COMISIÓN NACIONAL
DE COMUNICACIONES

**Ministerio de Salud**
**Resolución 202/95**

Buenos Aires, 6/6/95

VISTO el Decreto N° 1269 del 20 de julio de 1992 por el que se aprueban las Políticas Sustantivas e Instrumentales de Salud; y

CONSIDERANDO:

Que dichas políticas tienen por objeto lograr la plena vigencia del DERECHO A LA SALUD para la población, tendiente a alcanzar la meta de la SALUD PARA TODOS en el menor tiempo posible mediante la implementación y desarrollo de un sistema basado en criterios de EQUIDAD, SOLIDARIDAD, EFICACIA, EFICIENCIA Y CALIDAD.

Que en el marco de dichas políticas el MINISTERIO DE SALUD Y ACCION SOCIAL creó el PROGRAMA NACIONAL DE GARANTIA DE CALIDAD DE LA ATENCION MEDICA, en el que se agrupan un conjunto de actividades que intervienen en el proceso global destinado a asegurar dicho nivel de calidad y que hacen a la habilitación y categorización de los Establecimientos Asistenciales, al control del ejercicio profesional del personal que integra el equipo de salud, a la fiscalización y el control sanitario, la evaluación de calidad de la atención médica y la acreditación de los servicios de salud.

Que el desarrollo de la tecnología del electromagnetismo con su variada aplicación de las radiofrecuencias y microondas abarca tanto el campo de los sistemas de comunicaciones y los usos industriales, como el ámbito de la medicina en permanente desarrollo diagnóstico y terapéutico.

Que los efectos biológicos de las radiaciones no ionizantes, radiofrecuencias y microondas con frecuencias entre los 100 KHz y los 300 GHz han sido ampliamente estudiados y requieren el establecimiento de Estándares Nacionales de Seguridad para la exposición a las mismas.

Que en nuestro país, la Secretaría de Salud del Ministerio de Salud y Acción Social, Subsecretaría de Atención Médica y Fiscalización Sanitaria, Dirección Nacional de Regulación y Control, Dirección de Control del Ejercicio Profesional y de Establecimientos Sanitarios, Departamento Equipamiento Médico Sanitario (Radiofísica Sanitaria), conjuntamente con la Secretaría de Estado de Ciencia y Tecnología (Presidencia de la Nación) - CONICET, con el apoyo de otras instituciones científicas afines tras quince años de estudios e investigación realizados han elaborado las Publicaciones: "Manual de estándares de seguridad para la exposición a radiofrecuencias y microondas comprendidas entre 100 KHz y 300 GHz" y "Radiación de Radiofrecuencias: consideraciones biofísicas, biomédicas y criterios para el establecimiento de estándares de exposición", Volúmenes I y II respectivamente, de Prospección de Radiación electromagnética ambiental no ionizante.

Que para ello resulta necesario contar con normas de organización y funcionamiento, manuales de procedimientos y normas de atención médica, cuya elaboración se encuentra también contenida en el citado Programa Nacional y en la que participan Entidades Académicas Universitarias y Científicas de profesionales y prestadores de servicios asegurando de esa forma una participación pluralista con experiencia y rigor científico.

COMISIÓN NACIONAL
DE COMUNICACIONES

Que el grupo de funcionarios de la Dirección Nacional de Regulación y Control ha evaluado y compatibilizado el documento aportado por la SEC y T-CONICET y la Dirección Nacional de Regulación y Control, Dirección de Control del Ejercicio Profesional y de Establecimientos Sanitarios, Departamento Equipamiento Médico Sanitario (Radiofísica Sanitaria).

Que el mismo ha sido analizado por el Consejo Permanente constituido por la Resolución N° 149 del 1° de junio de 1993 del Registro del MINISTERIO DE SALUD Y ACCION SOCIAL.

Que el Coordinador General del Programa Nacional de Garantía de Calidad de la Atención Médica en base a los informes producidos, aconseja la aprobación del citado cuerpo normativo.

Que la DIRECCION GENERAL DE ASUNTOS JURIDICOS ha tomado la intervención de su competencia.

Por ello,

EL MINISTERIO
DE SALUD Y ACCION SOCIAL
RESUELVE:

**Artículo 1°.-** Apruébase el Estándar Nacional de Seguridad para la exposición a radiofrecuencias comprendidas entre 100 KHz y 300 GHz, conforme lo establecido en el "Manual de estándares de seguridad para la exposición a radiofrecuencias comprendidas entre 100 KHz y 300 GHz" y "Radiación de radiofrecuencias: consideraciones biofísicas, biomédicas y criterios para el establecimiento de estándares de exposición", Volúmenes I y II respectivamente de Prospección de radiación electromagnética ambiental no ionizante, publicaciones encuadernadas por la Imprenta del Congreso de la Nación, que se hallan en poder de la Secretaría de Salud del Ministerio de Salud y Acción Social y no pueden adjuntarse como anexos de la presente debido a su voluminosidad.

**Art. 2°.-** Incorpórase el Estándar Nacional de Seguridad para la exposición a radiofrecuencias comprendidas entre 100 KHz y 300 GHz, al Programa Nacional de Garantía de Calidad de la Atención Médica.

**Art. 3°.-** Agradecer a las instituciones participantes:
- CECyT CONICET.
- Estado Mayor General de la Fuerza Aérea.
- Dirección General de Defensa Nacional, Secretaría de Comunicaciones, del Ex Ministerio de Obras y Servicios Públicos.
- Comisiones de Ciencia y Tecnología de las Cámaras de Diputados y Senadores del Congreso de la Nación.
- Facultades de Ingeniería y Ciencias de la Universidad de Salta.
- Estado Mayor General del Ejército Uruguayo, República Oriental del Uruguay y muchas otras instituciones científico - técnicas argentinas y extranjeras por la importante colaboración brindada a este MINISTERIO DE SALUD Y ACCION SOCIAL.

**Art. 4°.-** Regístrese, Comuníquese y Archívese.

COMISIÓN NACIONAL
DE COMUNICACIONES

**Normativa relacionada: 530/00 SC y 3690/04 SC**

**Texto digitalizado y revisado de acuerdo al original, por el personal del Centro de Información Técnica de la Comisión Nacional de Comunicaciones.**

# Prospección de radiación electromagnética ambiental no Ionizante

## Volumen I

## Manual de estándares de seguridad para la exposición a radiofrecuencias comprendidas entre 100 KHz y 300 GHz

**Texto digitalizado y revisado del original por el personal del Centro de Información Técnica de la Comisión Nacional de Comunicaciones**


ADOLFO PORTELA
Investigador Superior
del Consejo Nacional de Investigaciones
Científicas y Técnicas, Centro de Estudios Comparados (CEC)
Asesor Científico del Estado Mayor General de la Fuerza Aérea

JORGE JUAN SKVARCA
Jefe del Departamento de Radiofísica Sanitaria
Dirección Nacional de Calidad Ambiental
Secretaría de Salud
Ministerio de Salud y Acción Social

EDGARDO B. MATUTE BRAVO
Director General de Defensa Nacional
Secretaría de Comunicaciones
Ministerio de Obras y Servicios Públicos

LUIS A. LOUREIRO
Estado Mayor General del Ejército Uruguayo,
República Oriental del Uruguay
Investigador Visitante, Centro de Estudios Comparados (CEC)



DIRECCION NACIONAL DE CALIDAD AMBIENTAL
SECRETARIA DE SALUD
MINISTERIO DE SALUD Y ACCION SOCIAL

## PROLOGO

La exposición de la población en general causada por fuentes artificiales de radiaciones de radiofrecuencia (RF) y microondas (MO) excede hoy día considerablemente la provocada por fuentes naturales. El vertiginoso incremento de esas fuentes y el aumento en sus potencias probablemente llegue a producir una "contaminación electromagnética".

Entre las principales fuentes artificiales se incluyen las instalaciones de radar, emisoras radiales y de TV, equipos de telecomunicaciones, etcétera. Por otra parte los equipos de uso industrial, comercial y doméstico, en particular aquellos en los que la energía se utiliza para producir calor, también implican un riesgo potencial.

Los problemas de contaminación varían entre la simple interferencia electromagnética, como por ejemplo la que afecta la operación de un servicio de salud, y los riesgos directos para la salud de las personas expuestas a tales radiaciones.

Hoy día ya se dispone de pruebas, aunque escasas, de los efectos en el hombre debido a exposición excesiva, aguda y accidental. A fin de obtener mayor información deben incrementarse investigaciones epidemiológicas serias.

Estas últimas, junto con las consideraciones teóricas y estudios con animales de experimentación, constituyen la base para establecer normas para la protección de la salud.

En algunos países dichas normas han sido modificadas recientemente y existe una tendencia a adoptar límites de exposición menos dispares en comparación con las propuestas hace 15 años.

Nuestro país, a través de la Dirección Nacional de Calidad Ambiental, de la Secretaría de Salud, preparó en base a estudios e investigaciones realizadas por el Instituto de Investigaciones Biofísicas (INDEBIO) como también otros organismos e instituciones internacionales, *Prospección de radiación electromagnética ambiental no ionizante*. Su primera parte, el Manual de estándares de seguridad para la exposición a radiofrecuencias comprendidas entre 100 KHz y 300 GHz, propone los límites de exposición ocupacional y a la población en general.

En su segunda parte se proponen también normas de seguridad en telecomunicaciones y radar con ejemplos prácticos de medición y cálculo. En la misma se exponen consideraciones biofísicas y criterios tenidos en cuenta en esta publicación.

La Dirección Nacional de Calidad Ambiental agradece a todos los colaboradores de esta publicación al mismo tiempo que subraya la necesidad de continuar y perfeccionar la labor iniciada en este campo.

MINISTERIO DE SALUD Y ACCION SOCIAL
SECRETARIA DE SALUD
DIRECCION NACIONAL DE CALIDAD AMBIENTAL
AÑO 1988

## PLANTEO DE LA OBRA

Los riesgos asociados con la tecnología nuclear o de radiación X, fueron estudiados con antelación a su aplicación general (y siguen estudiándose y evaluándose) posibilitando el establecimiento y la revisión de normas de seguridad para el personal que trabaja en instalaciones; y para el medio ambiental, con actitud sanitaria preventiva. Esta labor permanente de investigación en el área de los bioefectos de la radiación electromagnética ionizante (rayos X y gamma) permitió reducir los riesgos, y por lo tanto aumentar la utilización de dispositivos nucleares generadores de energía, así como también de aquellos derivados de la tecnología de radiación X (medicina, industria)

El desarrollo de la tecnología del electromagnetismo, con su rápida utilización de la energía de radiofrecuencias (incluye el ámbito de microondas) en sistemas de comunicaciones, radares, industria del moldeado de plásticos, hornos domésticos, medicina (diatermia), instalaciones de uso civil y militar, etcétera, ha provocado un nuevo tipo potencial de contaminante ambiental, de incidencia creciente.

Muchos son los países -incluyendo el nuestro- que han dictado reglamentaciones contra todo aquello que provoque contaminación ambiental: desde establecer niveles permisibles -cuando es inevitable el uso de determinados medios- hasta la desaparición del elemento agresivo productor.

Los efectos de las radiaciones electromagnéticas no ionizantes de radiofrecuencias son motivo de preocupación, ya que sus manifestaciones tienen un determinado espectro de daños, cubriendo desde lesiones leves y temporarias hasta graves y permanentes (crónicas e irreversibles); todo depende de la interacción entre los sistemas biológicos y las radiaciones, de acuerdo a sus características.

Los países que poseen alta tecnología han manifestado su preocupación y han alertado a los demás, en etapa anterior de desarrollo, porque consideraron que este tipo de contaminación electromagnética puede constituir una real amenaza, aunque de menor grado que la contaminación químico industrial que afecta actualmente a los grandes centros fabriles del mundo.

El problema de la dosimetría es muchísimo más complicado en el caso de la radiación electromagnética no ionizante (radiofrecuencias) que en el de la radiación electromagnética ionizante (X, gamma). En consecuencia, hemos trabajado en el laboratorio, para la obtención de información cuantitativa sobre la distribución de campos eléctricos (E) y magnéticos (H), y de la energía absorbida en sistemas biológicos, en estrecha colaboración con centros de investigación internacionales (período 1972 - 1987)

Es obvio que los estándares de protección contra la radiación de radiofrecuencias deben expresarse en términos de la intensidad del campo E (y H) y densidad de potencia $P_d$ en el espacio libre.

El propósito de la prospección de radiación de radiofrecuencias es medir los campos E y H, y $P_d$, en el ambiente donde el hombre puede estar eventualmente expuesto y comparar esas mediciones con los estándares de niveles permisibles de exposición establecidos.

Los monitores miden $E^2$, que en el campo de radiación electromagnética es proporcional a $P_d$.

Hasta la década del 70 era casi imposible lograr cualquier tipo de conclusión cuantitativa acerca de dosimetría obtenida de estas mediciones, debido a la variedad de condiciones posibles de exposición. Así, resultó necesario establecer en el laboratorio, una relación cuantitativa entre los campos medidos externamente y los campos E inducidos en la masa corporal compleja (tejidos, órganos, sistemas). De esta manera, se logró determinar la absorción específica de energía electromagnética en los tejidos, y relacionarla con los efectos biológicos observados.

Debido al desarrollo alcanzado en los últimos años, se ha implementado la tecnología y teoría para determinar E, H y $P_d$ en el nivel de tejidos, órganos, sistemas, normalizándose así las metodologías dosimétricas empleadas. De esta manera se estableció un criterio entre laboratorios de diferentes naciones técnicamente avanzadas, respecto del nivel de exposición a radiofrecuencias que debe considerarse primariamente no riesgoso.

En conclusión, los resultados de laboratorio y epidemiológicos han conducido progresivamente a la revisión de los estándares de exposición existentes.

El presente trabajo fue realizado para desarrollar un manual de estándares de seguridad para la exposición a radiofrecuencias. El mismo se fundamentó en los posibles riesgos de exposición. Esta obra se presenta en dos volúmenes.

El contenido del volumen 1 se ha dividido en dos partes. La primera parte comprende "Manual para estándares de seguridad: límites de exposición ocupacional y poblacional en general a campos electromagnéticos (EM) de radiofrecuencias comprendidas entre 100 KHz y 300 GHz"; y la segunda parte incorpora "Normas de seguridad para la exposición ocupacional del personal de telecomunicaciones y estaciones de radar: ejemplos prácticos de medición y cálculo de la exposición a radiofrecuencias".

El volumen II, titulado "Radiación de radiofrecuencias: consideraciones biofísicas, biomédicas y criterios para el establecimiento de estándares de exposición", también se ha confeccionado en dos partes.

La primera parte trata de "Filosofía del establecimiento de estándares de emisión y estándares de exposición: protección para radiación de radiofrecuencias"; y la segunda parte presenta la fundamentación biomédica para el establecimiento de los estándares "Biofísica de las radiaciones y dosimetría: absorción y distribución de la energía electromagnética de radiofrecuencias en el cuerpo humano".

## COLABORADORES

Alférez Carlos A. Rossi; mayor Rafael González Osterode y comodoro Francisco P. Matassi, miembros de los comandos de Instrucción, Regiones Aéreas y Operaciones Aéreas, respectivamente, del Estado Mayor General de la Fuerza Aérea.

Ingenieros Jorge Marchesano, Lucio Mancini y Mario Alberto Pascual, director Departamento de Operaciones, jefe de la Sección Principal Radioaficionados y jefe de la Sección Principal de la Red de Emergencia Nacional, respectivamente, de la Dirección General de Defensa Nacional, Secretaría de Comunicaciones, Ministerio de Obras y Servicios Públicos.

Los miembros del Club de Buenos Aires, destacándose por las estimulantes discusiones durante el desarrollo del trabajo y en la formación del banco de datos.

Pedro C. Hesslin Aleman, integrante de comisiones de Ciencia y Tecnología de las Cámaras de Diputados y Senadores, del Congreso Nacional, quien participó en la filosofía del establecimiento de estándares de exposición, asegurando la claridad de los criterios elaborados, que en definitiva plasmaron el manual.

Los miembros de las facultades de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Católica de Salta, quienes siguieron el desarrollo de los estudios y contribuyeron en discusiones y seminarios.

## SÍNTESIS

Todas las guías o estándares son por su naturaleza, evolucionarías, puesto que están basadas en el conocimiento existente en el momento de su confección.

Las revisiones y refinamientos ocurren a medida que el conocimiento se amplía.

La s perspectivas de revisiones futuras de estas guías o estándares son considerables.

## INDICE

Prólogo
Planteo de la obra
Colaboradores
Síntesis

PRIMERA PARTE
1. Introducción
1.1. Fundamentación de las normas de protección
2. Región del espectro electromagnético comprendido desde 0,1 MHz hasta 300.000 MHz
3. Campos electromagnéticos
3.1. Cantidades y unidades
4. Límites de exposición
4.1. Exposición ocupacional
4.2. Exposición poblacional
5. Resumen
6. Consideraciones adicionales
7. Exposición a fuentes múltiples
8. Exclusiones
9. Estándares de emisión
10. Medidas de protección
11. Apéndices
*Apéndice I*
Criterios para la exposición
*Apéndice II*
Ambitos de frecuencias
Apéndice III
Información necesaria para establecer recomendación en el ámbito de frecuencias por debajo de 10 MHz
Apéndice IV
Sistema de terminología para dosimetría de radiofrecuencia
Apéndice V
Bases experimentales para establecer los límites de exposición poblacional a RF
Apéndice VI
Criterio para fijar el límite permisible por exposiciones debajo de 3 MHz
Apéndice VII
Riesgos por exposición a microondas
Apéndice VIII
Inferencias solitarias
12. Tablas y figuras
13. Bibliografía

SEGUNDA PARTE
1. Instrumentación y métodos usados en el análisis de los riesgos por exposición a microondas
Tabla I
Densidad de potencia máxima, de campo cercano
Tabla II
Factores de atenuación ("shielding")
Figura 1
Figura 2

Figura 3
Tabla A
Límite de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia.
Límites de exposición ocupacionales
Gráfico 1
Gráfico 2

2.Control de riesgos para la salud por irradiación con microondas
2.1. Introducción
2.2. Propósito
2.3. Consideraciones Generales
2.4. Vigilancia médica
2.5. Evaluación de riesgos
2.6. Antenas rotantes de exploración
2.7. Exposición del personal
2.8. Control de exposición
2.9. Ejemplos de riesgos en equipos típicos de radar
2.10. Producción de rayos X por equipo generador de microondas
Nota
*Apéndice I*
1.1. Definición de distancia de seguridad
1.2. Determinación de la intensidad de campo o niveles de densidad de potencia
1.3. Determinación de los niveles de densidad de potencia en el ámbito de frecuencias entre 200 MHz y 30 GHz
1.4. Determinación de los niveles de densidad de potencia e intensidad de campo eléctrico en un ámbito de frecuencias entre 3 y 30 MHz
Figura 1
Distribución del espectro electromagnético
Figura 2-9
Indicadores
Figura 10
Condiciones de seguridad
Figura 11
Condiciones de exposición potencialmente riesgosas
Figura 12
Condiciones de sitios peligrosos
*Apéndice II*
II.1. Decibeles vs. densidad de potencia
Tabla A
Tabla B
Tabla C
Figuras 13-38
Densidad de potencia vs. distancia de antena de distintos radares
*Apéndice III*
Características de sistemas de radar
*Apéndice IV*
Resumen de unidades y cantidades relacionadas
Tabla de cantidades usando el sistema internacional de unidades (SI), comúnmente usado en electromagnetismo
*Apéndice V*
Análisis de los datos de antenas de radar
Nota
Glosario
Nota importante

V.1. Ejemplos de cálculo para antenas de radar
V.2. Antenas estacionarias
V.3. Corrección para la rotación de antenas
V.4. Potencia media y potencia de pico

Tabla I
Especificaciones para radares de aeronaves
Tabla II
Combinaciones de radar en aeronaves
Tabla III
Densidad de potencia máxima en el campo cercano
Tabla IV
Límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia.
Límites de exposición ocupacionales
Tabla V
Límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia
Límites de exposición poblacional
Tabla VI A
Resumen de exposiciones a radares. (Antenas estacionarias)
Tabla VI B
Densidad de potencia máxima medida. (Antenas estacionarias)
Tabla VII
Factores de reducción de antenas rotativas Collins
WP-103 y RCA AVQ
Tabla VIII
Especificaciones técnicas para el radar RCA AVQ-30X
Gráfico 1
Intensidad de campo eléctrico vs. frecuencia ocupacional – poblacional
Gráfico 2
Densidad de potencia vs. frecuencia ocupacional - poblacional
Figura 1
Densidad de potencia vs. campo eléctrico incidente
Figura 2
Campos eléctricos y magnéticos próximos a un dipolo o antena
Figura 3
Reducción de ganancia vs. distancia en unidades de campo lejano
Figura 4
Factor de proporcionalidad de haz vs. reducción de ganancia
Figura 5
Zonas ese radiación
Figura 6
Datos calculados y medidos para el radar Collins WP-103
a) Figur tipo de riesgo de exposición.

PRIMERA PARTE

# Manual de estándares de seguridad: límites de exposición ocupacional u población en general

A campos electromagnéticos (EM) de radiofrecuencias comprendidas entre 100 KHz y 300 GHz

## 1. INTRODUCCION

En diversos estudios (32 - 910 - 988) se revisaron documentos sobre criterios de salud ambiental aplicables a radiofrecuencias y microondas. Partiendo de dicho análisis, se efectuó una evaluación de los riesgos para la salud provocados por la exposición a las mismas, y se consideraron los argumentos que justifican la fijación de límites para las exposiciones.

En 1984, el Ministerio de Salud y Acción Social aprobó la realización de estudios en este tema a la Dirección Nacional de Calidad Ambiental de la Secretaría de Salud, para complementar los trabajos teóricos y experimentales efectuados en el país (989)

Dichos trabajos condujeron a confeccionar un manual provisorio para estándares de seguridad: radiación electromagnética de RF-microondas (990) que aseguraba la protección del hombre estableciendo límites de exposición ocupacional y poblacional en general.

En el mismo, se estableció como nivel provisorio de densidad de potencia permisible 10 $mW/cm^2$ (correspondiente a un nivel de densidad de energía de 1 mW hora/$cm^2$) para exposiciones a campos electromagnéticos modulados (OP) y continuos (OC), en el ámbito de frecuencias comprendido entre 300 KHz y 300.000 MHz, en general de acuerdo con las normas recomendadas por el Comité C-95.1 del Instituto Nacional de Normas de los Estados Unidos de América (ANSI, 1974)

La diferencia entre ambos estándares (ANSI, 1974 y MS-AS, 1982) se fundamentó en el tiempo de exposición a 10 $mW/cm^2$. Mientras que la norma para exposición ocupacional del ANSI 1974, aceptaba el límite de 10 $mW/cm^2$ promediado en cualquier período de 0,1 hora (6 minutos) durante la jornada diaria de trabajo, el MS-AS (Ministerio de Salud y Acción Social) fijaba para ese límite, una exposición de 6 minutos por cada hora de trabajo, o una exposición de 1 $mW/cm^2$ continua para 8 horas diarias de trabajo.

Paralelamente, el MS-AS introducía en ese manual provisorio (990), el nuevo estándar ANSI C-95.1-1979 propuesto, donde se recomendaba el límite de exposición a 1 $mW/cm^2$ en el ámbito de frecuencias de 30-300 MHz. Por encima de 300 MHz, el estándar aumenta como una función de la frecuencia hasta alcanzar los 5 $mW/cm^2$ a 1.500 MHz.

Ese límite de densidad de potencia se recomendaba para todas las frecuencias hasta 300.000 MHz. Por debajo de 30 MHz la densidad de potencia de 1 $mW/cm^2$ aumenta hasta 100 $mW/cm^2$ al alcanzar 3 MHz (el estándar cubría desde 0,3 MHz a 100.000 MHz)

El criterio adoptado por el MS-AS (1982-1984) para la fijación de normas provisorias de límites de exposición con un factor elevado de seguridad, fue para evitar posibles riesgos durante la exposición ocupacional y poblacional en general (990)

En ese período de transición (153) donde los estándares de seguridad entre las naciones occidentales y Europa oriental, reflejaban discrepancias fundamentales (582), el ANSI como también el MS-AS, entre los organismos internacionales, concentraron sus trabajos de revisión de los mismos en aquellos estudios de efectos biológicos en animales y de experimentación y preparaciones *in vitro* donde se emplearon técnicas de dosimetría o métodos de medición de energía absorbida adecuados.

Los nuevos métodos coincidieron en que la cantidad de energía absorbida varía ampliamente con la frecuencia de radiación y el tamaño del cuerpo, y otros parámetros. Así, para ajustarse a esos efectos de resonancia, tanto el ANSI (1982) como el INIRC/IRPA (International Non-Ionizing Radiation Protection Association) (1984), la WHO/IRPA (1981) y el MS-AS (1982 - 1984) decidieron adoptar estándares donde los límites de densidad de potencia dependen de la frecuencia, siendo el objetivo final limitar la energía absorbida por el cuerpo humano a valores permisibles.

Partiendo de las recomendaciones provisorias dadas en el MS-AS 1984 (990), los estudios realizados en este trabajo de investigación han permitido establecer las nuevas normas de seguridad referidas a los límites de exposición ocupacional y poblacional a campos electromagnéticos de radiofrecuencias comprendidas entre 0,1 MHz y 300.000 MHz.

El grupo de trabajo constituido por el Ministerio de Salud y Acción Social en su Dirección Nacional de Calidad Ambiental (Secretaría de Salud) elaboró guías para la protección contra radiaciones no ionizantes (o normas sobre exposiciones)

El fundamento de fijar límites de exposición en las guías o normas es evitar riesgos durante la exposición ocupacional prolongada (muchos años) y eliminar los mismos en lo concerniente a la población en general.

Las normas que existen en la actualidad pueden clasificarse en tres grupos, de acuerdo con los límites de exposición adoptados.

El primer grupo está representado por las normas de exposición de Bulgaria (1979) y de la URSS (1976/1978), que especifican un límite de hasta 100 microvatios/cm$^2$ para la jornada laboral de 8 horas/día que puede ser aumentado a 1 mW/cm$^2$ para períodos que no excedan unos pocos minutos (menor que 20 minutos/día de trabajo)

En el segundo grupo de normas se pueden mencionar las de Checoslovaquia (Higienista Principal de la RSSC 1965/1970), Polonia (Consejo de Ministros 1972/1977), Canadá (1979), Suecia (1976) y Australia (1979), donde incluyen exposiciones hasta 1.000-5.000 microvatios/cm$^2$ (8 horas/día). Dependiendo de la frecuencia, se permite superar ese límite en determinadas situaciones de trabajo por un período breve de aproximadamente 1-2 minutos hasta un máximo de 25 mW/cm$^2$ (25.000 microvatios/cm$^2$)

El tercer grupo de normas se puede ejemplificar con las del ANSI (American National Standard Institute) Comité C-95.1 (1974/1979), que recomienda para los Estados Unidos de Norteamérica un límite máximo de exposición de 10 mW/cm$^2$, promediados en cualquier período de 0,1 hora (6 minutos) para la región de frecuencias entre 10 MHz y 100.000 MHz. El ANSI (1979/1982), revisó su norma reduciendo ese valor a 1 mW/ cm$^2$ en la zona de frecuencias de 30 a 300 MHz, con mayores valores fuera de los márgenes de esa zona. Por lo tanto esta norma se incluye en el grupo 2. El IRPA/ INIRC (International Radiation Protection Association/ International Non-Ionizing Radiation Committee, 1983/1984), aprobó estándares de límites de exposición dependientes de la frecuencia para la región comprendida entre 0,1 MHz y 300.000 MHz acercándose a los del ANSI (1982)

La tabla 1 incluye ejemplos de límites, de exposición a microondas y radiofrecuencias adoptados o propuestos por diversos países.

### 1.1. Fundamentación de las normas de protección

Un aspecto importante de los fundamentos de las normas propuestas en este trabajo ha sido la definición de la población a proteger. Todas las normas de higiene ocupacional tienen el propósito de proteger a personas adultas sanas expuestas en condiciones vigiladas (controladas), que han sido capacitadas y por lo tanto conocen el riesgo que implica su trabajo y que probablemente estén bajo vigilancia médica.

Las normas para la población general fueron fundamentadas en este trabajo, en consideraciones más amplias, que incluyen el estado de salud, sensibilidad específica, posibles efectos sobre el curso de diversas enfermedades, limitaciones en cuanto a la adaptación de condiciones ambientales y respuestas a cualquier tipo de estrés (basado en la edad, etcétera).

Como muchas de estas consideraciones implican interacciones aún no investigadas suficientemente, tal como surge del análisis del banco de datos existente (624-910-988), las normas para la población general han sido ajustadas mediante factores de seguridad adecuados,

entre los que se incluyen tomar en cuenta la posibilidad de que la exposición de la población durante 24 horas diarias sea comparable a la exposición ocupacional de 8 horas/día.

Fue preciso establecer una distinción entre límite de exposición de los trabajadores y normas sobre emisiones de equipo (910). Estas últimas se basan en consideraciones de seguridad de operación, derivadas de los límites de exposición y no permitir exposiciones que superen los límites adoptados. La norma estadounidense sobre funcionamiento de hornos de microondas (US Code of Federal Regulations,1970) sirve como ejemplo ilustrativo.

Esta norma limita la emisión de radiación no intencional (pérdida de radiación de microondas) a 1 $mW/cm^2$ a una distancia de 5 cm de la superficie del horno. Pocos países han adoptado formalmente normas donde se han promulgado con fuerza de ley pautas cuyo acatamiento es voluntario.

En el período 1982-1984 se concentran criterios de exposición y racionalización que permiten márgenes de seguridad para los seres humanos (989) En los Estados Unidos, el ANSI promulga las guías de protección para la radiación de RF (Tabla V).

Recomienda los mismos límites de exposición promedio tanto para los lugares de trabajo como para el medio ambiente en general. Incorpora en los mismos límites la dependencia existente entre los regímenes de absorción de energía del cuerpo humano con la frecuencia del campo electromagnético de RF.

Esta dependencia (252) fue descubierta por Franke (1961) en la Unión Soviética, empleando modelos de hombre expuestos a esa radiación electromagnética.

Los límites del estándar recomendados por el MS-AS ( 1984) se aproximaban al del ANSI y MS-AS. La comparación de los estándares de ANSI y del IRPA/INIRC surge de las tablas II y III.

Los criterios de exposición para los distintos países fueron analizados por A. Portela y colaboradores (989), la OMS (1981), el NCRP (1986), el IRPA/INIRC (1984) y *Healt and Welfare Canadá* (1978). La tabla I presentada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en "Criterios de Salud Ambiental", número 16: "Radiofrecuencias y microondas" (1984) suministra una información completa de los criterios propuestos. (Apéndice I).

Como en otras naciones occidentales, los valores oscilan desde límites bastante próximos a los recomendados por el ANSI 1974 (por ejemplo: 10 $mW/cm^2$ en la República Federal Alemana, en el Reino Unido y en los Países Bajos) hasta valores similares recomendados en Suecia y Canadá (1 $mW/cm^2$)

Entre los países de Europa oriental los niveles de exposición ocupacional son significativamente menores que aquellos dados por el ANSI. Esos estándares fueron estudiados con detalle por distintos laboratorios y organismos internacionales (32-910-988-989)

## 2. REGION DEL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO COMPRENDIDA DESDE 0,1 MHz HASTA 300.000 MHz

En este plan de trabajo, se ha incluido la revisión y establecimiento de normas de seguridad para la exposición ocupacional y poblacional en general, salvaguardando la salud del hombre y medio ambiental de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencias, en la región de frecuencias comprendidas entre $10^5$Hz (0,1MHz) y $3x10^{11}$ Hz ($3x10^{15}$ MHz).

En términos de longitudes de onda, se extiende desde $3,1x10^4$ metros hasta el ámbito de longitudes de onda milimétricas y submilimétricas (menor de 1 mm), (Tabla XVII y figura 24)

## 3. CAMPOS ELECTROMAGNETICOS

### 3.1. Cantidades y unidades

Las cantidades físicas por las que los límites de exposición a radiación de RF son expresadas, pueden referirse ya sea a una situación en que un objeto físico se halla presente en el lugar o espacio considerado, o bien una situación en la que no se encuentra presente un objeto físico determinado. (Apéndices I, II).

En el primer caso la distribución de energía electromagnética (EM) en el espacio será cambiada por la presencia de un objeto físico; esta condición está referida como "Campo EM" perturbado por la presencia del objeto.

En el último caso, la distribución del campo electromagnético (EM) se define como “no perturbado", esta condición se refiere al caso del medio libre de objetos.

En estas guías, los límites básicos de exposición formulados para la región de frecuencias por encima de 10 MHz (incluyendo la región de 10 MHz) están expresados por el SAR. Esta es la potencia absorbida por unidad de masa. La unidad (SI) de SAR es Watt/kilogramo (W/kg). El SAR puede ser promediado espacialmente sobre la masa total de un cuerpo expuesto o bien sobre sus partes, y puede ser promediado temporalmente sobre el tiempo total de la exposición o sobre un simple pulso o período de modulación de la radiación.

El SAR está referido a la situación del cuerpo presente en el campo EM (Campo EM “Perturbado"). La absorción de energía de RF y los métodos mediante los cuales pueden medirse los valores del SAR o bien calculados mediante modelos de hombre (fantomas) expuestos a RF, se presentan en el apéndice I.

En la región de las frecuencias por debajo de 10 MHz, los límites básicos están expresados en términos de la intensidad de campo eléctrico efectivo E (RMS) y de la intensidad de campo magnético H (RMS) Puesto que, en la región del campo cercano, la relación de fase entre las componentes direccionales de un campo EM, es normalmente desconocida, la intensidad de campo es obtenida sumando los cuadrados de las componentes verticales y horizontales y extrayendo la raíz cuadrada de esta suma. (Apéndice III).

Con relación al tiempo, es utilizado el valor de cada componente RMS. Las unidades de la intensidad del campo eléctrico efectivo E y la intensidad del campo magnético efectivo H son V/m y A/m respectivamente.

Para los propósitos prácticos y aquellos de comparación, los límites derivados de exposición son también presentados en estas guías. Los mismos están expresados en términos de densidad de potencia (densidad de energía) para la situación de campo libre de objetos (campo EM no perturbado).

Se expresa la potencia por unidad de superficie en un campo electromagnético radiado, en Watt/m$^2$ (W/m$^2$ o en mW/cm$^2$). En el campo lejano, que corresponde a una onda plana, la densidad de potencia promedio está expresado por cualquiera de las siguientes expresiones:

$S = P_D = E^2/377$ (en W/m$^2$)
$S = P_D = H^2 \times 377$
$S = P_D = E \times H$

El vector de Poynting S representa la cantidad y dirección de flujo instantáneo de energía en un punto de la onda; igual al producto vectorial de las intensidades de los campos eléctrico y magnético.

$S= E^2/120\,\pi = 120\,\pi \times H^2$

donde E es la intensidad del campo eléctrico (RMS) no perturbado (en V/m); H es la intensidad del campo magnético (RMS) no perturbado (en A/m) y 377Ω es el valor numérico de la impedancia de onda plana (EM) en el espacio libre, región del campo lejano de la antena; S o $P_D$ es la densidad de potencia en $W/m^2$; E (y H, menos frecuentemente), son las cantidades medidas en la práctica, y la densidad de potencia es calculada a partir de las expresiones anteriores.

En el campo cercano, las intensidades de campo eléctrico y magnético deben ser medidas. En la práctica, los campos EM más riesgosos son más complicados que la simple onda plana (en el campo lejano) así que las relaciones anteriores no son aplicables. Por ejemplo un instrumento de medición (624) puede medir el valor de E en un campo EM complicado, pero puede calibrarse para $P_D$ según las expresiones anteriores.

Esto puede ser definido por "la densidad de potencia equivalente" de la onda EM plana y se supone que los niveles permisibles máximos pueden especificarse en esta forma aún cuando la naturaleza exacta del campo EM no es conocida.

Algunos de los factores que pueden dar lugar a un campo EM complicado son:

1. *Ondas estacionarias:* Las ondas reflejadas desde objetos próximos y superficies, pueden combinarse con la onda incidente para producir ondas estacionarias. Tales reflexiones pueden ocurrir desde la persona en el campo EM, y desde el detector de medición, por lo tanto alterando la cantidad real que se está tratando de medir. Con ondas estacionarias, la intensidad del campo eléctrico puede ser elevada (en uno de los máximos) mientras en la misma región la densidad de potencia puede ser mínima (o nula). Por lo tanto, en este caso es importante que el sensor (o detector) responda a la intensidad del campo eléctrico.

2. *Campos cercanos:* La teoría que conduce a las ecuaciones anteriormente presentadas, considera solamente la componente radiada desde el campo EM. Los campos cercanos existentes, alternativamente almacenan y entregan energía a la fuente generadora (es decir, son campos reactivos similares al campo eléctrico de un capacitor y el campo magnético asociado a una inductancia).

Como con las ondas estacionarias, es posible que la componente de campo eléctrico sea elevada aún cuando la densidad de potencia radiada sea baja o nula. Los campos EM cercanos son probablemente más peligrosos a RF bajas en donde los mismos se extienden considerablemente en el espacio alrededor de “la antena”; los transmisores portátiles (tipo CB) constituyen un ejemplo, donde el operador está en la proximidad de la antena.

3. *Polarización:* En muchos casos las ondas que constituyen un campo EM total, tendrán polarizaciones distintas, y la polarización resultante por lo tanto no puede ser determinada. Por ejemplo, las pérdidas desde fisuras horizontales y verticales en un horno de microondas pueden combinarse para producir una polarización compleja. Resulta importante, entonces, que el sensor o detector de medición, posea la característica de ser independiente de su orientación (tales como el Holaday, Narda, etcétera)

4. *Modulación:* La modulación de la amplitud puede ocurrir en varias formas. Con radar de onda pulsada, se presentan pulsos de muy corta duración (campos máximos o picos muy elevados), difíciles dé medir con los sensores portátiles (tiempo de respuesta del instrumento muy lento). Las antenas rotatorias también darán por resultado una amplitud efectiva en una posición determinada. La respuesta en frecuencia del detector (o sensor) de mediciones de campo EM de RF deberá cubrir el espectro de ondas moduladas.

Como una consecuencia de esas complicaciones, los niveles permisibles máximos en los estándares de protección son más complicados que la simple especificación de la densidad de potencia promedio. Los efectos de campos EM de RF, modulados en frecuencias extremadamente bajas, han sido estudiados en distintas especies y preparaciones biológicas (837-910) y presentados en este trabajo.

Pero no es conocido si esos efectos plantean un riesgo para la salud. En consecuencia, un criterio de exposición fue considerado, donde se sugiere que si la frecuencia portadora modulada con frecuencias entre 3 y 100 Hz, tiene un valor superior al 50%, el criterio de exposición para la población general deberá aplicarse también a la exposición ocupacional. Este factor adicional no se ha considerado necesario aplicarlo a la luz de los conocimientos obtenidos.

No obstante, este grupo de trabajo ha tenido en cuenta este factor para la elaboración de los manuales de exposición a frecuencias extremadamente bajas (ELF), en preparación (A. Portela, J. Skvarca y L. A. Loureiro. 1988).

Las autoridades sanitarias de diversos países han tenido diferentes ideas sobre los criterios necesarios para establecer niveles de seguridad. La tabla I (procesada por la OMS/IRPA. Criterios de Salud Ambiental Nº 16, Radiofrecuencias y Microondas, 1981) y la tabla IV (procesada por el Health and Welfare, Canadá, 1978) muestran los estándares de exposición recomendados en dichos países.

Los datos presentados en las mismas, ya referidos en el curso de este trabajo, han sido empleados sin modificaciones significativas hasta 1982. Algunos de esos estándares son resumidos en la figura 1.

## 4. LIMITES DE EXPOSICION

### 4. 1. Exposición ocupacional

La exposición ocupacional a campos electromagnéticos (EM) de radiofrecuencia (RF) por encima de 10 MHz no deberá exceder un SARprom CE de 0,4 W/kg, resultante de promediar todos los valores medidos en cualquier período de 6 minutos (0,1 hora) y sobre la masa corporal total (es decir, SAR promedio de cuerpo entero); o bien un SAR de 4 W/kg hasta 8 W/kg localizado (SAR localizado máximo), designado por SARloc. máx. valor promedio resultante, determinado en cualquier período de 6 minutos (0,1 hora) y gramo de tejido correspondiente a cualquier región localizada en la masa corporal.

Para la exposición de radiación de RF a frecuencias inferiores a 10 MHz, los niveles de intensidad de campo eléctrico o magnético (RMS) no perturbado no deben exceder los valores dados en la tabla VI (la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de E y H) y las figuras 2 y 3. Los límites de exposición ocupacional presentados en esa tabla VI para el ámbito de frecuencias entre 10 MHz y 300.000 MHz fueron estimados a partir del valor SARprom CE límite permisible de 0,4 W/kg.

Estos límites de exposición ocupacional representan una aproximación práctica de la densidad de potencia de onda plana (región del campo lejano) incidente necesaria para producir un SAR promedio de cuerpo entero de 0,4 W/kg, teniendo en consideración la subdivisión del ámbito de frecuencias dado en la tabla VI. En el apéndice I se presentan los criterios para la exposición y en el apéndice II el análisis de los ámbitos de frecuencia.

Los límites en los rangos de frecuencia, superiores a 10 MHz, pueden excederse en determinadas situaciones de trabajo, pero asegurando que el SARprom CE y el SARloc. máx, permanezcan por debajo de 0,4 W/kg y 4 W/kg, respectivamente. (Apéndices I y IV).

Los límites para frecuencias inferiores a 10 MHz pueden ser excedidos hasta valores de intensidad de campo eléctrico E y magnético H máximos de 613,5 V/m y 1,6 A/m, respectivamente, pero asegurando que el personal tome las precauciones necesarias para prevenir quemaduras severas externas, especialmente al efectuar tareas en la región del campo cercano, prácticamente en las proximidades de la estación emisora de radiación RF. (Apéndice III).

Los valores establecidos en la tabla VI y figuras 2 y 3 para aquellas aplicaciones específicas, comprendidas en las zonas del campo cercano, y frecuencias entre 0,1 y 10 MHz, pueden entonces excederse del valor de intensidad de campo eléctrico 194 V/m (10 mW/cm$^2$),

tomando medidas precautorias recomendadas para evitar quemaduras de RF, aconsejándose evitar valores que se aproximen a los 615 V/m (100 mW/cm$^2$)

Los límites de exposición ocupacional, presentados en la tabla VI y figuras 2 y 3, se aplican a la exposición corporal total, abarcando campos EM de RF continuos o modulados o bien pulsados, emitidos por una o varias fuentes emisoras, exposición promediada sobre cualquier período de 6 minutos durante la jornada de 8 horas diarias de trabajo (8 h/día), (Apéndice IV).

Si bien muy poca información está disponible en relación a los efectos biológicos, con valores máximos de campos EM pulsados, se ha postulado provisoriamente que dichos valores instantáneos no excedan en un factor 100, los límites dados en la tabla VI para ese ámbito de frecuencias. Pero asegurando que el límite de exposición ocupacional resultante de promediar todos los valores SAR que incluyen los SAR de picos máximos en cualquier período de 6 minutos, no exceda un SARprom CE de 0,4 W/kg

### 4.2. Exposición poblacional

La exposición de la población en general a campos EM de RF, correspondiendo a frecuencias por encima de 10 MHz, no debe exceder 1 SARprom. CE de 0,04 W/kg. a 0,08 W/kg. (valor promediado sobre cualquier período de 30 minutos -0,5 hora-) o un SARloc. máx de 0,4 - 0,8 W/kg (valor promediado sobre cualquier período de 30 minutos -0.5 hora-) y gramo de tejido correspondiente a cualquier región localizada en la masa corporal (tabla VII, figuras 2 y 3)

Para la exposición de radiación de RF a frecuencias inferiores a 10 MHz, los niveles de intensidad de campo eléctrico o magnético (RMS) no perturbado no debe exceder los valores dados en la tabla VII (la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de E y H). Los límites de exposición a RF para la población en general, dados en dicha tabla VII, para el ámbito de frecuencias entre 10 MHz y 300.000 MHz son límites funcionales derivados del valor SARprom. CE de 0.04 - 0,08 W/kg.

