energía igual a:

$$N.D.A.C. = 1 \quad \left[ \frac{1}{cm} \right]$$

Donde :

N.D.A.C. es al potencia absorbida por  $cm^3$  sobre la densidad de potencia incidente.

La densidad de potencia incidente es  $10 \left[ \frac{mW}{cm^2} \right]$  que corresponde a la norma establecida. De tal forma utilizando el equivalente mecánico del calor :

$$Q = 2.4 \times 10^{-3} \quad \left[ \frac{cal}{cm^3 \cdot s} \right]$$

$$q = 2.4 \quad \left[ \frac{^{\circ}C}{cm^2} \right]$$

La variación de la temperatura en función del radio  $R$  se grafica en la siguiente figura (5.3) :

En esta figura se puede obtener el aumento de temperatura en función de la irrigación sanguínea.

$$T_{MAX} = \frac{q}{\lambda} [1 - (\sqrt{\lambda A + 1}) e^{-\sqrt{\lambda A}}]$$

Esta expresión entrega la máxima temperatura en función del fluido sanguíneo, es decir, si la sangre aumenta o disminuye la temperatura.

La solución para el caso variante en el tiempo se obtiene por la transformada de Fourier de (95).

$$\nabla^2 T_M - K^2 T_M = -q_M \quad (106)$$

Donde :

$$K^2 = \lambda + i\omega\mu$$

$T_w$  y  $q_w$  son la transformada de Fourier de  $T$  y  $q$ .

En la figura (5.4) se muestra la evolución de la temperatura en función del radio y del tiempo.

Concluyendo, se puede observar que el incremento máximo de temperatura obtenido fue de  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El experimento reporta mediciones de aumento de temperatura en cerebros de gatos de hasta  $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Tomando en cuenta las cantidades bajo las cuales se realizó este experimento y comparando las magnitudes de la energía electromagnética calculada para el teléfono celular (que sobrepasan por mucho las normas establecidas), es lógico aseverar que un teléfono celular provoca aumentos más significativos.

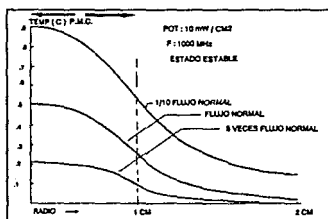


FIG 5.3 Variación de la temperatura en estado estable.

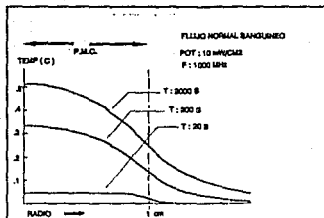


FIG 5.4 Variación de la temperatura en estado dinámico.

## **CAPÍTULO VI**

### **COMPROBACIÓN DE LOS POSIBLES**

### **DAÑOS OCASIONADOS POR LA**

### **INCIDENCIA DE MICROONDAS.**



La información recopilada en este capítulo se obtuvo de publicaciones de reconocida calidad y seriedad científica. En ellas se detallan experimentos y se obtienen resultados que en la mayoría pueden explicar los efectos que se han encontrado en esta investigación.

En la naval de los E.U.A. se han preocupado por proteger a su personal de los efectos dañinos a la salud que producen los equipos de comunicación, comando y control, así como los de vigilancia control de fuego y navegación que trabajan a frecuencias muy altas (del rango de las microondas).

En un esfuerzo por garantizar la seguridad del personal, la Naval maneja limitaciones con respecto al tiempo de exposición a las radiaciones de aquellos que se encuentran a cargo de la operación y mantenimiento del equipo.

El nivel promedio máximo de densidad de potencia permisible es de  $10 \text{ mW/cm}^2$  para exposición continua del cuerpo humano, y un nivel energía incidente que no exceda los  $300 \text{ mJ/cm}^2/30 \text{ s}$  para exposición intermitente. Estos valores son medidos y comparados abordo del barco. Los lugares donde se exceden estos valores son consideradas zonas de peligro.