Estos límites representan una aproximación práctica de la densidad de potencia de onda plana incidente necesaria para producir el SAR promediado para la masa corporal total (SARprom. CE) de 0,08 W/kg y teniendo en cuenta la subdivisión de radiación de RF dada en apéndices I y V. Dichos límites se aplican a la exposición corporal total por campos EM continuos o modulados, o bien pulsados, provenientes de una sola fuente o varias, promediados sobre cualquier período de 30 minutos, durante las 24 horas diarias en forma permanente.

Si bien muy poca información está actualmente disponible sobre la relación de los efectos biológicos con valores máximos (picos) de campos EM pulsados, se recomienda que los valores máximos instantáneos para todas las frecuencias no excedan en un factor 100 los límites dados en la tabla VII, correspondientes al ámbito de frecuencias señalado. Además, esos límites de exposición para la población en general, no deben ser excedidos.

Las figuras 2 y 3 complementan los datos presentados en las tablas VII, VIIa, b y c.

## 5. RESUMEN

Los límites de exposición ocupacional (A) y poblacional (B, C y D) expresados en densidad de potencia equivalente (mW/cm$^2$) en función de la frecuencia (MHz) se presentan en la figura 2 y similarmente, pero dados en valores de intensidad de campo eléctrico (E; V/m), en la figura 3. Dichos límites presentados en esas figuras, están dados en las tablas VI y VII.

Los estándares recomendados por el MS-AS (1988) están dados en las curvas A y B (exposición ocupacional y poblacional) de las figuras 2 y 3.

Los niveles dados en la curva B, aseguran que el criterio de exposición poblacional para frecuencias por debajo de 30 MHz esté fijado en un quinto (1/5) del valor numérico del criterio de exposición ocupacional, tal como fue establecido para el ámbito de frecuencias de 30 MHz a 300.00 MHz (300 GHz).

En la figura 2 la exposición expresada en densidad de potencia equivalente en la región del campo lejano de la antena emisora (en $mW/cm^2$) para un SAR promedio del cuerpo entero de 0,4 W/kg aparece como una línea sólida (A), que representa el criterio de exposición ocupacional, y en la línea (B), correspondiente al valor 0,08 W/kg (SARprom. CE), el criterio de exposición poblacional.

El nivel máximo poblacional quedó así establecido como una función de la frecuencia en el ámbito de 0,3 MHz hasta 30MHz, fijando los límites entre 20 $mW/cm^2$ (menor 3MHz) y 0,2 $mW/cm^2$ (30 MHz), aplicando la ecuación $180/f^2$. En la Argentina, el actual nivel de exposición poblacional en general a radiación de RF referida a zonas densamente pobladas con una distribución geográfica de fuentes de RF controladas siguiendo reglamentaciones, está por debajo de los límites recomendados, con un factor de seguridad superior a 10 en cualquier ámbito de frecuencias. Por lo tanto, para los próximos 5 -10 años este estándar fijado para el ámbito de frecuencias de 0,3 - 30MHz define una norma segura sin límite de tiempo de exposición de la población en general.

En función del desarrollo tecnológico planificado hacia el año 2000, reflejado en un incremento sustancial progresivo de fuentes - sistemas emisores de radiofrecuencias, se analizaron factores relacionados con los distintos efectos, partiendo del diseño (compatibilidad electromagnética), instalación y operación de los mismos.

El impacto de la energía electromagnética en el hombre y la biosfera fue analizado para asegurar su protección sin establecer restricciones en su uso, conociendo sus beneficios.

Partiendo del futuro avance en el área de la tecnología electromagnética, la autoridad sanitaria ha preparado dos estándares de exposición poblacional alternativos a aplicarse cuando el grado de contaminación electromagnética ambiental alcance niveles que puedan afectar la salud humana. Se enfatizó el estudio correspondiente al ámbito de frecuencias de 0,1 MHz a 30 MHz. El criterio se fundamenta en la expansión del número de fuentes emisoras de RF que aumentará la densidad de potencia en función de la energía irradiada en zonas pobladas.

Al presentarse esta nueva alternativa de un mayor nivel de exposición, como consecuencia del progreso planificado, se aplicará el estándar de exposición poblacional dado en la curva (C) de las figuras 2 y 3, y en la tabla VII, reduciendo el ámbito de frecuencias de 0,1 MHz a 10 MHz, aplicando la ecuación $20/f^2$. Se asegurará un límite máximo de 20 $mW/cm^2$ para la región de frecuencias menor a 1 MHz y decreciente en función de la frecuencia hasta 0,2 $mW/cm^2$ en 10 MHz. De esta manera, se incrementa el ámbito de frecuencias de resonancia humana de 10 a 400 MHz, estableciendo un nivel mayor de seguridad para exposición poblacional en general.

Ante esta nueva alternativa de crecimiento, para las zonas cercanas a campos de antenas, etc., se recomendará con carácter provisorio el nivel de exposición poblacional de 2 $mW/cm^2$ en la frecuencia de 1 MHz decreciente en función de la frecuencia hasta 0,2 $mW/cm^2$ (10 MHz) aplicando la ecuación 2/f. Este límite de exposición ocupacional se presenta en la curva (D) de las figuras 2 y 3, y tabla VII y sus complementarias.

Ejemplos numéricos aplicando las ecuaciones que representan las curvas B, C y D, para exposición poblacional en general (figuras 2 y 3) dadas en tabla VII, se agregan en Addendum.

## 6. CONSIDERACIONES ADICIONALES

En el establecimiento de los límites de exposición, se consideró la exposición corporal parcial. En virtud del conocimiento disponible, se establece que se apliquen los mismos límites para las exposiciones del cuerpo entero o partes del mismo, exceptuando aquellos casos de exposición específica, tales como los indicados en referencia (120).

Aún cuando la exposición corporal total, por un período corto, a densidades de potencia hasta 10 veces los valores dados en las tablas VI* y VII*, no producirán efectos nocivos, se recomienda enfáticamente mantenerla por debajo de límites adecuados.

Como consecuencia de la falta de conocimientos sobre umbrales para todos los efectos biológicos, la exposición por encima de los valores establecidos a frecuencias superiores a 10 MHz debe controlarse debidamente, mediante monitores de intensidad de campo eléctrico y/o magnético, incluyendo densidad de potencia (para el campo lejano)

Las mediciones de campos EM, para determinar los niveles de exposición según las guías establecidas, se harán en las posiciones o sitios normalmente ocupados por personas.

Las especificaciones empleadas para proteger a trabajadores v a la población en general de exposiciones excesivas o innecesarias se dan en los apéndices I, III, V, VI, VII.

## 7. EXPOSICION A FUENTES MULTIPLES

La exposición simultánea de una persona a diversas fuentes de radiación electromagnética (EM) de Radiofrecuencias (RF), por ejemplo estaciones emisoras de AM, FM, TV, la somete generalmente, a frecuencias diferentes.

Debido a que el régimen de absorción específica de energía EM (SAR) marca límites de exposición, las densidades de potencia ponderadas adecuadamente, son necesarias para que reflejen un ambiente complejo de radiaciones.

En la figura 2, donde se presentan los criterios de exposición a campos EM de RF, están definidas las densidades de potencia equivalente medidas en la región del campo lejano, para un valor de SAR constante de 0,4 W/kg

Se aconseja tratar la densidad de potencia combinada que reúne los criterios para campos EM de frecuencias "mezcladas", como la sumatoria de las densidades de potencia correspondiente a cada frecuencia:

$$S_T = S_1 + S_2 + S_3 + \ldots\ldots S_N$$

donde $S_T$ es la densidad de potencia "combinada" y $S_1$, $S_2$, $S_3$ y $S_N$ son las densidades de potencia (en mW/cm$^2$) en las frecuencias fi (i = 1, 2, 3.. . . . . n) de cada fuente emisora de radiación EM de RF, con la condición de que:

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{S_i}{L_i} = \frac{S_1}{L_1} + \frac{S_2}{L_2} + \frac{S_3}{L_3} + \ldots\ldots + \frac{S_n}{L_n} \leq 1$$

Donde L son los límites de exposición (en mW/cm$^2$) a las frecuencias respectivas.

*En resumen:* En situaciones en las cuales ocurre exposición simultánea a radiación EM de RF emitida por fuentes que operan a frecuencias diferentes, y por lo menos una fuente con frecuencia superior a 10 MHz, debe medirse en cada frecuencia y expresarse como una fracción del límite de densidad de potencia, o bien del cuadrado del límite de intensidad del campo eléctrico o magnético (E o H), para cada ámbito de frecuencias, dados estos límites en las tablas VI y VII (se presentan los límites de exposición a campos EM de RF, exposición ocupacional y poblacional)

Como ya se ha señalado, la suma de esas fracciones no debe exceder la unidad.

El límite básico, para frecuencias superiores a 10 MHz (0,4 W/kg $SAR_{prom}$ CE para la exposición ocupacional: 0,04-0,08 W/kg para la población en general) dado en las tablas VI y VII, protege contra riesgos térmicos potenciales.

---

* factor no aplicable en el ámbito de frecuencias de 0,3 a 30MHz

En aquellas situaciones de exposición a fuentes múltiples, las contribuciones principales al calentamiento de zonas de tejidos específicos, corresponderán a las frecuencias menores a 10 MHz.

Por lo tanto, para suministrar una protección térmica adecuada (reducir al mínimo la carga calórica depositada en el cuerpo o partes del mismo), las exposiciones a todas las fuentes deberán integrarse tal como fuera ya indicado.

Se enfatiza entonces que, si todas las fuentes emisoras operan con frecuencias menores de 10 MHz, la exposición deberá ser determinada para cada frecuencia y expresada como una fracción del límite de intensidad del campo eléctrico (E) o magnético (H). La sumatoria de esas fracciones no deberá exceder la unidad. Este criterio proporciona una aproximación adecuada para la protección en situaciones riesgosas.

## 8. EXCLUSIONES

La exposición a radiación de radiofrecuencia emitida por dispositivos o transceptores de baja potencia, tales como aquellos que operan en banda ciudadana (CB), transmisores instalados en una zona terrestre o bien en naves marítimas, walkie-talkies, etc., pueden ser excluidos de las normas establecidas en estas guías de protección a RF, siempre que las mismas operen con potencias inferiores a los 7 vatios. Tales dispositivos generan solamente campos EM muy localizados.

## 9. ESTANDARES DE EMISION

La performance de los diversos productos o los estándares de emisión aconsejados para suministrar niveles de protección sanitaria, limitando la emisión de radiación bajo condiciones de control de calidad especificadas, deben ser derivados de los límites de exposición establecidos en la presente guía.

Sus valores pueden diferir de los límites de exposición establecidos debido a factores tales como las condiciones de operación y el uso previsto del producto (horno de microondas, transmisor, radar, etcétera)

## 10. MEDIDAS DE PROTECCION

La responsabilidad para la protección de personal en instalaciones, donde operen sistemas generadores de RF, y del público en general, contra los efectos adversos a la exposición de campos EM de radiofrecuencias será de competencia de la Dirección Nacional de Calidad Ambiental, dependiente de la Secretaría de Salud, Ministerio de Salud y Acción Social.

Esa responsabilidad al nivel nacional incluye:

a) Adoptar los límites de exposición y la implementación del programa sanitario respectivo.

b) Controlar la performance de los dispositivos diseñados y construidos a nivel de planta industrial, asegurando su control de calidad, es decir, el cumplimiento de los estándares de emisión EM limitando la exposición de los usuarios. Incluye la evaluación de la protección contra emisiones de fuentes existentes o equipos nuevos construidos en el país o fuera del mismo e instalaciones donde se genere este tipo de radiación de RF (incluyendo microondas).

c) Los niveles de seguridad que deberán poseer todas las fuentes emisoras conocidas, estarán dados según su potencia (desde plantas emisoras de radiodifusión, TV, etcétera).

d) Diseños seguros de equipos; permiten su uso, reduciendo a un mínimo todo tipo de riesgo de exposición.

e) Hacer cumplir a nivel industrial que los equipos generadores de RF sean puestos en servicio, previo conocimiento del usuario de los manuales de seguridad para la exposición a radiación de RF-MO.

f) Proceder al desarrollo de procedimientos de medición estandarizados y técnicas de monitoreo (prospección electromagnética local y ambiental).

g) Promover la formación educacional del personal y público en general acerca de los riesgos posibles debidos a la exposición a radiación de campos EM de RF, que por falta de conocimientos y precauciones, podrían exponerse.

La protección se basa en el conocimiento de los riesgos y las medidas que aseguran la calidad de vida.

Al nivel operacional los procedimientos siguientes serán implementados en el ámbito nacional (exposición ocupacional y poblacional):

a) Monitoreo mediante instrumental adecuado en todas las instalaciones o dispositivos/sistemas que generen y emitan radiación de RF (emisoras de radiodifusión, TV, radares y similares) y zonas afectadas por esas emisiones de radiación electromagnética no ionizante. Para asegurar el nivel de exposición permisible poblacional, deberá controlarse adecuadamente el sitio de instalación de esas fuentes, de tal forma que no provoquen un impacto nocivo del medio ambiental y salud poblacional. La verificación de esas instalaciones, plantas de antenas emisoras, y distribución de los campos electromagnéticos propagados mediante prospección, constituirá una obligación del usuario y del Estado, que se harán responsables de tales mediciones.
La elección del sitio adecuado de instalación de planta emisora, etcétera, está íntimamente asociada a la población y región que la circunda y/o afecta. La contaminación electromagnética ambiental deberá estar sujeta a niveles permisibles al hombre y sistema ecológico;

b) Los informes periódicos de monitoraje de radiación de RF serán evaluados por la Dirección Nacional de Calidad Ambiental, para establecer las indicaciones de seguridad o riesgo cuando sean excedidos los niveles permisibles de exposición ocupacional y poblacional en general. Recomendaciones para reducir la exposición a niveles permisibles establecidos, serán implementadas en forma permanente, de acuerdo con las revisiones que surjan de los estudios epidemiológicos y de laboratorio experimental;

c) Requerir que todos los trabajadores del área de radiofrecuencias estén capacitados/familiarizados con los procedimientos o normas prácticas de seguridad, incluyendo tecnología e instrumental de protección;

d) A partir del momento que se instrumenten estas normas de seguridad, se capacitará a personal profesional médico para seguir la evolución de personas supuestamente expuestas a RF-MO.

Las fuerzas armadas a nivel operacional emplean en sus instalaciones y sistemas militares (tácticos, administrativos, logísticos, etcétera) *normas de seguridad*, para el personal, asegurando que las mismas se mantengan comprendidas dentro de les estándares de exposición ocupacional y poblacional, a campos electromagnéticos (EM) de radiofrecuencias, establecidos por el Ministerio de Salud y Acción Social (MS-AS). En las bandas de frecuencia del espectro EM de RF, desde la banda (2) definida como frecuencias extremadamente bajas (ELF, 30 Hz a 300 Hz) hasta la banda (11), definida como frecuencias extremadamente altas (EHF, 30 GHz a 300 GHz), donde las fuerzas armadas están autorizadas a usarlas en sus actividades específicas, se cumplen las recomendaciones dictadas en los manuales operativos, reflejadas en las normas establecidas por el MS-AS en cuanto a seguridad y protección para personal expuesto ocupacionalmente o

accidentalmente en instalaciones y zonas cercanas a sistemas de radiocomunicaciones, radares, radioenlaces, sistemas de control de espacio aéreo, marítimo y terrestre.

La prospección electromagnética en el ámbito de zonas militares será de responsabilidad de las fuerzas armadas.

El MS-AS podrá requerir los informes de monitoreo periódico, observando el cumplimiento de los estándares vigentes, así como también las experiencias adquiridas en tecnología de mediciones y métodos de prospección electromagnética en plantas complejas de antenas emisoras (bases aéreas, navales, terrestres, que incluyen aeronaves, buques y sistemas móviles terrestres), para transferirlas, llegado el caso, en las prospectivas electromagnéticas que realice el Ministerio de Salud y Acción Social en el ámbito de exposición ocupacional y poblacional. (Apéndice VIII).

## 11. APENDICES

APENDICE I *Criterios para la exposición*

- Exposición ocupacional y poblacional
- Situaciones especiales para la exposición poblacional
- Criterios para la exposición localizada
- Mediciones de los campos EM de RF
- Racionalidad de fundamentos para el establecimiento a campos EM de radiofrecuencias (incluye microondas)

APENDICE II *Ambitos de frecuencias*

APENDICE III *Información necesaria para establecer recomendaciones en el ámbito de frecuencias por debajo de 10 MHz*

APENDICE IV *Sistema de terminología para dosimetría de radiofrecuencia*

- Dosimetría
- Dosimetría corporal
- Advertencia sobre la interpretación de medidas dosimétricas
- Reconocimiento de la resonancia del cuerpo humano

APENDICE V *Bases experimentales para establecer los límites de exposición poblacional a RF*

- Régimen Metabólico Basal y masa corporal (RMB o BMR)
- Estudios a nivel humano: el desarrollo de guías de exposición poblacional

APENDICE VI *Criterio para fijar el límite permisible por exposiciones debajo de 3 MHz*

- Factor de seguridad
- Daños biológicos por exposición a campos EM de VLF-LF-MF.
- Shock eléctrico y descarga disruptiva
- Calentamiento parcial o total del cuerpo humano
- Mediciones en estaciones VLF-MF
- Quemaduras por RF y SAR localizado elevado
- Consideraciones futuras que pueden influir en este criterio

APENDICE VII *Riesgos por exposición a microondas*

- Interacciones de las microondas con sistemas biológicos
- Mecanismos interactivos
- Situaciones riesgosas
- Estaciones terrenas
- Tópicos sobre los efectos posibles

APENDICE VIII *Inferencias sanitarias*

APENDICE I

## CRITERIOS PARA LA EXPOSICION

### I.1. **Exposición ocupacional y poblacional**

Los límites de exposición establecidos en estas guías, para personas expuestas ocupacionalmente en un esquema típico laboral de rutina, corresponden a un período de 40 horas/semana y 50 semanas por año.

Estos criterios de exposición se han diferenciado entre las poblaciones "ocupacional (1)" y "poblacional (2)" respectivamente. Se establecieron dos conjuntos de criterios partiendo de los razonamientos siguientes:

Las personas expuestas en su lugar de trabajo estarán correctamente informadas de los riesgos potenciales asociados con sus ocupaciones. Más aún, esos trabajadores, teniendo en cuenta los límites máximos permisibles de breve duración pueden tomar decisiones personales en cuanto a su exposición, basándose en los límites de riesgo establecidos.

Las personas sometidas a la radiación EM de RF, en las zonas externas a las plantas emisoras (es decir, ajenas a dichos lugares de trabajo) se encuentran generalmente inadvertidas de tal exposición, y por otra parte si estuvieran enteradas o en conocimiento, difícilmente tienen la opción de reducir su nivel de exposición.

La población total, en la que algunos de sus miembros podrían estar continuamente expuestos a campos EM, incluye subpoblaciones de individuos o personas delicadas en su estado de salud o bien vulnerables potencialmente, para quienes hasta el presente no existe conocimiento adecuado para fijar estándares concretos.

Por ejemplo, no es conocida la sensibilidad de personas ancianas, de mujeres embarazadas y su feto en desarrollo, de pequeños lactantes, niños o personas crónicamente enfermas.

Puesto que la población general es significativamente mayor que la población ocupacional, existen más personas sujetas a "riesgos" y, por lo tanto, la proporción de personas susceptibles a determinado daño puede ser mayor o menor en la población general, aunque sea ajustada a un nivel de exposición significativamente bajo.

Por estas razones generales se ha recomendado un criterio de exposición promedio para el público en general, que fija un nivel igual a 1/5 de aquel establecido para el personal expuesto ocupacionalmente.

En consecuencia, el $SAR_{prom}$ CE para toda persona que forma parte del público general (población general) y expuesta permanentemente, no deberá exceder el valor de 0,08 W/kg. La racionalidad de esta reducción por un factor de 5, está fundamentada sobre la base de períodos de exposición de dos (2) poblaciones, redondeando a un dígito: 40 horas por semana (ocupacional 8 hs. diarias) y 168 horas por semana (poblacional 24 hs. diarias) $\cong$0,2.

La implementación de este valor de SAR, en términos de densidad de potencia se presenta en el gráfico 2, donde la curva de trazo lleno (-) corresponde a niveles de exposición ocupacional y la curva de trazo fino, para la exposición poblacional. Por razones de prudencia, considerando la falta o la escasa acumulación de conocimientos sobre efectos biológicos en la baja frecuencia, se establece que por debajo de 3 MHz el límite de exposición poblacional puede aumentarse tentativamente al valor de densidad de potencia de 20 $mW/cm^2$.

Se supone que los riesgos están asociados con campos eléctricos interaccionantes con superficies conectadas a masa o a tierra; y más aún, otros factores deben incidir y controlar los límites de exposición en este ámbito.

## I.2. Situaciones especiales para la exposición poblacional

Existen circunstancias especiales, en que los límites de exposición para la población general pueden sin necesidad limitar actividades que son de duración breve y no repetitivo.

Por ejemplo, la presencia cercana de un número dado de vehículos ocupados en operativos de telecomunicaciones podría causar una exposición breve a campos EM con intensidades por encima del límite permitido para la población general.

Ya que solamente grupos muy pequeños de la población estarían expuestos en esa circunstancia, y por cierto en forma esporádica, no repetida, en tales casos son aplicables los niveles de exposición ocupacional.

Las mediciones de campos EM incidentes en el lugar de trabajo deberán realizarse en valores, unidades de intensidad de campo, y/o unidades de densidad de potencia (en este caso referido a mediciones en la región de campo lejano, $S = E^2/ 1200 \cdot \pi$)

Además, la sustentación de las guías de protección en términos de densidad de potencia equivalente -onda plana- permite usar una expresión clara, de la dependencia -frecuencia- del valor SAR promedio.

Para las exposiciones ocupacionales, ha sido dispuesto (por autoridad del MS-AS) el empleo de "Guías de Protección de Exposición Ocupacional", presentadas en tabla VI y de Guía de Protección de Exposición Pública y General, dada en tabla VII. Estas guías se aproximan a los criterios recomendados por el INIRC (1984).

Estos criterios se aplican en Argentina a través de guías provisorias que aseguran la salud del hombre en todo el espectro de RF, en aquellos ámbitos de frecuencias donde el ANSI (1982-1983) e INIRC (1984) discrepan en los valores límites permisibles de exposición. Según criterios provisorios empíricos adoptados por falta de datos, se han elegido estándares para la Argentina que aseguren un máximo factor de seguridad, hasta tanto los estudios de laboratorio y epidemiología en progreso suministren la información necesaria para ajustarlos a valores realísticos, salvaguardando la protección del ser humano y del ambiente.

Para las exposiciones ocupacionales y pública, se adopta una guía de densidades de potencia (o intensidad de campo eléctrico E), dependiente de la frecuencia de acuerdo con las tablas VI y VII que se muestran en los gráficos 2 y 3.

En el mismo se presentan los niveles para la exposición a campos EM de RF, cubriendo el ámbito de frecuencias entre 0,3 MHz y 300 GHz. La exposición queda expresada en unidades de densidad de potencia equivalente en el campo lejano ($mW/cm^2$), correspondiente a un SAR límite promediado para cuerpo entero de 0,4 W/kg.

Esa exposición límite definida para la densidad de potencia que no exceda un SAR de 0,4 W/kg, valor promedio de toda la masa corporal (cuerpo entero), se presenta en la línea llena del gráfico 2 en función de la frecuencia tomada como criterio de exposición ocupacional.

La exposición poblacional límite está definida para la densidad de potencia que no exceda un SAR de 0,08 W/kg, es decir 1/5 de aquel establecido para la exposición ocupacional. El área separada por línea vertical representa un ámbito de frecuencias (aproximadamente entre 0,3 y 3 MHz) en que el valor del $SAR_{prom}$ CE, tiene una significancia reducida (es decir, en ese ámbito de frecuencias, la absorción de energía de la masa corporal es mínima, permitiéndose exposiciones de RF a densidades de potencia significativamente mayores, que sin embargo, no excederán en consecuencia el $SAR_{prom}$ CE de 0,4 W/kg).

El ámbito de frecuencias para este estándar, de acuerdo con los criterios fijados (AM-AS, 1982-1984; ANSI, 1982; IRPA/INIRC, 1984; NCRP Nº 86, 1986) está dado entre 0,1 MHz y 300 GHz.

Dependiendo de las circunstancias, el uso de los *criterios fijados* está restringido por un número de condiciones (910-988), y el criterio no puede ser aplicado sin referencia a esas condiciones.

El ámbito de frecuencias entre 10 y 400 MHz se adopta como el dominio de la frecuencia resonante para el ser humano; comprendiendo desde los más pequeños lactantes hasta los hombres adultos de máxima altura, bajo condiciones de contacto a masa o aislados (equivalente al espacio libre, aislados de masa). Los criterios están relacionados a una densidad de potencia equivalente en la región del campo lejano, de 1 mW/cm$^2$, valor éste que limita al $SAR_{prom}$ CE a un nivel igual o inferior de 0,4 W/kg.

Se parte, entonces, de la observación de que el cuerpo humano según su tamaño, etc., absorbe más energía en una región del espectro de frecuencias que en otras del mismo. Esta observación convierte a las densidades de potencia en dependientes de la frecuencia, mostrándose que los niveles de densidad de potencia más bajos permisibles de 1 mW/cm$^2$ de exposición, corresponden al ámbito de frecuencias entre 10-30 y 400 MHz, asegurando así que se limita el $SAR_{prom}$ CE a 0,4 W/kg.

Para ajustar los límites de densidad de potencia, más allá de este ámbito de frecuencias, manteniendo el $SAR_{prom}$ CE a 0,4 W/kg, son necesarias las siguientes conversiones:

1. A frecuencias entre 0,1 y 3 MHz, el límite de exposición máximo es de 100 mW/cm$^2$.

Debe tenerse en cuenta que a frecuencias por debajo de 10-30 MHz, la "deposición" de energía en la masa del cuerpo disminuye directamente con el cuadrado de la frecuencia (figura 2), y la densidad de potencia requerida para alcanzar un $SAR_{prom}$ CE de 0,4 W/kg. Es muy elevada, en esas frecuencias, los efectos físicos y fisiológicos del campo eléctrico externo (en el ambiente) serán dominantes. Debido a que los efectos de campos eléctricos de elevada intensidad y baja frecuencia están asociados fundamentalmente en interacciones de superficie, el SAR promedio en niveles potencialmente dañinos, caerá a niveles considerablemente por debajo de 0,4 W/kg. La figura 3 muestra una zona para la frecuencia por debajo de 1-3 MHz, donde la intensidad del campo eléctrico es la condición limitante.

2. En frecuencias que van de 3 a 30 MHz queda definida una región de transición, donde la densidad de potencia límite (mW/cm$^2$) de exposición está dada por la relación:

densidad de potencia $\left(\frac{mW}{cm^2}\right) = \frac{900}{f^2}$

(Ver tablas VI y VII; gráficos 2 y 3), donde la frecuencia está expresada en MHz.

3. En frecuencias comprendidas entre 10-30 y 400MHz (región donde se observan efectos de resonancia dependientes del tamaño del cuerpo humano) la densidad de potencia límite es de 1 mW/cm$^2$.

4. A frecuencias entre 400 y 2.000 MHz se define una región donde el límite de exposición y la densidad de potencia están dados por la relación:

densidad de potencia $\left(\frac{mW}{cm^2}\right) = \frac{f}{400}$

(f en MHz)

5. A frecuencias entre 2.000 MHz y 300.000 MHz la densidad de potencia límite es de 5 mW/cm$^2$.

La explicación racional para los niveles de exposición recomendada (o establecida) es que la densidad de potencia a cualquier frecuencia dada es, de un modo general, descriptiva de la inversa de la curva de resonancia en la figura 2; compárese con la figura 4:
$SAR_{prom}$ CE para hombre adulto, lactantes y niños de 1 a 10 años.

1. *Triángulos invertidos:* Resultados experimentales, diseñados y dimensionados en escala partiendo de un modelo realístico de hombre adulto lleno con solución salina, estableciendo contacto a masa (tierra) (b)

2. *Línea sólida*. Obtenida por cálculos numéricos basados en un modelo de hombre formado de bloques, este maniquí establece contacto a masa (c).

3. *Línea de trazos y punta*. Resultados experimentales basados en un modelo realístico de hombre adulto en contacto a masa (a)

4. *Línea de trazos y rayas*. Medida a escala de la curva (2) para niños de 10 años de edad, en contacto a masa.

5. *Línea de trazos y puntas*. Resultados experimentales basados en un modelo realístico de hombre adulto aislado de masa, a una distancia de 3 cm, respecto de dicho plano (a)

6. *Línea de puntos.* Curva obtenida a partir de una ecuación empírica desarrollada (b), para un modelo de hombre adulto en espacio libre.

7. *Línea llena (o sólida).* Cálculos numéricos para un modelo modular de bloques, de hombre adulto en un campo libre, los datos experimentales se representan por cuadrados; los datos experimentales en modelos distintos se muestran como triángulos (b, c).

8. *Línea de trazos*. Modelo esferoidal prolato de hombre en un campo libre (a).

9. *Línea de puntos*. Ecuaciones empíricas para un modelo de niño de 10 años (b).

10. *Línea de trazos y rayas*. Medida en escala de la curva (2) para un niño de 1 año en contacto a masa.

11. *Línea de trazos*. Modelo esferoidal prolato para un niño de 10 años (a).

12. *Línea de trazos*. Modelo esferoidal prolato para un niño de 1 año de edad (a).

13. *Línea de puntos*. Ecuaciones empíricas para un niño de 1 año de edad.

14. *Línea de trazos*. Modelo esferoidal prolato para un niño de 1 año de edad (a).

15. Línea de puntos. Ecuación empírica para un lactante ("human infant") (b).

16. Límite superior del SAR para las personas, de todas las edades y masa corporal.

Densidad de potencia: 1 mW/cm$^2$. Los resultados de diversas investigaciones, generan un conjunto de curvas mostrando básicamente que en los diversos modelos (tamaño, peso variables), los valores de SAR alcanzan máximos en regiones de resonancia (SAR en función de la frecuencia, tamaño, forma, contacto a tierra, etc.). Se ha tomado como criterio adecuado de límite permisible superior de SAR promedio para esos ámbitos de tamaño, pesos, edades y con referencia respecto al contacto a masa, la curva "techo" en el ámbito de frecuencias comprendidas entre 10 MHz y 300 - 400 MHz, que corresponde aproximadamente a 0,4 W/kg para exposiciones a campos EM de onda plana (región de campo lejano de la antena), con una densidad de potencia de 1 mW/cm$^2$.

El valor del régimen límite de absorción de energía, $SAR_{prom}$ CE de 0,4 W/kg se ha establecido para el ser humano expuesto a campos electromagnéticos de radiofrecuencias (RF) y microondas (MO), basándose en la dependencia de la absorción de energía electromagnética con la frecuencia, correspondiendo la máxima absorción a determinados ámbitos de RF-MO, que resuenan con cuerpos enteros, donde el acoplamiento es óptimo cuando el eje mayor del cuerpo (L) es paralelo al vector E del campo ($\vec{E}$ II L).

Los límites de exposición establecidos para frecuencias comprendidas en la banda 10 - 30 hasta 300 - 400 MHz, con extremos no estrictamente definidos, se aplican a la condición de exposición en espacio libre; por ejemplo cuando una persona no está en contacto con ningún objeto, incluyendo la superficie (masa).

En efecto, los límites están también fundamentados para la condición de una persona descalza, parada sobre una superficie conductora (masa), teniendo aun ésta una conductancia media (no realística) de un cuerpo considerado como homogéneo.

Para otras condiciones de exposición, tales como de pie sobre una superficie (masa) con aislación (calzado o piso de madera, etcétera) y "haciendo masa" por contacto de las manos con un objeto dado, pero unido a masa (por ejemplo, cerca de alambre metálico, tuberías, etcétera) o bien estableciendo contacto a masa y tocando un objeto metálico aislado de esa masa (camión, grúa) esos límites deben disminuirse.

Para las dos primeras condiciones, los límites de exposición deben ser determinados usando los tres criterios siguientes:

1. $SAR_{prom}$ CE de 0,4 W/kg

2. $SAR_{loc}$ máx de 8 W/kg y

3. Quemaduras externas por radiofrecuencia en la zona o punto de contacto (200 mA).

Los límites para el caso de hacer contacto a masa y accidentalmente tocando un objeto metálico aislado pueden ser determinados con el uso de los tres criterios mencionados, pero solamente tomando como base caso por caso porque el grado de peligro depende del tamaño del objeto.

Se ha postulado que la absorción de energía es dependiente de la frecuencia, y en ciertas bandas estrechas de frecuencias, el cuerpo humano entero o partes del mismo resuenan, produciéndose máxima absorción de energía.

Aquellas partes del cuerpo, tales como la cabeza o extremidades que resuenan a cierta frecuencia, el SAR localizado ($SAR_{loc}$) para una zona dada es significativamente mayor que el SAR promedio de la masa corporal total ($SAR_{prom}$ CE). La cabeza presenta una absorción resonante a 375 MHz (distribuciones no uniformes de SAR en el medio interno del cuerpo, ocurren a todas las frecuencias).

Los brazos pueden resonar significativamente a 150MHz, dependiendo de sus posiciones respecto al eje vertical (de pie).

Las piernas a 50 - 70MHz; "muslo", 80MHz; región de la pelvis, 80MHz.

Los gráficos 5-9 muestran los valores de SAR calculados en distintas partes del cuerpo y cuerpo entero, para modelos de hombre expuestos a varias frecuencias, en espacio libre y en contacto eléctrico con la superficie (masa), para el vector del campo eléctrico paralelo al eje mayor del cuerpo ($\vec{E}$ II L) y la dirección de propagación ($\vec{k}$) de la cara anterior al plano posterior (del frente a la espalda) . La variación en el $SAR_{prom}$ CE es debida a la variación de la absorción de la energía en partes del cuerpo como consecuencia de sus resonancias características.

Cuando el eje mayor del cuerpo humano es paralelo al vector del campo $\vec{E}$, los regímenes ("índices") de absorción de energía EM del cuerpo entero (SAR) alcanzan valores máximos. La cantidad de energía absorbida depende de un número dado de factores que incluyen el tamaño de cuerpo humano expuesto.

*Recordar*: En la exposición tanto ocupacional como poblacional general no se ha tenido en cuenta que ($\vec{E}$ II L); por lo tanto, se ha tomado el estándar para el caso de absorción de energía máxima. En general la radiación incidente comprenderá campos E con vectores en diversos planos respecto al eje del campo, y por lo tanto la energía absorbida será menor.

El hombre de pie (eje mayor 1,74-1,75 m), aislado de tierra (masa) resuena en la banda estrecha de frecuencias entre 70 y 80 MHz donde se produce la máxima absorción de energía EM. Seres humanos más pequeños, los niños y lactantes experimentan absorción resonante de energía en frecuencias mayores a los 100 MHz.

Personas de estatura inferior a 1,75 m tienen frecuencias de resonancia menores a 70 MHz.

A la frecuencia de 2.450 MHz, el hombre de medidas estándar (1,75 m, peso $\cong$ 70 kg) puede absorber 50 % de la energía electromagnética incidente. Para mostrar la importancia de la región de absorción de energía resonante se ha determinado en condiciones de máxima absorción, que por exposición del hombre estándar a radiaciones de 70 MHz, resulta un aumento de 7 veces en la absorción respecto a un campo de radiación de RF de 2.450 MHz.

Por lo tanto, los valores de límite de exposición están basados en la dependencia con la frecuencia de la absorción del ser humano, cubriendo la región total del espectro de frecuencias para todos los tamaños de cuerpo.

### I.3 Criterios para la exposición localizada

Los límites de exposición para radiación EM de RF en una población están basados predominantemente en datos obtenidos en laboratorio, por exposiciones de pequeños animales a radiación de RF en el campo lejano (corresponde a ondas planas incidentes -campos EM-). En esas condiciones se cuantificó el régimen máximo de absorción de energía (SAR) mediante métodos analíticos o experimentales.

Si bien no es muy práctico cuantificar las distribuciones de energía absorbida, excepto para pocos casos, donde pueden emplearse técnicas de laboratorio o técnicas específicas, se ha demostrado frecuentemente que el SAR máximo localizado ($SAR_{loc}$) alcanza típicamente niveles hasta 10-20 veces el valor del $SAR_{prom}$ CE de toda masa corporal.

También ha sido demostrado, en análisis de distribuciones de valores de SAR en modelos de seres humanos expuestos a radiación de RF en la región del campo lejano (campo EM; onda plana) de la antena emisora, que los niveles máximos localizados de SAR, tal como es el caso en la exposición del animal pequeño, pueden alcanzar valores de 10 a 20 veces mayores que el valor del SAR promedio cuerpo entero. Esto se presenta en las figuras 10, 11 y 12.

Por lo tanto, se ha aceptado para el criterio de exposición basado en el $SAR_{prom}$ CE que los $SAR_{loc}$ en regiones pequeñas del cuerpo pueden alcanzar 10 a 20 veces el valor promedio ($SAR_{prom}$ CE).

La única forma práctica de tratar con éxito las exposiciones de campo EM no uniforme y localizada, es la de ajustarse a la base de datos marcada para establecer los límites de exposición de la masa corporal entera (cuerpo entero).

Luego los fundamentos para aplicar los criterios establecidos se tornan bastante simples, de tal forma que las disposiciones generales para la exposición límite a un campo EM de onda plana no sean violadas.

El $SAR_{prom}$ CE ocupacional durante la exposición localizada o la exposición a campos EM no uniformes, no deberá exceder el valor de 0,4 W/kg y los anatómicamente localizados no deberían exceder aquellos valores predecibles de una exposición corporal total de radiación de

radiofrecuencia en la región de campo lejano (cuerpo EM de onda plana), que en la interacción, conduce a un valor de $SAR_{prom}$ CE de 0,4 W/kg.

Los niveles de exposición a radiofrecuencia en la región de campo lejano (onda plana) permitidos por el límite establecido en la exposición ocupacional, pueden ser excedidos para una fuente particular de radiación EM de RF, siempre que pueda ser mostrado que en cualquier persona que estuviera expuesta a emisiones de esa fuente, el valor del $SAR_{prom}$ CE no exceda de 0,4 W/kg, y el valor del $SAR_{loc}$ CE no exceda en un factor 20 de $SAR_{prom}$ CE, o sea 8 W/kg promediado en una masa finita (1 gramo) de tejido localizado, en cualquier período de 6 minutos (0,1 horas) del tiempo que dure la exposición (por ejemplo: en 8 horas/día, técnicamente se cuentan 80 períodos posibles de 6 minutos cada uno).

Se utiliza el mismo argumento en el criterio de la exposición de población general pero ajustando el nivel de SAR a 1/5 de aquel establecido para la exposición ocupacional.

Sin embargo, en el caso de personas de la población general, que emplean transmisores de diversas clases (fijos o portátiles, dispositivos de control remoto, etcétera), las exposiciones de dichas personas pueden ser mayores que los valores recomendados para la población general.

El uso de este sistema ha permitido, siempre que los dispositivos estén diseñados y usados según normas señaladas en manuales, que la exposición del usuario no exceda los límites establecidos en las guías de exposición ocupacional; y en su uso, no exponga a radiación a otra persona por encima de los límites correspondientes a los establecidos en la guía de exposición poblacional.

Se alerta aquí que la determinación de esas situaciones de exposición, por uso de tales fuentes emisoras de campos EM de RF, siguiendo el criterio general, presenta dificultades tecnológicas.

Estas mediciones deben realizarse por personal calificado, equipado con los instrumentos de medición específica para cada clase de fuente emisora. No es posible determinar y dar la conformidad para ese caso mediante la simple medición de la densidad de potencia.

Se requiere la determinación de las componentes de intensidades de los campos eléctrico y magnético, expresadas como una fracción de los mismos, para cada ámbito de frecuencias, según los datos de tablas VI y VII. Luego la suma de esas fracciones no debería exceder la unidad.

### I.4 Mediciones de los campos EM de RF

Varios estándares de exposición (por ejemplo ANSI 1982) especifican que las mediciones de intensidades de campo deben hacerse a distancias de 5 cm o mayores desde cualquier objeto, para evitar errores incumbentes con las propiedades dispersoras de cuerpos absorventes y reflectores en el campo EM de RF, y con limitaciones prácticas de los instrumentos de medición.

Por ejemplo, los objetos inmersos en un campo EM de RF con densidades de potencia por debajo de aquellas especificadas para la exposición ocupacional y poblacional pueden producir un campo por dispersión de intensidad aparente que exceda significativamente a la fuente primaria.

Las mediciones válidas de tales campos dispersos en la proximidad de un objeto, son dificultosas o imposibles de realizar, debido al tamaño finito del sensor del campo EM y también debido a la interacción del campo con el objeto.

Adicionalmente, la cantidad de energía EM de RF que puede acoplarse de un campo EM disperso a un cuerpo (humano) expuesto, es relativamente pequeña, comparada con la emitida por una fuente primaria. En un trabajo actualmente en progreso se especificarán la metodología de medición y las características de los sensores o detectores de campo EM necesarios (A. Portela, J. Skvarca, L. A. Loureiro, 1988).

Pero puede aceptarse en el interin que las mediciones sean realizadas a una distancia de 5 cm o mayor, respecto de cualquier objeto en presencia del campo EM (campo cercano).

**I.5. Racionalidad de fundamentos para el establecimiento de límites de exposición a campos EM de radiofrecuencias (incluye microondas)**

El objetivo de los estándares elaborados es proteger la salud humana de los efectos potencialmente nocivos de la exposición no controlada a radiación EM de RF-MO.

Se han establecido los límites de exposición para todos los habitantes del país, definiéndose según criterios de protección ocupacional ya sea individual o conjuntos de personas expuestas en sus lugares de trabajo (estaciones de radiodifusión y plantas de antenas y zonas circundantes, estaciones de radar, redes de radioenlaces y microondas, TV, estaciones terrenas de comunicación satelitaria, diatermia -aplicación de RF-MO en pacientes, bajo control médico-, industria del moldeado de plásticos por RF, etcétera), y criterios de protección de la población en general.

Es decir, los límites de exposición conciernen a la población general o a grupos específicos incluidos en la misma. Esos grupos pueden ser juzgados como susceptibles en muy bajo grado, o significativamente, a los efectos deletéreos para la salud, inducidos por radiación de RF-MO, y pueden estar o no sujetos a control médico.

La población de personas ocupacionalmente expuestas consiste en adultos expuestos en condiciones controladas, que han sido técnicamente capacitados o entrenados, conociendo los riesgos o peligros potenciales, para tomar las precauciones rutinarias apropiadas.

La duración de la exposición ocupacional está limitada a la duración del día laboral (8 horas/día) o trabajo por turno, y la duración de la vida útil de trabajo.

El público en general comprende las personas del país, de todas las edades en sus diversos estados de salud.

Las personas o grupos de personas con una susceptibilidad específica, están incluidos en la población general.

En la mayoría de los casos o situaciones, los miembros que constituyen el público en general desconocen que están expuestos en forma accidental, periódica, o en forma permanente a radiación EM de RF (y a otras frecuencias más bajas) y puede que no acepten correr ningún tipo de riesgo (aún insignificante) asociado con dichas radiaciones.

La población en general (exposición poblacional) puede estar expuesta las 24 horas/día, y durante toda su vida a un $SAR_{prom}$ CE inferior a 0,04-0,08 W/kg.

APENDICE II

## AMBITOS DE FRECUENCIAS

Basándose en características de absorción, la región de radiofrecuencias comprendida entre 0,1MHz y 300.000 MHz será subdividida en cuatro partes. Las radiaciones de radiofrecuencia (RF) cubren este trabajo en la región así definida. Por criterio de aplicación técnica, la parte del ámbito de frecuencias entre 300 MHz y 300.000 MHz es definida como radiación EM de microondas (MO) (tabla XVII):

a) *El ámbito subresonante* por debajo de 10 - 30 MHz, donde la absorción superficial es dominante para el torso humano pero no para el cuello y piernas, y la absorción de energía disminuye rápidamente con la frecuencia. Entre 0,1 y 0,01 MHz la absorción específica de EM es prácticamente insignificante;

b) *El ámbito de resonancia*, que se extiende de 10 MHz a 400 MHz cubriendo el cuerpo entero o partes del mismo. Secciones transversales de absorción elevada son posibles, y por lo tanto los límites de exposición se fijan con valores menores para cubrir las situaciones más riesgosas;

c) *El ámbito de "puntos calientes"* se extiende de 400 MHz hasta 3.000 MHz, donde puede esperarse una absorción de energía localizada significativa para densidades de potencia de aproximadamente 10 $mW/cm^2$. El tamaño de esos "puntos calientes" abarca regiones desde varios centímetros (4-8 cm) a la frecuencia de 915 MHz hasta 1-2 cm a 3.000 MHz. Los "puntos calientes" son provocados por resonancia (I) o enfocamiento quasióptico (II) de los campos EM incidentes. El primer mecanismo (I) prevalece en las frecuencias menores; el segundo (II) a las más elevadas.
Para el caso de la cabeza, el ámbito de "puntos calientes" se extiende desde 300 MHz a 3.000 MHz;

d) *El ámbito de absorción superficial*. Está caracterizado por la disminución del SAR a valores no significativos entre 3 MHz y 0,01 MHz, justificando valores de densidad de potencia elevados. Para frecuencias en el otro extremo del espectro se cumple la condición dada en c).

Basándose en consideraciones de mecanismos de interacción que refuerzan los efectos biológicos potencialmente nocivos, la frecuencia e intensidad del campo eléctrico (o densidad de potencia en la región del campo lejano, onda plana) debe tenerse en máxima consideración. A las frecuencias inferiores a 1-3MHz la "deposición" de energía en la masa corporal total disminuye directamente con la frecuencia, tal como se desprende de las figuras 6 y 7. La densidad de potencia requerida para alcanzar un $SAR_{prom}$. CE (SAR promedio del cuerpo entero) de 0,4 W/kg es realmente muy grande (más de 100 $mW/cm^2$).

En ese ámbito de frecuencias los efectos físicos y fisiológicos de campos EM de radiación de RF ambiental serán los dominantes. Debido a que los efectos de campos eléctricos de intensidad elevada y frecuencias muy bajas (<1 MHz) están asociados a interacciones superficiales, el SAR promedio corporal a niveles de densidad de potencia potencialmente nocivos disminuirá a valores considerablemente inferiores a 0,4 W/kg.

El gráfico 3 presenta una zona indicada por línea vertical para frecuencias por debajo de 1 - 3 MHz, donde la intensidad del campo eléctrico es la condición limitante (en términos de densidad de potencia equivalente se presenta en el gráfico 2).

Los efectos dependientes de la temperatura han sido comprobados y son por lo tanto empleados como la base fundamental de los límites de exposición. La evidencia que surge de los mecanismos no térmicos ("atérmicos") de efectos biológicos no fue ignorada en la consideración del establecimiento de estos límites de exposición.

En vista de la falta de un conocimiento completo de la biofísica de los sistemas vivos y las posibles controversias concernientes a las interacciones del tipo "atérmico" de los campos EM de RF, no es posible hasta el presente elaborar una teoría predictiva basada en dichas interacciones.

Por lo tanto, determinados datos deben emplearse provisoriamente para el establecimiento de límites de exposición en esta región de bajas frecuencias y frecuencias medias (3-30 KHz a 0,3 ≅3 MHz). De acuerdo con Schwan (355-986), los efectos "atérmicos" pueden jugar un papel significativo en frecuencias por debajo de 0,1 MHz, no descartándose efectos a frecuencias más altas.

No existen datos adecuados sobre efectos biológicos en ese ámbito de frecuencias, excepto para aquel definido como ELF (frecuencias extremadamente bajas, 30 Hz a 300 Hz). Este ámbito de frecuencias es tratado en un estudio en progreso. (El mismo contribuirá a establecer el *Manual de estándares de seguridad de exposición a campos EM de ELF*, en preparación por A. Portela, J. Skvarca, L. A. Loureiro, 1988) formando parte del plan de investigación aprobado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas [Conicet].

En consecuencia, se estableció que el límite inferior del ámbito de radiación de RF de las guías de exposición corresponde a 0,1 MHz. Los límites de exposición para frecuencias por debajo de 0,1 MHz (hasta 300 Hz) son materia de estudio y acumulación de datos. Es decir, no existe información concreta para establecer niveles de seguridad.

Los efectos "atérmicos" son considerados por Illinger (383) dependientes de la frecuencia, y podrían presentar relaciones de efectos complejos con la dosis, incluyendo "ventanas" de intensidad de campo eléctrico o magnético, tanto a muy bajas frecuencias como en las elevadas (382). No existen datos sobre la existencia de "umbrales" para efectos adversos a la salud aplicables al hombre en todo el ámbito de frecuencias comprendido en esta *Guía de límites de exposición de radiación de RF*, es decir entre 0,1 MHz y 300.000 MHz.

La mayor parte de datos obtenidos sobre estudios de laboratorio o experiencias en la clínica médica o terapia (diatermia), o personal que cumpla tareas en estaciones de radar, telecomunicaciones, estaciones de radiodifusión (AM-FM), de televisión, enlaces por microondas, comunicaciones por satélite, etcétera, corresponden fundamentalmente a varias frecuencias comprendidas entre 300b MHz y 10.000 MHz.

Por lo tanto, se dista mucho de conocer y tener experiencia sobre un número muy elevado de frecuencias ("ámbitos") en cuanto a datos biológicos estadísticamente significativos.

Por esta razón, deben efectuarse suposiciones sobre efectos posiblemente adversos sobre la salud, partiendo de información adquirida en informes elaborados por los grupos de profesionales de aquellas estaciones y lugares de trabajo donde se emplean fuentes emisoras de RF-MO, hasta tanto se instrumenten los estudios epidemiológicos y de laboratorio correspondientes.

Estas suposiciones deben basarse en el conocimiento actual de la biofísica de la absorción de EM de RF-MO (radiofrecuencia-microondas) y en modelos analíticos o experimentales, así como también sobre datos epidemiológicos limitados. La extrapolación de límites en el ámbito de frecuencias desde 10 MHz a 400 MHz se basó en la dependencia de la absorción de EM (energía electromagnética) con la frecuencia en seres humanos. Esto debe cubrir los efectos térmicos, pero no permite predecir, y en consecuencia, incluir los posibles efectos "atérmicos".

APENDICE III

## INFORMACION NECESARIA PARA ESTABLECER RECOMENDACION EN EL AMBITO DE FRECUENCIAS POR DEBAJO DE 10 MHz

Es mínima la información existente sobre efectos biológicos para frecuencias más bajas a 10MHz. El SAR y el campo EM internos por propagación de la radiación de RF en el medio, disminuye rápidamente a baja frecuencia (mayor atenuación en función de la disminución de frecuencia).

Si el límite de la exposición ocupacional básica de 0,4 W/kg fuera extendida para frecuencias por debajo de 10 MHz, se podría justificar la exposición a un límite más elevado y aún en aumento, de la intensidad del campo eléctrico (y magnético) hasta frecuencias cercanas a 1 MHz. Los límites de exposición constante de aproximadamente 615 V/m y 1,6 A/m podrían también ser justificados por debajo de 1 MHz.

Sin embargo, existe un factor físico adicional a considerarse a frecuencias menores que 10 MHz. Los shocks de RF y quemaduras pueden ocurrir al tocar objetos metálicos no conectados a tierra, que se han cargado por interacción de los campos EM de RF.

Si bien los shocks de RF, producirían normalmente efectos cubriendo desde simples reacciones hasta quemaduras severas a los tejidos del cuerpo, pueden ocurrir otras situaciones donde tales shocks o quemaduras producirán consecuencias muy severas.

Se llegó a la conclusión fundamentalmente importante de que los límites de exposición deberían proteger contra riesgos físicos directos así como también de los efectos biológicos.

Los cálculos realizados de corrientes eléctricas inducidas en el cuerpo humano estableciendo contacto con objetos metálicos no conectados a masa (tierra), sugieren que los shocks y quemaduras de radiofrecuencias pueden ocurrir por la exposición a campos EM de aproximadamente 615 V/m ($\cong$100 mW/cm$^2$) en el ámbito de frecuencias de 0,3 a 3 MHz.

En un campo EM de frecuencia a 3 MHz, personas tocando un objeto metálico aislado de tierra, tal como un automóvil, percibirán (por corriente inducida) un campo E de intensidad no perturbada por encima de 80 V/m y experimentarán una corriente "let-go" del objeto.

Para objetos metálicos sin aislación de tierra, la intensidad de campo "let-go" disminuye.

La intensidad de campo E no perturbado provocando una situación del tipo corriente "let-go", permanece aproximadamente constante para un objeto dado, a frecuencias entre 0,1 y 10 MHz.

Esta fue la información de referencia básica precedente que se empleó para desarrollar los límites de exposición en los ámbitos de frecuencias por debajo de 10 MHz.

A pesar de que la exposición ocupacional en el nivel 200 V/m para frecuencias por debajo de 10 MHz, pueden conducir ocasionalmente a shocks débiles de RF, el INIRC concluyó por sugerir que los operarios podrían ser entrenados, para evitarlos. Bajo circunstancias especiales, exposiciones más elevadas (hasta 615 V/m) podrían ser toleradas por los operarios, siempre que precauciones apropiadas fueran tomadas para evitar quemaduras de RF potencialmente severas.

Como una regla general, sin embargo, se considera que no es razonable adoptar que los operarios trabajaran en forma continuada en tales condiciones ambientales.

*Nota:* Para el criterio de exposición poblacional en general, el INIRC incluyó que los límites de exposición no deberían alcanzar un nivel en que ocurrieran shocks de RF, ya que sería

totalmente ilógico recomendar que las poblaciones deban tener precauciones para evitar tales tipos de shocks.

La carga térmica se localiza o distribuye en la masa corporal, debido a las variaciones en el régimen de energía absorbida, de un campo electromagnético (EM) presente en el medio interno.

Esta energía depositada en la masa corporal es cuantificada conociendo el valor del SAR, que es la rapidez de absorción de energía normalizada respecto de la masa.

Entonces, el SAR máximo localizado ($SAR_{loc}$ máx) está directamente relacionado con el campo eléctrico interno, presente en la masa dada, durante la exposición del cuerpo a la radiación de RF.

La distribución de los valores de $SAR_{loc}$ máx en zonas de la masa corporal es significativamente heterogénea.

Conociendo esa distribución, de los valores de $SAR_{loc}$ máx, se determina el $SAR_{prom}$ CE (que incluye todos los valores de SAR producidos en el cuerpo entero).

La relación $SAR_{loc}$ máx / $SAR_{prom}$ CE puede presentar valores distribuidos entre 0,03 y 20.

Por lo tanto, la exposición a campos EM de RF frecuentemente conduce a una disposición y distribución muy heterogéneo de energía en la masa del cuerpo entero, donde el $SAR_{loc}$ máx (pico) puede ser 20 veces mayor que el $SAR_{prom}$ CE.

Generalizando, se puede definir el SAR pico como el valor máximo de un $SAR_{loc}$. En resumen, idealmente la distribución corporal de valores de SAR se usa explícitamente en la formulación de estas guías de límites de exposición, reconociendo que la absorción de energía EM de RF, aún para el caso de un campo casi perfectamente uniforme, puede resultar en deposiciones de energía significativamente variables en las distintas partes del cuerpo.

Se estableció mediante análisis termográfico de modelos de hombre, rata, incluyendo cadáveres de animales de experimentación, que los valores pico de SAR pueden extenderse en varios órdenes de magnitud por encima del $SAR_{prom}$ CE.

Las distribuciones de SAR en la masa corporal total son muy variables por ser dependientes de la longitud de onda, polarización (configuración del campo incidente), las propiedades eléctricas de las diversas capas que componen la masa del cuerpo irradiado; la forma, tamaño en relación con la longitud de onda y la orientación del cuerpo relativa del sistema; o sea, para $\vec{E}$ II L, se produce la máxima absorción de energía.

El número de la familia compleja de distribuciones de SAR se aproxima al infinito; sin embargo es aceptado que un $SAR_{prom}$. CE es la media de una distribución, el límite superior de ésta es una curva envolvente de "puntos calientes" de campos E (en V/m, etcétera).

Dichos sitios con valores de SAR localizados oscilan entre el valor medio y los valores máximos, y cuando son integrados con los valores de SAR localizados inferiores a ese valor medio, se igualan.

Por otra parte, para cualquier orientación dada del cuerpo de un animal (especie definida) en un campo EM, la correlación entre la magnitud de un $SAR_{prom}$ CE y aquellas de cualquier $SAR_{loc}$ inferior o superior, debe aproximarse a la unidad (≤ 1).

Es decir, si la densidad de potencia de un campo EM de RF incidente es aumentada, el incremento relativo del SAR del cuerpo entero será directamente proporcional al aumento de cualquier $SAR_{loc}$ en ese cuerpo.

A causa de la presencia invariable de "puntos calientes" de potencial eléctrico (puntos o zonas de mayor temperatura o potencial que la media) en el medio expuesto, y la correlación inherente entre magnitudes de los $SAR_{prom}$ CE y los $SAR_{loc}$ en sitios del mismo, un efecto biológico inducido por un SAR localizado significativamente superior al valor medio del cuerpo entero ($SAR_{prom}$ CE), se manifestará en un cierto grado por ese $SAR_{prom}$ CE.

La utilidad predictiva de la correlación entre partes o componentes y el sistema entero fue de gran utilidad en la medicina experimental clínica, en que una dosimetría para el sistema biológico entero, referida a la unidad de masa, subyace a la administración terapéutica de agentes farmacológicos.

APENDICE IV

## SISTEMA DE TERMINOLOGIA PARA DOSIMETRÍA DE RADIOFRECUENCIA

La terminología para describir la evaluación dosimétrica de la absorción de energía electromagnética (EM) de radiofrecuencia (RF) en un ser humano expuesto (irradiado) ha seguido una evolución interesante en los años recientes. Antes de promediar los años setenta, la mayoría de los investigadores utilizaba un sistema terminológico que ha sido convenientemente tomado del campo de la radiación ionizante, el cual emplea el mismo concepto de dosaje acumulativo (226-310-400).

Un reducido número de investigadores tuvo la inquietud de que esta terminología es inapropiada respecto de la energía radiante no ionizante, porque en este caso no se trata de un fenómeno acumulativo del mismo tipo que es aceptado para la radiación ionizante.

En consecuencia, fue propuesta una nueva terminología que no emplea el término "dosis". La terminología del régimen de absorción específica de energía EM de RF-MO (SAR), que Portela y Skvarca hasta 1984 usaban como *rate* de absorción específica en la actualidad aceptada ampliamente, fue sugerida por Curtis Johnson (989) para reemplazar régimen de dosis (o dosis por unidad de tiempo), término generalmente aceptado hasta entonces para régimen de absorción por unidad de masa. El Consejo Nacional de Protección y Mediciones de Radiaciones de los Estados Unidos de América en un informe recientemente publicado por NCRP (624) ha recomendado la adopción de la terminología SAR para las mediciones en RF-MO. La definición SAR, tal corno surge de nuestro análisis, es la siguiente:

Régimen (rate) de absorción específica (SAR):

$$SAR = d/dt\ (dW/dm) = d/dt\ (dW/\rho\ dV)$$

es decir, la derivada con respecto al tiempo, del incremento de energía (dW) absorbida por (o disipada en) un incremento de masa contenida en un elemento de volumen (dV) con densidad dada ($\rho$).

El régimen de absorción específica (SAR) es expresado en unidades watt por kilogramo (W/kg). En vista de la proliferación de términos para describir las condiciones de la radiación electromagnética en materiales biológicos y la interpretación de estos términos según la disciplina en que se apliquen, se establece que el término "régimen de absorción específica" (SAR) sea usado para la magnitud aquí definida con preferencia a cualquier otro, tal como "densidad de potencia absorbida por unidad de masa".

Una definición similar es dada también por el NCRP para "absorción específica" (SA), llamada anteriormente "dosis".

El propósito es una expansión de aquellas terminologías en las cuales las magnitudes dosimétricas íntimamente relacionadas son definidas dentro de un marco integrado, mediante el uso de términos similares. En este sistema de terminología (tabla XIII) las definiciones de las variadas magnitudes dosimétricas, aunque no tan rigurosas como las del NCRP, se mantuvieron simples e inteligibles.

Algunas de las terminologías relacionadas presentadas en dicha tabla XIII han tenido uso limitado, mientras que otras (particularmente aquellas referidas a la absorción específica por volumen) son nuevas y como tales usadas en la actualidad. Es de hacer notar que a través de todo el esquema de la terminología dosimétrica, *absorción* significa realmente absorción de energía electromagnética, sobreentendiendo, pero no expresando, estos dos últimos términos.

En la tabla XIII, se ha establecido una diferencia entre la absorción específica por masa y régimen de absorción (SAR), así como entre la absorción específica por volumen y su régimen de

absorción (régimen de densidad de absorción: ARD). Lamentablemente, estas diferencias no han sido siempre respetadas por algunos investigadores y se ha producido confusión respecto de estas terminologías al usarlas de manera intercambiable.

Evidentemente, la magnitud ARD es solamente de uso limitado para experimentadores que realizan exposiciones parciales o totales del cuerpo porque el volumen expuesto del sujeto es desconocido y de difícil medición.

Por otra parte, en la modelización predictiva electromagnética por computación, los datos de salida son generalmente calculados en términos de campos eléctricos internos localizados $\vec{E}$ y también de la función $\vec{E}\ \sigma\ E^*$, donde $\sigma$ es la conductividad del tejido.

Esta última magnitud tiene dimensiones W/m$^3$ (si $\vec{E}$ está expresado en V/m y $\sigma$ en S/m) y por lo tanto representa el régimen de absorción localizado de energía por unidad de volumen (o sea, ARD).

En el pasado, esta magnitud ha sido expresada mediante numerosos nombres tales como densidad de potencia absorbida, potencial de calentamiento, etcétera. Igualmente, la energía absorbida por unidad de volumen (densidad de absorción bajo la terminología NCRP) ha sido expresada en el pasado también como densidad de energía absorbida; terminologías que hasta cierto punto continúan siendo usadas por otros investigadores. Justesen (409) ha señalado que el uso del término "densidad de energía absorbida" es inapropiado tanto por razones semánticas como conceptuales. Sobre este punto, tal terminología se confunde inevitablemente con la otra mejor conocida de la "densidad de potencia", usada para definir el régimen de exposición a la radiación para una onda plana EM (región del campo lejano), y en consecuencia debe ser evitada.

Lo mismo es válido para "densidad de energía absorbida" que probablemente será confundida con la "densidad de energía eléctrica y magnética", terminología que es usada para definir el contenido de energía en campos EM complejos.

Se considera importante mantener ambos conjuntos de unidades bien separados conceptualmente porque mientras la primera es una magnitud dosimétrica, la última es densitométrica. Como ejemplo, es interesante notar que en su análisis de la "densidad de potencia absorbida", Justesen (409) se refiere a la misma, como la terminología para régimen de absorción por unidad de masa (W/kg)

Más aún, algunos investigadores han usado la terminología SAR al discutir regímenes de absorción por unidad de volumen (W/m$^3$). Esto sirve para subrayar la confusión que ha existido entre los regímenes de absorción referidos a masa y los referidos a volumen, y entre sus respectivas terminologías.

Los regímenes (*rates*) de absorción así diferenciados (masa y volumen) están, por supuesto, directamente relacionados a través de la densidad $\rho$ del tejido (región o zona localizada; o promedio total del cuerpo), es decir (ARD) = $\rho$ (SAR); con $\rho$ en kg/m$^3$.

La mayoría de los tejidos biológicos están compuestos predominantemente por agua, por lo que es razonable asignarles densidad igual a 1 (uno). En este caso las dos magnitudes serán numéricamente equivalentes. Este es el enfoque adoptado por muchos de los investigadores dedicados a la modelización EM (electromagnética) predictiva, en la cual el modelo se refiere generalmente a algún tejido homogéneo con características físicas y dieléctricas promedio, representativas de los diversos tejidos que se encuentran en el cuerpo modelizado.

Por ejemplo, todos los datos de SAR que aparecen en los distintos trabajos y específicamente en manuales de estándares de exposición, que incluyen aspectos dosimétricos, fueron obtenidos de esta manera, pues la suposición de $\rho$ = 1 está específicamente expresada.

Puesto que estas dos magnitudes, en general, aproximadamente equivalentes desde el punto de vista numérico, puede parecer un ejercicio algo trivial y académico mantenerlas

separadas, particularmente si se tiene en cuenta que la precisión de las estimaciones densitométricas y dosimétricas en el campo bioelectromagnético raramente exceden ± 20 %. Sin embargo es importante argumentar -aunque condición admitidamente purista- que las dos magnitudes necesariamente deben ser mantenidas por separado en todo razonamiento, y nombradas correctamente de acuerdo con el esquema de la tabla XIII.

Con esta clarificación conceptual no existirá más confusión en la terminología dosimétrica, ni posibilidad de los errores que resultan en consecuencia.

Por ejemplo, en modelos EM por computadora, compuestos por materiales dieléctricos heterogéneos que representan (simulan) los diferentes tejidos biológicos, podría introducirse en las estimaciones del SAR localizado para tejidos de bajo contenido de agua, tales como tejidos adiposo y óseo, respectivamente, porque la densidad de los mismos es inferior a la unidad.

Un consenso de aceptación se estableció entre científicos de origen biológico y físico, respecto de este sistema, como base de un sistema normalizado (estandarizado).

IV.1. **Dosimetría**

La dependencia con la frecuencia del SAR ha sido incorporada en las guías de exposición presentadas.

Esta dependencia fue observada en la década del 60 por Franke (252), Presman (689) y ampliamente corroborada por Gandhi (283-284) y Durney (226).

Se demostró que entre los factores primarios que controlan el régimen de absorción de energía figuran la longitud de onda del campo EM incidente en relación a las dimensiones y geometría del sistema biológico irradiado, la orientación de éste en relación a la polaridad de los vectores del campo (E y/o H), la presencia de superficies reflectoras, y si el sistema biológico (cuerpo) hace contacto con el plano de tierra. El máximo régimen de absorción de energía EM de un cuerpo expuesto a una onda plana incidente, sin estar en contacto con el plano de tierra, se produce cuando su eje mayor es paralelo al vector del campo eléctrico y su longitud axial se aproxima a 1/4 $\lambda$ del campo EM incidente. Bajo estas condiciones el sistema biológico presenta resonancia y su superficie de captura electromagnética es de dos a tres veces mayor que el área de su sección transversal geométrica.

Por lo tanto, el cuerpo (sistema biológico) se ajusta a predicciones de la teoría de antena (Gandhi). Por añadidura, si el blanco resonante hace contacto eléctrico con el plano de tierra, que aproximadamente reduce a la mitad la frecuencia resonante, o si otras superficies reflectoras u objetos se encuentran en la proximidad, el régimen de absorción de energía puede aumentar, incrementarse aún a niveles mayores.

A partir de las investigaciones de Franke y Gandhi, se realizaron estudios revelando que los regímenes de absorción de energía son indicadores más confiables de los efectos biológicos que los valores de densidad de potencia del campo incidente.

Aquellas medidas de la energía absorbida son un prerrequisito en la escala válida, de intensidades de campo incidente a diferentes frecuencias para la predicción de respuestas biológicas.

Se adoptaron los siguientes términos dosimétricos:

1. SAR (régimen de absorción específica de energía, normalizada respecto a la masa, en W/kg).
2. La integral del SAR respecto del tiempo de exposición, que define la absorción específica (SA), en J/kg.

*Nota:* Partiendo de (1) y (2) el valor límite máximo de la absorción específica (SA) de energía obtenido de los valores promediados del CE, para cualquier período de 6 minutos de exposición, es de 144 Joules/kg, para el $SAR_{prom}$ CE de 0,4 W/kg.

SA = $SAR_{prom}$ CE x tiempo = 144 J/kg = 0,4 W/kg x 360 s.

IV.2. **Dosimetría corporal**

El SA y SAR son tanto aplicables a la masa de partes definidas del cuerpo como a la masa total del organismo, y por cierto, ya que los SAR pueden diferenciarse radicalmente dentro del volumen de un organismo, resulta de utilidad experimental y clínica la determinación del SA y SAR en órganos o masa de tejidos de interacción.

Este tipo de dosimetría fue introducida por Guy, empleando la cámara termográfica en estudios sobre modelos (fantomas) y animales de laboratorio. Estos trabajos muestran que la distribución de los valores de SAR es una función altamente compleja de muchas variables: frecuencias portadoras, zona de inducción, polarización del campo, propiedades eléctricas del tejido, y masa geométrica y orientación momentánea del blanco biológico.

Puesto que las distribuciones de energía absorbida en la masa corporal dependen de la frecuencia, medio ambiente de exposición, etcétera, son significativamente variables, los valores SAR promedio de la masa total del cuerpo y SA, han sido adoptados sobre bases prácticas tales como las medidas dosimétricas de elección en la práctica de regulación y establecimiento de estándares.

IV. 3. **Advertencia sobre la interpretación de medidas dosimétricas**

Ni la intensidad del campo EM incidente o la cantidad de energía absorbida de un campo EM por el organismo, aseguran a priori una interpretación de mecanismos causales.

En las etapas iniciales de estudio sobre efectos biológicos producidos por radiación de RF, existió una inclinación por parte de varios investigadores de asumir que el SAR y el régimen de calentamiento de tejidos son identidades físicas.

Aunque la consecuencia de la segunda ley de la termodinámica es que el destino final de la energía EM absorbida es la termalización de tejidos, también han sido presentados efectos específicos transitorios de los campos EM.

Una respuesta de un organismo a radiación EM de RF puede poseer una base térmica, otra atérmica, o bien una combinación de ambas.

El gráfico X muestra las curvas que representan los valores de SAR dependientes de la frecuencia en modelo de hombre (a), ratas (b) y ratones (c) irradiados con 10 $mW/cm^2$ de radiación de RF en la región de campo lejano de una onda plana.

Estas curvas demuestran también la diferencia extrema en los casos gravísimos de regímenes promedio del cuerpo entero, de la deposición de energía como una función de las dimensiones del cuerpo. Para el ejemplo del modelo de hombre prolato de consistencia 1,75 m y 70 kg el $SAR_{prom}$ máximo de 2 W/kg ocurre aproximadamente a 68-70 MHz, cuando para la rata (prolato de L = 20 cm; 160 g) y el ratón (prolato de L = 7,5 cm; 25 g) corresponde el $SAR_{prom}$ máximo de 6 W/kg y 12 W/kg, a las frecuencias de 700 MHz y 1.550 MHz, respectivamente.

En este trabajo, el criterio de límites de exposición se basa en la cantidad fundamental definida por el SAR.

Esos factores incluyen la posibilidad de la presencia de una desviación severa respecto de la uniformidad de la deposición de energía EM, especialmente en los extremos espectrales de frecuencia, así como también en las respuestas biológicas específicas a frecuencia (portadora y modulación).

IV. 4. **Reconocimiento de la resonancia del cuerpo entero**

Como se estableciera para la guía ANSI (1974), las guías de protección de 1982-1984 (ANSI; MS-AS) aseguraban también recomendaciones de límites máximos permisibles de intensidad de campo o de densidades de potencia equivalente de campos incidentes en la región del campo lejano (condición de onda plana), pero basándose en la observación experimental de que el cuerpo visto como un todo presenta valores de SAR dependientes de la frecuencia. Se ha expresado anteriormente que los valores $SAR_{prom}$ CE alcanzan máximos, cuando el eje mayor del cuerpo es paralelo al vector del campo $\vec{E}$ y su longitud axial es aproximadamente igual a 1/4 de la longitud de onda $\lambda$ del campo electromagnético (EM) de RF incidente.

En las frecuencias donde se producen máximas absorciones y que definen la resonancia del cuerpo entero (CE), la sección transversal eléctrica de un cuerpo expuesto aumenta en superficie.

Teniendo en consideración esta dependencia, los límites máximos permisibles de intensidad de campo fueron reducidos en aquellos ámbitos de frecuencias en que los cuerpos de seres humanos comprendidos entre pequeños lactantes hasta sujetos adultos, presentan el fenómeno de resonancia del cuerpo entero.

APENDICE V

## BASES EXPERIMENTALES PARA ESTABLECER LOS LIMITES DE EXPOSICION POBLACIONAL A RF

Uno de los determinantes principales de la cantidad de energía absorbida del campo EM incidente es la relación entre la longitud de onda de radiación de RF y el tamaño del objeto expuesto.

La resonancia, acoplamiento óptimo de energía en el medio interno del objeto absorbente, se produce cuando el tamaño del mismo es aproximadamente la mitad de la longitud de onda incidente.

Las frecuencias resonantes del cuerpo entero para la población en general, se encuentran comprendidas aproximadamente entre 10-30 MHz y 300-400 MHz. Esta región de frecuencias (con extremos definidos difusamente) es grande por tres causas principales:

1. El tamaño del cuerpo humano varía con la edad.
2. El tamaño del mismo actuando como una antena, aumenta dos veces sus características como tal al establecer contacto a masa.
3. En el espacio libre o aislado de la superficie conductora o masa, el tamaño de la antena es igual al tamaño físico del cuerpo que actúa como tal.

El SAR promedio ($SAR_{prom}$ CE) para la frecuencia resonante del cuerpo en contacto con una superficie conductora (es decir a tierra o masa), es aproximadamente 25% mayor que el correspondiente a la frecuencia resonante de ese cuerpo aislado de dicha superficie.

Las exposiciones a frecuencias resonantes representan los casos típicos más riesgosos para el hombre. En la tabla VIII, titulada "Densidad de potencia equivalente (en $mW/cm^2$) para seres humanos de distintas edades y pesos, expuestos a la frecuencia resonante, correspondiendo a un SAR de 0,4W/kg ($SAR_{prom}$ CE)", se presenta esta situación.

Para esta guía de estándares (MS-AS) se han elegido los valores de SAR y las exposiciones asociadas ($mW/cm^2$), como equivalente a las condiciones de exposición de cuerpos aislados o en contacto con tierra.

Los trabajos realizados señalan que no se observan efectos por debajo de 0,4 W/kg. En consecuencia, adoptando una posición conservadora, se puede elegir razonablemente dicho valor (0,4 W/kg) como un límite de SAR ($SAR_{prom}$ CE) altamente seguro para la salud del hombre en su lugar de trabajo, y con la aplicación de un factor de seguridad de 5 ó 10, para la población en general.

El valor de SAR de 0,4 W/kg puede ser convertido en densidades de potencia correspondientes a las frecuencias resonantes para lactantes, niños y adultos, generalizando los dados en la tabla VIII.

### V.1. **Régimen metabólico basal y masa corporal (RMB o BMR)**

El SAR promediado del cuerpo entero ($SAR_{prom}$ CE) identifica el régimen de entrada de energía exógena a un sistema (en W/kg). El impacto de un SAR dado, hasta cierto punto, estará gobernado por la capacidad termorreguladora del sistema.

El régimen metabólico basal (RMB o BMR) es una medida de la producción de energía endógena. La magnitud del RMB de las especies mamíferas varía ampliamente, pero tiene una correlación bien establecida con la masa corporal (en kg), por ejemplo, dada por:

$$RMB = 3{,}86 \times M^{-0{,}24} \quad (W/kg)$$

Donde m representa la masa corporal (en kg), tal como se presenta en la tabla IX.

El valor de RMB es también una función de un número dado de variables; entre ellas, la edad, sexo, etcétera. Para el ser humano se presentan los datos de edad, masa media y el RMB, en la tabla X.

Puesto que en diferentes especies la masa corporal y la edad son factores claves en el RMB, la relación entre una exposición de RF que corresponde a un SAR dado y el valor del RMB refleja valores dependientes de la masa corporal y la edad.

Como ejemplo, un SAR de 2 W/kg tiene las siguientes relaciones aproximadas con el RMB, calculadas de acuerdo con los datos de RMB dados en la tabla X.

| | |
|---|---|
| Hombre adulto | . . . . . 150 % |
| Niño de 10 años | . . . . . 100 % |
| Niño de 1 año | . . . . . 70 % |

Una consideración principal sobre la respuesta del organismo humano a la energía absorbida de RF en una exposición, es la habilidad del sistema homeotérmico para regular esta carga adicional.

Nuevamente, aquellas características funcionales que diferencian a las especies juegan un papel importante. El régimen metabólico del hombre joven (adulto) puede variar con un factor aproximado de 8, oscilando desde 1,3 W/kg en reposo hasta 11 W/kg durante la realización de ejercicio máximo sostenido.

Por otra parte, el ámbito correspondiente de regímenes metabólicos para la rata varía con un factor 3.

El lapso de regímenes metabólicos acompañando varias actividades es un indicador de la capacidad termorregulatoria de especies diferentes al distribuir la energía generada internamente. Pero no es conocido si esos ámbitos de termorregulación también se aplican a la habilidad para manipular la distribución (deposición) no homogénea de la energía absorbida de RF entregada por fuentes emisoras externas.

Para ser coherentes con la propuesta empleada, fue más apropiado determinar el valor más bajo de SAR para disparar el funcionamiento del sistema termorregulador y otras respuestas fisiológicas (por ejemplo, el aumento de la disipación calórica por evaporación; elevación de la temperatura de la piel en especies diferentes, etcétera).

En el banco de datos (bibliografía) surge el estudio de Gordon (309) donde muestra a partir de trabajos realizados sobre SAR y las respuestas de termorregulación (y fisiológicas) de un número determinado de especies, la existencia de una relación lineal entre el logaritmo de la masa corporal y el logaritmo de valores de SAR para el establecimiento de una respuesta fisiológica. Esta relación se ilustra en la figura 13.

Para el ámbito de peso corporal humano (entre 10 kg y 80 kg), el gráfico predice que los valores de SAR que estén por encima del 25 % del RMB, podrían activar respuestas de termorregulación. Las densidades de potencia asociadas a las frecuencias resonantes están comprendidas entre 1 y 2,2 $mW/cm^2$, tal como se presenta en la tabla XI, titulada "RBM aumentado, SAR equivalente, y la densidad de potencia pronosticada asociada con el «disparo» de una respuesta humana termorregulatoria".

V. 2. **Estudios a nivel humano: el desarrollo de guías de exposición poblacional**

La fuente ideal de información para el desarrollo de guías de exposición poblacional (o población en general), es la experiencia humana, todavía insuficiente; es decir, no está disponible en forma adecuada porque se interpretaba que la radiación EM no ionizante no constituía un posible riesgo a los sistemas biológicos, y específicamente para el hombre.

Sobre la base del tamaño de una población, la dosimetría disponible y la significación fisiológica de las observaciones, es necesario contar con mayor cantidad de datos para una ponderación estadística más significativa.

El banco de datos de efectos sobre la salud ha sido examinado desde cuatro perspectivas distintas para determinar cuál de los límites específicos podría ser un buen indicador.

Tal como se ha postulado, no tenemos una perspectiva completa, pero se ha considerado firmemente que podría ser instructivo un diseño en que aparezcan todas las aproximaciones propuestas.

La tabla XII sintetiza las estimaciones de SAR y densidad de potencia para un límite superior (no ajustado) de la exposición, visto desde esas cuatro perspectivas distintas.

Estas oscilan entre 0,4 W/kg y 2 W/kg, y desde 1 $mW/cm^2$ a 8 $mW/cm^2$ a frecuencias resonantes. Sin embargo, en este punto, las incógnitas no han sido adecuadamente tenidas en cuenta.

Las mismas son potencialmente factores muy importantes en decisiones normativas o guías, e incluyen la falta de conocimientos específicos de:

1. Los efectos de la mayoría de las frecuencias en el ámbito entre 0,1 MHz y 300.000 MHz.
2. Las poblaciones (habitantes) más sensibles: enfermos, convalecientes, etcétera.
3. Los mecanismos físicos operando en niveles de exposición muy bajos.
4. La existencia de efectos de modulación y frecuencia específica.
5. Las implicaciones de la deposición de energía EM en forma heterogénea.
6. La influencia de las condiciones del ambiente.
7. Los efectos de exposiciones crónicas.

Entonces, para un refinamiento mayor, la introducción de un margen de seguridad debe ser considerada deseable. Se ha establecido en el presente trabajo un factor de 5 o 10 de seguridad para los valores no ajustados de SAR dados en la tabla VI.

Esto resulta en un valor de 0.04 W/kg o 0,08 W/kg, que pueden emplearse como un límite provisorio para la exposición poblacional (o exposición para la población en general) altamente seguros. En las presentes guías, se estableció el factor 5.

Usando el SAR como factor común, se puede construir una curva de densidad de potencia (en $mW/cm^2$) en función de la frecuencia para el ámbito de frecuencias 0,1 MHz - 300.000 MHz.

Se presenta en la figura 2, estableciendo los límites para la exposición poblacional a campos EM de RF, siendo de 0,2 $mW/cm^2$ el límite máximo de exposición poblacional, que corresponde al ámbito de frecuencias de 10-30 MHz hasta 300-400 MHz donde el cuerpo humano presenta frecuencias de resonancia (máxima absorción de energía EM). Con dicho nivel de densidad de potencia se ajustan los valores de SAR entre 0,04 y 0,08 W/kg.

El conocimiento actual de los efectos biológicos posibles de RF permite emitir conclusiones tentativas sobre los límites máximos aceptables para las poblaciones expuestas a campos EM de RF. Esos límites de exposición, dados en densidad de potencia (o de intensidad de campo eléctrico o magnético) están unidos a valores de SAR entre 0,04 y 0,08 W/kg (10 o 15 veces menor que el SAR establecido para los límites de exposición ocupacional). En la figura 2 se puede apreciar esa diferencia entre la exposición poblacional y ocupacional.

Todas las guías y estándares son por su naturaleza, evolucionarios, por estar fundamentados en el conocimiento disponible en el momento de confeccionarlos. Las presentes guías reflejan todos los estudios hasta 1988.

Las mismas están relacionadas con la emisión de onda continua u onda pulsada, campo lejano, exposición corporal de todos los habitantes que constituyen la población en general, es decir, incluye todas las fuentes emisoras de RF. También incluye los límites provisorios de partes del cuerpo humano.

Se aclara que no se poseen hasta el presente suficientes datos en cuanto a efectos de ondas pulsadas o exposiciones parciales del cuerpo, y por lo tanto los límites fijados están sujetos a posibles ajustes futuros. En la tabla XII, titulada “Resumen de estimaciones de límites superiores no ajustados para la exposición de RF a las frecuencias resonantes" se presentan distintos parámetros (temperatura del cuerpo, SAR, etcétera) asociados con límites propuestos para exposiciones de humanos comprendidos entre 1 y 70 años de edad.

La misma refleja las cuatro perspectivas que sirvieron para analizar la información existente sobre efectos, y condujeron al establecimiento del SAR de 0,4 W/kg (exposición ocupacional) y 0,04 W/kg (exposición poblacional).

Este último valor de SAR (0,04 - 0,08 W/kg), se traduce en una densidad de potencia de 0,2 $mW/cm^2$ en la región de frecuencias de resonancia del hombre (10-30 MHz a 300-400 MHz).

Reiterando esos límites de exposición en las figuras 2 y 3, en valores de densidad de potencia o bien de intensidad de campo eléctrico y/o magnético (E, en V/m; H en A/m) están íntimamente enlazados al valor de SAR de 0,04-0,08 W/kg.

Este valor, tal como se expresó durante el trabajo, proporciona un margen de seguridad contra efectos nocivos potencialmente significativos: cualquier aumento en la temperatura del núcleo corporal o activación de la respuesta termorregulatoria y el desarrollo de incrementos localizados de temperatura.

Debe interpretarse que lo expresado significa que se requiere ampliar extensamente las investigaciones en el tema, particularmente en las áreas de mecanismos y efectos específicos de la frecuencia y/o modulación.

APENDICE VI

## CRITERIO PARA FIJAR EL LIMITE PERMISIBLE POR EXPOSICIONES POR DEBAJO DE 3 MHz

Evaluando los trabajos de investigación realizados, en términos de fiabilidad y evidencia de efectos adversos, se estableció que los mismos ocurren generalmente en exposiciones agudas estando siempre asociados a regímenes de absorción específica de cuerpo entero ($SAR_{prom}$ CE) con valores significativamente mayores a los 4 W/kg.

Por lo tanto se aceptó que los efectos riesgosos para la salud humana, estaban asociados con valores de SAR promedio del cuerpo entero, superiores a 4 W/kg.

### VI.1. **Factor de seguridad**

Para asegurar un amplio margen de seguridad, se fijó la reducción en un orden de magnitud del valor SAR de 4 W/kg a 0,4-0,8 W/kg. Los resultados de cálculos teóricos y modelización experimental de energía absorbida para diversas condiciones de exposición humana se presentan en la figura 4, para el ámbito de frecuencias de 10 MHz a 1.000 MHz (Ansi - Portela 1982/83).

La curva envolvente de SAR para exposiciones a campos EM de RF en la región de campo lejano (espacio libre; onda plana) correspondiendo a una densidad de potencia de 1 mW/cm2, como una función de la frecuencia, ha sido determinado para seres humanos, cubriendo un rango de tamaños (formas, pesos) y edades desde lactantes hasta adultos.

El límite máximo permisible ha sido determinado para el ámbito de frecuencias comprendido entre 0,1 MHz y 300 GHz, y los resultados se presentan en las tablas VI y VII y figuras 2 y 3.

Por encima de 2.000 MHz las curvas mantienen un "plateau" hasta 300 GHz. La figura 2 muestra que la región de frecuencias entre 30 y 400 MHz, el régimen de absorción específica de energía $SAR_{prom}$ CE es constante, aproximadamente 0,4 W/kg (densidad de potencia incidente de 1 $mW/cm^2$) .

Cuando la frecuencia disminuye por debajo de 10-30 MHz, la cantidad de energía absorbida de RF ($SAR_{prom}$ CE) disminuye sustancialmente. No obstante, se ha recomendado que las intensidades de campo eléctrico para las frecuencias por debajo de 3 MHz, sea limitado por el valor de E = 614 V/m, H = 1,63 A/m (densidad de potencia equivalente a la onda plana de 100 $mW/cm^2$).

Este límite es propuesto para la prevención de reacciones a nivel de la superficie del cuerpo humano que pueden ocurrir en campos E de elevada intensidad.

En el desarrollo de estos estándares, se enfrentó con el problema de fijar el límite inferior de frecuencia. Por un lado, la dependencia cuadrática de la frecuencia de energía absorbida en cuerpos expuestos, indicó que el estándar podría aumentarse siguiendo la inversa de los cuadros de la frecuencia. Pero por otro lado, si la magnitud de los campos de exposición se permite aumentar sin límite, otros tipos de problemas, tales como los efectos de shocks eléctrico y corona, comienzan a presentarse.

Se controla entonces este problema limitando la densidad de potencia máxima a 10 $mW/cm^2$ (E = 614 V/m, H = 1,63 A/m).

El grupo de trabajo (MS-AS) no se inclinó a aplicar este valor fijado en las guías de exposición a frecuencias menores de 300 KHz (0,3 MHz) porque consideró que sería demasiado conservador como un estándar de exposición. Pero para otros riesgos tales como el shocks

eléctrico, podría tenerse, con mayor consideración, un requerimiento de trabajo científico diferente al usado.