Algunas técnicas usadas para eliminar o reducir los niveles de la radiación de RF son:

- 1) Montar las antenas transmisoras muy arriba del nivel de la tripulación.
- 2) Utilizar control de emisiones.
- 3) Restringir o limitar el acceso de la tripulación a lugares de alto riesgo de radiación por RF.
- 4) Usar áreas de escudo (con metales de protección).

En los casos de que se tenga que trabajar en las cámaras del radar se deben emplear trajes especiales y gafas [35].

En 1953, la ex Unión Soviética realizó estudios sistemáticamente de efectos biológicos de microondas y la necesidad de condiciones de higiene cuando trabajan con generadores de microondas se estableció el Instituto de Higiene Industrial de Enfermedades Ocupacionales, Academia de Ciencias Médicas de la URSS, Moscú. Un instituto similar fue establecido en Checoslovaquia en 1960.

El criterio básico para la determinación del valor máximo admisible de irradiación de microondas es la reacción del organismo a pequeñas intensidades a los campos y la acumulación de efectos biológicos si este es crónico. La idea es que la selección del valor máximo admisible puede no sólo garantizar protección contra un posible daño al organismo, pero puede también excluir diversas demandas subjetivas tales como fatiga excesiva, irradiación, dolor de cabeza bajo larga duración en la exposición en campos de microondas. Recientes experimentos en animales

expuestos a campos crónicos en la banda VHF de  $1\text{mW/cm}^2$  tiene efectos de cambios funcionales y morfológicos (cambios en el sistema nervioso central e hipotención).

Sobre las bases de los datos mencionados y por la aplicación de ciertos coeficientes de protección respecto a las diferencias individuales entre personas un valor de  $10 \mu\text{W/cm}^2$  por trabajador diario fue establecido en la URSS como el valor máximo admisible de irradiación de microondas. Si un trabajo esencial tiene que ser concretado dentro de un ambiente con una alta densidad de potencia el período de exposición es limitado a 2 h/día a valores de 0.01- 0.1  $\text{mW/cm}^2$  y a un máximo de 15-20 min/día a valores arriba de  $1\text{mW/cm}^2$  [36],[37].

En años recientes tiende a reconocerse que energía moduladora de baja densidad de potencia pueden afectar las funciones de vida de organismos superiores.

En una revisión analítica publicada hace 28 años el autor considera críticos los efectos que puede producirle energía de RF a un organismo vivo particularmente de funciones nerviosas o de comportamiento.

La razón para la diferencia entre la norma soviética y la norteamericana es que son diferentes en tradiciones biológicas. Los investigadores Americanos están orientados hacia observar efectos a través del microscopio. Los Soviéticos tienden a observar los efectos en la modificación del comportamiento como reflejo en función del sistema nervioso.

Los tejidos biológicos vivos pueden ser intencionalmente expuestos a energía electromagnética para propósitos de terapia o diagnóstico, o en conexión con estudios sobre la conducta de sistemas vivos bajo la influencia de campos electromagnéticos. Los tejidos pueden ser también accidentalmente expuestos a fuentes electromagnéticas tales como radares, horno de microondas, equipo industrial de microondas y aparatos diatérmicos [38].

Algunos estudios sugieren que no todos los efectos que los campos de microondas que pueden producir, se deben por el aumento de la temperatura, sino que estos interactúan de alguna manera con el metabolismo intercelular y/o el proceso genético.

En una publicación que tiene el objeto [39] de evaluar el progreso en el área de microondas inducidas sobre el sistema neuroendócrino cita que a ciertas frecuencias y altas potencias afectan la actividad reguladora e integradora en órgano como el hipotálamo y la hipófisis. Estos órganos secretan hormonas que intervienen en el proceso de irritabilidad, es decir, la capacidad de respuesta del organismo a un estímulo. Sin embargo un exceso de producción en la producción de hormonas produce un fenómeno de excitabilidad, conocido por su nombre comercial : *Stress*.

Este puede ser un efecto poco importante comparado con el posible provocado si se afecta la producción de hormonas tales como la del crecimiento.