Esta guía de exposición está fundamentada en una completa base documental de trabajos científicos publicados, constituyéndose los niveles de seguridad a la exposición.

La transición a la nueva guía de exposición se detalló en los trabajos presentados en el I Congreso Mundial de Ingeniería y Medio Ambiente (noviembre 1981, Buenos Aires, Portela *et al.*).

Se mostró que la guía revisada por el grupo de trabajo reducía los niveles en un factor 10 (1 mW/cm$^2$ en el ámbito de frecuencias de 30 a 300 MHz), ya que la energía de la onda plana se acopla (energía absorbida por resonancia) al cuerpo humano en esa región del espectro. En cambio, por debajo de los 10-30MHz el factor de acoplamiento de energía disminuye con el cuadrado de la frecuencia y el campo eléctrico propagado en el medio interno del cuerpo; la corriente disminuye directamente con la frecuencia.

En consecuencia, en la guía de exposición es permitido aumentar en un valor dado por la inversa de ese factor, alcanzando 100 mW/cm$^2$ (E = 614 V/m; H = 1,63 A/m) a la frecuencia de 3 MHz.

No existe una razón específica para que el nivel no continúe aumentando para condiciones de exposición de campo libre, pero se recomienda que el nivel de densidad de potencia de 100 mW/cm$^2$ (y la intensidad de los campos E y H relacionada), no sea excedida en las frecuencias más bajas (< 3 MHz) debido al incremento de las posibilidades de shocks y descarga eléctrica si las personas expuestas establecieran contacto con otros objetos dentro del campo electromagnético.

Puesto que un nivel dado de exposición se hace crecientemente conservador con la disminución de la frecuencia en términos de una exposición simple corporal total, la guía no hace recomendaciones por debajo de 300 KHz (0,3MHz).

Si el peligro de shocks se ha prevenido técnicamente, las bases de estos estándares (MS-AS) aquí presentados a otra frecuencia, permitirían aumentar, con frecuencias por debajo de 0,3 MHz, la intensidad del campo eléctrico a niveles tan altos como 18.400 V/m a 10 KHz (0,010 MHz), sin producir un aumento en la energía absorbida, o corriente eléctrica en el cuerpo, por encima de aquella debido a una intensidad de campo eléctrico de 614 V/m correspondiente a 0,3MHz.

Se presenta en la figura 14 la extrapolación del nivel 614 V/m (0-0,3 MHz) al nivel de 18.400 V/m (0,010 MHz).

La ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist, 1981) adoptó en su guía de exposición, un criterio conservador como estándar, el límite de 100 mW/cm$^2$ (614 V/m) correspondiente al ámbito de frecuencias de 300 KHz (0,3 MHz) hasta 10 KHz (0.010 MHz).

La guía de 10 KHz del ACGIH, fundamentada en riesgos de exposición debido solamente a la absorción de energía (descontando el riesgo del shock al tocar cuerpos cercanos de tamaño grande) presentó un factor de seguridad de 900 siendo más conservador que el límite aconsejado por el ANSI para 0,3 MHz.

Claramente, ese límite propuesto por el ACGIH provocaría un impacto en las operaciones de algunas estaciones de VLF (942) basado en niveles de intensidad de campo medidos en forma rutinaria típica de valores hasta 1.000 V/m en áreas de estacionamiento cercanas a la línea de alimentación de antenas.

Otros estándares propuestos en los Estados Unidos de América para la población general, presentados en la tabla XIV, inferiores respecto a aquella del ANSI, ACGIH y NATO, como en el caso de las propuestas en Portland, Oregon, fijado en 0,5 mW/cm$^2$ (43 V/m, cubriendo el ámbito de frecuencias de 100 KHz - 3MHz), considerado el estándar más conservador.

El gobierno del estado de Massachusetts (943) adoptó el estándar del ANSI (1982) para la exposición ocupacional, y ese mismo estándar, pero reducido en un factor 5, para la exposición poblacional (población en general) en el ámbito de frecuencias de 300 KHz a 3 MHz, es decir, 20 $mW/cm^2$ (275 V/m).

Puesto que el tiempo de promediación (período de promediación temporal) para la población general, se aumentó a 30 minutos, el estándar permite exposiciones de término corto de 6 minutos o aún menor, que es el mismo al fijado por el estándar del ANSI.

En un municipio del estado de Oregon (Multnomah County) (944) se adoptó el estándar de Massachusetts para la exposición poblacional corno resultado de la creciente preocupación pública por la elevada concentración de antenas de estaciones de radiodifusión en áreas residenciales. En cambio, New Jersey adoptó el estándar del ANSI (1982) tanto para la exposición ocupacional como poblacional.

Los estándares de seguridad más conservadores son los de, la URSS y países de Europa oriental. Si bien no posee un estándar para 10 KHz, establecieron para 50 Hz, 60 KHz y por encima de esta frecuencia. El estándar soviético de 5.000 V/m para la exposición a campos de 50 Hz durante 8 h/día es muy conservador desde el punto de vista de exposición corporal total.

Se fundamenta en la prevención de cualquier sensación "desagradable" de descargas del tipo "chispas eléctricas", cuando las personas expuestas a campos EM, tocan accidentalmente o conscientemente objetos conectados a tierra (masa).

El estándar de la URSS de la exposición máxima humana para frecuencias entre 60 KHz y 3.000 KHz, es basado en investigación de laboratorio; demuestra un nivel aproximado de exposición para los efectos fisiológicos. De acuerdo con la filosofía soviética para establecer los estándares, el estándar ocupacional para 8 h/día de exposición a la intensidad de campo E de 50 V/m, y magnético H de 5 A/m, es 4 ó 5 veces menor que los umbrales de efectos observados en laboratorio.

Por otra parte, para la exposición poblacional en general (24 h/día), el estándar de la URSS es de 20 V/m a 60 KHz, es decir, 10 a 12 veces menor a los umbrales de efectos definidos en laboratorio.

Partiendo de una extrapolación del nivel de exposición ocupacional a campos EM de 60 KHz, - 50 V/m, conduciría a un nivel máximo de exposición de 300 V/m a 10 KHz, y con la extrapolación del nivel de exposición poblacional de 20 V/m, se alcanzaría el de 120 V/m a 10 KHz.

De inclinarse a usar los criterios empleados en los estándares soviéticos, estos valores serían los recomendados para este ámbito de frecuencia.

Pero, teniendo en cuenta que el grado de acoplamiento de energía por el cuerpo humano expuesto a un campo EM en espacio libre, o bien, asociado con un plano de tierra, para la banda de frecuencia VLF-LF-MF (3 a 30 KHz; 30 a 300 KHz; 0,3 a 3 MHz) es insignificante aún para el caso de los campos eléctricos más elevados, surge de los trabajos de laboratorio en países occidentales, que pueden establecerse niveles de exposición más elevados que aquellos recomendados en los estándares soviéticos.

No obstante, en los niveles recomendados por MS-AS (Argentina) y otras naciones occidentales (ANSI-INIRC/IRPA; Canadá) se alerta sobre los riesgos tales como el shock o quemaduras, cuando una persona expuesta aislada de tierra, toca un objeto conectado a tierra, o bien cuando una persona expuesta haciendo contacto a tierra, toca un objeto aislado.

*Nota*: Por ejemplo, el National Electric Safety Code (966), especifica que el espacio libre entre una línea de transmisión y el plano de tierra, debe adecuarse para asegurar una corriente máxima inducida de 5 mA cuando un vehículo de gran tamaño (altura de la línea de transmisión,

previendo la circulación de móviles de dimensiones grandes), está manteniendo contacto a tierra. Por extensión, se especifica una corriente de pérdida máxima de 0,5 mA para herramientas eléctricas portátiles, artefactos o aparatos del hogar, y de 0,75 mA para dispositivos fijos (instalación permanente).

La corriente máxima a frecuencias altas aceptada en este código (966) puede aumentarse, ya que la sensibilidad del sistema neuro muscular disminuye a frecuencia creciente. Por ejemplo, a 10 KHz, una corriente de 35 mA produciría una sensación fisiológica equivalente a la producida por 5 mA a 60Hz.

VI.2. **Datos biológicos por exposición a campos EM de VLF-LF-MF**

Los riesgos biológicos en personas expuestas a campos EM de VLF-LF-MF que pueden ocurrir son:

a) Shock eléctrico;
b) Descarga disruptiva;
c) Incremento de la temperatura del tejido;
d) Quemaduras;
e) Interferencia en marcapasos implantados.

Un número dado de efectos atérmicos, tal como el "síndrome neurasténico", reportado en la literatura de URSS y países de Europa oriental, son motivo de controversia.

Las cuatro interacciones señaladas, son bien conocidas y ampliamente cuantificadas en la literatura: *Manual para estándares de exposición a campos EM de VLF-LF-MF de 3 a 30 KHz; 30 a 300 KHz; 300 a 3.000 KHz*, en desarrollo; grupo de trabajo del MS-AS (A. Portela, J. Skvarca, L. A. Loureiro) .

VI.3. **Shock eléctrico y descarga disruptiva**

Generalmente una persona expuesta aun hasta los campos EM más elevados en el medio ambiente no experimentará un shock eléctrico, a menos que establezca contacto con tierra o bien con objetos aislados de tierra tales como vehículos, etcétera. Un resumen representativo de efectos de corriente eléctrica a seres humanos se presenta en la tabla XV, para grados distintos de interacción, cubriendo desde aquellos no perceptibles por las manos hasta el shock severo.

El organismo humano es sensible a la corriente eléctrica de campos de 60 Hz, manifestándose la percepción a 0,4 mA, y el shock severo ocurre entre 15 y 23 rnA.

Los umbrales de percepción crecen sustancialmente son el aumento de la frecuencia. Se observa en la tabla XV que el umbral de percepción es aproximadamente 10 veces mayor y el umbral de shock severo cuatro veces mayor a 10KHz que 60 Hz.

Los umbrales para la mujer y el niño son aproximadamente 2/3 y 1/2, respectivamente, del establecido para el hombre.

Los shocks que ocurren sin pérdida de control muscular son generalmente clasificados como shocks secundarios con peligro mínimo de daño fisiológico. Sin embargo, con niveles crecientes de intensidad de la corriente en régimen permanente el control muscular se hace más difícil, así que puede resultar imposible liberar o soltar un objeto asido con la mano (ésta es considerada la corriente *let-go*).

Los valores mínimos *let-go* presentados en la tabla XV son los límites inferiores (o más bajos) para el 95,5 % de la población. Esos valores son 9 mA para el hombre, 6 mA para la mujer y un valor más conservador de 5 mA para niños. Si la corriente se aumentara por encima del valor *let-go*, existe la posibilidad de que ocurra fibrilación ventricular.

La corriente en régimen permanente de objetos en contacto aumenta directamente con la frecuencia. Pero por otra parte los efectos fisiológicos de la corriente son menos pronunciados con frecuencia creciente.

El National Electric Safety Code (966) establece niveles de corriente para campos EM de 60 Hz para dispositivos eléctricos instalados y portátiles y vehículos desplazándose por debajo de líneas de transmisión aéreas.

Estos valores son dados en la tabla XVI junto con valores equivalentes estimados a frecuencias mayores.

Se puede observar que 27 mA sería la corriente corporal más elevada permitido al establecimiento de contacto en vehículos cerca de estaciones de VLF (10 KHz). Este nivel puede considerarse corno adecuado para establecer una zona de seguridad en una antena VLF Omega.

VI.4. **Calentamiento parcial o total del cuerpo humano**

Para el calentamiento nocivo del cuerpo se requerirían regímenes de absorción específica de energía EM ($SAR_{prom}$ CE) promedio del cuerpo entero mayores que 50 W/kg y valores localizados de SAR corresponden a tratamientos de diatermia rutinarios.

El criterio estándar ANSI/MS-AS aplicado para la frecuencia elevada usa un $SAR_{prom}$ CE máximo de 0,4 W/kg y sería ciertamente un nivel conservativamente bajo que no solamente previene cualquier tipo de efectos calóricos, sino que también prevendría cualquier otro tipo de daño biológico debido a efectos diferentes que el shock (ANSI, 1982).

La racionalidad de los estándares ANSI/INIRC-IRPA/MS-AS está fundamentada también en la suposición de que el $SAR_{prom}$ CE máximo podría alcanzar niveles altos corno 4-8 W/kg para exposición corporal parcial según las guías recomendadas.

Una guía de seguridad VLF-LF-MF (3 KHz - 3.000 KHz) dirigida simultáneamente a la prevención de exposición con niveles que puedan causar shocks peligrosos y excediendo el $SAR_{prom}$ CE de 0,4 W/kg y picos localizados de 4-8 W/kg sería basada, por lo menos, en el extenso conocimiento del tema tratado por el National Electrical Safety Code y el ANSI 1982 (Radio Frequency Protection Guide Criteria).

El manual en preparación (A. Portela, J. Skvarca, L. A. Loureiro, 1988), cubrirá la evaluación de corriente eléctrica corporal, densidad de corriente, distribución de potencial, resistencia por unidad de longitud, el SAR para cada extremidad del cuerpo, el $SAR_{prom}$ CE, la conductividad de las distintas partes del cuerpo basado en su exposición a campos VLF-LF-MF (3 KHz - 3.000 KHz), en un amplio ámbito de situaciones.

Las mismas incluyen: la exposición de la persona en espacio libre con los pies en contacto con tierra; con las manos haciendo contacto a masa (tierra) o bien en contacto con varios tipos de vehículos y líneas de transmisión.

Incluirá información, tal como densidad de corriente y valores de SAR localizado, necesaria para el análisis de riesgos en esta región del espectro de frecuencia. En este análisis, un modelo basado en mediciones realizadas en personas expuestas en condiciones rutinarias de trabajo y en modelos maniquíes de tamaño y forma real de hombre, expuestos a campos EM de VLF-MF, será utilizado para desarrollar algoritmos por computadora, calculando los parámetros dosimétricos necesarios, arriba presentados.

Las recomendaciones y estos estándares de seguridad de exposición a campos EM de VLF-MF están en proceso de elaboración (A. Portela, J. Skvarca, L. A. Loureiro).

VI.5. **Mediciones en estaciones VLF-MF**

En la figura 14 se muestra la corriente corporal de corto circuito del hombre en contacto a tierra, expuesto a campos eléctricos de VLF-MF, en la vecindad de estaciones de radiodifusión.

La intensidad de campo eléctrico por debajo de niveles de 1.000 V/m que violaría cualesquiera de las condiciones dadas en la mitad inferior de la tabla XV, se gráfica en la figura 14.

Esas condiciones son:

1. La corriente máxima a través de cualquier extremidad del cuerpo en contacto a tierra u objeto, no debe exceder los niveles equivalentes a aquellos permitidos por el National Electric Safety Code (ANSI C2, New York, publicado por el Instituto of Electrical Engineering, Inc. 1977), en el ámbito de frecuencias donde puedan ocurrir shocks peligrosos.
2. La corriente total posible, entrando al cuerpo no deberá exceder 200 mA, para la prevención de quemaduras de RF.
3. Los valores de $SAR_{prom}$ CE y SAR pico localizado máximo de 0,4 W/kg y 4-8 Wlkg, no pueden ser excedidos.

Por lo tanto, en distintas condiciones posibles, tales como hombre expuesto a campos de 20 KHz y 1000 V/m, con sus pies en contacto a tierra, o bien aislado, en espacio libre, o las manos en contacto a tierra, o en contacto con un objeto (vehículos, etcétera, corriente eléctrica de 1 mA), ninguna de las condiciones 1, 2 o 3 deberán ser violadas, para exposiciones de campo libre, a una intensidad de campo eléctrico de 1.000 V/m o superior a este valor de E (en V/m).

Para los casos donde el cuerpo no está conectado a tierra o bien a otro objeto, una corriente de 200 mA o aún mayor a través del cuerpo, no puede ser necesariamente peligrosa.

Pero este análisis preliminar (manual en progreso para la exposición a VLF-MF) debe tomarse con precaución, pues se ha fundamentado en un modelo homogéneo. En tejido, o masa de tejido real, el SAR y la densidad de corriente, podrían ser significativamente mayores debido a la derivación de corriente a través de los espacios extracelulares o estructuras de mayor conductividad eléctrica, o bien en la derivación de corriente desde tejidos de bajo contenido de agua hacia otros de elevado contenido.

Las quemaduras de RF generalmente ocurren cuando la corriente está circulando a través de una sección transversal pequeña de una parte del cuerpo, tal como los dedos.

Para aplicar el criterio adecuado en aquellas situaciones donde el cuerpo no está en contacto con tierra, se recomienda la restricción de la densidad de corriente máxima a 6,7 $mA/cm^2$ que puede ocurrir a nivel de la articulación de la mano (muñeca) cuando circula a través del brazo una corriente de 200 mA.

Para el caso más generalizado, que corresponde al hombre de pie en tierra o pavimento cuando hace contacto con la superficie de un vehículo determinado (corriente circulando a través del sistema así establecido), la densidad de corriente en la persona expuesta a campos con frecuencias entre 2 y 3 MHz puede llegar a exceder el nivel de 6,7 $mA/cm^2$.

Luego, la intensidad del campo tendría que ser reducida a 620-614 V/m a la frecuencia de 3 MHz, para prevenir ese nivel de densidad de corriente (línea de rayas y puntos) y un SAR máximo localizado en zona de tobillo, de 4-8 W/kg (SAR pico localizado).

Por debajo de 2 MHz, sin embargo, la intensidad de campo puede alcanzar 1.000 V/m sin violar este criterio (figura 15). Luego, un estándar de seguridad para esta condición de exposición corresponde a la curva de línea sólida (1). Basándose en datos obtenidos con personas expuestas, haciendo contacto a tierra, la intensidad de campo E, debe reducirse a 650 V/m a la frecuencia de 3 MHz (línea de trazos), asegurando de esta forma un $SAR_{prom}$ CE por debajo de 0,4

W/kg. Se observa que la restricción de la intensidad de campo eléctrico es casi idéntica, para satisfacer los tres criterios sobre posibles bioefectos.

Cuando una persona está expuesta, con sus manos en contacto con tierra, las observaciones indican que debe limitarse la intensidad del campo eléctrico a valores. Tenores.

El criterio del $SAR_{prom}$ CE (SAR < 0,4 W/kg) se satisface, restringiendo la intensidad de campo E a 448 V/m para 3 MHz, de acuerdo con la curva 2 (línea de trazos), mano en contacto a tierra, mientras que quemaduras por RF y el criterio de SAR localizado máximo (< 8 W/kg) se previenen tornando los datos de la curva 2 (línea sólida), corriente de RF de 200 mA; 222 V/m a 3 MHz; y línea de rayas y puntos (238 V/m a 3 MHz), como se presenta la figura 15.

Basándose en datos (967), las quemaduras por RF y niveles de SAR excesivos para personas que han establecido contacto con vehículos bajo una exposición de campo eléctrico significativamente menor a 1000 V/m, pueden ocurrir notoriamente.

Los grupos de curvas 3, 4 y 5 de la figura 15 indican las restricciones que deben tenerse en consideración en cuanto al valor de la intensidad de campo electrónico, para proteger a una persona conectada a tierra, entrando en contacto con automóviles, ómnibus, camiones (tipos de acoplados diversos).

Los campos deberían estar limitados por las líneas sólidas, para la prevención de quemaduras de RF; las líneas de trazos satisfacen el criterio de $SAR_{prom}$ CE (< 0,4 W/kg.); y las líneas de rayas y puntos ajustan los niveles de seguridad, asegurando el criterio para el SAR máximo localizado de 4-8 W/kg.

En adición a la quemadura de RF y los riesgos por valores de SAR elevados, existe un riesgo de shock eléctrico en las frecuencias de 100 KHz hasta 200 KHz.

Las curvas (líneas sólidas 3, 4, 5) con marcas de cruces (ver parte media superior de la figura 15) correspondiente al ámbito de frecuencias de 10 KHz a 100 KHz indican valores sobre las restricciones en la intensidad del campo eléctrico para prevención de la percepción del shock eléctrico, cuando personas expuestas conectadas a tierra "tocan" vehículos de distintos tamaños, basados en el National Electric Code para dispositivos o instrumentos instalados en sistemas fijos operando a 50-60 Hz, tal como se representa en la tabla XV.

Las curvas 4 y 5 de la figura 15 (líneas de trazos entre 10 y 100 KHz en la parte superior izquierda) especifican los campos E máximos aceptables, para prevenir que ocurra un shock doloroso (ver tabla XV), cuando las personas expuestas a dichos campos establecen contacto con vehículos (automóviles, camiones, transportes de pasajeros).

Esta especificación se ha basado en la extrapolación del National Electric Code para la limitación de corriente desde vehículos estacionados debajo de líneas de transmisión de potencia (50/60 Hz).

No se posee un criterio directo para predecir el cambio en corriente *let-go* con frecuencias por encima de 10 KHz. Por lo tanto, en el cálculo de la especificación para la corriente *let-go*, se asume (Manual de seguridad para VLF-MF, en elaboración, A. Portela, J. Skvarca y L. A. Loureiro) aproximadamente el mismo cambio con la frecuencia, como aquel estimado para el valor umbral de percepción.

Para los casos de exposición ocupacional, o limitadas no frecuentemente a exposiciones aisladas individuales en la población general, las restricciones definidas por las líneas de trazos (4 y 5 en figura 15) (ámbito de frecuencias 10 KHz-100 KHz) serían adecuadas para la protección contra el shock eléctrico.

Para exposiciones frecuentes o continuadas de la población en general, las restricciones concordantes con las curvas de trazo sólido sería aconsejables para la prevención de cualquier sensación tipo shock.

Restricciones aún mayores serán requeridas para la prevención de daños biológicos en personas expuestas en contacto próximo con conductores. Generalmente, para experimentar el nivel de corriente y SAR que viola el criterio de seguridad una persona debe encontrarse extremadamente cercana a las fuentes de VLF-MF.

En el gráfico 16 se presenta el ejemplo de este criterio de exposición en términos de la intensidad del campo eléctrico (y densidad de potencia) basado en un SAR promedio corporal no superior a 0,4 W/kg, SAR máximo localizado de 8 W/kg, y el criterio de quemadura por corriente de RF (200 mA) de la exposición de cuerpo entero en un campo EM de RF de una persona aislada de la superficie (por el material en que está parada), pero con una mano haciendo contacto con un objeto conectado a tierra (por ej. un alambrado metálico).

No es válida una extrapolación a 30 MHz de la curva del ámbito de frecuencias 1-3 MHz, ya que la teoría sólo describe la fenomenología de las interacciones con campos EM en función de la frecuencia en un ámbito.

Por lo tanto, no relaciona esas interacciones con campos EM cuando la frecuencia es superior a 3 MHz. Se observa en el gráfico que la curva de SAR promedio y SAR máximo localizado no son paralelas a la curva de quemadura por RF debido a que la conductividad aumenta con la frecuencia.

## VI. 6. **Quemaduras por RF y SAR localizado elevado**

La corriente umbral para quemaduras de RF producidas en los dedos de la mano por contacto con una superficie conductora es del orden de 200 mA (Rogers, 1981, *Report Nº86* - 1981, NCRP) y el SAR umbral más probable para causar daño por calentamiento local fluctúa entre 50 y 120 W/kg, según datos basados en tratamientos de diatermia (691, 624).

*Nota:* Los trabajos recientes de Guy-Chou y Gandhi realizados para determinar los peligros en el ámbito de frecuencias entre 10 KHz y 3 MHz, basados en mediciones de la impedancia corporal y corriente inducida en personas expuestas voluntariamente, permiten predecir aquellos niveles potencialmente riesgosos de corrientes inducidas y SAR localizado que pueden producir las exposiciones comprendidas dentro de las guías recomendables, especialmente en frecuencia de 1 MHz y mayores (312, 292).

Este criterio de protección para evitar niveles potencialmente peligrosos de corriente inducida en la masa corporal y de valores elevados de SAR localizado durante la exposición se aplicará entre 1 y 3 MHz. No es válido este criterio para el ámbito de frecuencias superior a 3 MHz debido a que aumentando la frecuencia de 30 MHz se alcanza la zona de frecuencias resonantes correspondiente al cuerpo entero. Por lo tanto, los niveles permisibles entre 3 y 30 MHz para exposiciones de personas accidentalmente en contacto a tierra no pueden estimarse por extrapolación de las curvas dadas en el gráfico.

Si los estándares recomendados basados en los estudios en la región comprendida entre 10 KHz y 3 MHz fueran así extrapolados a 30 MHz se tendría que fijar un nivel de exposición límite de 0,13 $mW/cm^2$ para prevenir quemaduras de RF y evitar el SAR máximo de 8 W/kg al hacer contacto las manos con cualquier conductor o metal conectado a tierra (masa) durante la exposición en un campo extenso. Pero esta *extrapolación es incorrecta, ya que sólo describe las interacciones de los campos como una función de la frecuencia hasta el límite de 3 MHz*; por encima de esta frecuencia deben ser buscados nuevos modelos que incluyan el fenómeno de resonancia y otros efectos propios de esa región de frecuencias.

## VI.7. **Consideraciones futuras que puedan influir en este criterio**

A medida que se obtenga mayor información experimental sobre quemaduras por RF o valores de SAR localizado excesivamente elevados en las manos, muñecas (articulación) o tobillos de personas en contacto con superficies de objetos metálicos conectados a masa (tierra) se podrá establecer un criterio para niveles de exposición en la *zona del campo cercano.*

APENDICE VII

## RIESGOS POR EXPOSICION A MICROONDAS

### VII. 1. **Interacciones de las microondas con sistemas biológicos**

La modelación por computadora y ensayos de laboratorio constituyen todas las formas en que los bioefectos e interacciones, han sido estudiados extensivamente.

Modelación por computadora: en este caso, las ecuaciones de onda, para situaciones extremadamente complicadas, son resueltas para obtener parámetros tales como la "profundidad de penetración" y el SAR.

*La profundidad de penetración* es la distancia determinada desde la superficie y normal a ella, para la cual el campo EM en el interior del medio (masa corporal) se ha reducido a $e^{-1}$ de su valor en la superficie. El campo eléctrico en esas circunstancias decae exponencialmente con la distancia:

$$E_X = E_o \cdot e^{-X/D}$$

donde $E_X$ es la intensidad del campo en la posición "X" dentro del tejido o medio interno; $E_o$, la intensidad del campo en la superficie límite (X=0); D, la profundidad de penetración ($E_X = E_o \cdot e^{-1}$).

La profundidad de penetración es una función de la frecuencia. En la figura 17, se muestran los resultados obtenidos para algunos materiales biológicos (profundidad de penetración en sangre, músculo, tejido adiposo como una función de la frecuencia, en el ámbito de 100 y 10.000 MHz).

Se observa que la penetración en el tejido adiposo es significativamente mayor que en músculo o sangre, para ese ámbito de frecuencias. Esto es debido a que tanto las constantes dieléctrica y de conductividad del tejido adiposo son menores que las correspondientes a músculo o sangre. En particular las más altas conductividades del tejido muscular (y sangre) llevan a una disipación de potencia elevada en esas estructuras, y la onda EM es más rápidamente atenuada con el aumento de la profundidad de penetración, resultando que el régimen de calentamiento será mayor en esos tejidos y otras estructuras.

El SAR, rigurosamente, es la potencia absorbida por unidad de masa de tejido. En términos del campo eléctrico propagado dentro del material biológico (masa corporal), el SAR está también dado por:

$$SAR = \sigma E^2/\rho \quad \text{(en W/kg)}$$

Donde E (en V/m) es la intensidad efectiva (RMS) del campo dentro del material; $\sigma$ (S/m) es la conductividad del material y $\rho$ es la densidad de la masa del tejido (en $kg/m^3$).

La computación del SAR muestra dos efectos importantes:

El primero de éstos es la formación de puntos calientes que resultan de la acción de focalización de energía EM, por los materiales con constantes dieléctricas elevadas y también de la forma de las cavidades involucradas en el medio.

La modelación por computadora predice que pueden ocurrir "puntos calientes" en la masa interior del cráneo humano a frecuencias en la región de los 300-400 MHz y 918-2.450 MHz y en el medio interno del globo del ojo, a frecuencias cercanas a los 1.500 MHz.

El segundo efecto importante es la significancia de la escala de tamaño. Se ha observado que las variaciones en el tamaño del cuerpo y su orientación al campo E son extremadamente significativas en relación con la frecuencia, para la determinación del SAR.

Por lo tanto debe tenerse un cuidado máximo al tratar de relacionar y extrapolar los resultados experimentales obtenidos en pequeños animales de laboratorio con el ser humano. Por ejemplo, los resultados computados muestran que a la frecuencia de 700 MHz, el SAR de ratas alcanza un máximo de 0,8 W/kg ($SAR_{prom}$ CE) mientras que el valor para el hombre es del orden de 0,03-0,035W/kg para una densidad de potencia incidente de 1 $mW/cm^2$. En la frecuencia de 70 MHz el $SAR_{prom}$ CE del hombre alcanza valores entre 0,25 y aproximadamente 0,3 W/kg, mientras que para ratas es del orden de 0,012 W/kg.

Es importante resaltar que para el modelo de hombre se usó la altura media de 1,75 metro que corresponde aproximadamente a 0,4 longitudes de onda en la frecuencia de 70 MHz (es decir, se aproxima a un receptor de 1/2). La modelación de fantomas (o maniquíes) consiste en construir un modelo físico de materiales sintéticos que posean propiedades térmicas y eléctricas similares al material biológico bajo estudio. Por ejemplo, para simular tejido cerebral, se ha empleado una composición que consiste en una solución salina, polietileno en polvo y un agente gelatinoso (conocido como "super stuff"). Ver figuras 18, 19 y 20.

La carcasa de paredes huecas del modelo de fantomas fabricado, de *polyfoam* con la forma apropiada es llenada con el material sintético y luego expuesto a radiación de RF de características elegidas por un período de tiempo conocido. El modelo inmediatamente después de la exposición a RF se abre (el fantoma está hecho en dos partes o secciones) y las imágenes térmicas de todas las zonas, incluyendo superficies internas, son obtenidas mediante el empleo del sistema de cámara termográfica.

Conociendo así el incremento de temperatura $\Delta T$ (ºC) para el tiempo de exposición $\Delta t$ (en segundos) se puede calcular el valor del SAR:

$$SAR = 4.185\ c\ \Delta T/\Delta t \qquad \text{(en W/kg)},$$

donde la constante 4.185 J/kcal es el equivalente mecánico del calor y c es el calor específico del medio material en kcal/kgºC.

Los animales pequeños de laboratorio tales como ratones, ratas, gatos, perros, monos, han sido experimentados para determinar los efectos y los mecanismos de las interacciones de radiofrecuencias (RF) y sistemas biológicos.

## VII.2. **Mecanismos interactivos**

Son clasificados en este trabajo como térmicos, microtérmicos y "atérmicos".

*Mecanismos térmicos*. La energía del campo EM de RF es absorbida por el material biológico y convertida en calor. La ecuación diferencial que relaciona el régimen de cambio de temperatura por unidad de masa en calor neto es la siguiente:

$$dT/dt = Q/c \qquad \text{(en ºC/s)},$$

donde $Q = SAR + Wm - WL$.

Wm, el régimen metabólico de producción de calor por unidad de masa (W/kg).

WL, el régimen de pérdida calórica por unidad de masa (W/kg).

SAR y c, definidos en ecuación ya expresada en el texto.

En un animal vivo, Q será una función del tiempo aún cuando el SAR es constante. Para el caso de que el SAR sea elevado (es decir cuando es dominante ese término en la ecuación que define a Q), la temperatura aumentará inicialmente en forma rápida en un período de minutos. El sistema de termorregulación del cuerpo funcionará entonces para estabilizar la temperatura corporal, y posiblemente la reduzca mediante vasodilatación, etcétera. En la figura 21 se presenta

como ejemplo, la variación de la temperatura en un perro sometido a exposición de RF (2.880 MHz), para ilustración de estos puntos aquí mencionados.

La exposición a radiación de bajo nivel (el SAR no es el término dominante en la ecuación que define a Q) puede también perturbar transitoriamente el comportamiento corporal a través de los efectos térmicos.

El régimen metabólico de producción calórica puede reducirse automáticamente para compensar la componente adicional de SAR, con la acción resultante de que el sujeto expuesto aparenta sentir un letargo general y pérdida de apetito.

*Mecanismos microtérmicos.* Para este caso, el aumento de la temperatura es muy pequeño, siendo del orden de unos pocos micrograados Celsius, pero ocurriendo en un corto período de tiempo (en pocos microsegundos). Un efecto característico, atribuido a esta causa, es el efecto sensorial de "audición de RF-MO". El hombre percibe un "chasquido" o "zumbido" audibles durante la exposición a radiación pulsado con densidades de potencia bajas.

Por supuesto el sistema auditivo responde a ondas de presión sonoras y no a las ondas EM. El límite superior de frecuencias audibles es del orden de unas pocas decenas de kilociclos en el sujeto normal.

Es decir, se produce una interacción electromecánica provocada por la expansión térmica de la masa de tejidos contenida en el cráneo. El umbral de la audición de RF-MO es de aproximadamente 10 mJ/gramo por impulso y es independiente de la duración de éstos cuando se prolongan más allá de los 30 microsegundos.

Las experiencias sugieren que el mecanismo microtérmico ocurre en la masa encefálica: el aumento rápido de la temperatura se establece por expansión térmica, genera una onda de presión que estimula la cóclea, mediante conducción ósea, causando la "audición de microondas". Uno de los más grandes problemas encontrados en el estudio de las interacciones de RF-MO con sistemas biológicos, es que el comportamiento de los mismos en muchos casos es sensible a las variaciones de la temperatura, y se hace difícil o casi imposible separar los efectos térmicos de otros efectos (la posible interacción directa de la onda EM con las estructuras o componentes biológicos celulares, órganos y el propio sistema integrado).

El ámbito de los efectos estudiados, incluyendo aquellos conocidos como de origen térmico o microtérmico, se resume aquí:

*Efectos de la exposición a radiofrecuencias (incluye microondas)*

- Efectos celulares
- Respuestas neuroendocrinas
- Efectos en el sistema nervioso
- Efectos cardiovasculares
- Hematopoyesis
- Respuesta auditiva
- Cataratas
- Interferencia por radiación RF en marcapasos implantados en seres humanos.

Los efectos están descritos en la bibliografía presentada en este trabajo.

Los efectos de radiación de RF (incluye microondas) merecen una mención especial. Se observó que aquellos dispositivos de calentamiento por RF, empleados para termalizar sangre previamente o durante la transfusión, pueden provocar hemólisis por sobrecalentamiento o calentamiento inducido rápidamente.

En referencia a los marcapasos cardíacos, el tipo de frecuencia fija (asincrónico) es relativamente insensible a la interferencia por radiación de RF. También se incluyen los del tipo

"de demanda" (sincrónicos, inhibidos por onda - R). Ambos dispositivos están convenientemente blindados para evitar interferencia electromagnética (EM).

La industria electrónica de marcapasos ha asegurado su normal funcionamiento mediante blindaje, y como medida precautoria, sus diseños del tipo sincrónico poseen un módulo lógico para pasar automáticamente al modo asincrónico.

VII.3. **Situaciones riesgosas**

La radiación de RF-MO está siendo utilizada en forma creciente, en tal magnitud, que otras personas ajenas al personal técnico que trabaja en la especialidad, están siendo expuestas a esa radiación EM. Dos ejemplos que mejor ilustran sobre estos nuevos desarrollos son los siguientes:

1. El uso doméstico de los hornos de microondas.
2. El empleo de las estaciones terrenas móviles para las comunicaciones por satélite.

Las reglamentaciones que rigen para los hornos de microondas son fijadas por la autoridad del Ministerio de Salud y Acción Social, abarcando todos los tipos conocidos, tanto de uso doméstico como comercial o industrial. Establecen que las pérdidas de radiación monitoreadas a una distancia de 5 centímetros de la superficie exterior no deben exceder 1 $mW/cm^2$ con una carga mínima en operación y 5 $mW/cm^2$ sin carga.

Dos interruptores independientes de seguridad son requeridos: uno que interrumpe la potencia de microondas cuando la puerta de acceso del horno es abierta, y también es aconsejable un monitor de interbloqueo que pondrá fuera de servicio el horno en caso de fallas en los interruptores de seguridad.

En los últimos diez años las inspecciones de monitoreo de radiación EM de RF (incluye microondas) demuestran que, en aquellos países donde están vigentes las reglamentaciones, los estándares de seguridad de hornos han mejorado perceptiblemente.

Dos áreas relativamente inseguras pueden ser observadas:

1. Falta de monitores de radiación de RF-MO en los talleres de reparaciones.
2. El usuario descuida aspectos que conducen a fallas en las bisagras de la puerta y cierres herméticos de puertas, con un mantenimiento de limpieza deficiente, que resulta en definitiva en el aumento de los niveles de radiación de RF-MO.

VII.4. **Estaciones terrenas**

Con las estaciones terrenas tipo transmisión-recepción móviles, es necesario prevenir a las personas que no pueden ingresar en el cono del haz de radiación de la antena de transmisión, y generalmente, esas personas deberán abstenerse de aproximarse a la zona de emisión asociada a la antena.

Debe tenerse en cuenta que estas estaciones terrenas preferentemente, fueron diseñadas para utilizarlas en comunidades situadas en regiones lejanas, pero asegurando una adecuada supervisión de medidas de seguridad.

En las figuras 22 y 23 se muestra la disposición de una terminal móvil de TV y las dimensiones del vallado en relación al ángulo de elevación de antena, requerido para unidades móviles en uso, con el sistema de comunicaciones por satélite ANIC-B.

VII.5. **Tópicos sobre los efectos posibles**

- Las longitudes de onda de RF-MO (en un ámbito dado de frecuencias) pueden ser del mismo orden de magnitud que las dimensiones del cuerpo humano. Esto conduce a un acoplamiento ajustado (bastante fuerte) en muchos casos entre el cuerpo y el campo EM, con una absorción consecuentemente elevada de energía.

- El daño biológico parece estar relacionado directamente al campo eléctrico de la radiación de radiofrecuencia (incluye MO) siendo ínfima la interacción directa con el campo magnético. Sin embargo, no es necesariamente real para todas las radiofrecuencias, existiendo algunas evidencias que sugieren que los campos magnéticos de ondas EM de muy baja frecuencia interaccionan con los sistemas biológicos (incluye al ser humano).

- Los efectos de RF (incluye microondas) no parecen ser acumulativos exceptuando aquellas situaciones donde el daño permanente fue causado por previas exposiciones (se aclara, daños producidos por densidades de potencias elevadas).

- Los efectos de microondas son reversibles en casi todos los casos conocidos de niveles permisibles. No obstante, existen algunos efectos térmicos y microtérmicos en los cuales la situación es diferente. No se han reportado, aún empleando durante más de diez años el nivel permisible de 10 $mW/cm^2$, daños detectables en personal de estaciones de radar o comunicaciones satelitarias.

No se tiene información de personal expuesto en forma permanente a densidades de potencia de 10m $W/cm^2$ durante las 8 horas diarias de trabajo, con fuentes emisoras operando en el ámbito de frecuencias comprendido entre 10 y 400 MHz o superiores.

La radiación de microondas debe distinguirse o diferenciarse de la radiación EM ionizante (rayos X y gamma). Si bien ambas pueden ser representadas en términos de ondas electromagnéticas, no resulta un modelo muy útil para el tipo de radiación ionizante electromagnética. Esta radiación causa daño celular por ionización en el nivel atómico-celular, por lo que es adecuadamente modelada por interacciones de partículas.

Por otra parte, las radiaciones electromagnéticas no ionizantes de RF (incluye microondas) producen vibración molecular, que se convertirá en energía térmica (calor).

Las evidencias han mostrado hasta el presente que las radiaciones electromagnéticas ionizantes (X y gamma) son realmente peligrosas y esto en grado altísimo, comparadas con las radiaciones de radiofrecuencias (RF-MO), cuyos efectos son observables en niveles excepcionalmente elevados (por daños térmicos severos).

APENDICE VIII

## INFERENCIAS SANITARIAS

En este trabajo hemos realizado una revisión y evaluación detallada de la literatura científica publicada (el banco de datos se constituyó en el Centro de Estudios Comparados -CEC- en todas las disciplinas relacionadas con los efectos biológicos y las aplicaciones biomédicas de los campos EM de RF-MO) (Referencias).

Los límites de exposición establecidos por el MS-AS fueron basados en datos completísimos y seleccionados según los criterios establecidos.

El ANSI (1982), el IRPA/INIRC (1984) y MS-AS (1982/1984) partiendo de una revisión y evaluación de datos similares, alimentados por un banco de datos común, seleccionaron aquellos trabajos que aportaron observaciones estadísticamente significativas basándose en una tecnología de mediciones y dosimetría adecuada. Es decir, fueron realizadas las evaluaciones de aquellos trabajos seleccionados, que por sus contenidos, demuestran la existencia de riesgos para la salud.

El comportamiento en animales de experimentación, fue considerado como el indicador más sensible de un efecto adverso para la salud. Por ejemplo se mencionan: actividad convulsivo (910), suspensión del trabajo (910), disminución del trabajo, disminución de la actividad locomotriz y exploratoria, alteración de la conmutación prematura en la percepción (frecuencia de conmutación con números consecutivos fijos), percepción del campo EM de RF (audición de microondas por efecto de expansión térmica), comportamiento de aversión, etcétera.

Como resultado general de esta revisión, el grupo de trabajo MS-AS (A. Portela, J. Skvarca, L. A. Loureiro) concluyó que una exposición aguda menor a 1 hora, con una energía EM de RF, depositada en el cuerpo entero con un $SAR_{prom}$ CE de aproximadamente 4 W/kg, no produce un efecto adverso a la salud en animales experimentales (tales como monos, perros, gatos, ratas, etcétera).

Sin embargo, debido a que una exposición prolongada (de días y semanas) puede provocar daños, se ha establecido un factor de seguridad 5-10 con el fin de reducir el valor SAR a 0,4 W/kg para la exposición límite ocupacional.

Para la exposición límite permanente de la población en general se fijó el valor 0,04- 0,08 W/kg.

# 12. TABLAS Y FIGURAS

## TABLA 1

## Ejemplos de límites de exposición a microondas y RF en diversos países

| País, institución u organismo fecha | Tipo de norma | Frecuencia | Límite de exposición | Duración de la exposición | Oc/pulsadas | Antena fija/giratoria | Observaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Australia*<br>Laboratorio australiano de radiaciones (Cornelius y Viglione, 1979) | Borrador de propuesta acerca de exposición ocupacional y pública | | El límite (L), mWh/cm$^2$, depende de la frecuencia *(f)* en MHz, para exposiciones integradas en el tiempo, promediadas en cualquier período de 1 h; 4(L) mW/cm$^2$ promediados en cualquier período de 1 s para períodos de menos de 1 h | 24 h | ambas | ambas | También se incluye una propuesta de límites de exposición en campo próximo, la exposición a impulsos máximos se limita a 1 W/cm$^2$ |
| | | 10-30 MHz<br>30-130 MHz<br>130-600 MHz<br>0,6-3 GHz<br>3-300 GHz | L= 5,4-0,365 $f$+0,0064 $f^2$<br>L=0,2<br>L=0,2+0,00128 ($f$-130)<br>L=0,8+0,00029($f$-600)<br>L=k.5 | | | | |
| *Bulgaria*<br>Bulgarian National Standard (1979) | Normas legales nacionales con fuerza de ley; exposición ocupacional | | Intensidad de campo eléctrico, V/m; | | | | |
| | | 60 kHz-3MHz<br>3 MHz-30 MHZ<br>30 MHz-50 MHz<br>50 MHz-300 MHz | 50 V/m<br>20 V/m<br>10 V/m<br>5 V/m | Día de trabajo<br>Día de trabajo<br>Día de trabajo<br>Día de trabajo | | | |
| | | | Intensidad de campo magnético, A/m | | | | |
| | | 60 kHz-1,5MHz<br>30 MHz-50 MHz | 5 A/m<br>0,3 A/m | Día de trabajo<br>Día de trabajo | | | |
| | | | Densidad de potencia, W/m$^2$ | | | | |
| | | 300 MHz-300 GHz<br>300 MHz-300 GHz | Hasta 0,1<br>0,1-1 W/m$^2$ | Día de trabajo<br>No más de 2 h | ambas<br>ambas | Fija<br>Fija | Hasta 0,1 durante el resto del día de trabajo: se exige el uso de antiparras protectoras |
| | | 300 MHz-300 GHz | 1,0-10,0 W/m$^2$ | No más de 20 min. | ambas | Fija | |
| | | 300 MHz-300 GHz<br>300 MHz-300 GHz | Hasta 1,0 W/m$^2$<br>1,0-10,0 W/m$^2$ | Día de trabajo<br>No más de 2 h | ambas<br>ambas | Giratoria<br>Giratoria | Si la temperatura ambiental supera los 28 ºC o se produce simultáneamente exposición a rayos X, no se permiten exposiciones a más de 1,0 W/m$^2$ |
| *Canadá*<br>Canadian Standards Association (1966) | Voluntaria; exposición ocupacional | 10 MHz -100 GHz | 10 mW/cm$^2$<br>1 mW/cm$^2$ | Sin límite<br>0,1 | oc<br>Pulsadas | ambas<br>ambas | Ya no se aplica porque la norma nacional de 1979 es más conservadora |
| National Health and Welfare (1979) | Reglamento nacional de higiene y seguridad ocupacional, con fuerza de ley. Exposición ocupacional. | 10 MHz -1 GHz | Densidad de potencia: 1 mW/cm$^2$ ; intensidad eficaz de campo eléctrico: 60 V/m; intensidad eficaz de campo magnético: 0,16 A/m | Sin límite, promediada en 1 h | ambas | ambas | |
| | | 1 GHz-300 GHz | Densidad de potencia: 5 mW/cm$^2$ ; intensidad eficaz de campo eléctrico: 140 V/m; intensidad eficaz de campo magnético: 0,36 A/m | Promediada en 1 h | ambas | | |

| País, institución u organismo fecha | Tipo de norma | Frecuencia | Límite de exposición | Duración de la exposición | Oc/pulsadas | Antena fija/giratoria | Observaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 10 MHz-300 GHz | Densidad de potencia: 25 mW/cm$^2$; intensidad eficaz de campo eléctrico: 300 V/m; intensidad eficaz de campo magnético: 0,8 A/m | 1 min | ambas | ambas | No se pueden exceder estos valores que constituyen "valores topes". Se agregaron algunas disposiciones para casos "especiales", en condiciones estrictamente vigiladas. No se pueden sobrepasar los 10 mW/cm$^2$ cuando se promedian en un período de 1 h. |
| | Población en general | 10 MHz-300 GHz | Densidad de potencia:1 mW/cm$^2$; intensidad eficaz de campo eléctrico: 60 V/m; intensidad eficaz de campo magnético: 0,16 A/m | Sin límite, promediada en 1 min. | | | |
| *Checoslovaquia*<br><br>Higienista Principal de la RSSC (1970) | Reglamento nacional de higiene y seguridad ocupacional, con fuerza de ley | | | | | | |
| | Exposición ocupacional | 30 kHz-30MHz | Límite de exposición (L) en V/m, calculado según la fórmula: L x *t*(h) = 400, es decir, 50 V/m para 8 h. | Duración de la exposición (*t*) en horas calculadas según la fórmula de la columna de la izquierda. | - | - | Las personas sometidas a exposición ocupacional están bajo vigilancia médica obligatoria (exámenes periódicos según especifica la ley). Se establecen métodos unificados de medición que se especifican en las mismas disposiciones. Las disposiciones fechadas en 1965, limitaban la potencia máxima de impulsos (exposición instantánea) a 1 kW/cm$^2$. En la revisión de 1970 se omitió esta restricción. |
| | | 30MHz-300 MHZ | L x *t*(h) = 80, es decir, 10 V/m para 8 h. | | | | |
| | | 30MHz-300 GHZ | Límite de exposición (L) en $\mu$W/cm$^2$ para 8 h. | Como en el caso anterior | oc | ambas | |
| | | 300 MHz-300 GHz | L x *t*(h) = 80, es decir 10 $\mu$ W/cm$^2$ para 8 h. | Como en el caso anterior | Pulsadas | ambas | |
| | Población en general | 30 kHz-30 MHz | Límite de exposición (L) en V/m, calculado según la fórmula L x *t*(h) = 120, es decir, 5 V/m para 24 h. | Como en el caso anterior | - | - | |
| | | 30 MHz-300 MHz | Límite de exposición (L) en V/m, calculado según la fórmula L x *t*(h) = 24, es decir, 1 V/m para 24 h. | Como en el caso anterior | - | - | |
| | | 300 MHz-300 GHz | Límite de exposición (L) en $\mu$W/cm$^2$, calculado según la fórmula L x r(h) = 60, es decir, 2,5 $\mu$W/cm$^2$ para 24h. | Como en el caso anterior | oc | ambas | |
| | | 300 MHz-300 GHz | L x *t*(h) = 24, es decir, 1 $\mu$W/cm$^2$ para 24 h | Como en el caso anterior | Pulsadas | ambas | |
| *EUA*<br><br>American National Standards Institute (1966) | Norma para exposición ocupacional, acatamiento voluntario (recomenda-ción) | 10 MHz - 300 GHz | 10 mW/cm$^2$ | Sin límite (para períodos de 0,1 h o más) | ambas | ambas | En condiciones "ambientales moderadas", las personas con trastornos circulatorios y algunas otras dolencias, son más vulnerables. En la publicación ANSI-C95.3-1973, se indican técnicas e instrumentos de medición. Para la prevención de riesgos vinculados con la |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| American National Standards Institute (1974) | Norma para exposición ocupacional, acatamiento voluntario (recomenda-ción) | 10 MHz - 300 GHz | Densidad de potencia: 10 mW/cm$^2$; intensidad de campo eléctrico : 200 V/m: intensidad de campo magnético: 0,5 A/m | Sin límite | oc | ambas | exposición, véase Institute of Makers of Explosives (1971). El Departamento de Trabajo de EUA adoptó la norma de 1968 del Instituto, en las disposiciones que propuso (Fed. Register, Vol 38, Nº 166, para 1910, 345; p.23046, 1973); por último, adoptó los 10 mW/cm$^2$ como límite máximo de seguridad para la exposición ocupacional (Fed.Register, Vol.40 Nº 59, point 12, p. 13138, 1975). Esta norma es una recomendación y el Dpto. del Trabajo está preparando una nueva norma. |
| | | | Densidad de potencia: 10 mW/cm$^2$; densidad de energía: 1mWh/cm$^2$; intensidad eficaz de campo eléctrico (E$^2$): 40.000 V$^2$/m$^2$; intensidad eficaz de campo magnético (E$^2$): 0,25 A$^2$/m$^2$ | 0,1 h | Pulsa-das | ambas | |
| | Propuesta de norma de acatamiento voluntario (recomenda-ción) | 0,3 - 3 MHz | Densidad de potencia: 100 mW/cm$^2$; 400.000 V$^2$/m$^2$ - E$^2$ 2,5A$^2$/m$^2$ - H$^2$ | Sin límite, promediado, en cualquier período de 0,1 h | ambas | ambas | La intensidad eficaz de campo eléctrico (E$^2$) y la intensidad eficaz de campo magnético (H$^2$) son aplicables a exposiciones en campo próximo |
| | | 3 - 30 MHz | $\frac{900}{f^2}$ mW/cm $^2$ - densidad de potencia $\frac{4000 \times 900}{f^2} \cdot v^2 / m^2 - E^2$ $\frac{0,025 \times 900}{f^2} \cdot A^2 v^2 / m^2 - E^2$ | Promediado en cualquier período de 0,1 h | ambas | ambas | *f* es la frecuencia en MHz |
| | | 30 - 300 MHz | Densidad de potencia: 1,0 mW/cm$^2$; 4000 V$^2$/m$^2$- E$^2$ 0,025 A$^2$ /m$^2$ - H$^2$ | Promediado en cualquier período de 0,1 h | ambas | ambas | |
| | | 0,3 - 1,5 GHz | $\frac{f}{300}$ mW/cm $^2$ $\frac{4000 \times f}{300} \cdot v^2 / m^2 - E^2$ $\frac{0,025 \times f}{300} \cdot A^2 / \mathrm{m}^2$ - H $^2$ | Promediado en cualquier período de 0,1 h | ambas | ambas | |
| | | 1,5-300 GHz | Densidad de potencia: 5 mW/cm$^2$; 20000 V$^2$/m$^{2-}$E$^2$ 0,125 A$^2$/m$^{2-}$H$^2$ | Promediado en cualquier período de 0,1 h | ambas | ambas | |
| American Conference of Governmental Industrial Hygienists (1979) | Recomenda-ción | 10 MHz-100 GHz | Lo mismo que en American National Standars Institute (1974) | Sin límite | ambas | ambas | Se agregó las recomendaciones del Instituto (1974) una concentración de tope de 25 mW/cm$^2$ *Nota:* Una norma estadounidense con fuerza de ley es la concerniente a emisiones de equipo, para hornos de microondas (US Code of Federal Regulations, 1970) |

| País, institución u organismo fecha | Tipo de norma | Frecuencia | Límite de exposición | Duración de la exposición | oc/pul-sadas | Antena fija/girato-ria | Observaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Polonia*<br><br>Consejo de Ministros (1972) | Reglamento nacional con fuerza de ley | 300 MHz-300 GHz | Hasta 0,1 W/m$^2$ (zona segura) | Sin límite (está implícito el público en general) | ambas | Fija | Reemplaza a un reglamento de 1961 que, esencialmente, establecía los mismos límites de exposición que en la URSS.<br>Si bien es una norma para la exposición ocupacional, estableció una zona "segura" en la que no hay restricciones en cuanto a habitabili-dad. Sólo trabajadores (personas que sufren exposición ocupacional) que tengan certificado de aptitud, sometidos periódicamente a exámenes médicos, puedan entrar en las zonas "intermedias" y "de riesgo". De esta manera, se ha establecido implicitamente un límite de exosición para la población en general.<br>Se ha redactado un reglamento que será adoptado en 1980, que establece límites de exposición para el público en general y para proteger el medio, en relación con microondas, RF y frecuencias extremadamente bajas.<br>Véanse la figura 16 y la sección 9.3. Las dura-ciones de las exposiciones ocupacionales y las definiciones de campos electromagnéticos, antenas fijas y giratorias, se establecieron en otras disposiciones (Ministro de Salud y Asistencia Social, 1972)<br>P= densidad de potencia en W/m$^2$ |
| | | 300 MHz-300 GHz | 0,1 W/m$^2$-2 W/m$^2$ (zona intermedia) | Día de trabajo | ambas | Fija | |
| | | 300 MHz-300 GHz | 2 W/m$^2$-100 W/m$^2$ (zona de riesgo) | $\frac{32}{p^2}$ horas | ambas | Fija | |
| | | 300 MHz-300 GHz | Más de 100 W/m$^2$ (zona peligrosa) | Está prohibida la ocupación por el hombre (concentra-ción tope) | ambas | Fija | |
| | | 300 MHz-300 GHz | Hasta 1 W/m$^2$ (zona segura) | Sin límite (está implícito el público en general) | ambas | Giratoria | |
| | | 300 MHz-300 GHz | 1 W/m$^2$ - 10 W/m$^2$ (zona intermedia) | Día de trabajo | ambas | Giratoria | |
| | | 300 MHz-300 GHz | 10 W/m$^2$-100 W/m$^2$ (zona de riesgo) | $\frac{800}{p^2}$ horas | ambas | Giratoria | |
| | | 300 MHz-300 GHz | Más de 100 W/m$^2$ (zona peligrosa) | Está prohibida la ocupación por el hombre (concentra-ción tope) | ambas | Giratoria | |
| Ministros de Trabajo, Salarios y Asuntos Sociales, y de Salud y Asistencia Social (1977) | Reglamento nacional con fuerza de ley | 0,1 MHz-10 MHz | Intensidad eficaz de campo eléctrico: 20 V/m (zona segura) | Sin límite (está implícita la población en general) | - | - | El mismo concepto de zonas segura, intermedia de riesgo y peligrosa, la convierte en norma implícita para la población en general.<br><br>En la gama de 0,1 a 10 MHz, se suministraron valores de la intensidad eficaz de campo magnético, pero como superan a los correspondientes a la intensidad eficaz de campo eléctrico, en la práctica sólo se usan estos últimos como factor que limita las exposiciones permisibles. Véanse las figuras 21 y 22.<br>*E*= intensidad eficaz de campo eléctrico |
| | | | Intensidad eficaz de campo eléctrico: 20 V/m-70 V/m (zona intermedia) | Día de Trabajo | ambas | - | |
| | | | Intensidad eficaz de campo eléctrico: 70 V/m-1000 V/m (zona de riesgo) | $\frac{560}{E}$ | ambas | Giratoria | |
| | | | Intensidad eficaz de campo eléctrico: más de 1000 V/m (zona peligrosa) | Está prohibida la ocupación por el hombre (concentra-ción tope) | ambas | Giratoria | |
| | | 10 MHz-300 MHz | Intensidad eficaz de campo eléctrico: hasta 7 V/m (zona segura) | Sin límite (está implícita la población en general) | ambas | Giratoria | |
| | | | Intensidad eficaz de campo eléctrico: 7 V/m - 20 V/m (zona intermedia) | Día de trabajo | ambas | Giratoria | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Intensidad eficaz de campo eléctrico: 20 V/m-300 V/m (zona de riesgo)<br><br>Intensidad eficaz de campo eléctrico: más de 300 V/m (zona peligrosa) | $\frac{3 \cdot 200}{E^2}$<br><br>Está prohibida la ocupación por el hombre (concentración tope) | ambas<br><br>ambas | Giratoria<br><br>Giratoria | |
| *República Democrática Alemana*<br><br>National Committee for Standardization<br><br>Measurementes and Products Control (1975) | Normas nacionales de higiene ocupacional con fuerza de ley | 60 KHz - 3 MHz<br><br>3 MHz - 30 MHz<br><br>30 kHz - 50MHz<br><br>50MHz-300 MHz<br><br>300MHz-300 GHz<br><br>300 MHz-300 GHz<br><br>300MHz-300 GHz<br><br>300MHz-300 GHz<br><br>300MHz-300 GHz | Intensidad de campo eléctrico: 50 V/m<br>Intensidad de campo eléctrico: 20 V/m<br><br>Intensidad de campo eléctrico: 10 V/m<br><br>Intensidad de campo eléctrico: 5 V/m<br><br>Densidad de potencia: 10 $\mu$W/cm$^2$<br><br>Densidad de potencia: 100 $\mu$W/cm$^2$<br><br>Densidad de potencia: 1000 $\mu$W/cm$^2$<br><br>Densidad de potencia: 100 $\mu$W/cm$^2$<br><br>Densidad de potencia: 1000 $\mu$W/cm$^2$ | Día de trabajo<br>Día de Trabajo<br><br>Día de Trabajo<br><br>Día de Trabajo<br><br>Hasta 8 h<br><br>Hasta 2 h<br><br>Hasta 20 min<br><br>Hasta 8 h<br><br>Hasta 2 h | --<br>--<br><br>--<br><br>--<br><br>ambas<br><br>ambas<br><br>ambas<br><br>ambas<br><br>ambas | --<br>--<br><br>--<br><br>--<br><br>Fija<br><br>Fija<br><br>Fija<br><br>Giratoria<br><br>Giratoria | Sustituye a una norma de 1972; no cambiaron los límites de la exposición a microondas pero se introdujeron límites para la exposición a RF en la nueva versión<br><br>1.000 $\mu$W/cm$^2$ es una "concentración tope" que no se puede sobrepasar. |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Suecia*<br><br>Workers Protection Authority (1976) | Reglamento nacional de seguridad ocupacional | 10-300 MHz<br>0,3 - 300 GHz<br>0,3 - 300 GHz | 5 mW/cm$^2$<br>1 mW/cm$^2$<br>1-25 mW/cm$^2$ | 8 h<br>8 h<br>$\frac{60}{P}$ | ambas<br>ambas<br>ambas | Giratoria<br>Giratoria<br>Giratoria | *P*= Densidad de en mW/cm$^2$ |
| | | 10 MHz-300 GHz | 25 mW/cm$^2$ | Promediados | ambas | Giratoria | Concentración tope |
| *URSS*<br><br>Comité Nacional de Normas del Consejo de Ministros de la URSS<br><br>(URSS Standard for Occupational Exposure, 1976) | Norma nacional para exposiciones ocupaciona-les, con fuerza de ley | 60 KHz-3 MHz | Intensidad de campo eléctrico: 50 V/m | Día de trabajo | ambas | ambas | Reemplaza a disposiciones y normas anteriores sin modificaciones esenciales. |
| | | 3 MHz-30 MHz | Intensidad de campo eléctrico: 20 V/m | | | | |
| | | 30 MHz-50 MHz | Intensidad de campo eléctrico: 10 V/m | | | | |
| | | 50 MHz-300 MHz | Intensidad de campo eléctrico: 5 V/m | | | | |
| | | 60 kHz - 1,5 MHz | Intensidad de campo magnético: 5 A/m | Día de trabajo | ambas | ambas | |
| | | 30 MHz-50 MHz | Intensidad de campo magnético: 0,3 A/m | Día de trabajo | ambas | ambas | |
| | | 300MHz-300 GHz | Densidad de potencia: hasta 0,1 W/m$^2$ | Día de trabajo | ambas | Fija | |
| | | 300MHz-300 GHz | Densidad de potencia: 0,1 a 1,0 W/m$^2$ | Hasta 2 h al día | ambas | Fija | Durante el resto del día de trabajo, hasta 0,1 W/m$^2$. |
| | | | Densidad de potencia: 1,0 a 10 W/m$^2$ | Hasta 20 min. al día | ambas | Fija | Durante el resto del día de trabajo, hasta 0,1 W/m$^2$; obligación de usar antiparras protectoras |
| Ministerio de Salud (USSR Standard for Public Exposure, 1978) | Reglamento de Salud, con fuerza de ley | 300MHz-300 GHz | Densidad de potencia: hasta 1,0 W/m$^2$ | Día de trabajo | ambas | Giratoria | |
| | | | Densidad de potencia: 1,0 a 10 W/m$^2$ | Hasta 2 h al día | ambas | Giratoria | Durante el resto del día de trabajo, hasta 1,0 W/m$^2$ |

## Tabla II
## Comparación de límites de exposición ocupacional a campos electromagnéticos de radiofrecuencias (RF) recomendados por ANSI, INIRC/IRPA y MS y AS

| **Región de frecuencias (MHz)** | | | **Intensidad del campo eléctrico (V/m)** | | | **Densidad de potencia equivalente para onda plana ($mW/cm^2$)** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ANSI | INIRC | MS y AS | ANSI | INIRC | MS y AS | ANSI | INIRC | MS y AS |
| 0,3-3 | 0,1-1 | 0,3-3 | $(400.000)^{1/2}$ | 194 | $(376.382,25)^{1/2}$ | 100 | 10 | 100 |
| 3-30 | 1-10 | 3-30 | $[4.000\ (900/f^2)]^{1/2}$ | $194/f^{1/2}$ | $[3.764(900/f^2)]^{1/2}$ | $900/f^2$ | 10/f | $900/f^2$ |
| 30-300 | 10-400 | 30-400 | $(4.000)^{1/2}$ | 61 | $(3.764)^{1/2}$ | 1 | 1 | 1 |
| 300-1500 | 400-2000 | 400-2000 | $[4.000(f/300)]^{1/2}$ | $3.f^{1/2}$ | $3.f^{1/2}$ | f/300 | f/400 | f/400 |
| $15.10^2$-$1.10^5$ | $2.10^3$-$3.10^5$ | $2.10^3$-$3.10^5$ | $(20.000)^{1/2}$ | 137 | 137 | 5 | 5 | 5 |

## Tabla III
## Comparación de límites de exposición poblacional a campos electromagnéticos de radiofrecuencias (RF) recomendados por ANSI, INIRC y MS y AS

| **Región de frecuencias (MHz)** | | | **Intensidad del campo eléctrico RMS no-perturbado (V/m)** | | | **Densidad de potencia equivalente para onda plana ($mW/cm^2$)** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ANSI | INIRC | MS y AS | ANSI | INIRC | MS y AS | ANSI | INIRC | MS y AS |
| 0,3-3 | 0,1-1 | 0,3-1 | $(400.000)^{1/2}$ | 87 | 87 | ~20 | 2 | 2 |
| 3-30 | 1-10 | 1-10 | $[400.000(900/f^2)]^{1/2}$ | $87.\ f^{1/2}$ | $87.\ f^{1/2}$ | $(900/f^2)/5$ | 2/f | 2/f |
| 30-300 | 10-400 | 10-400 | $(4.000)^{1/2}$ | 27,5 | 27.5 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 300-1500 | 400-2000 | 400-2000 | $[400.000(f/300)]^{1/2}$ | $1375.f^{1/2}$ | $1375.f^2$ | (f/300)/5=f/1.500 | f/2000 | f/2000 |
| $15.10^2$-$1.10^5$ | $2.10^3$-$3.10^5$ | $2.10^3$-$3.10^5$ | $(20.000)^{1/2}$ | 61,35 | 61,35 | 1 | 1 | 1 |

# TABLA IV

| Standard | Type | Frecuency | Exposure limit | Exposure duration | CW/pulsed | Antenna Stationary/ Rotating | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| U.S. ANSI 1974 | Occupational | 10 MHz-100 GHz | 10 mW/cm$^2$ 200 V/m 0.5 A/m | No limit | CW | both | |
| | | | 1 mWhr/cm$^2$ | 0.1 hour | Pulsed | both | |
| U.S. Army and Air Force 1965 | Occupational | 10 MHz-300 GHz | 10 mW/cm$^2$ | No limit | both | both | |
| | | | 10-100 mW/cm$^2$ | 6000/X$^2$ (min) | both | both | X-power density in mW/cm$^2$ |
| U.S. Indust. Hygienist 1971 | Occupational | 100 MHz-100 GHz | 10 mW/cm$^2$ | 8 hours | both | both | |
| | | | 25 mW/cm$^2$ | 10 min | both | both | |
| Canada Can. Standars Assoc. 1966 | Occupational | 10 MHz-100 GHz | 10 mW/cm$^2$ | No limit | CW | both | |
| | | | 1 mWhr/cm$^2$ | 0.1 hour | Pulsed | both | |
| Canada H&W proposed | Occupational | 10 MHz-1 GHz | 1 mW/cm$^2$ | No limit | both | both | |
| | | 1-300 GHz | 5 mW/cm$^2$ | No limit | both | both | |
| | | 10 MHz-300 GHz | 25 mW/cm$^2$ | 1 min | both | both | |
| | General Public | 10 MHz-300 GHz | 1 mW/cm$^2$ | No limit | both | both | |
| Sweden Worken Prot. Authority 1976 | Occupational | 0.3-300 GHz | 1 mW/cm$^2$ | 8 hours | both | both | |
| | | 10-300 MHz | 5 mW/cm$^2$ | 8 hours | both | both | |
| | | 0.3-300 MHz | 1-25 mW/cm$^2$ | 60/X (min) | both | both | X-power density in mW/cm$^2$ |
| | | 10 MHz-300 GHz | 25 mW/cm$^2$ | any | CW, pulsed averaged over 1 sec. | both | |
| USSR Government 1977 | Occupational | 10-30 MHz | 20 V/m | Working day | both | both | Military units and establishments of the ministry of Defence excluded |
| | | 30-50 MHz | 10 V/m | Working day | both | both | |
| | | | 0.3 A/m | Working day | both | both | |
| | | 50-300 MHz | 5 V/m | Working day | both | both | |
| | | 0.3-300 GHz | 10 $\mu$W/cm$^2$ | Working day | both | Stationary | |
| | | | 100 $\mu$W/cm$^2$ | Working day | both | Rotating | |
| | | | 100 $\mu$W/cm$^2$ | 2 hours | both | Stationary | |
| | | | 1 mW/cm$^2$ | 2 hours | both | Rotating | |
| | | | 1 mW/cm$^2$ | 20 min | both | Stationary | |
| USSR Government 1970 | General Public | 0.3-300 GHz | 1 $\mu$ W/cm$^2$ | 24 hours | both | both | |
| Czechoslovakia Government 1970 | Occupational | 10-30 MHz | 50 V/m | Working day | both | both | |
| | | 30-300 MHz | 10 V/m | Working day | both | both | |
| | | 0.3-300 GHz | 25 $\mu$ W/cm$^2$ | Working day | CW | both | |
| | | | 10 $\mu$ W/cm$^2$ | Working day | Pulsed | both | Max peak 1 kW/cm$^2$ |
| | General Public | 30-300 MHz | 1.6 mW/cm$^2$ | 1 hour | CW | both | |
| | | | 0.64 mW/cm$^2$ | 1 hour | Pulsed | both | |
| | | | 1 V/m | 24 hours | both | both | |
| | | 0.3-300 GHz | 2.5 $\mu$ W/cm$^2$ | 24 hours | CW | both | |
| | | 30-300 MHz | 1 $\mu$ W/cm$^2$ | 24 hours | Pulsed | both | |
| | | | 1 V/m | 24 hours | both | both | |
| | | 10-30 MHz | 2.5 V/m | 24 hours | both | both | |
| Poland Government 1972 | Occupational | 0.3-300 GHz | 0.2 mW/cm$^2$ | 10 hours | both | Stationary | |
| | | | 0.2-10 W/cm$^2$ | 32/P$^2$ (hours) | both | stationary | P-power density in W/m$^2$ |
| | | | 1 mW/cm$^2$ | 10 hours | both | Rotating | |
| | | | 1-10 mW/cm$^2$ | 800/P$^2$ (hours) | both | Rotating | P-power density in W/m$^2$ |
| | General Public | 0.3-300 GHz | 10 $\mu$ W/cm$^2$ | 24 hours | both | Stationary | |
| | | | 0.1 mW/cm$^2$ | 24 hours | both | Stationary | |
| Poland Government 1975 proposed | Occupational | 10-300 MHz | 20 V/m | Working day | both | both | |
| | | | 20-300 V/m | 3200/E$^2$ (hours) | both | both | E-electric field intensity in V/m |
| | General Public | 10-300 MHz | 7 V/m | 24 hours | both | both | |

## TABLA V
## Guías de protección para radiofrecuencias y microondas

| Ambito de frecuencia (MHz) | Densidad de potencia ($mW/cm^2$) | $E^2$ ($V^2/m^2$) | $H^2$ ($A^2/m^2$) |
|---|---|---|---|
| 0,3-3 | 100 | 400.000 | 2,5 |
| 3-30 | $900/f^2$ | 4.000 ($900/f^2$) | 0,025 ($900/f^2$) |
| 30-300 | 1,0 | 4.000 | 0,025 |
| 300-1.500 | f/300 | 4000(f/300) | 0,025 (f/300) |
| 1.500-100.000 | 5,0 | 20.000 | 0,125 |

Nota: f es la frecuencia en MHz.
Estándares ANSI 1981

## TABLA VI

## Límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia. Límites de exposición ocupacionales

| Región de frecuencias (MHz) | Intensidad del campo eléctrico RMS no perturbado (V/m) | Intensidad del campo magnético RMS no perturbado (A/m) | Densidad de potencia equivalente para onda plana ($mW/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| 0,3-3 | $376.382,25^{1/2}$ | 1,58 | 100 |
| 3-30 | $[3.764\ (900/f^2)]^{1/2}$ | $[0,025\ (900/f^2)]^{1/2}$ | $900/f^{2\ *}$ |
| 30-400 | $3.764^{1/2}=61,35$ | 0,16 | 1 |
| 400-2.000 | $3.f^{1/2}$ | 0,025 (f/400) | f/400 |
| 2.000-300.000 | 137 | 0,36 | 5 |

* Referirse a figura 2 (curva A)

## Tabla VII

## Límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia. Límites de exposición poblacional

| Región de frecuencias (MHz) | Intensidad del campo eléctrico RMS no perturbado (V/m) | Intensidad del campo magnético RMS no perturbado (A/m) | Densidad de potencia equivalente para onda plana ($mW/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| 0,3-3 | 275 | 0,73 | 20 |
| 3-30 | $[3.764\ (180/f^2)]^{1/2}$ | $[0,03\ (180/f^2)]^{1/2}$ | $180/f^{2\ *}$ |
| 30-400 | 27,5 | 0,073 | 0,2 |
| 400-2.000 | $1,375\ f^{1/2}$ | $0,0037\ f^{1/2}$ | f/2000 |
| 2.000-300.000 | 61,35 | 0,16 | 1 |

* Referirse a figura 2 (curva B)

## Tabla VII (a)

## Límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencias Límites de exposición poblacional

| Región de frecuencias (MHz) | Intensidad del campo eléctrico RMS no perturbado (V/m) | Intensidad del campo magnético RMS no perturbado (A/m) | Densidad de potencia equivalente para onda plana ($mW/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| 0,3-1 | 275 | 0,73 | 20 |
| 1-10 | $[3.764\ (20/f^2)]^{1/2}$ | $[0,03\ (20/f^2)]^{1/2}$ | $20/f^{2\ *}$ |
| 10-400 | 27,5 | 0,073 | 0,2 |
| 400-2.000 | $1,375\ f^{1/2}$ | $0,0037\ f^{1/2}$ | f/2000 |
| 2.000-300.000 | 61,35 | 0,16 | 1 |

* Referirse a figura 2 (curva C)

## Tabla VII (b)

## Límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencias. Límites de exposición poblacional

| Región de frecuencias (MHz) | Intensidad del campo eléctrico RMS no perturbado (V/m) | Intensidad del campo magnético RMS no perturbado (A/m) | Densidad de potencia equivalente para onda plana ($mW/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| 0,3-1 | 87 | 0,23 | 2 |
| 1-10 | $87/f^{1/2}$ | $0,23/f^{1/2}$ | 2/f * |
| 10-400 | 27,5 | 0,073 | 0,2 |
| 400-2000 | $1,375\ f^{1/2}$ | $0,0037\ f^{1/2}$ | f/2.000 |
| 2000-300.000 | 61,35 | 0,16 | 1 |

* Referirse a figura 2 (curva D)

*Addendum*

## Tabla VII (a)

## Límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencias. Límites de exposición poblacional (0,3 hasta 30 MHz)

| Región de frecuencias (MHz) | Intensidad del campo eléctrico RMS no perturbado (V/m) | Intensidad del campo magnético RMS no perturbado (A/m) | Densidad de potencia equivalente para onda plana ($mW/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| 0.3-3 | 275 | 0,73 | 20 |
| 3-30 | $[3.764\ (180/f^2)]^{1/2}$ | $[0,03\ (180/f^2)]^{1/2}$ | $180/f^2$ * |
| 30-400 | 27,5 | 0,073 | 0,2 |

Referirse a figura 2 (curva B)

*Addendum*

## Límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencias. Límites de exposición poblacional (0,3 hasta 30 MHz) Ejemplos numéricos aplicando Tabla VII (a)

| Frecuencias f(MHz) | Intensidad del campo eléctrico RMS no perturbado E(V/m) | Intensidad del campo magnético RMS no perturbado H(A/m) | Densidad de potencia equivalente para onda plana S($mW/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| 0,3-1 | 275 | 0,73 | 20 |
| 3 | 275 | 0,73 | 20 |
| 5 | 164 | 0,44 | 7,2 |
| 7 | 118 | 0,31 | 3,7 |
| 10 | 84 | 0,22 | 1,8 |
| 15 | 55 | 0,15 | 0,8 |
| 20 | 41 | 0,11 | 0,45 |
| 30 | 27,5 | 0,073 | 0,2 |
| 30-400 | 27,5 | 0,073 | 0,2 |

*Addendum*

## Tabla VII (b)

### Límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencias. Límites de exposición poblacional (0,3 hasta 10 MHz)

| Región de frecuencias (MHz) | Intensidad del campo eléctrico RMS no perturbado (V/m) | Intensidad del campo magnético RMS no perturbado (A/m) | Densidad de potencia equivalente para onda plana ($mW/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| 0,3-1 | 275 | 0,73 | 20 |
| 1-10 | $[3.764\ (20/f^{2})]^{1/2}$ | $[0,03\ (20/f^{2})]^{1/2}$ | $20/f^{2}$ * |
| 10-400 | 27,5 | 0,073 | 0,2 |

* Referirse a figura 2 (curva C)

### Límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencias. Límites de exposición poblacional (0,3 hasta 10 MHz) Ejemplos numéricos aplicando Tabla VII (b)

| Frecuencias f(MHz) | Intensidad del campo eléctrico RMS no perturbado E(V/m) | Intensidad del campo magnético RMS no perturbado H(A/m) | Densidad de potencia equivalente para onda plana S($mW/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| 0,3 | 275 | 0,73 | 20 |
| 1 | 275 | 0,73 | 20 |
| 1,5 | 183 | 0,48 | 8,9 |
| 2 | 137 | 0,36 | 5 |
| 2,5 | 110 | 0,29 | 3,2 |
| 3 | 91 | 0,24 | 2,2 |
| 5 | 55 | 0,15 | 0,8 |
| 7 | 39 | 0,11 | 0,4 |
| 10 | 27,5 | 0,073 | 0,2 |
| 10-400 | 27,5 | 0,073 | 0,2 |

*Addendum*

## Tabla VII (c)

### Límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencias. Límites de exposición poblacional (0,3 hasta 10 MHz)

| Región de frecuencias (MHz) | Intensidad del campo eléctrico RMS no perturbado (V/m) | Intensidad del campo magnético RMS no perturbado (A/m) | Densidad de potencia equivalente para onda plana ($mW/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| 0,3-1 | 87 | 0,23 | 2 |
| 1-10 | $87/f^{1/2}$ | 0,23/f | 2/f * |
| 10-400 | 27,5 | 0,073 | 0,2 |

* Referirse a figura 2 (curva D)

**Límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencias.**
**Límites de exposición poblacional (0,3 hasta 10 MHz)**
**Ejemplos numéricos aplicando tabla VII (c)**

| Frecuencias f(MHz) | Intensidad del campo eléctrico RMS no perturbado E(V/m) | Intensidad del campo magnético RMS no perturbado H(A/m) | Densidad de potencia equivalente para onda plana S(mW/cm$^2$) |
|---|---|---|---|
| 0,3 | 87 | 0,23 | 2 |
| 1 | 87 | 0,23 | 2 |
| 1,5 | 71,3 | 0,19 | 1,33 |
| 2 | 61,4 | 0,16 | 1 |
| 2,5 | 55 | 0,15 | 0,8 |
| 3 | 50 | 0,13 | 0,67 |
| 5 | 39 | 0,10 | 0,4 |
| 7 | 33 | 0,09 | 0,29 |
| 10 | 27,5 | 0,073 | 0,2 |
| 10-400 | 27,5 | 0,073 | 0,2 |

**Tabla VIII**

**Densidad de potencia equivalente (en mW/cm$^2$) para seres humanos de distintas edades y pesos, expuestos a la frecuencia resonante, correspondiente a un SAR de 0,4 W/kg (SAR $_{prom}$ CE)**

| Edad años | Masa media (kg) | Frecuencia resonante (MHz) | | Densidad de potencia (mW/cm$^2$) |
|---|---|---|---|---|
| | | Espacio libre | Plano de tierra | |
| 1 | 10 | 190 | 95 | 1,2 |
| 5 | 19,5 | 140 | 70 | 1,1 |
| 10 | 32,5 | 95 | 50 | 1,2 |
| Mujer adulta | 61 | 80 | 40 | 1,7 |
| Hombre adulto | 70 | 80 | 90 | 1,7 |

**Tabla IX**

| Especies | Masa promedio (kg) | RMB (W/kg) |
|---|---|---|
| Ratón | 0,03 | 9 |
| Rata | 0,3 | 5,1 |
| Mono "Squirel" | 1,1 | 3,8 |
| Mono "Rhesus" | 4,2 | 2,7 |
| Hombre | 70 | 1,4 |

**Tabla X**

| Edad (años) | Masa promedio (kg) | RMB (W/kg) |
|---|---|---|
| 1 | 10 | 2,8 |
| 5 | 19,5 | 2,5 |
| 10 | 32,2 | 2 |
| 20-24 (mujer) | 61,1 | 1,2 |
| 20-24 (hombre) | 70 | 1,4 |

## Tabla XI

## RBM aumentado, SAR equivalente y la densidad de potencia pronosticada asociada con el "disparo" de una respuesta humana termorregulatoria

| Edad (años) | Masa corporal media (kg) | SAR equivalente (W/kg) | SAR RMB (%) | Densidad de potencia equivalente ($mW/cm^2$) a la frecuencia resonante (MHz) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 10 | 0,76 | 27 | 2,2 |
| 5 | 19,5 | 0,52 | 21 | 1,5 |
| 10 | 32,5 | 0,42 | 21 | 1,2 |
| 20-24 (mujer) | 61 | 0,29 | 24 | 1,0 |
| 20-24 (hombre) | 70 | 0,27 | 21 | 1,0 |
| 70 (mujer) | 70 | 0,27 | 21 | 1,0 |
| 70 (hombre) | 80 | 0,26 | 21 | 1,0 |

## Tabla XII
## Resumen de estimaciones de límites superiores no ajustados para la exposición de RF a las frecuencias resonantes

| Parámetro | Límite propuesto | Exposiciones correspondientes en densidad de potencia ($mW/cm^2$) Edad | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 año | 5 años | 10 años | 20-24 años | 70 años |
| Temperatura del cuerpo | 0,5 ºC (1,4 W/kg) | -- | -- | -- | -- | -- |
| SAR considerado, no asociado con efectos | 0,4 W/kg | 1,2 | 1,1 | 1,2 | 1,7 | 1,7 |
| Posible disparo de respuesta termorreguladora fisiológica | 25% del RMB (0,4 W/kg) | 2,2 | 1,5 | 1,2 | 1 | 1 |
| Datos que demuestran el nivel mínimo asociado con efectos | 2 W/kg | 6 | 5 | 6 | 8 | 8 |

## Tabla XIII
## Sistema de magnitudes dosimétricas RF = definiciones y unidades

| Magnitud y definición | Unidad SI | | Otras unidades |
|---|---|---|---|
| | Nombre | Símbolo | |
| *Absorción por cuerpo entero* (anteriormente: *dosis integral*). La energía electromagnética (EM) total absorbida por el sujeto irradiado. | joule | J | Milijoule (mJ) (1 mJ=$10^{-3}$ J) caloría (1 cal = 4,187J) |
| *Régimen de absorción por cuerpo entero* (anteriormente régimen de dosis integral). El régimen temporal de energía EM total, o potencia total absorbido por el sujeto irradiado. | watt | W | Miliwatt (mW) ( 1mW=$10^{-3}$ W) cal/min |
| *Absorción específica* (anteriormente *dosis*). La energía EM por unidad de masa absorbida por el sujeto irradiada. | joule por kilogramo | J/kg | mJ/g cal/g |
| *Régimen de Absorción específica* (SAR) (anteriormente régimen de dosis). El régimen de energía por unidad de masa o potencia por unidad de masa absorbida por el sujeto irradiado. | watt por kilogramo | W/kg | mW/g cal/g-min |
| *Densidad de absorción (también densidad de energía absorbida y densidad de energía disipada)* La energía EM específica por unidad de volumen, absorbida por el sujeto irradiado. | joule por metro cúbico | $J/m^3$ | $mJ/cm^3$ |
| Régimen de densidad de absorción. Régimen de energía electromagnética por unidad de volumen o potencia por unidad de volumen, absorbida por el sujeto irradiado. | watt por metro cúbico | $W/m^3$ | $mW/cm^3$ ($1mW/cm^3=10^3$ $W/m^3$) |

## Tabla XIV
## Estándares de exposición: 0,01-3,0 MHz (países occidentales)

| | NATO | NATO | ANSI | ACGIH | USAF | NIOSH | MASS. | PORTLAND |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frecuencia (MHz) | 0,01-1 | 1-3 | 0,3-3 | 0,01-3 | 0,01-3 | 0,3-3 | 0,3-3 | 0,1-3 |
| Campo E (V/m) | 1.000 | 500 | 614 | 614 | 434 | 307-205 | 275 | 43 |
| Campo H | 2.65 | 1,3 | 1,63 | 1,63 | 1,15 | 0,814-0,544 | 0,729 | 0,114 |
| Densidad de potencia ($mW/cm^2$) | 265 | 66 | 100 | 100 | 50 | 25-11 | 20 | 0,5 |

## Tabla XV
## Resumen de efectos por corriente eléctrica en seres humanos

| Shock eléctrico | | 0,06 kHz corriente (mA) | 10,00 kHz corriente (mA) | Energía por descarga con chispa |
|---|---|---|---|---|
| No perceptible por mano | Hombre<br>Mujer | 0,4<br>0,3 | 7<br>5 | |
| Umbral de percepción | Hombre<br>Mujer | 1,1<br>0,7 | 12<br>8 | 0,12 mJ<br>C = 1.000 pF<br>V = 350 V |
| Shock no doloroso | Hombre<br>Mujer | 1,8<br>1,2 | 17<br>11 | 0,5 - 1,5 mJ<br>C = 1.000 pF<br>V= 0,7 - 1,2 kV |
| Shock doloroso (control muscular) | Hombre<br>Mujer<br>Niños | 9<br>6<br>5 | 55<br>37<br>27 | |
| Shock doloroso (umbral de descontrol) | Hombre<br>Mujer | 16<br>10,5 | 75<br>50 | |
| Shock severo | Hombre<br>Mujer | 23<br>15 | 94<br>63 | |

Umbral para quemaduras por microondas: 230 mA

## Tabla XVI
## Máximo permitido por corrientes de 60 Hz en cuerpo humano por el Código Eléctrico Nacional de EE.UU. (mA) y para niveles equivalentes de otras frecuencias

| Fuente | Máximo (60 Hz) | Máximo (10 kHz) (equivalente) | Máximo (50 kHz) (equivalente) | Máximo (100 kHz) (equivalente) |
|---|---|---|---|---|
| Artefactos portables | 0,5 | 5 | 20 | 40 |
| Artefactos fijos | 0,75 | 8 | 32 | 64 |
| Vehículos bajo líneas de transmisión | 5 | 27 | -- | -- |

ANSI estándar, C95.1 - 1982
SAR (máximo) = 0,4 W/kg (promedio)
8,0 W/kg (máximo aislado)

## Tabla XVII
## Bandas de frecuencias del espectro electromagnético de radiofrecuencia*

| Band number | Frequency range | Metric subdivision (waves) | Adjectival description | Acronym |
|---|---|---|---|---|
| 1 | > 0 to 30 Hz | -- | Sub-extremely low frequency | SELF |
| 2 | 30 to 300 Hz | Megametric | Extremely low frequency | ELF |
| 3 | 0.3 to 3 kHz | -- | Voice frequency | VF |
| 4 | 3 to 30 kHz | Myriametric | Very-low frequency | VLF |
| 5 | 30 to 300 kHz | Kilometric | Low frequency | LF |
| 6 | 0.3 to 3 MHz | Hectometric | Medium frequency | MF |
| 7 | 3 to 30 MHz | Decametric | High frequency | HF |
| 8 | 30 to 300 MHz | Metric | Very-high frequency | VHF |
| 9 | 0.3 to 3 GHz | Decimetric | Ultra-high frequency | UHF |
| 10 | 3 to 30 GHz | Centimetric | Super-high frequency | SHF |
| 11 | 30 to 300 GHz | Millimetric | Extremely high frequency | EHF |
| 12 | 0.3 to 3 THz | Decimillimetric | Supra-extremely high frequency | SEHF |

**FIGURA 1**

Comparación de normas para radiación no ionizante sobre cuerpo entero (De Microwawe Data mate, 1982, Marconi Instruments Ltd., Stevenage, Hertfordshire, Inglaterra). Estos estándares se presentan en detalle en la tabla vi, y reflejan los diferentes criterios de las autoridades de varios países para fijar niveles de seguridad (Health and Welfare, Canadá, 1978, "Health Aspects of Radio Frequency and Microwave Exposure"; Microwave Technology, Dennis Roddy, Chapt.15, Microwave Radiation Hazards; Prentice-Hall, New Jersey, 1986)

100
20
10
2
1
0.2
0.1
DENSIDAD DE POTENCIA (mW/cm²)
20/f²
900/f²
D
C
B
A
2/f
180/f²
0.2
1
f/400
5
OCUPACIONAL
1
POBLACIONAL
f/2.000
1
3
10
30
100
400
1.000
2.000
10.000
100.000
FRECUENCIA (MHz)

FIGURA 2

1.000
100
10
1
613,5
[3.764(900/f²)]^1/2
137
OCUPACIONAL
3 f^1/2
B
A
61,35
1,375 f^1/2
POBLACIONAL
[3.764(180/f²)]^1/2
27,5
1
2
3
10
30
100
400
1.000
10.000
100.000
FRECUENCIA (MHz)

FIGURA 3

FIGURA 3 (Cont.)