Se citan experimentos con ratas jóvenes de 8 a 12 semanas de edad expuestas a 10 mW

/  $\text{cm}^2$  durante 60 min a 2.45 GHz, se descubrió una baja en la producción de la hormona del crecimiento.

En otro tipo de experimentos [40], se le colocó a varias ratas frente a una guía de onda (orientadas de tal forma que recibía la máxima componente de campo eléctrico) a una densidad de frecuencia de  $150 \text{ mW} / \text{cm}^2$  a 985 MHz. Las ratas presentaron convulsiones al cabo de 9 min. Se hizo variar la frecuencia y el tiempo que transcurrió antes de presentar convulsión varió de entre 3260 a 160 s para 710 a 1700 MHz respectivamente.

En un experimento más [41] se irradió a una rata utilizando una cavidad resonante con una señal por 30 min a 918 MHz en niveles de  $10$  a  $40 \text{ mW} / \text{cm}^2$ . Se observó que el animal presentó movimientos lentos y difíciles. Al hacer nadar al animal este se ahogó.

Como un resultado de experimentos de comportamiento con la inducción de cataratas en los ojos de los conejos expuestos a 2450 MHz de radiación, sugerimos en 1958 que "la cataractogénesis efecto de la radiación de microondas a esta frecuencia no es preliminarmente un efecto térmico".

También se ha sujeto a embriones de pollo a las 48-h de desarrollo a radiación directa a la cascara de 2450 MHz de una antena de dipolo con reflector. Después de 4.5 min de irradiación a  $400 \text{ mW}/\text{cm}^2$ , 7 a 8.5 min a  $280 \text{ mW}/\text{cm}^2$ , o 13 a 14 min a  $200 \text{ mW}/\text{cm}^2$ , el huevo regresó a la incubadora a  $39^\circ\text{C}$  por otras 48 h. El embrión entonces fue estudiado a las 96 h de estado de desarrollo. De 183 embriones así tratados, 16 continúan su desarrollo normal, 48 murieron y 119 tuvieron un desarrollo anormal. En general las anomalías aparecieron por ser el resultado de inhibición del crecimiento y/o diferenciación, así que muchos embriones aparentaron tener 72 h mientras que deberían tener 96 h. En muchos casos, otra diferencia de el cerebro, ojos, brote de alas y corazón tendieron a ser inhibidos. Desarrollo de miembros traseros, cola y alantoides fueron suprimidos [42].

No es posible extrapolar con exactitud efectos producidos en animales a seres humanos, ya que las características intrínsecas y evolutivas de ambos son diferentes, sin embargo la fisiología es muy parecida; por esta razón se permite sospechar posibles efectos similares en el humano [27].

#### DENSIDAD DE POTENCIA

#### EFECTOS

$$\frac{W}{\text{cm}^2}$$

1

Cataratas en ojos de perros después de 3 a 5 h de exposición.

300

Incremento de presión sanguínea; después de 20 - 50 min presentó decrecimiento. (gatos, perros, conejos)

	100	(M) Incremento en la presión sanguínea con subsecuente decremento en caso de exposición crónica.
$\frac{mW}{cm^2}$	10	(M) Cambios en los reflejos condicionados, cambios morfológicos en la corteza cerebral(L). Cambios en la coagulación de la sangre.
	5	En múltiple exposición cambios en la presión sanguínea. Obscurecimiento de los cristalinios.
	3	(M) Decrecimiento de la presión sanguínea, tendencia a aceleración del pulso, fluctuación del volumen sanguíneo del corazón.
	1	(M) Desórdenes y desadaptación del sistema inmunológico.
$\frac{\mu W}{cm^2}$	400	Depresión de secreciones en perros
	300	(L,M) Algunos cambios en el sistema nervioso en caso de exposición por 5 a 10 años.
	20	Tendencia decremental de la presión arterial.

\*(L) Densidad de potencia considerada pequeña por el autor.

\*(M) Datos aplicados a animales y hombres.

Una característica de las microondas es que producen calentamiento en tejidos biológicos; a esta se le emplea en el tratamiento de cáncer, en una nueva técnica llamada *Hipotermia Diferencial*.