FIGURA 3 (Cont.)

FIGURA 4

SAR promedio del cuerpo entero (SAR $_{prom}$ CE) para humanos: adultos, niños y lactantes

FIGURA 5

Valores de SAR calculados para distintas partes de un modelo de hombre en el espacio libre situado.

FIGURA 6

Valores de SAR calculados para distintas partes de un modelo de hombre en contacto a tierra.

FIGURA 7

Valores de SAR calculados para distintas partes de un modelo homogéneo de cuerpo humano en contacto a tierra (masa), de conductividad infinita, E∥L,κ dirigida del frente a la cara posterior; densidad de potencia incidente = 1 mW/cm$^2$.

FIGURA 8

SAR promedio del cuerpo entero (SAR $_{Prom.\ C.E.}$), obtenido de un modelo de hombre. $\vec{E} \parallel \vec{L}, \vec{\kappa}$ dirigida del frente a la cara posterior; densidad de potencia = 1 mW/cm$^2$.

FIGURA 9

Valores de SAR correspondientes a 10 MHz, en modelos de hombre, para distintas separaciones del cuerpo respecto del plano de la tierra.

FIGURA 10

El SAR promedio medido en esferoides prolatos de diversas longitudes (L) para exposiciones a densidad de potencia 10 mW/cm$^2$ en función de la frecuencia.
Estos modelos son usados para simular la exposición de varios seres vivos de experimentación (rata, ratón, modelo de hombre) en campos electromagnéticos (EM) de RF. Los puntos identificados por las letras a, b, c y d, indican niveles máximos de SAR localizado corporal sobre la base de las mediciones siguientes: a y b, en modelos de seres humanos; c en ratas y d en ratones. El régimen promedio de metabolismo basal (Régimen Metabólico Basal: RMB), aparece en la línea rayada inferior.

FIGURA 11

Valores vinculados y medidos de SAR promedio para modelos de hombre y rata; plano de polarización E, densidad de potencia incidente, 1 mW/cm$^2$.

FIGURA 12

SAR promedios, en un modelo esferoide prolato de hombre y rata; densidad de potencia incidente 1 mW/cm$^2$, para la polarización E, H y K (hombre), y Er, Hr y Kr (rata). (*Hombre*: a=0,875 m; b=0,138 m; V=7 x 10$^{-2}$m$^3$. *Rata*: a=0,1 m; b=0,0276 m; V=3,2 x 10$^{-4}$ m$^3$)

FIGURA 13

Relación de la masa de cuerpo con el SAR mínimo necesario para alterar una respuesta termorregulatoria. El número que acompaña cada dato (punto) corresponde a un estudio particular. Las especies, respuestas, frecuencias, son, respectivamente: (1) Ratón, inhibe metabolismo; 2450 MHz; (2) Ratón: aumenta EHL, 2450 MHz; (3) Rata, inhibe metabolismo: 2450 MHz; (4) Rata: aumenta corticosterona en suero; 2450 MHz; (5) Rata: aumenta corticosterona en suero: 2450 MHz; (6) Mono ardilla; aumenta flujo sanguíneo en la piel; 2450 MHz; (7) Modifica el comportamiento termorregulatorio, 2450 MHz; (8) Conejo: aumenta ritmo cardíaco; 2450 MHz; (9) Hombre (modelo), aumenta EHL; 200 MHz; (10) Hombre (modelo), aumenta EHL; 80 MHz. Los SAR no determinados en algunos de estos estudios fueron calculados.

Extrapolación de las normas internacionales existentes a VLF (frecuencias muy bajas)

FIGURA 15

Niveles recomendados para exposición máxima a campos eléctricos VLF-MF.

CRITERIOS DE EXPOSICION Y NORMAS
SAR PROMEDIO
SAR MAXIMO
QUEMADURA POR RF
NIVEL PERMISIBLE OCUPACIONAL
NIVEL PERMISIBLE POBLACIONAL
INTENSIDAD DEL CAMPO ELECTRICO (V/m)
DENSIDAD DE POTENCIA (mW/cm²)
FRECUENCIA (MHz)
2.000
1.000
100
50
10
5
10
1
0.1
0.01
1
3
10
30
100

FIGURA 16

FIGURA 17

Profundidad de penetración en sangre, músculo, tejido adiposo en función de la frecuencia.

FIGURA 18

Resultados experimentales de la potencia disipada en un fantoma humano irradiado con onda plana de densidad de potencia 10 mW/cm$^2$.

(a) $\hat{E} \parallel L$, condición de resonancia $L/\lambda = 0,4$.

FIGURA 19

Resultados experimentales de la potencia disipada en un fantoma humano irradiado con onda plana de densidad de potencia 10 mW/cm$^2$.

(b) $\hat{E} \parallel L$, por sobre resonancia $L/\lambda = 0,985$.

FIGURA 20

Resultados experimentales de la potencia disipada en un fantoma humano irradiado con onda plana de densidad de potencia 10 mW/cm$^2$.

(c) $\vec{k} \parallel L$, condición de resonancia $L/\lambda = 1$.

FIGURA 21

Respuesta en tres etapas, de la temperatura rectal de perros expuestos a microondas pulsadas, de frecuencia 2800 MHz, en 165 mW/cm$^2$. El calentamiento inicial es seguido por un período de equilibrio térmico y finalmente, si se continúa con la exposición, por colapso termorregulatorio.

(a)

(b)

FIGURA 22

Orientación de una terminal de TV en su ubicación: (a) Visión de plano; (b) Elevación lateral.

FIGURA 23

Profundidad de la zona de seguridad en función del ángulo de elevación en la ubicación que se muestra en la figura 22.

FIGURA 24

Región del espectro EM.

## BIBLIOGRAFÍA

BANCO DE DATOS

### Efectos biológicos y exposición a campos electromagnéticos de RE


1. ACR (1975) American College of Radiology, *Procedings of International Symposium on Cancer Therapy by Hyperthermia and Radiation*, Washington, April 28-30 (American College of Radiology, Chicago).

2. Adair, E. R. (1974). "Hypothalamic control of thermoregulatory behavior: Preoptic -posterior hypothalamic interaction" pages 341-358 in *Recent Studies of Hypothalamic Function* Lederis K. and Cooper K. E. Eds. (S. Karger, Basel, Switzeriand)

3. Adair, E.R.(1976). "Autonomic thermoregulation in squirrel monkey when behavioral regulation is limited" *J. Appl Physiol*. 40, 694-700.

4. Adair, E.R.(1981). "Microwaves and thermoregulation," in USAF *Radiofrequency Radiation Bioeffects Research Program* -A Review. Mitchell, J. C., Ed., Report No. Aeromedical Review 4-81, USAFSAM/RZP (Aeroespace Medical Division, Brooks Air Force Base, Texas)

5. Adair, E.R.(1983). "Changes in thermoregulatory behavior during microwave radiation," pages 359-378 in *Microwaves and Thermoregulation.* Adair E.R. Ed. (Academy Press, New York)

6. Adair, E.R. and Adams B.W.(1980a). "Microwaves induce peripheral vasodilation in squirrel monkey." 207, 1381-1383.

7. Adair, E.R. and Adams, B.W.(1980b). "Microwaves modify thermoregulatory behavior in squirrel *Bioelectromagnetics* I. 1-20.

8. Adair, E.R. and Adams, B.W.(1982). "Adjustments in metabolic heat production by squirrel monkeys to microwaves," J. Appl Physiol: Respirat Environ. Exercise Physiol. 52,1049-1058

9. Adair, E.R. and Adams, B.W.(1983) "Behavioral thermoregulation in the squirrel monkey: adaptation processes during prolonged microwave exposure," Behav. Neurosci. 97,49-61.

10. Adair, E.R. and Wright B.A.(1976) "Behavioral thermoregulation in the squirrel monkey when response effort is varied" *J. Comp. Physiol. Psychol*. 90,179-184.

11. Adair, E.R. Spiers. D. E. Stolwijk J.A.J. and Wenger C.B.(1983). "Technical note: On changes in evaporative heat loss that result from exposure to non-ionizing electromagnetic radiation." J. *Microwave Power 18,* 209-211

12. Adey, W.R.(1975) "Evidence for cooperative mechanisms in the susceptibility of cerebral tissue to environmetal and intrinsic electric fields," pages 325-342 in *Functional Linkage in Biomolecular Systems,* Schmitt, F.O., F. O., Schneider, D. M. and Crothers, D. M., Eds. (Raven Press, New York)

13. Adey, W.R.(1977) "Experiment and theory in long range interactions for electromagnetic fields at brain cell surfaces," pages 57-78 in *Magnetic Field Effects on Biological Systems*, Tenforde T. Ed.(Plenum Press, Jew York)

13bis.Adey, W.R.(1980) "Frequency and power windowing in tissue interaction with weak electromagnetic fields". Proc. IEEE 60, 119-125.

14. Adey, W.R.(1981a) "lonic monequilibrium phenomena in tissue interactions with electromagnetic fields", pages 271-298 in *Biological Effects of Nonionizing Radiation*. Illinger, K. H., Ed. American Chemical Society Symposium Series Nº 157 (American Chemical Society, Washington)

15. Adey, W.R.(1981b). "Tissue interaction with nonionizing electromagnetic radiation," *Physiol. Rev.61*.1435-514

16. Adey, W.R. and Bawin, S. M. (1982). "Binding and release of brain calcium by low-level electromagnetic fields: A review," *Radio Sci*. 17, 149-157 (Supplement).

17. Adinolfi, M. Beck, S.E. Haddad, S.A. and Seller, M.J.(1976) "Permeability of the blood-cerebrospinal fluid barrier to plasma during foetal and perinatal life," *Nature* 259. 140-141.

18. Airbone Instruments Laboratory (1956) "And observation on the detection by the ear of microwave signals: *Proc. IRE* 44, 2A.

19. Alam, M.T, Barthakur, N, Lambert, N.G. and Kasatiya, S.S.(1978). "Cytological effects of microwave radiation in chinese hamster cells *in vitro*" *Can J.Genet Cytol*.20,23-30.

20. Al-Badwaihy, K.A. and Youssef, A.A.(1975) "Biological thermal effect of microwave radiation on human eyes," pages 61-78 in *Proceedings of the URSI-USNC Annual Meeting, Boulder*, *Colorado* (National Academy of Sciences, Washington).

21. Albert, E.N. (1977). "Light and electron microscopic observations on the blood-brain barrier after microwave irradiation," pages 294-304 in *Symposium on the Biological Effects and a Measurement of RF/Microwaves*, Hazzard, D., Ed. (Department of Health, Education and Welfare, Rockville, Maryland)

22. Albert, E.N. (1979) "Reversibility of microwave induced permeability of the blood-brain barrier," *Radio Sci*. 14, 323-328 (Supplement).

23. Albert, E.N. and De Santis, M.(1975) "Do microwaves alter nervous system structure?," Annals N. Y. *Acad. of Sci. 247,* 87-108

24. Albert, E.N. and Kerns T.M.(1981) "Reversible microwave effects on the blood-brain barrier," *Brain Res. 230*, 153-164.

25. Allen, F.M.(1955). “Biological modification of effects of roentgen rays” II. High temperature and related factors," *Amer. J. Roentgenol*. 73,836-848

26. Allis, J.W.(1975) "Discussion Paper: Irradiation of bovine serum albumin with a crossed-beam exposure - detection system," *Annals N. Y. Acad. Sci*. 247, 312-322.

27. Angel, C.(1969). "Starvation, stress and the blood-brain barrier," *Dis.Nerv.Syst*. 30, 94-97.

28. Angel, C. and Burkett M.L.(1971). "Effects of hydrocortisone and cyclohexamide on blood-brain barrier function in the rat," *Dis.Nerv.Syst. 32*, 53-58.

29. Angel, C. and Lafferty, C.R.(1969) "The effect of pretreatment with anesthetic agents on cocaine accumulation in rat brain," *ALABAMA J. Med*. Sci. 6, 311-314;

30. Angel, C. and Roberts, A.J.( 1966) "Effect of electroconvulsine shock and anti-depressant drugs on cerebrovascular permeability of cocaine in the rat," *J. Nervous Ment. Dis. 142*, 376-380.

31. Angel, C. Bonds, H.M. and Peny, A.(1972). "A comparison of the effects of halothane on blood-brain barrier and memory consolidation" *Dis.Nerv.Sys. 33*,87-93.

32. ANSI (1982) American National Standards Institute. *Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, 300 KHz to 100GHz*, Report No. ANSI C 95.1-1982 (The Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc., New York).

33. Anver, M.R., Cohen, B.J., Lattuada, C.P. and Foster, S.J.(1982) "Age-associated lesions in barrier reared male Sprague-Dawley rats: A comparison between Hap: (SD) and Crl: COBS CD (SD) stocks" *Exp. Aging Res.8*, 3-24.9

34. APA (1980) American Psychiatric Association, Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 3rd ed. (American Psychiatric Association, Washington).

35. Appleton, B.(1974) "Microwave cataracts," *J. Am. Med. Assoc*. 229, 407-408.

36. Appleton, B., Hirsch, S.E. and Brown, P.V.K.(1975) "Investigation of single-exposure microwave ocular effects at 3000 MHz," *Annals N. Y. Acad. Sci. 247*, 125-134.

37. Arber, S.L. (1976). "Influence of microwaves on the resting potential of giant neurons of the mollusk (Helix pomatia)," *Elektronnaia Obrabotka Materialov 6* (72), 78-79.

38. Arons, I. and Sokoloff, B.(1937) "Combined roentgenotherapy and ultrashort wave," *Amer. J. Surg*. 36, 533-543.

39. Aronsohn, E. and Sachs, J.(1885) "Die Beziehungen des Gehirns zur Kürperwärme und zum Fieber," *Pfluegers Arch. Gesamte Physiol. Menschen Tíere* 37, 232-300.

40. Aschoff, J. and Wever, R.(1958). "Modellversuche zum Gegenstrome Wärmeaustausch in der Extremitat," *Z. Gesamte Exp. Med. 130*, 385-395.

41. ASRAE (1974) American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, "Monographs for practical application of ASHRAE research: Thermal comfort conditions," *ASHRAE J. 16*, 90-92.

42. Audiat J.(1932). "Action des ondes hertziennes sur l'excitabilite electrique des nerfs. (Ondes amorties, entretenus, countres)," *Rev. d'Actionol*. 8,227.

43. Aurell, E. and Tengroth B.(1973) "Lenticular and retinal changes secondary to microwave exposure" *Acta Ophtal. 51*, 764-771.

44. Backlung, L. and Tiselius, P.(1967). "Objective measurements of joint stiffness in rheumatoid arthritis," *Acta Rheumatol. Scand. 13*, 275-288.

45. Baillie, N.D.(1970) "Thermal and non thermal cataractogenesis by microwaves," pages 59-65 in *Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation*, Cleary, S. F., Ed., HEW Publication BRH/DBE 70-2 (Government Prinbting Office, Washington).

46. Bakay, E.L.(1956). *The Blood-Brain Barrier* (Charles C. Thomas Springfieid, Illinois)

47. Baker, M.A. and Chapman, L.W.(1977) "Rapid brain cooling in exercising dogs," *Science* 195, 781- 783.

48. Baranski, S. (1967) "Investigations on specific microware bioeffects," Inspektorat Lotnictiva (Warsaw)

49. Baranski, S. (1971a) "Influence of microwaves on white lood cell responce," *Acta Physiol. Polon. 22*, 898.

50. Baranski, S. (1971b). "Effect of chronic microwave irradiation on the blood forming system of guinea pigs and rabbits," *Aerospace Med. 42*, 1196-1199.

51. Baranski, S. (1972). "Histological and histochemical effects of microwave irradiation on the central nervous system of rabbits and guinea pigs," *Am. J. Phys. Med. 51*, 182-191.

52. Baranski, S. and Czerski, P.(1976). *Biological Effects of Microwaves* (Dowden, Hutchinson and Ross, Inc., Stroudshurg, Pennsylvania)

53. Baranski, S. Czerski, P. and Szmigielski S.(1971) "The Influence of microwaves on mitosis in vitro and in vivo," *Postepy Fiz. Medycznej 6*, 93.

54. Baranski, S. Ostrowski, K. and Stodolnik -Baranska W.(1972)."Functional and morphological studies of the thyroid gland in animals exposed to microware irradiation," *Acta Physiol. Pol*. 23, 1029-1039.

55. Baranski, S., Szmigieiski, S. And Moneta J.(1974) "Effect of microwave irradiation in vitro on cell membrane permeability," pages 173-177 in *Biologic Effects and Health Hazards of Microwave Radiation* .Czerski P. Ostrowski K.. Silverman C. Shore M.L. Suess M.J. and Waldeskog B. Eds. (Polish Medical Publishers, Warsaw, Poland)

56. Baranski, S., Debiec, H., Kwarecki, K. and Mezykowski, T.(1976) "Influence of microwaves on genetical processes of Aspergillus nidulans", *J. Microwave Power 11*, 146 (Abstract).

57. Barbour, H.G. (1912). "Die Wirkung unmittelbarer Erwärmung und Abkühlung der Wärmezentra auf die Körpertemperatur", *Arch. exp. Path. Pharmak. 70*, 1-26.

58. Bari Kolata, G. (1978). "Behavioral teratology: birth defects of the mind", *Science 202*, 732-734.

59. Bari Kolata, G. (1979) "Scientists attack report that obstetrical medications endanger children," *Science 204*, 391-392.

60. Barnes, H.C. ,McElroy, A.J. and Charkow, J.H.(1967) "National analysis of electric fields in live line workers," *IEEE Trans. Power Appar. Sys. 86*, 1-16.

61. Barsoun, Y.H. and Pickard, W.F.(1982a). "Radiofrequency rectification in electrogenic and monelectrogenic cells of Chara and Nitella," J. Membrane Biol. 65, 81-87

62. Barsoun, Y.H. and Pickard, W.F.(1982b). "The vacuolar potential of Characean cells subject to electromagnetic radiation in the range 200-8200 MHz," *Bioelectomagnetics 3*, 393-400.

63. Bass, L. and Moore, W.J.(1968). "A model of nervous excitation based on the Wien dissociation effect," pages 356-368 in *Structural Chemistry and Molecular Biology*, Rich, A. and Davidson, C. M., Eds. (C. Freeman and Co. San Francisco)

64. Bassen, H., Herchenroeder, P., Cheung, A. and Neuder,S.(1977)."Evaluation of an implantable electric-field probe within finite simulated tissues," *Radio Sci. 12*. 15-25.

65. Bawin, S.M. and Adey, W.R.(1976) "Sensitivity of calcium binding in cerebral tissue to weak environmental electric fields oscillating at low frequency," *Proc. Natl. Acad. Sci. 73*, 1999-2003.

66. Bawin, S.M., Gavalas Medici, R.J. and Adey, W.R.(1973) "Effects of modulated very high frequency fields on specific brain rhythms in cats," *Brain Res. 58*, 365-384.

67. Bawin, S.M., Kaczrnarck, L.K. and Adey, W.R.(1975) "Effects of modulated VHF fields on the central nervous system," *Annals N. Y. Acad. Sci. 247*, 74-81.

68. Bawin, S.M., Adey, W.R. and Sabbot, I.M.(1978a). "lonic factors in release of $^{45}Ca^{2}$+ from chicken cerebral tissue by electromagnetic fields," *Proc. Nat. Acad. of Sci. 75*, 6314-6318.

69. Bawin, S.M., Sheppard, A.R. and Adey, W.R.(1978b). "Possible mechanisms of weak electromagnetic field coupling in brain tissue," *Bioelectrochem and Bioenergetics 5*.67-76.

70. Belding, H.S. and Hatch, T.F.(1955) "Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strain," *Heating, Piping, and Air Cond. 27*,129-136.

71. Belkhode, M.L., Muc, A.M. and Johnson, D.L.(1974a). "Thermal and athermal effects of 2.8 GHz microwaves on three human serum enzymes," *J. Microwave Power 9*. 23-29.

72. Belkhode, M.L., Johnson, D.L. and Muc A.M.(1974b). "Thermal and athermal effects of microwave radiation on the activity of glucose-6-phosphate dehydrogenase in human blood," *Health Phys. 26*. 45-51.

73. Belousoy, B.P.(1959). "Sborn referat. radiat meditsin az." page 145 in *Collection of Abstracts on Radiation Medicine*, (Medgiz, Moscow).

74. Belova, S.F. and Gordon, Z.Y.(1956). "Action of centimeter waves on the eye," *Bull. Exp. Biol. Med. 41*, 327-330 (Translation).

75. Benedick, M.H. (1979). *Final Report: Blood-Brain Barrier Workshop*, IITRI Project No. E 6456 (Illinois Institute of Technology Research Institute, Chicago)

76. Benzinger, T.H. (1959) "On physical heat regulation and the sense of temperature in man," *Proc. Nat. Acad. Sci*. 45, 645.

77. Berglund, L.G. (1983) "Characterizing the thermal environment," pages 15-31 in *Microwaves and Thermoregulation*, Adair, E. R., Ed. (Academic Press, New York).

78. Berrnan, E., Kinn, J. B. and Carter, H. B. (1978) "Observations of mouse fetuses after irradiation with 2.45 GHz microwaves," *Health Phys. 35*, 791-801.

79. Berman, E., Carter, H. B. and House, D. (1979)."Observations of rat fetuses after irradiation with 2.45 GHz (CW) microwaves," page 406 in *Abstracts of Proceedings of the USNC/URSI Annual Meeting and Bioelectromagnetics Symposium* held in Seattle, Washington, June 18-22, 1979 (National Academy of Sciences, Washington).

80. Berman, E., Carter, H. B. and House, D. (1980). "Tests of mutagenesis, and reproduction in male rats exposed to 2450 MHz (CW) microwaves," *Bioelectromagnetics 1*, 65-76.

81. Bermant, R.I., Reeves, D.L., Justesen, D.R. and Levison, D.M. (1979). "Classical conditioning of microwave and shock-induced hyperthermia in the rat," *Radio Sci.14*, 201-207(Supplement).

82. Bereznitskaya, A.N. (1968). "The effect of 10-centimeter and ultrashort waves on the reproductive function of female mice," *Gig. Tr. Prof. Zabol*. No 9,33-37

83. Bhaumik, D., Bhaumik, K. and Dutta-Roy B. (1976). "On the possibility of Bose condensation in the excitation of coherent modes in biological systems," *Physics Lett. 56A*,145-148.

84. Bielski, J., Pianowska J., Sawinska A. and Gruszka W.(1976). "Nervous system changes in workers at radio-television stations exposed to microwaves," *Pol. Tyg. Lek.31*,1369-1372.

85. Bielski, J., Sawinska A., and Pianowska J.(1980) "Bioelectrical brain activity in employees exposed to various frequency electromagnetic fields," page 31 in *Abstracts of the International Symposium on Electromagnetic Waves and Biology,* Berteaud A.J. and Servantie B. Eds. (Jouy-en-Josas, France)

86. Bini, M., Checcucci, A., Ignesti, A., Millanta, L., Rubino, N., Camici, G., Manao, G. and Ramponi G. (1978). "Analysis of the effects of microwave energy on enzymatic activity of lactate dehydrogenase (LHD)," *J. Microwave Power* 13, 95-100.

87. Birenhaum, L., Grosof, G.M., Rosenthal, S.W. and Zaret, M.M.(1969a). "Effect of microwaves on the eye," *IEEE Trans. EMF-16*, 7-14.

88. Birenhaum, L., Kaplan, I. T., Metlay, W., Rosenthal, S.W., Schmidt, H., and Zaret M.M.(1969b). "Effect of microwaves on the rabbit eye," *J. Microwave Power 4,*232-243.

89. Birenbaum, L., Kaplan, I.T., Metlay, W., Rosenthal, S.W. and Zaret. M.M.(1975) "Microwave and infrared effects on heart rate, respiration rate and subcutaneous temperature of the rabbit" *J. Microwave Power 10*, 3-18.

90. Birkner, R. and Waschsmann, F. (1949). "Uder die Kombination von Röntgenstrahlen und Kurzwellen," *Strahlentherapie* 79, 93.

91. Blackman, C.F., Benane, S.G. Weil, C.M. and Ali, J.A. (1975). "Effects of nonionizing electromagnetic radiation on single-cell biologic systems," *Annals N. Y. Acad. Sci*. *247*,352-366.

92. Blackman, C.F., Elder, J.A., Weil, C.M., Benane S.G., Eichinger, D.C. and House D.E.(1979). "Induction of calcium-ion efflux from brain tissue by radio frequency radiation; effects of modulation frequency and field strength," *Radio Sci. 14*,93-98 (Supplement).

93. Blackman, C.F., Benane, S.G., Joines, W.T., Hollis, M.A. and House, D.E.(1980) "Calcium-ion efflux from brain tissue: Power density versus internal field-intensity dependencies at 50 MHz RF radiation," *Bioelectromagnetics 1*, 277-283.

94. Blasberg, R. G.(1979). "Problems of quantifying effects of microwave irradiation on the blood-brain barrier," *Radio Sci. 14*, 335-344 (Supplement).

95. Blevins, R.D., Crenshaw, R.C.,Hougiand, A.E. and Clark,C.E.(1980). "The effects of microwave radiation and heat on specific mutants of *Salmonella ryphimurium* LT2," *Radial*. *Res. 82,* 511-517.

96. Bligh, J.(1972). "Neuronal models of mammalian temperature regulation," pages 105-120 in *Essays on Temperature Regulation*. Bligh J. and Moore R. Eds. (North Holland, Amsterdam)

97. Blumenthal ,R., Changeux ,J.P. and Lefever, R.(1970). "Membrane excitability and dissipative instabilities", *J. Membr. Biol. 2*, 351-374.

98. Bondy ,S.C.and Purdy, J.L. (1974) "Selective regulation of the bloodbrain barrier by sensory input", *Brain Research 76*, 542-545

99. Bouchat, J.A. (1974) "Letter of comment on M.M. Zaret's "Cataracts following use of microwave oven" *N.Y. State J. Med. 74*, 2038-2039

100. Bouchat, J. and Marsol, C. (1967). "Cataracts capsulaire bilateral et radar". *Arch. Ophthalmol*, *27*, 593

101. Bradbury, M. (1979) The concept of Blood – Brain Barrier, page 366 (*John Wiley and Sons*, *New York*)

102. Brow, A.C. and Brengelmann, G. (1965) "Energy metabolism" pages 1030-1049 in *Physiology and Biophysics*, Ruch T.C. and Patton H.D., Eds (W.B. Saunders Co. Philadelphia, Pennsylvania)

103. Brown, G.M. and Reichlin, S. (1972) "Psychologic and neural regulation of growth hormone secretion". *Psychosom. Med.34*, 45-61

104. Brown–Grant, K., Von Euler, C., Harris, G.W. and Reichlin, S. (1954) “The measurement and experimental modification of thyroid activity in the rabbit” *J. Physiol*. *126*,1-28

105. Bruce–Wolfe, V. and Adair, E.R. (1981) “Operant control of microwave radiation by squirrel monkeys” page 42 Abstract, 3rd. *Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society* Bioelectromagnetics Society, (Gaithersburg, Maryland)

106. Burdeshaw, J.A. and Schaffer, S. (1976). *Factors Associated with the Incidence of Congenital Anomalies*: *A Localized Investigation*, Final Report Contract Nº 68-02-1971 (Environmetal Protection Agency, Washington)

107. Burdette, E.C., Seals J., Magin, R.L. and Auda, S.P. (1982) “A-priori determination of power absorption in hyperthermia based on vivo dielectric measurement” pages 55 in *Abstract of Proceedings of the Third International Symposium cancer therapy by Hyperthermia, Drugs*, *and radiation*. Dethlefsen, L.A. and Dewey W.C. Eds., National Cancer Institute Monograph 61 (Government Printing Office, Washington)

108. Burr, J.G. and Krupp, J.H.(1980) ”Real–time measurement of RFR energy distribution in the *Macaca Mulatta* head” *Bioelectromagnetics 1*,21-34

109. Burr, J.G., Cohoon, D.K., Bell, E.L and Penn, J.W.(1980) “Thermal response model of a simulated cranial structure to radiofrequency radiation” *IEEE Trans. Biomed. Engr.27*, 452-460

110. Burton, A.C (1934) “The application of the theory of heat flow to the study of energy metabolism". *J. Nutrition* 7, 497-533

111. Bush, L.G., Hill, D.W., Riazi ,A. ,Stensaas, L.J., Parthow, L.M. and Gandhi O.P. (1981) “Effects of millimeter– wave radiation on monolayer cell cultures. III. A search for frequency – specific athermal biological effects on protein synthesis”. *Bioelectromagnetics 2*, 152-160

112. Busse, H.G. (1969) “A spatial periodic homogeneous chemical reaction”. *J.Phys.Chem*. *73*,750

113. Bychkov, M.S. (1974) “Principles of neurophysiological investigations of microwave bioeffects and changes in elementary excitable structures on exposeture to very low intensity irradiation” pages 205-213 in *Biological Effects of Radiofrequency Electromagnetic Fields.* Gordon Z.V. Ed. (National Technical Information Service, Springfield, Virginia)

114. Cabanac, M. (1972) “Thermoregulatory behavior” pages 19-36 in *Essays on Temperature Regulation*. Bligh J. and Moore E. Eds (North Holland, Amsterdam)

115. Cabanac, M., Hammel, H.T. and Hardy, J.D. (1967) “Tiliqua scincoides: Temperature sensitive units in lizard brain”. *Science 158*, 1050-1051

116. Cabanac M., Stolwijk, J.A.J. and Hardy, J.D. (1968). “Effects of temperature and pyrogens on single unit activity in the rabbit’s brain stem” *J. Appl. Physiol 24*, 645-652

117. Cain, W.S. (1973) “Spatial discrimination of cutaneous warmth” . *Am J. Phychol 86*, 169-181

118. Cain, C.A. and Rissman W.J. (1978) “Mammalian auditory response to 3.0 GHz microwave pulses” *Biomed. Eng 25*, 288-293.

119. Carlisle, H.J. and Ingram, D.L. (1973) “The effects of heating and cooling the spinal cord and hypothalamus on thermoregulatory behaviour in the pig". *J. Physiol (London) 231*, 353-364

120. Carpenter, R.L. (1962). "Experimental radiation cataracts induced by microwave radiation", pages 146-168 in *Proceedings of de 2nd Tri-Service Conference on the Biological Effects of Microwave Energy. ASTIA Document Nº. AD 131-477* (Rome Air Development Center, Air

Research and Development Comand, Rome, N.Y.)

121. Carpenter, R.L. (1962) *An Experimental Study of the Biological Effects of Microwave Radiation in Relation to the Eye*, USAF Technical Note RADCTR 62-131 (Rome Air Development Center, Air Research and Development Command, Rome, N.Y.)

122. Carpenter, R.L (1977a). "Histopathological changes during development of microwave cataracts," page 351 in *Symposium on the Biological Effects and Measurement of RF/Microwaves*, HEW Publication FDA 77-8026 (Center for Devices and Radiological Health, Rockville-, Maryland).

123. Carpenter, R.L.(1977b). "Microwave Radiation," pages 111- 125 in Handbook of Physiology /# 9-Reactions to Environmental Agents, Lee D.H.K. Falk H.L. and Murth S.D. Eds.(American Physiology Society, Bethesda, Maryland).

124. Carpenter, R.L.(1979). "Ocular effects of microwave irradiation," *Bull. N. Y. Acad. Med*. 55, 1048- 1057

125. Carpenter, R.L. and Livstone, E.L.(1971). "Evidence of non-thermal wave workers: A statistical study", *Arch. Environ. Health 12*, 23-29.

126. Cleary, S.F., Pasternack, B.S. and Beebe, G.W.(1965). "Cataract incidence in radar workers" *Arch. Environ. Health 11*,179-182

127. Cleary, S.F. , Garber, F. and Liu, L.M. (1982). "Effects of X-band microwave exposure on rabbit erythrocytes". *Bioelectromagnetics 3*, 453-466.

128. Cogan, D.G., Fricker, S.J., Lubin, M., Donaldson, D.D. and Hardy, H (1958). "Cataracts and ultra- high frequency radiation," *A.M.A. Arch. ophthalmol 45,* 299-302.

129. Cohen, B.H., Lilienfeid, A.M., Kramer, S. and Hyman, L.C. (1977). "Parental factors in Down's Syndrome-Results of the second Baltimore case-control study," pages 301-352 in *Population Cytogenetics, Studies in Humans*, Hook E.B. and Porter I.H. Eds. (Academic press, New York)

130. Coleman, M., Bell, J. and Skeet, R.(.1983) "Leukemia incidence in electrical workers". *Lancet* I. 982-983.

131. Collins, K.J. and Weiner, J.S. (1968). "Endocrinological aspects of exposure to high environmetal temperatures". *Physiol. Rev. 48*, 785-839.

132. Coombs, J.S., Curtis, D.R. and Eccles, J.C.(1959). "The electric constants of the motoneurone membrane", *J. Physiol. 145*, 505-528.

133. Cooper, M.S.(1978). "Evidence for a condensed phonon state in malignant cells," *Physiol. Chem. Phys. 10*, 289-290.

134. Cooper, T., Pinakatt, T. and Richardson, A.W. (1961). "Effects of microwave induced hyperthermia on the cardiac output of the rat". *Physiologist 4*, 21 (Abstract).

135. Cooper, T., Pinakatt, T., Jellinek, M. and Richardson, A.W.(1962a). "Effects of adrenalectomy, vagotomy and ganglionic blockade on the circulatory response to microwave hyperthermia." *Aerospace Med. 33*, 794-798.

136. Cooper, T., Pinakatt, T., Jellinek, M. and Richardson A.W.(1962b). "Effects of reserpine on the circulation of the rat after microwave irradiation",. *Am. J. Physiol. 202*,1171-1174.

137. Cooper, T., Jellinek, M., Pinakatt, T. and Richardson, A.W.(1965). "The effect of pyridoxine and pyridoxal on the circulatory response of rats to microwave irradiation", *Experientia 21*,

28.

138. Cook, H.F.(1952). "A physical investigation of heat production in human tissues when exposed to microwaves". *Br. J. Appl. Phys. 3*,1-6.

139. Connor, W.G. (1980). "Localized current field heating as an adjunct to radiation therapy." *Radiation Environ. Biophys. 17*, 219-228.

140. Conover, D.L., Lary, J.M. and Foley, E.D.(1978). "Induction of teratogenic effects in rats by 27.12 MHz of RF radiation," page 31 in *Abstracts of Proceedings of the USNC/URSI Symposium on Electromagtic Fields in Biological Systems*, (International Microwave Power--Institute, Edmonton, Canada).

141. Cope, F.W.(1973). "Biological sensitivity to weak magnetic fields due to biological superconductive Josephson junctions?". *Physiol Chem. Phys. 5,* 173-176.

142. Copeland, E.S. and Michaelson, S.M. (1970). "Effect of selective tumor heating on the localization of 1311 fibrinogen in the Walker carcinoma 256 II. Heating with microwaves." *Acta Radiologica 9*, 323-336.

143. Corbit, J.D.(1970). "Behavioral regulation of body temperature." pages 777- 801 in *Physiological and Behavioral Temperature Regulation*, Hardy, J.D., Gagge, A.P. and Stolwijk J.A.J. Eds. (Charles C. Thomas Springfield, Illinois).

144. Corelli, J.C., Gutmann R.J., Kohazi, S. and Levy, J. (1977). "Effects of 2.6-4.0 GHz microwave radiation on *E. coli* B." *J. Microwave Power 12*.141-144.

145. Courtney, K., Lin, J.C., Wand, A. and Chou, C.K.(1975. "Microwave effect on rabbit superior cervical ganglion." *IEEE Trans. Microwaves Theory Tech, MTT-23*, 809-813

146. Crawshaw, L.I. and Stitt, J.T.(1975) "Behavioral and autonomic induction of prostaglandin $E_1$ fever in squirrel monkeys," *J. Physiol*. (London) 244.197-206.

147. Creel, D., Sebearer, D.E. and Hall, P.F.(1976). "Differences in cytochrome P-450 of various strains of rats following chronic administration of pentobarbital." *Pharmacol Biochem. Behavior-* 5,705-707.

148. Crile, G. ,Jr. (1962). "Selective destruction of cancers after exposure to heat," *Ann. Surg. 156*, 404-407.

149. Crosbie, R.J., Hardy, J.D., and Fessenden, E. (1961)."Electrical analog simulation of temperature regulation in man", *IEEE Trans. Biomed. Electronics 8,* 245-252.

150. Cunningham, D.J. (1970). "An evaluation of heat transfer through the skin in the human extremity," pages 302-315 in *Physiological and Behavioral Temperature Regulation*, Hardy J.D., Gagge A.P. and Stolwijk, J.A.J., Eds. (Charles C.Thomas, Springfield, Illinois).

151. Cunningharn, D. J., Stolwijk, J.A.J., Murakarni, N., and Hardy, J.D.(1967). "Responses of neurons in the preoptic area to temperature, serotonin, and epinephrine," *Am. J. Physiol. 213*, 1570-1581.

152. Czerski, P.(1975). "Microwave effects on the blood-forming system with particular reference to the lymphocyte," *Annals N. Y. Acad. Sci. 247*,232-242.

153. Czerski, P. and Sickierzynski, M.(1974). "Analysis of occupational exposure to microwave radiation" pages 367-377 in *Fundamental and Applied Aspects of Non-ionizing Radiation*, Michaelson, S.M., Miller, M.W., Magin, R. and Carstensen, E. Eds. (Plenum Press, New York).

154. Czerski, P., Paprocka-Stonka, E. and Stolanska, A.(1974a). "Microwave irradiation and the circadian rhythm of bone cell mitoses", *J. Microwave Power 9*, 31-37.

155. Czerski, P., Siekierzynski, M. and Gzidynski, A. (1974b). "Health surveillance of personnel occupationally exposed to microwaves. I. Theoretical Considerations and Practical Aspects," *Aerospace Med. 45*, 1137-1142.

156. Czerski, P., Ostrowski, K., Silverman, C., Shore, M.L., Suess, M.J. and Waldeskog, B. Eds.(1974c). *Biologic Effects and Health Hazards of Microwave Radiation* (Polish Medical Publishers, Warsaw, Poland)

157. Carpenter, R.L. and Van Ummersen, C.A.(1968). "The action of microwave radiation on the eye," *J. Microwave Power 3*, 3-19.

158. Carpenter, R.L., Biddle, D.K. and Van Ummersen, C.A. (1960a). "Biological effects of microwave radiation with particular reference to the eye," pages 401-408 in *Proceedings of the 3rd International Conference on Medical Electronics*, London.

159. Carpenter, R.L., Biddle, D.K., and Van Ummersen, C.A.(1960b). "Opacities in the lens of the eye experimentally induced by exposure to microwave radiation," *IRE Trans. Med. Electronics 7*, 152-157.

160. Carpenter, R.L., Ferri, E.S. and Hagan, G.L. (1974). "Assessing microwaves as a hazard to the eye- Progress and problems," pages 178-185 in *Biologic Effects and Health Hazards of Microwave Radiation*, Czerski P. Ostrowski K., Silverman, C. Shore M.L. Suess M.J. and Waldeskog B. Eds.(Polish Medical publishers, Warsaw, Poland).

161. Carpenter, R.L., Hagan, G.B. and Donovan, G.L.(1977). "Are microwave cataracts thermally caused?," pages 352-379 in *Symposium on the Biological Effects and Measurement of RF and Microwaves*, HEW Publication FDA 77-8026 (Center for Devices and Radiological Health, Rockville, Maryland).

162. Carroll, D.R., Levinson, D.M., Justesen, D.R. and Clarke, R.L.(1980). "Failure of rats to escaple from a potentially lethal microwave field", *Bioelectromagnetics 1*,101-116.

163. Cater, D.B., Silver, I.A. and Watkinson, D.A. (1964). "Combined therapy with 220 kV roentgen and 10 cm microwave heating in rat hepatoma". *Acta Radiologica 2,* 321-336.

164. Chang, B.K., Huang, A.T., Joines, W.T. and Kramer, R.S.(1982). "The effect of microwave radiation (1.0 MHz) on the blood-brain barrier of dogs", *Radio Sci. 17*.165-168 (Supplement).

165. Chapman, R.M. and Cain, C.A.(1975). "Absence of heart rate effects in isolated frog heart with pulse modulated microwave energy" .*J. Microwave Power 10*, 411-419.

166. Chatonnet J. and Cabanac, M. (1965). "The perception of thermal comfort" . *Int. J. Biometeor. 91*,183-193.

167. Chen, K.C. and Lin, C.J. (1978). "A system for studying effects of microwaves on cells in culture". *J. Microwave Power 13*, 251-256.

168. Chen, K.M., Samuel, A. and Hoopingarner, R.(1974). "Chromosomal aberrations of living cells induced by microwave radiation". *Environ. Letters 6*, 37-46.

169. Chernovetz, M.E., Justesen, D.R., King, N.W. and Wagner J.E. (1975). "Teratology, survival and reversal learning after irradiation of mice by 2450 MHz microwave energy," . *J. Microwave Power 10*, 39 1 - 409.

170. Chernovetz, M.E., Justesen, D.R. and Oke, A.F.(1977). "A teratological study of the rat: Microwave and infared radiations compared". *Radio Sci. 12*,191-197 (Supplement).

171. Chernovetz, M.E., Justesen, D.R. and Levinson, D.M. (1979a). "Acceleration and deceleration of fetal growth of rats by 2450 MHz microwave radiation," pages 175-193 in *Symposium on Electromagnetic Fields in Biological Systems*, Stuchly, S., Ed., (International Microwave Power Institute, Edmonton, Alberta, Canada).

172. Chernovetz, M.E., Reeves, D. and Justesen, D.R. (1979b). "Teratology in rats exposed to 2450 MHz microwaves at intense and intermediate dose rates," page 407 in *Abstracts of the USNC/URSI Bioelectromagnetics Symposium*, held in Seattle, Wash. June 18-22, 1979 (National Academy of Sciences, Washington).

173. Cheung, A.Y., Golding, W.M. and Samaras, G.M.(1981), "Direct contact applicators for microwave hyperthermia" . *J. Microwave Power,* 16, 15.1-159.

174. Chou, C.K. and Galambos, R.(1979) "Middle-ear structures contribute little to auditory perception of microwaves" .*J. Microwave Power* 14, 321-326.

175. Chou, C.K. and Guy, A.W.(1978). "Effects of electromagnetic fields on isolated nerve and muscle preparations". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech. MTT-26*, 141-147.

176. Chou, C.K. and Guy, A.W.(1979)."Microwave induced auditory responses in guinea pigs: Relationship of threshold and microwave pulse duration," *Radio Sci. 14*, 193-197 (Supplement).