En esta técnica una diferencia de temperaturas de alrededor de 25°C es mantenida entre el tumor y el cuerpo.

Para tumores de gran tamaño, la técnica fue implementada con el equipo de la banda S y para tumores pequeños fue instrumentado con el equipo de la banda X.

El objetivo de la técnica de la hipotermia diferencial en el tratamiento de cáncer es el incremento de la susceptibilidad de las células a el agente quimioterapéutico (droga anticancer) y al semejante decrecimiento de los efectos de la droga administrada en otras partes del cuerpo.

Preliminarmente se estima la absorción de energía por el material biológico a varias frecuencias. Estos resultados proveen datos que pueden ser usados para determinar la frecuencia deseada y el rango de niveles de potencia dados para un material biológico. La medida de la energía absorbida en un material arbitrario puede ser encontrada para considerar la naturaleza

del decaimiento de un campo electromagnético después de ser emitido.

La densidad de potencia de radiación fue buena abajo de los  $10 \text{ mW/cm}^2$  a todas las distancias mayores de 25.4 cm [36].

Efecto electrofónico (simulación de sensación en el sistema auditivo con corriente eléctrica). Algunos investigadores intentaron demostrar que se podía producir este efecto en el oído de un gato al cual se le dañó quirúrgica y químicamente el cóclea; sin embargo, este trabajo aún no ha sido terminado por lo cual no existen conclusiones.

Bourgeois exploró los efectos de la exposición a radiación de RF sobre el umbral auditivo humano. 36 varones voluntarios entre 18 y 25 años de edad poseedores de un oído normal fueron expuestos a baja intensidad de radiación a 1 GHz durante 2 min previos a y durante la presentación de el estímulo auditivo. El uso tres condiciones de modulación, 400 Hz, 1000 Hz, y sin modulación. El umbral para 500 Hz, 2000 Hz y 5000 Hz de energía acústica fueron determinados. Los análisis revelaron que la exposición de radiación de RF resultaron un significativo decremento en el umbral auditivo. El cambio del umbral fue encontrado a ser una función del tipo de modulación de energía de RF usada desde el umbral auditivo fue bajo significativamente sobre la exposición a la moduladora de 1000 Hz de radiación de RF que por la exposición a 400 Hz de moduladora de radiación de RF.

Se ha experimentado en ranas el comprobar si el corazón es sensible a la energía de RF. Estudiando la función de aislar el corazón de una rana quitando de este su sistema regulador natural neuronal y hormonal, usando pulsos modulados de energía de RF a 1.425 GHz que fueron sincronizados con la seleccionada porción del ciclo del corazón encontramos que el corazón si fue sensible a la energía de RF [43].

Se pueden producir efectos de calentamiento a nivel molecular; sin embargo, no toda la absorción de energía se transforma en calentamiento, todo depende de una constante de "proporcionalidad" la cual puede variar con la frecuencia para los efectos no térmicos.

Los efectos no térmicos pueden ocurrir y ocurren con la absorción de radiación.

Un simple Cuántum de infrarrojo o baja frecuencia tiene también una pequeña energía para romper una unión química ordinaria, una molécula polarizada, individualmente puede repetidamente absorber Cuántums regularmente de una simple frecuencia, particularmente debido a la interrelación intermolecular en tejidos biológicos.

## CAPÍTULO VII

## CONCLUSIONES

En el desarrollo de este estudio se ha logrado llegar a establecer que los teléfonos celulares empleados actualmente en nuestro país, son capaces de proporcionar una densidad de potencia lo suficientemente alta para llegar a provocar un aumento en la temperatura de los tejidos cerebrales los cuales llegan a ser dañados.

Por lo anterior, se debe tomar en cuenta como parte integrante en el desarrollo de un proyecto, las posibles afectaciones al usuario y al medio ambiente, ya que con el avance de la tecnología se utilizan parámetros con los que nunca antes se había experimentado.

Una vez que han sido desarrollados sistemas y productos comerciales y antes de ser lanzados al mercado se deben aplicar pruebas exhaustivas para comprobar que no existe ninguna afectación y de la misma forma comprobar que cumple con normas ya establecidas si es que éstas existen.