177. Chou, C.K. and Guy, A.W.(1982). "Systems for exposing mice to 2450MHz electromagnetic fields" . *Bioelectromagnetics J. 3*, 401-412.

178. Chou, C.K. Galambos, P., Guy, A.W. and Lovely, R.H. (1975) "Cochlear microphonics generated by microwave pulses" . *J. Microwave Power 10*, 361-367.

179. Chou, C.K., Guy, A.W. and Galambos, R.(1976) "Microwave induced auditory response: Cochlear microphonics," pages 89-103 in *Biological Effects of Electromagnetic Waves*, Johnson, C. C. and Shore, M. L., Eds., HEW Publication NO. FDA 77-8010 (Department of Health, Education and Welfare, Rockville, Maryland)

180. Chou, C.K., Guy, A.W. and Galambos, R.(1977). "Characteristics of microwave-induced cochlear microphonics". *Radio Sci. 12*, 221-227 (Supplement).

181. Chou, C.K., Guy, A.W., McDonald, J.A. and Han, L.F.(1978). "Effects of continuous and pulses chronic microwave radiation on rabbits" page 96 in *Abstracts of Proceedings of the USRC/URSI Annual Meeting*, Helsinki (National Academy of Sciences, Washington).

182. Chou, C.K., Han, L.F. and Guy, A.W.(1980). "Microwave radiation and heart-beat rate of rabbits". *J. Microwave Power 15*, 87-93.

183. Christensen, D.A and Durney, C.H.(1981) ”Hyperthermia production for cancer therapy: A review of fundamentals and methods", *J. Microwave Power 16*, 89-105

184. Cleary, S.F.(1970). "Biological effects of microwave and radiofrequency radiation". *Crít. Rev. Environ. Control 1*,257-306.

185. Cleary ,S.F.(1977) "Biological effects of microwaves and radiofrequency radiation," *Crit. Rev. Environ. Control 7*, 121-166.

186. Cleary, S.F. and Pastemack, B.S.(1966). "Lenticular changes in microwave workers: A statistical Study,". *Arch. Environ. Health 12*,23-29.

187. Daels, J.(1973). "Microwave heating of the uterine wall during parturition," *Obstet Gynecol*. *42*, 76-79

188. Dacis, J.(1976). "Microwave heating of the uterine wall during parturition,". *J. Microwave Power 11*, 166-168.

189. Daily, L., Wakini, K.G., Herrick, J.F., Parkhill, E. M. and Benedict, W.L. (1952). "The effects of microwave diathermy on the eye of the rabbit". *Am. J. Opthalmol. 35*, 1001-1017.

190. D'Andrea, J.A., Gandhi, 0.P. and Lords, J.L.(1977). "Behavioral and thermal effects of microwave radiation at resonant and non-resonant wavelengths", *Radio Sci. 12,* 251-256 (Supplement).

191. D'Andrea, J.A., Cuellar, O., Gandhi, 0. P., Lords, J.L. and Nielson, H.C.(1978). "Behavioral thermoregulation in the whiptail lizard (*Cnemidophorus tigris*) under 2450 MHz CW microwaves," page 88 in *Biological Effects of Electromagnetic Waves*, Abstracts of URSI General Assembly, Helsinki (National Academy of Sciences, Washington).

192. D'Andrea, J.A., Gandhi, 0.P., Lords, J.L., Dumey, C.H., Johnson, C.C., and Astle, L.(1979) "Physiological and behavioral effects of chronic exposure to 2450 MHz microwaves". *J. Microwave Power 14*, 351-362.

193. Danilewsky, B. and Worobjew, A. (1935). "Uder die Femwirkung elektrischer Hochfrequenzstrome auf die Nerven". *Arch. F.D. Physiol*. 236,443.

194. Davson, H.(1967). Physiology of the Cerebrospinal Fluid (Churchill, London) Deficis, A. Delfour, A., Dumas, J.C. and Laurens, S.(1974). "Variations of nerve excitability and conduction under the influence of microwaves" *Experientia, 30*, 1276-1277.

195. Deichmann, W.B., Bemal, E., Stevens, F. and Landeen, K.(1963). "Effect on dogs of chronic exposure to microwave radiation", *J. Occup. Med. 5*, 418-425.

196. Deichrnann, W.B., Maile, J. and Landeen, K.(1964). "Effect of microwave radiation on the hematopoletic system of the rat," .*Toxicol. Appl. Pharmacol. 6*,71-77.

197. De Keating-Hart (1909). "La fulguration et ses resultats dans la traitement du cancer, d'apres une statis- tique personnelle de 247 cas," Paris.

198. DeLateur, B.J., Lehmann, J. F., Stonebridge, J.B., Warren, C.G. and Guy, A.W. (1970). "Musele heating in human subjects with 915 MHz microwave contact applicator". *Arch. Phys. Med. 51*,147-151.

199. Delherm, L. and Fischgold, H.(1934). "Le courand de d'Arsonval diminuent I'excitabilite neuromusculaire" . *C. R. Acad. Sci. 199*, 1688.

200. DeLoor, G.P.(1968). "Dielectric properties of heterogeneous mixtures containing water". *J. Microwave Power 3*, 67-73.

201. De Lorge, J.O. (1973). *Operant Behavior of Rhesus Monkeys in the Presence of Extremely Low Frequency-Low-Intensity Magnetic and Electric Fields: Experiment 2*, Publication No. NAMRL-1179 (Naval Aerospace Medical Research Laboratory, Pensacola, Florida).

202. De Lorge, J.O. (1974). *A Psychobiological Study of Rhesus Monkeys Exposed to Extremely low Frequency - Low Intensity Magnetic Fields*, Publication No. NAMRL-1203 (Naval Aerospace Medical Reserach Laboratory, Pensacola, Florida).

203. De Lorge, J.O. (1976). *Operant behavior and colonic temperature of squirrel monkeys (Saimiri sciureus) during microwave irradiation*, Report NAMRL-1222 (Naval Aerospace

Medical Research Laboratory, Pensacola, Florida).

204. De Lorge, J.O. (1977) "The effects of microwave radiation on behavior and temperature regulation in rhesus monkeys," pages 158-174 in *Biological Effects of Electromagnetic Waves*, Selected Papers of the USNC/URSI Annual Meeting, Boulder, Colorado, October 20-23, 1975, Jonhson, C. C. and Shore, M. L., Eds., HEW Publ. (FDA) 77-8010 (Government Printing Office, Washington).

205. De Lorge, J.O. (1979a). "Disruption of behavior in mammals of three different sizes exposed to microwaves: Extrapolation to larger mammals," pages 215-228 in *Symposium on Electromagnetic Fields in Biological Systems*, Stuchly, S. S., Ed. (International Microwave Power Institute, Ltd, Edmonton, Canada).

206. De Lorge, J.O. (1979b). "Operant behavior and rectal temperature of squirrel monkeys during 2450 MHz microwave irradiation". *Radio Sci. 14*, 217-226 (Supplement).

207. De Lorge, J.O. (1982). "The effects of microwave irradiation at near-resonant and above-resonant frequencies on operant behavior in rhesus monkey," page 18 in *Abstracts of the 4th Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society*, Los Angeles, 28 June-2 July, 1982 (Bioelectromagnetics Society Gaithersburg, Maryland).

208. De Lorge, J.O. (1983). "The thermal basis for disruption of operant behavior by microwaves in three species" pages 379-399 in *Microwaves and Thermoregulation*, Adair, E. R., Ed. (Academic Press, New York).

209. De Lorge, J.O. (1984) "Operant behavior and colonic temperature of Macaca mulatta exposed to radiofrequency fields at and above resonant frequency". *Bioelectromagnetics 5*, 233-246.

210. De Lorge, J.O. and Ezeli, C.S. (1990). "Observing-responses of rats exposed to 1.28 and 5.62-GHz microwaves". *Bioelectromagnetics 1*, 183-198.

211. Dempsey, E.W. and Astwood, E.B.(1943). "Determination of the rate of thyroid hormone secretion at various environmental temperatures". *Endocrinol 32*, 509-518.

212. Denisiewicz, R., Dziuk, E. and Siekierzynski, M. (1970). "Evaluation of thyroid function in persons occupationally exposed to microwave radiation," *Pol. Arch. Med, Wewnetriznej 45*, 19-25.

213. Dethlefsen, L.A. and Dewey, W.C. Eds. (1982). *Proceeding of the Third International Symposium on Cancer Therapy by Hyperthermia, Drugs and Radiation.* National Cancer Institute Monograph 61 (Government Printing Office, Washington).

214. Devyatokov, N.D. (1974) "Influence of millimeter-band electromagnetic radiation on biological objects". *Sov. Phys. USPEKHI 16*, 568-579.

215. Dietzel, F.(1975). "Effects of electromagnetic radiation on implantation and intrauterine development of the rat" . *Annals N. Y. Acad. Sci., 247*, 367-376.

216. Djordjevic, Z., Kolak, A., Stojkovic, M., Raukovic, N., and Ristic, P.(1979). "A study of the health status or radar workers". *Aviat. Space Environ. Med. 50*, 396-398.

217. Dodge, C.H. (1970). "Clinical and hygienic aspects of exposure to electromagnetic fields," pages 140-149 in *Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation*: *Symposium Proceedings.* Cleary, S.F. Ed. Publication No. BRH/DBE 70-2 (Government Printing Office, Washington).

218. Dodge, C.H. and Glaser, Z.R. (1977). "Trends in non-ionizing electromagnetic radiation bioeffects research and related occupational health aspects". *J. Microwave Power 12*, 391-

219. Dordevio, Z. (1975). "Study of the biological effects of prolonged exposure of rats to microwave radiation having intensities of 5 to 40 mW/cm$^2$ . *Vognosanit. Pregl., 32*, 51-53.

220. Dodt, E. and Zotterrnan, Y. (1952) "Mode of action of warm receptors". *Acta Physiol. Scand. 26*, 345- 357.

221. DuBois, E.F.(1948). *Fever an the Regulation of body Temperature* (Charles C. Thomas, Springfield, Illinois)

222. Dumansky, Yu D. and Rudichenko, V.F.(1976) "Dependence of the functional activity of liver mitochondria on super-high frequency radiation". *Hygiene and Sanitation,* pages 16-19, April, 1976, Moscow.

223. Dumansky, Yu D. and Shandala, M.G.(1974) "The biologic action and hygienic significance of electromagnetic fields of super-high and ultrahigh frequencies in densely populated areas" pages 289-293 in *Biologic Effects and Health Hazards of Microwave Radiation*, Czerski, P. Ostrowski, K., Silverman, C., Shore, M. L., Suess, M.J. and Waldeskog, B. Eds. (Polish Medical Publishers, Warsaw, Poland).

224. Durnansky, Yu. D., Serdyuk, A. M., Litvinova, C.I., Tomashevskaya, L. A. and Popovich, V. M.(1972) "Experimental research on the biological effects of 12-centimeter low-intensity waves" page 29 in *Health in Inhabited Localities*, 2nd. Ed. (Kiev).

225. Durney, C.H. (1980) "Electromagnetic dosimetry for models of humans and animals: A review of theoretical numerical techniques". *Proc. IEEE 68*, 33-40.

226. Durney ,C.H., Johnson, C.C., Barber, P.W., Massoudi, H., Iskander, M.F., Lords J.L.,Ryser D. K., Alien, S.J. and Mitchell, J.C.(1978). *Radiofrequency Radiation Dosimetry Handbook*, 2nd ed., Report SAM-TR-78-22 (U.S. Air Force School of Aerospace Medicine, Brooks Air Force Base, Texas).

227. Dutta, S.K., Nelson, W.H., Blackman, C.F. and Brusick, D.J.(1978) "Effects of chronic non-thermal exposures of pulsed microwaves on a repair-deficient mutant of *Escherichia coli*", *Mutat. Res. 53*, 91-92.

228. Dutta S.K., Nelson, W.H., Blackman, C.F. and Brusick, D.J.(1979). "Lack of microbial genetic response to 2.45-GHz CW and 8.5- to 9.6-GHz pulsed microwaves". *J. Microwave Power 14*, 275-280.

229. D'Yachenko, N.A.(1970) "Changes in thyroid function with chronic exposure to microwave *radiation". Gig. Tr. Prof. Zabol. 14*, 51-52.

230. Edelman, G. M.(1976). "Surface modulation in cell recognition and cell growth". *Science 192*, 218-226. .

231. Edelwejn, Z., Elder, R.L., Klimkova-Deutchova and Tengroth, B. (1974) "Occupational exposure and public health aspects of microwave radiation," pages 330-331 in *Biologic Effects and Health Hazards of Microwave Radiation*. Czerski, P., Ostrowski, K., Silverman, C. Shore, M.L., Suess, M.J. and Waldeskog, B., Eds. (Polish Medical Publisbers, Warsaw, Poland).

232. Eduards, M.J.(1968). "Congenital malformations in the rat followoing induced hyperthermia during gestation". *Teratology 1*, 173-178.

Eduards, M.J. and Wanner, R.A.(1977). "Extremes of temperature," pages 421-444 in *Handbook of Teratology*, vol.1, Wilson, J.G. and Fraser, F.G., Eds. (Plenum Publishing Corporation, New York).

233. Eduards, M.J., Mulley, R., Ring, S. and Wanner, R A.(1974). "Mitotic cell death and delay of mitotic activity in guinea-pig embryos following brief maternal hyperthemia". *J. Embryol. Exp. Morph. 32*, 593- 602.

234. Eduards, M.J., Wanner, R.A. and Mulley, R.C.(1976). "Growth and development of the brain in normal and heat-retarded guinea pigs". *Neuropath. Appl. Neurobiol 2*, 439-450.

235. Eichert, E.S. and Frey, A.H. (1977) "Heart rate modification in vivo from irradiation by electromagnetic energy", page 65 in *Abstracts of Proceedings of the USNC/URSI International Symposium on the Biological Effects of Electromagnetic Waves* . Airlie Virginia (National Academy of Sciences Washington)

236. Eidinow, A.(1934). "Action of ultra-short waves on tumours". *Br. Med. J*. 2, 332.

237. Eigen, M. and de Maeyer, L. (1973) "Relaxation Methods," pages 895-1054 in *Techniques of Organic Chemistry Investigations of Rates and Mechanims of Reactions*. Friess, S.L. Lewis E. S. and Weissberger, A. Eds. (Interscience, New York)

238. Eijkman, E. and Vendrik, A.J.H. (1961) "Dynamic behavior of the warmth sense organ," J. *Exp. Psycho. 62*, 404-408.

239. Einolf, C.W. and Carstensen, E.L.(1971) "Low-frequency dielectric dispersion in suspensions of Ion- exchange resins", *J. Phys. Chem. 75*, 1091-1099.

240. Elder, J.A. and Ali, J.S.(1975) "The Effects of microwaves (2450 MHz) on isolated rat liver mitochondria". *Annals N. Y. Acad. Sci. 247*, 251-262.

241. Emery, A. F., Kramar, P., Guy, N.W. and Lin, J.C.(1975). "Microwave induced temperature rises in rabbit eyes cataract research". *J.Heat Transfer 97*,123-128.

242. Emery, A. F. Short, R.E., Guy, A.W., Kraning, K.K. and Lin, J.C.(1976). "The numerical thermal simulation of the human body when undergoing exercise or nonionizing electromagnetic irradiation". *Trans. Amer. Soc. Mech. Engr. J.Heat Transfer 98,* 284-291.

243. Esaki, L. (1958). "New phenomenon in narrow Ge P-N junction", *Phys. Rev. 109*, 603-604.

244. Everts, J.M., Herman, W.A., Colvin, M.C., Porter, C.R. and Phillips, R.C.(1972). "Cytogenetic effect of microwave radiation on Chinese hamster". *J. Microwave Power 7*, 285 (Abstract).

245. Feldberg, W. and Myers, R.D.(1964). "Effects of temperature of animes injected into the cerebral ventricles. A new concept of temperature regulation". *J. Physiol. (London) 173*, 226-237.

246. Ferri, E.S.(1977). "Heat-invoked changes in ascorbic acid levels on the rabbit eye," pages 380-386 in the *Proceedings of the Symposium on Biological Effects and Measurements of RB/microwaves*, HEW Publication FDA 77-8026. (Center for Devices and Radiological Health, Rockville, Maryland).

247. Ferri, E.S. and Hagan, G.J.(1975). "Chronic low-level exposure of rabbits to microwaves," pages 129-142 in *Biological Effects of Electromagnetic Waves*, vol. 1, Johnson, C. C. and Shore, M. L., Eds., HEW Publications No. FDA 77-8010 (Government Printing Office, Washington).

248. Fischer, E. and Solomon, S. (1965). "Physiological responses to heat and cold," pages 126-169 in *Therapeutic Heat and Cold*, Licht, S. Ed. (E. Licht Publishing Co., New Haven, Connecticut).

249. Fisber, P.D., Poznanski, M.J. and Voss, W.A.G.(1982). "Effect of microwave radiation (2450 MHz) on the active and passive components of $^{24}$Na efflux from human erythrocytes".

*Radiat. Res. 92*, 441-452.

250. Foster, K.R. and Finch, E.D.(1974). "Microwave hearing: evidence for thermoacoustic auditory stimulation by pulsed microwaves". *Science 185*,,156-158

251. Foster, K.R. and Schepps, J.L. (1981). "Dielectric properties of tumor and normal tissues at radio through microwave frequencies" . *J.Microwave Power 16*,107-119

252. Franke, V.A. (1961). "Calculations of the absorption of energy from an electromagnetic field by means of semiconductor models resembling the human body," pages 36-45 in *Collection of Scientific Papers of the VCSPS Institute of Industrial Safety*: Leningrad, vol. 3 (Institute of Labor Protection VCSPS, Leningrad, USSR

253. Frankel, H.M. (1959). "Effects of restrain on rats exposed to high temperature". *J. Appl. Physiol. 14*, 997-999.

254. Frey, A.H.(1961) "Auditory system response to modulated electromagnetic energy," *J. Appl. Phys. 17*, 689-692.

255. Frey, A.H.(1962). "Behavioral biophysics", *Psycholog. Buli. 63*, 322-337.

256. Frey, A.H.(1963)."Some effects on human subjects of ultra-high frequency radiation". *Am. J. Med. Electronics 2*, 28-31.

257. Frey, A.H. (1971). "Biological function as influenced by low-power modulated RF energy," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech. MTT-19*, 153-164.

258. Frey, A.H. (1977). Personal communication (Randomline, Inc., Huntinton Valley, Pennsylvania)

259. Frey, A.H. and Feld, S.R. (1975). "Avoidance by rats of illumination with low power nonionizing electromagnetic energy". *J. Comp. Physiol. Psychol. 89*, 183-188.

260. Frey, A.H. and Messenger, R. (1973). "Human perception of illumination with pulsed ultra-high -frequency electromagnetic energy". *Science 181*, 356-358.

261. Frey, A.H. and Seifert, E. (1968). "Pulse modulated UHF energy illumination of the heart associated with change in heart rate". *Life Sci. 7*, 505-512.

262. Frey, A.H., Feld, S.R. and Frey, B. (1975). "Neural function and behavior: Defining the relationship". *Annals N. Y. Acad. Sci. 247*, 433-438.

263. Freygang, W.H. and Landau, W. M. (1955). "Some relations between resistivity and electrical activity in the cerebral cortex of the cat" J. Cell. Comp. *Physiol. 45*, 377-392.

264. Fröhlich, H. (1946). "Shape of collision-broadened spectral lines". *Nature 157*, 478.

265. Fröhlich, H. (1968a). "Bose condensation of strongly excited longitudinal electric modes," *Phys. Lett. 26A*,

266. Fröhlich, H. (1968b). "Long-range coherence and energy storage in biological systems," Int. *J. Quantum Chem*, 2,641-649.

267. Fröhlich, H.(1970). "Long range coherence and the action of enzymes". *Nature 228".* 1093.

268. Fröhlich, H.(1972). "Selective long range dispersion forces between large systems". *Physics Lett. 29A*,153-154. . -

269. Fröhlich, H. (1975a). "Evidence for Bose condensation-like excitation of coherent modes in biological systems". *Phys. Lett. 51A*, 21-22.

270. Fröhlich, H. (1975b). "The extraordinary dielectric properties of biological materials and the action of enzymes". *Proc. Nat. Acad. Sci. 72*, 4211-4215.

271. Fröhlich, H. (1977). "Possibilities of long- and short-range electric interactions of biological systems", *Neurosci. Res. Program Bull.15*, 67-72.

272. Fuchs, G. (1936). "Uber die Sensibilisierung rüntgenfraetwr Neoplasmen durch Kurzwellen," *Strahlent- herapie 55*, 473-480.

273. Fuchs, G.(1952) "Zur Sensibilisierung rnaligner Tumoren durch Ultra-Kurzweilen," *Strahlentherapie 88*, 647.

274. Fulk, D.W. and Finch, E.D.(1972). "Effects of microwave irradiation in vivo on rabbit blood serum". Report No. 5, Project MF 51.524.015-001BD7X, (Naval Medical Research Institute, Bethesda, Maryland).

275. Gabovich, R.D. and Zhukovskii, 0.M.(1976). "Procedures for studying the action of electromagnetic waves of radio-band frequency in occupationally exposed individuals," *Gig. Tr. Prof. Zabol. 10*, 26-29.

276. Gagge, A.P.(1937). "A new physiological variable associated with sensible and insensible perspiration*". Am. J. Physiol. 120*, 277-287.

277. Gagge, A.P., Burton, A.C. and Bazett, H.C.(1941). "A practical system of units for the description of the heat exchange of man with his environment". *Science 94*, 428-430.

278. Gagge, A.P., Stolwijk, J.A.J. and Nishi, Y.(1971). "An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response", *ASHRAE Trans. 77*, 247-262.

279. Gagge, A.P., Winslow, C.E. A. and Herrington, L.P.(1938). "The influence of clothing on the physiological reactions of the human body to varying environmental temperatures". *Am. J. Physiol. 116*, 641- 655.

280. Galvin, M.J. and McRee, D.I. (1981). "Influence of acute microwave radiation on cardiac function in normal and myocardial ischemic cats" . *J.Appl. Physiol. 50*, 931-935

281. Galvin, M.J., Dutton, M.S. and McReed, D.I. (1982). "Influence of 2.45 GHz CW microwave radiation on spontaneously heating rat atria" . *Bioelectromagnetics 3*,219-226.

282. Galvín, M.J. Ortner, M.J. and McRee, D.I. (1982). "Studies on acute in vivo exposure of rats to 2450- MHz microwave radiation. III. Biochemical and hematologic effects". *Radial. Res. 90,* 588-593.

283. Gandhi, O.P. (1974). "Polarization and frequency effects on whole animal absorption of RF energy". *Proc. IEEE 62*, 1171-1175.

284. Gandhi, O.P. (1975a). "Conditions of strongest electromagnetic power deposition in man and animals." *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques MIT-23*,1021-1029

285. Gandhi, O.P. (1975b). "Frequency and orientation effect on whole animal absorption of electromagnetic waves" *IEEE Trans. Biomed.Eng.BMF 22*, 536-542

286. Gandhi, O.P. (1979). "Dosimetry -the absorption properties of man and experimental animals". *Bull. N. Y. Acad. Med. 55*, 990-1020.

287. Gandhi, O.P. (1980a). "State of the knowledge of electromagnetic absorbed dose in man and animals". *Proc. IEEE 68*, 24-32.

288. Gandhi, O.P. Ed. (1980b). "Special issue on biological effects and medical applications of electromagnetic energy", *Proc. IEEE 68*, 1-169.

289. Gandhi, O.P. (1982). "Electromagnetic absorption in an inhomogeneous model of man for realistic exposure conditions". *Bioelectromagnetics 3*, 81-90.

290. Gandhi, O.P., Hunt, E.L. and D'Andrea, J.A. (1977). "Deposition of electromagnetic energy in animals and in models of man with and without grounding and reflector effects". *Radio Sci, 12*, 39-45 (Supplement).

291. Gandhi, O.P., Hagmann M.J., and D'Andrea, J.A. (1979). "Part-body and multibody effects on absorption of radio-frequency electromagnetic energy, by animals and model of man". *Radio Sci. 14*,15-21 (Supplement).

292. Gandhi, O.P., Chatterjee, I., Wu, D. and Gu, Y. (1985). "Likelihood of high rates of energy deposition into the human legs at the ANSI recommended 3 to 30 MHz RF safety levels" *Proc. IEEE 73*, 1145-1147.

293. Ganely, J.P. and Roberts, J. (1983). *Eye Conditions and Related Need for Medical Care Among Persons 1-74 Years of Age*, United Stales, 1971-72, National Center for Health Statistics, Vital and Health Statistics Series 11, No. 228, DHHS Publication No. (PHS) 83-1678 (Department of Health and Human Services, Washington).

294. Gautherie, M. and Albert M. Eds.(1982). *Physical Aspects of Hyperthermia*, Series of Progress in Clinical Biological Research, vol 107 (Alan R. Liss, Inc., New York).

295. Gavalas-Medici, R.J. and Day-Magdaleno S.R.(1976). "Extremely low frequency, weak electric fields affect schedule-controlled behavior of monkeys". *Nature 261*, 256-258.

296. Gavalas, R.J., Walter, D.O., Hamer, I. and Adey, W.R. (1970). “Effect of low-level, low-frequency electric fields on EEG behavior in *Macaca nemestrina*". *Brain Res. 18*, 491-501.

297. Gelineo, S. (1964) "Organ systems in adaptation: The temperature regulating system," pages 259-279 in *Handbook of Physiology, Section 4: Adaptation to the Environment*, Dill, D. B., Adolph, E. F. and Wilber C. G., Eds. (American Physiological Society, Washington).

298. Gellhorn, G. (1928). "Diathermy in gynecology" . *J.Amer.Med.Assoc. 90*,1005-1008

299. Gessier, A.E., McCarty, K.S. and Parkinson, M.C. (1950). "Eradication of spontaneous mouse tumors by high frequency radiation". *Exp. Med. Surg. 8*, 143.

300. George, K. (1978). "Chromosome band inducing effect of high frequency electromagnetic fields". *Indian J. Exp. Biol. 16*, 390-393.

301. Gibbs, F.A. (1981)."Clinical evaluation of a microwave RF system (BSD Corporation) for induction of local and regional hyperthermia". *J. Microwave Power 16,* 185-191.

302. Guillar, J., Servantie, B., Bertharion, G., Servantie, A.M., Obrenovitch, J. and Penin, J.C.(1976). "Study of the microwave-induced perturbations of behavior by the open-field test in the white rat," pages 175-186 in *Biological Effects of Electromagnetic Waves*, vol. 1, Johnson, C.C. and Shore, M. L., Eds., HEW Publication No. FDA. 77-8010 (Government Printing Office, Washington).

303. Glaser, Z.R. and Dodge, C.H. (1977) "Biomedical aspects of radiofrequency and microwave radiation: A review of selected Soviet, East European and Western references", pages 1-35 in *Biological Effects of Electromagnetic Waves*, vol. 1, Johnson, C. C. and Shore, M. L., Eds.,

HEW Publication No. FDA 77- 8010 (Government Printing Office, Washington).

304. Glaser, Z.R. and Heimer, G.M. (1971). "Determination and elimination of hazardous microwave fields aboard naval ships." *IEEE Trans. Microwave Theory Tech. MIT-19*, 232-238.

305. Goldmann, E.E. (1912) *Vitalfarbung am Zentralnerven-system* (Eimer, Berlin).

306. Goldman, R.F.(1978a). "The role of clothing in achieving acceptability of environmental temperatures between 65F and 85F.(18C and 30C)" pages 38-52 in *Energy Conservation Strategies in Buildings*. *Comfort, Acceptability and Health*, Stolwijk, J. A. J., Ed. (John B. Pierce Foundation of Connecticut, Inc., New Haven, Connecticut).

307. Goldman, R.F.(1978b). "Prediction of human heat tolerance", pages 53-69 in *Environmenta*l *Stress*, Follinsbee, L. J., Wagner, J. A., Borgia, J. F., Drinkwater, B. L., Gliner, J. A. and Bedi, J. F., Eds. (Academic Press, New York).

308. Goldman, R.F. (1980). "Effect of environment on metabolism", pages 117-172 in *Report of the First Ross Conference on Medical Research: Assessment of Energy Metabolism in Health and Disease*. Roche A.F. Ed. (Ross Laboratories, Columbus, Ohio).

309. Gordon, C.J. (1982a). "Effects of ambient temperature and exposure to wave-induced acoustic effects in mammalian auditory and physical materials". *Annals, N. Y. Acad. Sci. 247*, 194-218.

310. Guy, A.W., Lin, J.C., Kramar, P.O., and Emery, A. F. (1975b). "Effect of 2450-MHz radiation on the rabbit eye". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech. MTT-23*, 492-498.

311. Guy, A.W., Webb, M.D., Emery, A.F. and Chou, C.K. (1978). *Measurement of Power Distribution at Resonant and Non-Resonant Frequencies in Experimental Animals and Models*, Scientific Report No.11 prepared for the U.S. Air Force School of Aerospace Medicine, March 1978 . (Brooks Air Force Base, San Antonio, Texas).

312. Guy, A.W., Chou,C.K. and Dong, A.M. (1983). "Hazard analysis: Very low frequency though medium frequency range" in *Abstracts of the 5th Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society* held in Boulder Colorado on 12-16 June 1983 (Bioelectromagnetics Society, Gaithersburg, Maryland)

313. Guy, A.W., Lehínann, J.F. and Stonebridge, J.B.(1984). "Therapeutic applications of electromagnetic power". *Proc. IEEE 62*, 55-7j.

314. Hagan, G.J. and Carpenter, R.L. (1975). "Relative cataractogenic potencies of two microwave frequencies", pages 143-155 in the *Proceedings of the URSI/USNC Annual Meeting*, Boulder, Colorado (National Academy of Sciences, Washington).

315. Hahn, G. (1982). *Hyperthermia and Cancer*, (London Press, New York).

316. Hamburger, S., Logue, J.N. and Sternthal, P.M. (1983). "Occupational exposure to non-ionizing radiation and an association with heart disease: an exploratory study" *J. Chronic* Dis. *36*, 791-802

317. Hamid, M.A.K. and Badour, S.S.(1973). "The effects of microwaves on green algae", *J. Microwave Power 8*, 267-273.

318. Hammel, H.T.(1965). "Neurons and temperature regulation," pages 71-97 in *Physiological Controls and Regulation*, Yamamoto, W. S. and Brobeek, J. R., Eds. (W. B. Saunders, Philadelphia)

319. Hammel, H.T. 1968). "Regulation of internal body temperature". *Ann. Rev. Physiol, 30*, 641-710.

320. Hammel, H.T., Jackson, D.C., Stoiwijk, J.A.J., Hardy, J.D. and Stromme, S.B. (1963) "Temperature regulation by hypothalamic proportional control with an adjustable set-point", *J. Appi. Physiol. 18*, 1146-1154.

321. Hamrick, P.E. and Butler, B.T. (1973). "Exposure of bacteria to 2450 MHz microwave radiation". *J. Microwave Power 8*, 227-233.

322. Hamrick, P.E. and McRee, D.I. (1975). "Exposure of the Japanese quail embryo to 2.45 GHz microwave radiation during the second day of development". *J. Microwave Power 10*, 211-221

323. Hamrick, P.E. and McRee, D.I. (1980). "The effect of 2450 MHz microwave irradiation on the rate of embryonic quail". *Health Phys. 38*, 261-268.

324. Hamrick, P.E. and Zinkl, J.G.(1975). "Exposure of rabbit erythrocytes to microwave radiation*". Radiat. Res. 62*, 164-168.

325. Hamrick, P.E., McRce, D.I,. Thaxton, D. and Parkhurst, C.R. (1977). "Humoral immunity of Japanese quail subjected to microwave radiation during embryogeny". *Health Phys. 33*, 23-33.

326. Hardy, J.D (1961) "Physiology of temperature regulation". *Physiol.Rev. 41*, 521-606

327. Hardy, J.D. (1965). "Thermal radiation, pain and injury," pages 170-195 in *Therapeutic Heat and Cold*, Licht, S., Ed. (E. Licht Publishing Co., New Haven, Connecticut).

328. Hardy, J.D. (1971). "Thermal comfort, and health". *ASHRAE Journal 77*, 43-5 1.

329. Hardy, J.D.(1972). "Models of temperature regulation-a review," pages 163-186 in *Essays on Temperature Regulation*, Bligh, J. and Moore, R., Eds. (North Holland, Amsterdam).

330. Hardy, J.D.(1978). "Regulation of body temperature in man-An overview," pages 14-37 in *Energy Conservation Strategies in Buildings*, Stolwijk, J.A.J. Ed. (Yale University Printing Service, New Haven, Connecticut).

331. Hardy, J.D. and Guieu, J.D.(1971). "Integrative activity of preoptic units, II: Hypothetical network" . *J. Physiol. (Paris) 63*, 264-267.

332. Hardy, J.D. and Oppel ,T.W. (1937). "Studies in temperature sensation, III: The sensitivity of the body to heat and the spatial summation of the end organ responses". *J. Clin. Invest. 16*, 533-540.

333. Harris, R. (1963). "The effect of various forms of physical therapy on radio sodium clearance from the normal and arthritic knee joint". *Annals Phys. Med. 7*, 1-10.

334. Harte, C. (1973a). "Mutationen bei *Oenothera hookeri* nach Dauereinwirkung von Meterweilen wahrend' einer Vegetationsperiode". *Theor. Appl. Genet. 43*, 6-12.

335. Harte, C. (1973b). "Genetische Mosaike in der $M_2$ bei *Oenothera* nach Behandiung mit Meterwellen". *Theor. Appl. Genel. 43*, 54-58.

336. Harte, C. (1975) "Mutagenesis by radiowaves in *Antirrhinuim majus* L" Mutat Res.29, 71-75.

337. Hartman, A.M. and Angel, C. (1964). "The effects of trypan red and electroconvulsive shock on response acquisition in the rat", *J. Nerv. Ment. Dis. 139*, 387-392.

338. Hasche, E. and Collier, W.A. (1934). "Uber die Beeinflussung bösartiger Geschwulste durch Ultrakerzellen". *Strahlentherapie 51*, 309-31 1.

339. Hathaway, J.A. , Stern, N., Soles, O.D. and Leighton, E. (1977). "Ocular medical surveillance on micro wave and laser workers". *J. Occup. Med. 19*, 683-688.

340. Heilbrunn, L.V, Harris, D.L., Lefevre, P.G., Wilson, W.L., and Woodard, A.A.(1946). "Heat death, heat injury and toxic factors". *Physiol. Zool. 19*, 404-429.

341. Heller, J.H. (1970). "Cellular effects of microwave radiation". pages 116-121 in *Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation: Symposium Proceedings*, Cleary, S. F., Ed., U.S. Public Health Service Publication No. BRH/DBE 70-2 (Government Printing Office, Washington)

342. Heller, J.H. and Teixeira-Pinto, A.A. (1959). "A new physical method of creating chromosomal aberrations". *Nature 183,* 905-906.

343. Hellon, R.F. (1967). "Thermal stimulation of hypothalamic neurones in unanesthetized rabbits", *J. Physiol. London 193*, 381-395.

344. Hellon, R.F. (1969). "Environmetal temperature and firing rate of hypothalamic neurones," *Experientia 25*, 610.

345. Hemingway, A. and Stenstrom, K.W. (1939). "Physical characteristics of short-wave diathermy" pages 214-229 in *Handbook of Physical Therapy* (American Medical Association Press, Chicago, Illinois).

346. Hendler, E. (1968). "Cutaneous receptor response to microwave irradiation" pages 211-230 in *Thermal Problems in Aerospace Medicine*, Hardy, J. D., Ed. (Unwin Ltd., Surrey).

347. Hendler, E. and Hardy, J.D. (1960). "Infrared and microwave effects on skin heating and temperature sensation". *IRE Trans. Med. Electronics ME-7*, 143-152.

348. Hendler, E., Hardy, J.D. and Murgatroyd, D.(1963). "Skin heating and temperature sensation produced by infrared and microwave irradiation", pages 211-230 in *Biology and Medicine* vol. 3, Hardy, J. D., Ed., Part 3 of *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry*, Herzfeid, C. M., Ed. (Reinhold Publishing Corporation, New York).

349. Hensel, H., (1952). "Physiologic der thermoreception". *Ergebn Physiol 47,* 166-368.

350. Hensel, H., (1973). "Neural processes in thermoregulation". *Physiol.Rev.53*, 948-1017

351. Hensel, H., (1974). "Thermoreceptors". *Ann. Rev. Physiol. 36*, 233-249.

352. Hensel, H., Iggo, I., and Witt, I. (1960) "A quantitative study of sensitive cutaneous thermoreceptors with C afferent fibers", *J. Physiol. (London) 153*, 113-126.

353. Hensel, H. and Kenshalo, D.R. (1969). "Warm receptors in the nasal region of cats" *J. Physiol. (London) 204*, 99-112.

354. Herget, C.M., Granath, L.P. and Hardy, J.D. (1941). "Warmth sense in relation to the area of skin stimulated". *Am. J. Physiol. 135*, 20-26.

355. Herschkowitz-Kaufman, M. (1970). "Structures dissipatives dans une reaction chimique homogene", *C. R. Acad. Sci. 270C*, 1049-1052.

356. Hew (1979). U.S. Department of Health, Education and Welfare. National Center for Health Statistics, Division of Health Examination Statistics, Medical Statistics Branch, March 2

357. Hill, L. (1934). "Actions of ultra ashort waves on tumours". *Brit.Med. J.2*, 370-371.

358. Hill, L. and Taylor, H.J. (1936) "Effect of high-frequency field on some physiologic preparations". *Lancet I,* 311.

359. Hirsch, F.G.(1970). *Microwave Cataracts-A Case Report Reevaluation.* (Lovelace Foundation for Medical Education and Research, Albuquerque, New Mexico).

360. Hirsch, F.G. and Parker, J.T. (1952). "Bilateral lenticular opacities occurring in a technician operating a microwave generator". *AMA Arch. Ind. Hyg. Occup. Med. 6*, 512-517.

361. Hjeresen, D.L., Doctor, S.R. and Sheldon, R.L. (1979). "Shuttlebox side preference during pulsed microwave and conventional auditory cues," pages 194-214 in *Proceedings of the Symposium on Electromagnetic Fields in Biological Systems*, Stuchly, S. S., Ed. (International Microwave Power Institute, Edmonton, Canada).

362. Ho, H.S. and Edwards, W.P.(1977). "Oxygen-consumption rate of mice under differing dose rates of microwave radiation". *Radio Sci. 12,* 131-138 (Supplement).

363. Ho, H.S. and Edwards, W.P.(1979). "The effect of environmental temperature and average dose rate of microwave radiation on the oxygen consumption rate of mice". *Rad. Environ. Biophys. 16*, 325-338.

364. Hodges, G.R., Worley, D.L. and Justesen, D.R. (1979). "An attempt to transfer pneumococcal antibody across the cerebrospinalfluid (CSF) barrier," page 369 in *Abstracts 1979 National Radio Science Symposium* (National Academy of Sciences, Washington).

365. Holland, B.W. (1972) "Dynamic specificity and the pairing of homologous chromosomes in meiosis". *J. Theor. Biol. 35*, 395-397.

366. Hollman, H.E. (1938) "Das Problem der Behandlung biologister Korper in Ultrakurzwellen-Strahungsfel" pages 232-249 in *Ultrakurz-wellen in Ihren Medizinishe-biologischen Anwendungen, See. 4* (Thiem, Leipzig, Germany).

367. Holm, D.A. and Schneider, L.K. (1970). "The effects of non-thermal radio frequency radiation on human lymphocytes in vitro", *Experientia 26*, 992-994.

368. Honig, W. and Staddon, J.E.R. Eds (1977). *Handbook of Operant Behavior* (Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey).

369. Hopfield, J.J. (1973) "Relation between structure, cooperativity and spectra in a model of hemoglobin action", *J. Mol. Biol. 77*, 202-222.

370. Hopfield, J.J. (1974) "Electron transfer between biological molecules by thermally activated tunneling". *Proc. Nat. Acad. Sci. 71*, 3640-3644.

371. Hornback, N.B., Shupe, R.E., Shidnia, H., Joe, B.T., Sayoc, E. and Marshall, C. (1977) "Preliminary clinical results of combined 433 megahertz microwave therapy and radiation therapy on patiens with advanced cancer", *Cancer 40*, 2854-2863.

372. Hornback, N.B., Shupe, R., Shidnia, H., Joe, B.T., Sayoc, E., George, R., and Marshall, C.(1979) "Radiation and microwave therapy in the treatment of advances cancer", *Radiology 130*, 459-464.

373. Houk, W.M., Michaelson, S.M. and Beischer, D.E.(1975) "The effects of environmental temperature on thermoregulatory, serum lipid, carbohydrate, and growth hormone responses of rats exposed to microwaves," page 309 in *Proceedings of the Annual Meeting of USNC/URSI*, Boulder, Colorado (National Academy of Sciences, Washington)

374. Huang, A.T. and Mold, N.G. (1980) ”Inmunologic and hematopoietie alterations by 2450-MHz electromagnetic radiation". *Bioelectromagnetics 1*,77-87.

375. Huang, A.T., Engle, M.E., Elder, J.A., Kinn, J.B. and Ward, T.R. (1977) "The effect of microwave radiation (2450 MHz) on the morphology and chromosomes of lymphocytes" *Radio Sci. 12*, 173-177 (Supplement).

376. Hunt, E.L., King, N.W. and Phillips, R.D. (1975) "Behavioral effects of pulsed microwave irradiation". *Annals N.Y. Acad. Sci. 247*, 440-453.

377. Hyver, C. (1973) "Reactions chimiques coupless considerces en tant que filtres passe-bande", *Bull. Math.Biophys. 35*, 319-337

378. Iampietro P.F., Vaughn J.A., Goldman, R.F., Kreider, M.B., Masucci, F. and Bass, D. E. (1960) ."Heat production frorn shivering". *J. Appl. Physiol. 15*, 632.634.

379. IEEE (1978) Institute of Electrical and Electronic Engineers. *Trans. Microwave Theory Tech*. *MIT-26*, (8)

380. Illinger, K.H. (1970). "Molecular mechanism for microwave absorption in biological systems" pages 112-115 in *Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation*: *Symposium Proceedings*, Cleary, S., F., Ed., U.S. Public Health Service Publication No. BRH/DBE 70-2 (Government Printing Office, Washington).

381. Illinger, K.H. (1977) "Millimeter wave and far-infrared absorption in biological systems," pages 43-66 in: *The Physical Basis of Electromagnetic Interactions with Biological Systems*, Proceedings of a workshop, Taylor, L. D. and Cheung, A. Y., Eds. (University of Maryland, College Park, Maryland).

382. Illinger, K.H. (1979). "Vibrational spectra of in vivo biological systems," page 467 in *Abstracts of Proceedings of USNC/URSI Annual Meeting and Bioelectromagnetics Symposium*, Seattle, Washington (National Academy of Sciences, Washington, D.C.).

383. Illinger, K.H. (1981) "Electromagnetic field interaction with biological systems in the microwave and far-infrared region," pages 1-43 in *Biological Effects of Nonionizing Radiation*, Illinger, K. H., Ed., American Chemical Society Symposium Series No. 157 (American Chemical Society, Washington).

384. Imig, C.J. and Searle, S. W. (1958) "Review of the work conducted at State University of Iowa," pages 242-253 in the *Proceedings of the 2nd Tri-Service Conference on Biological Effects of Microwave Energy*, ASTIA Document No. AD-131-477 (National Technical Information Service, Springfield, Virginia)

385. Imig, C.J., Thomson, J.D. and Hines, U.M. (1948) "Testicular degeneration as a result of microwave irradiation". *Proc. Soc. Exp. Biol. Med..69*, 382-386.

386. Imrie, A.H. (1971) "Pelvic short wave diathermy given inadvertently in early pregnancy," *Obstet. Gynecol. 78*, 91-92.