En el caso de que no existan deberán desarrollarse normas apegadas a una realidad propia. De esta forma se evita que tecnología obsoleta o desechada por otros países sea aplicada en el nuestro.

Cuando sea necesario importar tecnología debe ser analizada y aprobada por personas con amplios conocimientos en las disciplinas que intervienen en las mismas. Es decir, no sólo tomar en cuenta el aspecto económico, sino también a los que atañen a las ciencias médicas y a la Ingeniería.

A lo largo de este trabajo de investigación se encontraron opciones para realizar experimentos semejantes a los citados en la literatura consultada, pero desarrollados de tal forma que se ajusten exactamente a los objetivos deseados.

Se puede estar seguro que existen las suficientes bases científicas para hacer demostraciones que entreguen resultados exitosos. La profundidad y la seriedad que implica profundizar en este tema implica trabajar con ayuda de otras disciplinas, ya que como se pudo observar, la solución de este tipo de problemas va más allá de la disciplina de la Ingeniería.

## CAPÍTULO VIII

### BIBLIOGRAFÍA

---



- [1] John D Kraus; Electromagnetimo; Tercera Edición; Ed. Mc Graw Hill; México 1986.
- [2] Gran Sopena; Tomo XIV; España 1973.
- [3] Enciclopedia Bibliografica Universal; Vol. 3; Ed. Provexa; México 1982.
- [4] Friedlmann Gerd, Bücheler, Thum; Tomografía Computarizada del Cuerpo Humano; Ed. Salvat Editores.
- [5] Radio-Grafica; N. 207; Enero 15, 1991.
- [6] Boletín Interno de Philips de México; Noviembre-Diciembre, 1967.
- [7] Vuillard E. y Taboury J.; Guía Práctica de Ecografía; Primera edición; Ed. Masson; España 1984.
- [8] Samuel Y. Liao; Microwave Device and Circuits; Tercera edición; Ed. Prentice Hall; U.S.A., 1990.
- [9] García Blanco Jesus; Efecto de las Radiaciones Electromagnéticas en el Organismo Humano; Rev. Mundo Electrónico; N. 116; 1982.
- [10] Balanis A. Constantine; Antenna Theory; Primera edición; Ed. Wiley; U.S.A., 1982.
- [11] John D. Kraus; Antennas; Second Edition; Ed. Mc Graw Hill; U.S.A., 1988.
- [12] Hsu Hwei P.; Analisis Vectorial; Primera edición; Ed. Addison Wesley Iberoamericana; U.S.A., 1987.
- [13] Reitz John R., Milford F. J., Christy R. W.; Fundamentos de la Teoría Electromagnética; Tercera edición; Ed. Fondo Educativo Interamericano; México, 1984.
- [14] Lara Rodríguez Domingo, Muñoz R. D., Rosas G. S.; Sistemas de Comunicación Movil Una Introducción; Primera edición; Ed. Alfaomega; México, 1992.
- [15] Revista del Consumidor; N. 180, Febrero 1992.
- [16] Publicidad Proporcionada por TELCEL.
- [17] Quiroz Fernando; Anatomía Humana; Vol. II; Primera edición; Ed. Portua; México, 1973.
- [18] Romanes G. J., Cunningham; Tratado de Anatomía; Doceava edición; Ed. Interamericana-Mc Graw Hill; Barcelona 1990.
- [19] Pons P. A.; Enciclopedia Médica del Hogar; Ed. Argos-Vergara; México, 1980.
- [20] Johnston, Davies, Davies, et. al. Gray; Anatomía Descriptiva y aplicada; trigésima segunda edición; Londres, 1958.
- [21] Reverte C.; Antropología Médica I; Primera edición; Ed. Rueda; Madrid, 1981.
- [22] Guyton, A.C.; Fisiología Humana; Sexta edición; Ed. Interamericana; México, 1987.
- [23] Carpenter Malcomb; Neuro Anatomía Humana Ed. El Ateneo; México 1990.
- [24] Johnk Carl T.A.; Teoría Electromagnética Principios y aplicaciones; Primera edición; Ed. Limusa; México, 1988.
- [25] Schwan Herman R., Kenett F.; RF-Field Interactions with Biological System: Electrical Properties and Biophysical Mechanisms; Proceeding of the IEEE; Vol. 68; No. 1; January, 1980.
- [26] Johnson Curtis C., Guy A. W.; Nonionizing Electromagnetic Wave Effects in Biological Materials and System; Proceedings of the IEEE; Vol. 60; N. 6; June, 1972.
- [27] Mcreed Donald; Soviet and Easter European Research on Biological Effects of Microwave Radiation; Proceeding of the IEEE; Vol. 68; January, 1980.
- [28] Lin James C., Guy A. W., Curtis C., Johnson C.; Power Deposition in a Spherical Model of man Exposed to 1-20 MHz Electromagnetic Fields; IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques; Vol. MTT-21; N. 12; December, 1973.
- [29] Shapiro Alan, Lutonirsky R., Yura T.H.; Induced Fields and Heating with a Cranial Structure Irradiated by and Electromagnetic Plane wave; IEEE Transactions on Microwave

- Theory and Techniques; February, 1971.
- [30] Kritikos H. N.; The Distributions of Heating Potential Inside Lossy Spheres; IEEE Transactions on Biomedical Engineering; Vol. BME-22; N. 6; November, 1975.
- [31] Guy Arthur W.; Analyses of Electromagnetic Fields Induced in Biological Tissues by Thermographic Studies on Equivalent Models; IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques; Vol. MTT-19; N. 2; February, 1971.
- [32] Kritikos H. N., Schwan H. P.; Potential Temperature Rise Induced by Electromagnetic Field in Brain Tissues; IEEE Transactions on Biomedical Engineering; Vol. BME 26; N. 1; January, 1979.
- [33] Kritikos H. N., Schwan H. P.; Hot Spots Generated in Conducting Spheres by Electromagnetic waves and Biological Implications; IEEE Transactions on Biomedical Engineering; Vol. BME 26; N. 1; January, 1979.
- [34] Kritikos H. N., Schwan H. P.; Formation of Hot Spots in Multilayer Spheres; IEEE Transactions on Biomedical Engineering; March, 1979.
- [35] Zorach R. Glaser, Glenn M. H.; Determination and Elimination of Hazardous Microwave Fields Aboard Naval Ships; IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques; Vol. MTT-19; N. 2; February, 1971.
- [36] Zimmer Robert P., Ecker H. A.; Selective Electromagnetic Heating of Tumors in Animals in Deep Hypothermia; IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques; Vol. MTT-19; N. 2; February, 1971.
- [37] Karel Marha; Microwave Radiation Safety Standards in Eastern Europe; IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques; Vol. MTT-19; N. 2; February, 1971.
- [38] Guy Arthur W.; Analyses of Electromagnetic Fields Induced in Biological Tissues by Thermographic Studies on Equivalent Phantom Models; IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques; Vol. MTT-19; N. 2; February, 1971.
- [39] Lu Shun-Tsu, Lotz G.; Advances in Microwave-Induced Neuroendocrine Effects: The Concept of Stress; Proceeding of IEEE; Vol. 68; N. 1; January, 1980.
- [40] Gandhi; State of the Knowledge for Electromagnetic Absorbed dose in man and animals; Proceeding of the IEEE; Vol. 68; N. 1; January, 1980.
- [41] Michaelson; Microwave Biological Effects: on Overvies; Proceeding of the IEEE; Vol. 68; N. 1; Jan. 1980.
- [42] Russell L. Carpenter, Livstone E. M.; Evidence for Nonthermal Effects of Microwave Radiation. Abnormal Development of Irradiated Insect Pupae; IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques; Vol. MTT 19; N. 2; February, 1971.
- [43] Allan H. Frey; Biological Function as Influenced by Low-Power Modulated RF Energy; IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques; Vol. MTT 19. N. 2; February, 1971.