387. Ingalls, C.E. (1967) "Sensation of hearing in electromagnetic fields". *N. Y. State J. Med*. *67*, 2992-2997

388. Ising, R. (1925) "Beitrag zur Theorie der Ferromagnetismus". *Z.Physik. 31*, 253-258.

389. Ismailow, E.S. (1977) "Infrared spectra of erythrocyte shadows in the region of Amide I and Amide II hand under microwave irradiation" *Biofizika 21*, 940-942. (Also Abstract /* 4953 in *Biological Effects o Nonionizing Electromagnetic Radiation, 1*, 35, 1977)

390. Ismailov, E. Sh. and Zubkova, S.M.(1977) "Physicochemical mechanisms of the biological of microwaves (Russian)". *Biologicheskiye Nauki 6*, 5-17.

391. ITU (1981) International Telecommunication Union, *Radio Regulations*, 1981 revision (International Telecommunication Union, Geneva)

392. Jain, R.K. and Guilino, P.M. Eds.(1980). *Thermal Characteristics of Tumor Applications in Detection and Treatment*, Annals of N. Y. Acad. Sci. 335.

393. JAMA (1952). "Radar and cataracts". *J. Am. Med. Assoc.150*, 528 (Letter to the Editor)

394. Jensh, R.P., Ludlow, J., Weinherg, I., Vogel, W.H., Rudder, T. and Brent, R.L.(1977) "Teratogenic effects on rat offspring of nonthermal chronic prenatal microwave irradiation," *Teratology 15*, 14A (Abstract).

395. Jensh, R.P., Ludlow, J., Weinberg, I., Vogel, W.H., Rudder, T., and Brent, R.L.(1978a) "Studies concerning the postnatal effects of protacted low dose prenatal 915 MHz microwave radiation" *Teratology 17*, 21A (Abstract)

396. Jensh, R.P., Ludlow, J., Weinberg, I., Vogel, W.H., Rudder, T., and Brent, R.L. (1978b) "Studies concerning the protacted prenatal exposure to a nonthermal level of 2450 MHz microwave radiation in the pregnant rat", *Teratology 17*, 48A (Abstract)

397. Jensh, R.P., Vogel, W H., Ludlow, J. and McHugh, T.(1979a) "Studies concerning the effects of low dosage prenatal 6000 MHz microwave radiation on growth and development in the rat", *Teratology 19*, 32A (Abstract)

398. Jensh, R.P., Vogel, W.H., Ludlow, J., McHugh, T. and Brent, R.L. (1979b) "Studies concerning the effects of non-thermal protracted prenatal 2450 MHz microwave irradiation on prenatal and postnatal development in the rat," page 40 in *Abstracts of the USNC/URSI Bioelectromagnetics Symposium*, held in Seattle, Washington, June 18-22, 1979 (National Academy of Sciences, Washington).

399. JMP (1981). The Journal of Microwave Power. *Electromagnetic Hyperthermia 16* (2)

400. Johnson, C.C.(1975) "Recommendations for specifying EM wave irradiation conditions in bioeffects research", *J. Microwave Power 10*, 249-250.

401. Johnson, C.C. and Guy, A.W.(1972) "Nonionizing electromagnetic wave effects in biological materials and systems". *Proc. IEEE 60*, 692-718.

402. Johnson, C.C., Durney, C.H., Barber, P.W., Massoudi, H., Allen, S.J. and Mitcheli, J.C. (1977) "Descriptive Summary: Radiofrequency radiation dosimetry handbook". *Radio Sci. 12*, 57-60 (Supplement).

403. Johnson, H.D., Ward, M.V. and Kibier, H.H.(1966) "Heat and aging effects on thyroid function in male rats". *J. Appl. Physiol. 21*, 689-694.

404. Johnson, H.J. (1940) "The action of short wave radio waves on tissues. III. A comparison of the thermal sensitivities of transplantable tumors in vivo and in vitro". *Amer. J. Cancer 38*, 533-550.

405. Johnson, K.M., Lyle, J.G., Edwards, M.J., and Penny, H.C. (1976) "Effect of prenatal heat stress on brain growth and serial discrimination reversal learning in the guinea pig," *Brain Res. Bull. 1*,133-150.

406. Johnson, R.B., Myers, D.E., Guy, A.W., Lovely, R.H., and Galamtos, R. (1976) "Discriminative control of appetitive behavior by pulsed microwave radiation in rats," pages 238-247 in *Biological, Effects of Electromagnetic Waves - Selected papers of the*

*USNC/URSI Annual Meeting*, Boulder, Colorado, October 20-23, 1975, vol. 1, Johnson, C. C. and Shore, M. L., Eds., HEW Publication (FDA) 77-8010 (Center for Devices and Radiological Health, Rockville, Maryland).

407. Johnson, R.B., Mizumori, S. and Lovely, R.H. (1977) "Adult behavioral deficit in rats exposed prenatally to 918-MHz microwaves" pages 281-299 in *Developmental Toxicology of Energy Related Pollutants*, Mahlum, D.D., Sikov, M.R., Hackett, P.L., and Andrew, F.D. Eds. Report No.CONF-771017 (National Technical Information Center, Springfield, Virginia).

408. Joines, W.T. and Blackman, C.F.(1980) "Power density, field intensity, and carrier frequency determinants of RF-energy-induced calcium ion efflux from brain tissue," B*ioelectromagnetics 1*, 271-276.

409. Justesen, D.R. (1975) "Toward a prescriptive grammar for the radiobiology of non-ionising radiations: Quantitles, definitions, and units of absorbed electromagnetic energy". *J. Microwave Power 10*, 343-356.

410. Justesen, D.R. (1977) "Diathermy versus the microwaves and other radiofrequency radiation's: A rose by another name is cabbage*". Radio Sci. 12*, 355-364.

411. Justesen, D.R. (1978) Personal Communication (Veterans Administration Medical Center, Kansas City, Missouri)

412. Justesen, D.R. (1979) "Behavioral and psychological effects of microwave radiation," *Bull. N.Y. Acad. Med. 55*,1058-1078

413. Justesen, D.R. (1980) "Microwave irradiation and the blood-brain barrier". *Proc. IEEE 68*, 60-67

414. Justesen, D.R. (1983a) "The brain is the organ of longevity: Introduction to G. A. Sacher's free-energy hypothesis of life-span enhancement", pages 461-480 in *Microwaves and Thermoregulation*, Adair, E. R., Ed. (Academic Press, New York)

415. Justesen, D.R. (1983b) "Sensory dynamics of intense microwave irradiation: A comparative study of aversive behaviors by mice and rats", pages 203-230 in *Microwaves and Thermoregulation*, Adair, E. R. Ed. (Academic Press, New York)

416. Justesen, D.R. and Baird, R.C. (1979) "Discussion: The blood-brain barrier, cerebral circulation, and mathematical modeling". *Radio Sci. 14*, 321-322 (supplement)

417. Justesen, D.R. and King, N.W. (1970). "Behavioral effects of low level microwave irradiation in the closed space situation", pages 154-179 in *Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation: Symposium Proceedings*, Cleary S.F. Ed. U.S. Public Health Service Publication No. BRH/DBE 70-2 (Govemment Printing Office, Washington)

418. Justesen, D.R., Levinson, D.M., Clarke, R.L. and King, N.W. (1971) "A microwave oven for behavioral and biological research: Electrical and structural modifications, calorimetric dosimetry, and functional evaluation". *J. Microwave Power 6*, 237-258

419. Justesen, D.R., Levinson, D., Mand Justesen, L.R. (1974) "Psychogenic stressors are potent mediators of the thermal response to microwave radiation", pages 134-140 in *Biologic Effects and Health Hazards of Microwave Radiation*., Czerski, P., Ostrowski, K., Silverman, C., Shore, M.L., Suess, M.J. and Waldeskog, B. Eds. (Polish Medical Publishers, Warsaw, Poland)

420. Justesen, D.R., Morantz, R.A., Clark, M., Reeves, D.L. and Mathews, M. (1977) "Effects of handlings and surgical treatment on convulsive latencies and mortality of tumor-bearing rats to 2450 MHz microwave radiation", page 40 in *Abstracts of the International USNC/URSI Symposium on the Biological Effects of Electromagnetic Waves*, (National Academy of

Sciences, Washington).

421. Justesen, D.R., Rogers, L.E., Guy, A.W., Hjeresen, D.L. and Hinds, W.T. (1978). A Selective Review of the Literature on Biological Effects of Microwave Radiation in Relation to the Satellite Power System, Report No. DOE AO-02/EA81028 (Department of Energy, Washington)

422. Justesen D.R., Adair, E.R., Stevens, J.C. and Bruce-Wolfe, V. (1982) "A comparative study of human sensory thresholds: 2450-MHz microwaves vs far-infrared radiation," *Bioelectromagnetics 3*, 117-125.

423. Kaczmarek, L.K. (1976) "Frequency sensitive biochemical reactions". *Biophys. Chem. 4*, 249-252.

424. Kaczmarck, L.K. (1977) "Cation binding models for the intersection of membranes with EM fields", *Neurosci. Res. Program Bull. 15,* 54-60.

425. Kaczmarek, L.K. and Adey, W.R. (1973). "The efflux of $^{45}Ca^{2}$+ and ($^{3}$H) gamma-aminobutyric acid from rat cerebral cortex". *Brain Res. 63*, 331-342.

426. Kaczniarek, L.K. and Adey, W.R. (1974). "Weak electric gradients change ionic and transmitter fluxes in cortex". *Brain Res. 66*, 537-540.

427. Kaiser, F. (1978a). "Coherent oscillations in biological systems. I. Bifurcation phenomena and phase transitions in an enzyme-substrate reaction with ferroelectric behavior," Z. *Naturforsch. 33A*, 294-304.

428. Kaiser, F.(1978b) "Coherent oscillations in biological systems.II. Limit cycle collapse and the onset of travelling waves in Fröhlich's brain wave model". *Z. Naturforsch. 33A*, 418-431.

429. Kalada, T.V., Fukolova, P.P.and Goncarova, N.N. (1974). "Biologic effects of radiation in the 30-300 MHz range", pages 52-57 in *Biologic Effects and Health Hazards of Microwave Radiation*, Czerski, P., Ostrowski, K., Silverman, C. ,Shore, M.L., Suess, M.J. and Waldeskog, B. Eds. (Polish Medical Publishers, Warsaw, Poland)

430. Kallen, B., Malmquist, G. and Moritz, U. (1982) "Delivery outcome among physiotherapists in Sweden: is non-ionizing radiation a fetal hazard? ". *Arch. Environ. Health 37*, 81-85.

431. Kalmijn, A.J. (1974). "The detection of electric fields from animate and inanimate sources other than electric organs", pages 147-200 in *Handbook of Physiology, vol III, Part 3 of Electroreceptors and Other Specialized Receptors of lower Vertebrates*, Fessard, A., Ed. (Springer - Veriag, New York)

432. Kalmiijn, A.J. (1978). "Experimental evidence of geomagnetic orientation in elasmobranch fishes", pages 348-354 in *Animal Migration, Navigation and Homing*, Schmidt-Konig K. and Keeton, W.T.,Eds. (Springer - Verlag, New York).

433. Kalter, H. (1968). "How should times during pregnancy he called in teratology?" *Teratology 1*, 231-234.

434. Kamenskii, Yu I. (1964). "The effect of microwaves on the functional state of the nerve," *Biophys. 9*, 758-764.

435. Kantor, G. (1981). "Evaluation and survey of microwave and radiofrequency applicators," J. *Microwave Power 16*, 135-149.

436. Kaplan, I.T., Metlay, W., Zaret, M.M., Birenbaum, L. and Rosenthal, S.W. (1971). "Absence of heart-rate effects in rabbits during low-level microwave irradiation". *IEEE Trans, Microwave Theory Tech. MTT-19*, 168-173.

437. Karnovsky, M.J. (1967). "The ultrastructural basis of capillary permeability studied with peroxidase as a tracer". *J. Cellular Biol. 35*, 213-236.

438. Katchalsky, A. (1964). "Polyelectrolytes and their biological interactions" pages 9-41 in *Connective Tissue: Intercellular Macromolecules*, Heart Assoc. N.Y., Ed. (Little Brown, Boston)

439. Katchalsky, A., Scriven, L.E. and Blumenthal, R. (1974) "Dynarnic patterns of brain cell assemblies. II. Concepts of dynamic patterns". *Neurosci. Res.- Program Bull. 12*, 11-59.

440. Kenshalo, D.R., Decker, T. and Hamilton, A. (1967) "Spatial summation on the forehead, forearm, and back produced by radiant and conducted heat". *J. Comp. Physiol. Psychol. 63*, 510-515.

441. Kety, S.S. (1949) "Measurement of regional circulation by the local clearance of radioctive sodium". *Amer. Heart J. 38*, 321.

442. Keyork'yan, A. A. (1948). "Working with ultrahigh frequency impulse generators from the standpoint of labor hygiene". *Gig. Sanit. 4*, 26 (ATD, pages 65-68, Library of Congress, Washington)

443. Kicovskaja, I.A. (1964). "Influence of centimeter waves at various power densities on the blood and blood-forming organs of white rats," cited in Baranski (1971),

444. Kim, J.H., Hahn, E.W. and Tokita, N. (1978). "Combination hyperthermia and radiation therapy for cutaneous malignant melanoma". *Cancer 41*, 2143-2148.

445. Kim, J.H., Antich, P., Ahmed, S. And Hahn, E.W. (1981). "Clinical experience with radiofrequency hyperthermia", *J.Microwave Power 16*, 193-197

446. King, N.W., Justesen, D.R. and Clarke, R.L. (1971). "Behavioral sensitivy to microwave irradiation", *Science 172*, 398-401

447. Kinoshita, J.H. (1974). "Mechanisms initiating cataract formation", *Invest. Ophthalmol. 13*, 713-724.

448. Kirchev, K. (1959). "Some experimental data on the effects of an UHF electric field on the adrenals", pages 81-88 in *Problems of Physiotherapy and Health Reports* (Moscow).

449. Klainer, S.M. and Frazer, J.W. (1975). "Discussion paper: Raman spectroscopy of molecular species during exposure to 100 MHz radio-frecuency fields", *Annals N.Y. Acad. Sci 247*, 323-326.

450. Klimcova-Deutschova, E. (1974). "Neurologic findings in persons exposed to microwaves", pages 268-272 in *Biologic Effects and health Hazards of Microwave Radiation*. Czerski, P., Ostrowski, K., Silverman, C., Shore, M.L., Suess, M.J. and Waldeskog, B., Eds. (Polish Medical Publishers, Warsaw, Poland)

451. Kling, J.W. and Riggs, L.A., Eds. (1971). *Experimental Psychology*, (Holt, Rinehart and Winston, New York)

452. Kottke, F.J.. (1965). "Heat in pelvic diseases", pages 474-490 in *"Therapeutic Heat and Cold*." Licht, S., Ed. (E.Licht Publishing Co., New Haven, Connecticut).

453. Kramar, P.O., Emery, A.F., Guy, A.W. and Lin, J.C. (1973). "Theoretical and experimental studies of microwavw induced cataracts in rabbits", pages 265-267 in the *IEEE G-MTT International Microwave Symposium, Digest of Technical Paper*, Maley, S.W., Ed. (Institute of Electrical and Electronic Engineers, Piscataway, New Jersey).

454. Kramar, P.O., Emery, A.F., Guy, A.W. and Lin, J.C. (1975). "The ocular effects of microwaves on hypothermic rabbits: a study of microwave cataractogenic mechanism", *Annals N.Y. Acad.Sci. 247*, 155-165.

455. Kramar, P.O., Harris, C., Guy, A.W. and Emery, A.F. (1976). "Mechanism of microwave cataractogenesis in rabbits", pages 49-60 in *Biological Effects of Electromagnetic Waves*, vol.1, Johnson, C.C. and Shore, M.L., Eds., DHEW Publication (FDA) Nº 77-8010. (Government Printing Office, Washington).

456. Kramar, P.O., Harris, C., Emery, A.F., Guy, A.W. (1978). "Acute microwave irradiation and cataract formation in rabbits and monkeys", *J.Microwave power 11*, 135-136.

457. Kritikos, H. and Schwan, H.P. (1972). "Hot spots generated by Em waves in lossy spheres and biological implications", *IEEE Trans. Biomed. Engr. 19*, 53-58.

458. Kritikos, H. and Schwan, H.P. (1975). "The distribution of heating potential inside lossy spheres", *IEEE Trans. Biomed. 22*, 457-463.

459. Kritikos, H. and Schwan, H.P. (1976). "Formation of hot spots in multilayer spheres", IEEE *Trans. Biomed. 23*, 168-172.

460. Kritikos, H. and Schwan, H.P. (1979). "potential temperature rise induced by electromagnetic fields in brain tissues", *IEEE Trans. Biomed. 26*, 29-33.

461. Kritikos, H. and Takashima, S. (1975). "Non-thermal effects of electromagnetic fields on the central nervous system", pages 223-224 in *Proceedings of the 1975 Annual Meeting of the* USNC/URSI, Boulder, Colorado (National Academy of Sciences, Washington).

462. Kritikos, H. , Takashima, S. and Schwan, H.P. (1975). "Effects of RF fieds on nervous *activites*", pages 64-65 in Microwave Power Symposium Proceedings, Stuchly, S.S., Ed. (International Microwave Power Institute, Edmonton, Canada).

463. Krupp, J.H. (1977ª). "The relationshio of thermal stress to immune response in mice exposed to 2.6 GHz radio-frequency radiation", page 143 in *Proceedings of the 1977 Annual Meeting on USNC/URSI*, Airlie, Virginia (National Academy of Sciences, Washington).

464. Krupp, J.H. (1977b). "Longterm followup of Macaca mulatta exposed to high power levels of 15-20 and 26 MHz radiofrequency radiation", page 136 in *Proceedings of the 1977 Annua*l *Meeting og USNC/URSI*, Airlie, Virginia (National Academy of Sciences, Washington).

465. Krupp, J.H., (1983). "In vivo temperature measurements during whole-body exposure of Macaca mulatta to resonant and non-resonant frequencies", pages 95-107 in *Microwaves and Thermoregulation*, Adair, E., Ed. (Academic Press, New York).

466. Krusen, F.H., errick, J.F., Leden, U. And Wakin, K.G. (1947). "Microkymatotherapy: preliminary report of experimental studies of the heating effect of microwaves (radar) in living tissues". *Proc. Staff Meeting Mayo Clinic, 22*. 209-224.

467. Kunz, L.L., Johnson, R.B., Thompson, D., Crowley, J., Chou, C.K. and Guy, A.W. (1985). *"Evaluation of longevity, cause of death and histopathological findings", vol.8 of Effects of Long-Term Low-Level radiogrequency radiation exposure on rats.* Report USAFSAM TRE-85-11 (Brooks Air Force Base, Texas).

468. Lambert, P. D.. Nealcigh, R. C. and Wilson, M. (1972). "Effects of microwave exposure on the central- nervous systerns of beagles". *J. Microwave Power 7*, 367-380.

469. Lary, J.M. Connover, D.L. , Foley, E.D. and Hauser, P.L.(19.79). "Teratogenicity of 27.12 MHz radiofrequency radiation in rats", page 402 in *Abstracts of the USNC/URSI Meeting and Bioelectromagnetics Symposium*, Seattle, Washington, June 18-22, 1979 (National Academy

of Sciences, Washington)

470. Lawrence, A. F. and Adey, W.R. (1982) "Nonlinear mechanisms in interactions between excitable tissue and electromagnetic fields". *Neurol. Res. 4*, 274-277.

471. Leach, W.M. (1976). "On the induction of chromosomal aberrations by 2450 MHz microwave radiation" .*J. - Cell. Biol. 70*, 387 (abstract)

472. Lebovitz, R.M. (1981) "Prolonged microwave irradiation of rats: Effects on concurrent operant behavior". *Bioelectromagnetics 2*, 169-185.

473. Lebovitz, R.M. and Seaman, R. L. (1977a). "Single auditory unit responses to weak pulsed microwave radiation". *Brain Res. 126*, 370-375.

474. Lebovitz, R.M. and Seanian, R.L.(1977b) "Microwave hearing: The response of single auditory nearons in the cat to pulsed microwave radiation". *Radio Sci. 12*, 229-236. (Supplement).

475. Lebovitz, R.M. and Seaman, R.L.(1980) "Microwave irradiation and instrumental behavior in rats: Unitized irradiation and behavioral evaluation facility". *Bioelectromagnetics 1*, 415-428.

476. Leden, U.M., Herrick, J.F., Wakim, K.G. and Krusen, F.H. (1947). "Preliminary studies on the heating and circulating effects of microwaves (radar)". *Brit. J. Phys. Med. 10*, 177-184.

477. Lee, J.C. and Oiszewski, J. (1961). "Increased cerebrovascular permeability after repeated electroshock". *Neurology 11*,515-519.

478. Lehmann, J.F. (1971) "Diathermy", pages 273-345 in *Handbook of Physical Medicine and Rehabilitation*, Krusen, F.H., Kottke, F.J. and Elwood, P.M., Eds. (Saunders, Philadelphia, Pennsylvania)

479. Lehmann, J.F. Ed. (1982) *Therapeutic Heat and Cold* (Williams & Wilkins, Baltimore, Maryland).

480. Lehmann, J.F. and Hohlfeld, R. (1952). "Der Gewebestoffwechsel nach Ultraschall und Wärmeeinwirkung". *Strahlentherapie 87*, 544-549.

481. Lehmann, J.F. and Vorschuty, R. (1950) "Die Wirkung von Ultraschawellen auf die Gewebeamung als Beitrag zum therapeutischen Wirkungsrnechismus", *Strahlentherapie 82*, 287-292.

482. Lehmann, J.F., Erickson, D.J., Martin, G.M. and Krusen, F.H. (1954) "Comparison of ultrasonic and microwave diathermy in the physical treatment of periarthritis of the shoulder," *Arch. Phys. Med. 35*, 627- 634

483. Lehmann, J.F., Brunner, G.D., and Stow, R.W. (1958). "Pain threshold measurements after therapeutic application of ultrasound, microwaves and infrared". *Arch. Phys. Med. 39*, 560-565.

484. Lehmann, J.F., Fordyce, W.R., Rathbun, L.A., Larson, R.E. and Wood, D.H. (1961). "Clinical evaluation of a new approach in the treatment of contracture associated with hip fractures after internal fixation". *Arch. Phys. Med. 42*, 95-100.

485. Lehmann, J.F. , Guy, A.W., Johnson, V.C., Brunner, G.D. and Bell, J.W. (1962a) "Comparison of relative heating patterns produced in tissues by exposure to microwave energy at frequencies of 2450 and 900 megacycles". *Arch. Phys. Med. 43*, 69-76.

486. Lehmann, J.F., McMillan, J.A., Brunner, G.D. and Guy, A.W. (1962b). "A comparative evaluation of temperature distributions produced by microwaves at 2456 and 900

megacycles in geometrically complex specimens". *Arch. Phys. Med. 43*, 502-507.

487. Lehmann, J.F., Erickson, D.J., Martin, G.M. and Krusen, F.H. (1965a). "Present value of ultrasonic diathermy". *J. Am. Med. Assoc. 147*, 996-999.

488. Lehmann, J.F., Johnson, V.C., MeMillan, J.A., Silverman, D.R., Brunner, G.D. and Rathbun L.A. (1965b). "Comparison of deep heating by microwaves at frequencies 2456 and 900 megacycles", *Arch. Phys. Med. 46*, 307-314.

489. Lehmann, J.F., Guy, A.W., DeLateur, B.J. ,Stonebridge, J.B. and Warren, C.G. (1968), "Heating patterns produced by shortwave diathermy using helical induction cell applicators," *Arch. Phys. Med. 49*, 193-198.

490. Lehmann, J.F., Guy, A.W., Warren, C.G., DeLateur, B.J. (1970a) "Evaluation of a microwave compact applicator". *Arch. Phys. Med. 51*, 143-147.

491. Lehmann, J.F., Masok, A.J., Warren, C.G. and Koblanski, J.N.(1970b) "Effects of therapeutic temperatures on tendon extensibility". *Arch. Phys. Med. 51*, 481-487.

492. Lehmann, J.F., Guy, A.W., Stonebridge, J.E. and DeLateur, B.J. (1978) "Evaluation of a therapeutic direct-contact 915-MHz microwave applicator for effective deep-tissue heating in humans". *IEEE Trans.Microwave Theory Tech.MTT-26*, 556-563.

493. Lenko, J., Dolatowski, A., Gruszecki, L., Klajrnan, S. and Januszkiewicz, L. (1966). "Effect of 10-cm radar waves en the level of 17-ketosteroids and 17-hydroxycorticosteroids in the urine of rabbits". *Przeglad Lekarski 22*, 296-299.

494. LeVeen, H.H., Wapnick, S., Piccone, V., Falk, G. and Ahmed, N. (1976) "Tumor eradication by radiofrequency therapy: Response in 21 patients". *J. Am. Med. Assoc. 235*, 2188-2200.

495. Levinson, D.M., Riffle, D.W., Justesen, D.R., Carroll, D.R., Bruce-Wolfe, V. and Clarke, R.L. (1981). "Escape behavior by mice and rats in 2450-and 918-MHz fields: Evaluation of sonic stimulation as a cue," page 40 in *Abstracts, 3rd Annual Meeting of Bioelectromagnetics Society* (Bioelectromagnetics Society, Gaithersburg, Maryland),

496. Levinson, D.M., Grove, A.M., Clarke, R.L. and Justesen, D.R. (1982). "Photic cuing of escape by rats from an intense microwave field" . *Bioelectromagnetics 3*,105-117.

497. Levitina, N.A. (1966). "Non-thermal action of microwaves en the cardiac rhythm of the frog," *Bull. Exper. Biol. Med. (Russian) 62*, 64-67.

498. Leytes, F.L. and Skurikina, L.A. (1961). "The effect of microwaves en the hormonal activity of the adrenal cortex". *Byull. Eksp. Biol. Med. 52*, 47-50.

499. Liburdy, R.P. (1977). "Effect of radiofrequency radiation en inflammation". *Radio Sci. 12*, 179-183.

500. Liburdy, R.P. (1979) "Radiofrequency radiation alters the immune system: Modulation of T- and B-lymphocyte levels and cell-mediated immunocompetence by hyperthermic radiation". *Radial. Res. 77*, 34-46.

501. Liburdy, R.P. (1980). "Radiofrequency radiation the immune system. II Modulation of in vivo lymphocyte circulation". *Radiat. Res. 83*, 66-73.

502. Licht, S.(1965) "History of therapeutic heat," pages 196-231 in Therapeutic Heat and Coid, Licht, S., Ed. (E. licht Publishing Co., New Haven, Connecticut).

503. Licht, S. (1965) "Therapeutie Heat and Cold "(E. Licht Publishing Co., New Haven, Connecticut).

504. Lidinan, B.I., and Cohn, C.(1979) "Effect of radon emanations en the hematopoietic system" *Air Surgeons Bull. 2*, 448-449.

505. Liebesny, P.(1921) "Experimentelle Untersuchungen uber Diathermie", Wien. lin. Wchnschr. 34, 117.

506. Lilienfeid, A.M., Tonascia, J., Tonascia, S., Libauer, C.H., Cauthen, G. M.,Markowitz, J. A. and Weida, S. (1978). Foreing Service Health Status Study-Evaluation of Health Status foreing Service and Other Employees from Selected Eastern European Posts, Final Report Contract No. 6025-619073 (Department of State, Washington).

507. Lin, J.C.(1978). "Microwave Auditory Effects and Applications" (Charles C. Thomas, Springfield, Illinois).

508. Lin, J.C. and Lin, M.F.(1980) "Studies en microwave and blood-brain barrier interaction," *Bioelectromagnetics 1*, 313-323.

509. Lin, J.C. and Lin, M.F. (1982) "Microwave hyperthemia-induced blood-brain harrier alterations", *Radiat. Res. 89*, 77-87.

510. Lin, J.C. and Peterson, W.D. (1977) "Cytological effects of 2450 MHz CW microwave radiation", *J. Bioeng. 1*, 471-478.

511. Lin, J.C., Guy, A.W. and Johnson, C.C. (1973) "Power deposition in a spherical model of man exposed to 1-20 MHz electromagnetic fields". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*. *MTT-21*, 791-797.

512. Lin, J.C., Guy, A.W. and Caidweil, L.R.(1977) "Thermographic and behavioral studies of rats in the near field of 918-MHz radiation", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech. MIT-25*, 833-836.

513. Lín, J.C., Ottenbreit, M.J., Wang, S., Inone, S., Bollinger, R.O. and Fracassa, M (1979a) "Microwave effects on granulocyte and macrophage precursor cells of mice in vitro". *Radial. Res. SO*, 292-302.

514. Lin, J.C., Neison, J.C. and Ekstrom, M.E. (1979b) "Effects of repeated exposure te 148-MHz radio waves en growth and hematology of mice*",. Radio Sci. 14*, 173-179.

515. Lin, J.C., Meltzer, R.J. and Redding, F.K. (1979c) "Microwave -evoked brain stem potentials in cats". *J. Microwave Power 14*, 291-296.

516. Lindauer, G.A., Liu, L.N., Skewes, G.W. and Rosenbaum, F.J. (1974) "Further experiments seeking evidence of nonthermal biological effects of microwave radiation", *Trans. IEEE Microwave Theory Tech. MIT-22*, 790-793.

517. Lin-Liu, I. and Adey, W.R. (1982). "Low frequency amplitude modulated microwave fields change calcium efflux rates from synaptosomes," . *Bioelectromagnetics 3*, 309-322.

518. Lipton, J.M. (1971) "Behavioral temperature regulation in the rat: Effects of thermal stimulation of the medulla". *J. Physiol. (Paris) 63*, 325-328.

519. Liu, L.M., Rosenbaum, R.J. and Pickard, W.F. (1975) "The relation of teratogenesis in Tenebrio molitor to incidence of low-level microwaves", *Trans. IEEE Microwave Theory Tech*. *MIT-23*, 929-93.

520. Liu, L.M., Rosenbaum, F.J. and Pickard, W.G. (1976) "Insensitivity of frog heart rate to pulse modulated microwave energy", *J. Microwave Power 11*, 225-232.

521. Liu, L.M., Nicklass, F.G. and Cleary, S.F.(1979) "Effects of microwave radiation on erythrocyte membrane", *Radio Sci. 14*, 109-115.

522. Lobanova, E.A. (1974) "The use of conditioned reflexes to study microwave effects on the central nervous system," pages 289-293 in *Biologic Effects and Health Hazards* of *Microwave Radiation*, Czerski P. Ostrowski K. Silverinan C. Shore M. L. Suess M. J. and Waldeskog B. Eds. (Polish Medical Publisbers, Warsaw, Poland)

523. Lords, J.L., Durney, C.H., Borg, A.M. and Tinney, C.E.(1973) "Rate effects in isolated hearts induced by microwave irradiation," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech. M7T-21*, 834-836.

524. Lott, J.R. and Smith, G.H. (1977) "Some effects of low-level dosages of microwaves on isolated nerve activity", *Radiat. res. 70*, 690 (Abstract).

525. Lotz, W.G. (1978). "Neuroendocrine function in rhesus monkeys exposed to pulsed microwave radiation", in *Abstracts of Scientific Papers*, 1978 Symposium on Electromagnetic Fields in Biological Systems, Ottawa, Canada, June 27-30, 1978.

526. Lotz, W.G. (1979). "Endocrine function in rhesus monkeys and rats exposed to 1.29 GHz microwave radiation," page 346 in *Abstracts of Proceedings of the USNC/URSI Meeting and Bioelectromagnetics Symposium*, Seattle, Washington (National Academy of Sciences, Washington).

527. Lotz,W.G. (1982a). Personal communication (Naval Aerospace Medical Research Laboratory, Pensacola, Florida).

528. Lotz, W.G. (1982b). Hyperthermia in rhesus monkeys exposed to a frequency (225 MHz) near whole- body resonance NMRDC Report MF 58. 524.02C-009 (Naval Aerospace Medical Research Laboratory, Pensacola, Florida)

529. Lotz, W.G. (1983). "Influence of the circadian rhythm of body temperature on the physiological response to microwaves: Day vs night exposure," pages 445-460 in Microwaves and Thermoregulation, Adair, E. R., Ed. (Academic Press, New York)

530. Lotz, W.G. and Michaelson, S.M. (1978) "Temperature and corticosterone relationship in microwave exposed rats". *J. Appl. Physiol. 44*, 438-445.

531. Lotz, W.G. and Michaelson, S.M. (1979) "Effects of hypophysectomy and dexamethasone on the rats adrenal response to microwave irradiation". *J. Appl. Physiol. 47*, 1284-1288.

532. Lotz, W.G. and Podgorski, R.P. (1982) "Temperature and adrenocortical responses in rhesus monkeys exposed to microwaves", *J. Appi. Physiol: Respirat. Environ. Exercise Physiol. 56*, 1565-1571.

533. Lotz, W.G., Michaelson, S.M. and Ledba, N.J.(1977). "Growth hormone levels of rats exposed to 2450-MHz (CW) microwaves", page 39 in *Abstracts of Scientific Papers*, 1977 International Symposium on the Biological Effects of Electromagnetic Waves (National Academy of Sciences, Washington).

534. Lovely, R.H., Meyers, D., Johnson, R.B. and Guy, A.W.(1977). "Behavioral and physiological effects on rats of chronic, square-wave modulated microwave radiation" page 120 in *Abstracts of the Proceedings of the USNC/URSI Symposium on the Biological Effects of Electromagnetic Waves* (National Academy of Sciences, Washington).

535. Lovely, R.H., Lundstrom, D.L. and Philips, R.D.(1981) "Dosimetric and Behavioral Analysis of Microwave-Drug Synergistic Effects on Operant Behavior in the Rat, Report No. 2311103921

(Naval Medical Research and Development Command, Bethesda, Maryland).

536. Lovely, R.H., Mizumori, S.J., Johnson, R.B. and Guy, A.W.(1983) "Subtle consequences of exposure to weak microwave fields: Are there nonthermal effects?" pages 401-429 in *Microwaves and Thermoregulation*, Adair, E. R., Ed. (Academic Press, New York).

537. Löwdin, P.O.(1963). "Proton tunnellin in DNA and its biological implications". *Rev. Mod. Phys*. *35*, 724-733.

538. Löwdin, P.O (1964a). "Effect of proton tunnellin in DNA on genetic information and problems of mutations, aging, and tumors" . *Biopolymers Symposia No.1*,161-181.

539. Löwdin, P.O. (1964b). "Some aspects of quantum biology", *Biopolymers, Symposia No.1*, 293-311.

540. Lu, S.T., Jones, J., Petit, S., Lebda, N.J. and Michaelson, S.M. (1975) "Neuroendocrine and cardiodynamic response of the dog subjected to cranial exposure to 2450 MHz microwaves," page 63 in *Proceedings of the Microwave Power Symposium*, Alberta, East, T. R. W. and Ford, J. D., Eds. (International Microwave Power Institute, Edmonton, Canada)

541. Lu, S.T., Lebda, N.J. and Michaelson, S.M. (1977a). "Effects of microwave radiation on the rat's pituitary-thyroid axis," page 37 in *Abstracts of Scientific Papers*, 1977 International Symposium on the Biological Effects of Electromagnetic Waves (National Academy of Sciences, Washington).

542. Lu, S.T., Lebda, N.J. Michaelson, S.M., Pettit, S. and Rivera, D.(1977b) "Thermal and endocrinological effects of protacted irradiation of rats by 2450 MHz microwaves". *Radio. Sci. 12*, 147-156 (Supplement)

543. Lu, S.T., Lebda, N.J., Pettit, S. and Michaelson, S.M. (1979a)."Modification of microwave biological end-points by increased resting metabolic heat load in rats." page 330 in *Abstracts of the proceedings of de USNC/URSI Annual Meeting and Bioelectromagnetics Symposium,* Seattle. Washington (National Academy of Sciences. Washington)

544. Lu, S.T., Pettit, S. and Michaelson, S.M. ( 1979h) "Dual action of microwave on serum corticoserone in rats" page 345 in *Abstracts of proceedings of de USNC/URSI Annual Meeting and Bioelectromagnetics Symposium.* Seattle. Washington (National Academy of Science, Washington)

545. Lu, S.T., Lotz, W.G. and Michaelson, S.M. (1980a) "Advance in microwave induced neuroendocrine effects: The concept of stress". *Proc. IEEE 68*,73-77

546. Lu, S.T., Lebda, N.J., Pettit, S. and Michaelson, S.M. (1980b) "Delineating acute neuroendocrine responses in microwaves exposed rats". *J. Appl. Physol: Respirat. Envirom*. *Exercise physol. 48*, 927-932

547. Lu, S.T., Lebda, N.J., Pettit, S., and Michaelson, S.M. (1981) . "Microwave induced temperature corticosterone and thyrotropin interrelattionships". *J.appl. Physol: Respirat*. *Environ, Exercise Physol 50*, 399-405

548. Luben, R.A., Cain, C.D., Chen, M.C.Y., Rosen, D.M. and Adey, W.R.(1982). "Effects of electromagnetic stimuli on bone and bone cells in vitro: Inhibition of responses to parathyroid hormone by low energy, low frequency fields". *Proc. Mat. Acad 79*, 4181-4184

549. Luczak, M., Szmigielski, S., Janiak, M., Kobus, M. and Clerq, E. (1976). "Effects of Microwaves on virus multiplication in mammatian cells". *J. Microwaves Power 11*,173-174

550. Lyle, D.B., Schechter, P., Adey, W.R. and Lundak, R.L.(1983). "Suppression of T-lymphocyte extotonity following exposure to sinusoidally amplitude modulated HI fields"

*Bioelectromagnetics 41,* 281-292.

551. MacDonald, D.K.C. and Wyndham, C.H.(1950) "Heat transfer in man". *J. Appl. Physiol. 3,* 342-364

552. Macpherson R.K.(1959). "The effect of fever on temperature regulation in man" *Clin. Sci. 18*. 281-287.

553. Magin, R.L., Lu, S.T. and Michaelson, S.M.(1977a). "Stimulation of dog thyroid by local application of high intensity microwaves" . *Am. J. Physiol. 233*, 363-368

554. Magin, R.L., Lu, S.T. and Michaelson, S.M.(1977b). "Microwave heating effect on the dog thyroid.". *IEEE Trans. Biomed. Eng. 24*, 22-529

555. Majde, J.A. and Lin, J.C. (1979). "The effect of radiofrequency (148MHz) electromagnetic field exposures on hypersensitivity responses in mice.", page 475 in *Abstracts of the proceedings of the USNC/URSI Annual Meeting Bioelectromagnetics Symposium*, Seattle Washington (National Academy of Science. Washington)

556. Majewska, K.(1968). "Study of effects of microwaves on visual organs". *Klin. Oczna. (Polish) 38,* 323-328

557. Mallalieu, R.C. (1980). *A Model of the microwave Intensity Distribution within the U.S. embassy in Moscow* (1966-1977). Report No. FS-80-166 (The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, Baltimore. Marvland)

558. Malyshev, V.T. and Tkachenko, M.I. (1972). "Activity of ferments on the mucus membrane of the small intestine under the influence of an SHF field", page 186, in *Physiology and Pathology of Digestion*. Kishenev.

559. Marha, K. (1969). "Maximum admissible values of HF and UHF electromagnetic radiation on work places in Czechoslovakia", pages 188-196 in *Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation – Symposium Proceedings*. Cleary S. F. Ed. U.S. Public Health Service Publication No BRH/DBE 70-2 (Government Printing Office. Washington)

560. Marha, K., Musil, J., and Tuha, H. (1971). "Electromagnetic Field and the Life Enviroment" (San Francisco Press, Inc.), San Francisco. California (Translated from the Czech).

561. Marks, J. Carter, E.T. Scarpelli, D.T. and Eisen, E. (1961) "Microwave radiation to the anterior mediastinum of the dog." , *Ohio State Med. J.57*, 274-279

562. Mark, L.E. and Stevens, J.C. (1973) "Temporal summation related to the nature of the proximal stimulus for the warmth sense". *Percept. and Psychophys 14,* 570-576

563. Martin, J.B. (1973). "Neural regulation of growth hormone secretion." New England. *J. Med. 288*,1384-1393

564. Mascarenhas, S. (1975). "Electrets in biophysics". *J. Electrostat I* 141-146

565. Matsumoto, G. and Yamamura, I. (1977). "The effect of microwaves on crayfish neurons." page 95 in *Abstracts of proceedings of the USNC/URSI Symposium on the Biological effects of Electromagnetic Waves* Virginia (National Academy of Sciences, Washington).

566. Matsuyama, H., Rubmann-Wembold, A. and Nelson, D.H. (1971) "Radio-immunoassay of plasma ACTH in intact rats". *Endocrinol 88,* 692-695.

567. McAfee, R.D. (1962) "Physiological effects of thermode and microwave stimulation of peripheral nerve". *Am. J. Physiol. 203*, 374-378.

568. McAfee, R.D., Longacre, A., Bishop, R.R., Elder, S.T., May, J.G., Holland, M.G. and Gordon, R. (1979). "Absence of ocular pathology after repeated exposure of unanesthetized monkeys to 9.3-GHz microwaves". *J. Microwave Power 14*, 41-44.

569. McArthur, G.R., Lords, J.L., and Durney, C.H. (1977). "Microwave radiation alters peristaltic activity of isolated segments of rat gut". *Radio Sci. 12*, 157-160.

570. McLees, B.D. and Finch, E.D. (1971). *Analysis of the Physiologic Effects of Microwave Radiation*, Report No. 3 (U.S. Naval Medical Research Institute, Bethesda, Maryland)

571. McLees, B.D., Finch, E.D. and Albright, M.L.(1972) "An examination of regenerating hepatic tissue subjected to radiofrequency irradiation*". J. Appl. Phys. 32*, 78-85.

572. McNiven, D.R. and Wyper, D.J. (1976). "Microwave therapy and muscle blood flow in man". *J. Microwave Power 11*, 168-170.

573. McRee, D.I. and Hamrich, P.E. (1977), "Exposure of Japanese quail embryos to 2.45 GHz microwave radiation during development". *Radiat. Res. 71*, 355-366.

574. McRee, D.I. and Nawrot, P.(1979) "Exposure of pregnant mice to 2.45 GHz microwave radiation", page 404 in *Abstracts of the Proceedings of the USNC/URSI Annual Meeting and Bioelectromagnetics Symposium*, Seattle, Washington, June 18-22, 1979 (National Academy of Sciences, Washington).

575. McRee, D.I. and Wachtel, H. (1980). "The effects of microwave radiation on the vitality of isolated frog sciatic nerves". *Radiat. Res. 82*, 536-546.

576. McRee, D.I., Hamrick, P.E., Zinki, J., Thaxton, P. and Parkhurst, C.(1975) "Some effects of exposure of the Japanese quail embryo to 2.45 GHz microwave radiation," *Annuals N. Y. Acad. Sci. 27*, 377-390.

577. McRee, D.I., Wyatt, R.H., Hasemen, J.K. and Somjen, G. (1976) "The transmission of reflexes in the spinal cord of cats during direct irradiation with microwaves". *J. Microwave Power 11*, 49-60.

578. Mendecki, J., Friedenthal, E., Botstein, C.L., Sterzer F., Paglione, R., Nowogrodzki, N. and Beck, E.(1978), "Microwave-induced hyperthermia in cancer treatment: apparatus and preliminary results". *Int.J. Radiat. Oncology Biol. Phys. 4*,1095-1103

579. Merola, L.O. and Kinoshita J.H. (1961) "Changes in the ascorbic acid content in lenses of rabbit eyes exposed to microwave radiation," pages 285-291 in *Biological Effects of Microwave Radiation*, Proceedings of the 4th Annual Tri-Service Conference, vol. I., Teyton, M. F., Ed. (Plenum Press, New York).

580. Merritt, J.H., Chamness, A.F. and Allen, S.J. (1978). "Studies on blood-brain harrier permeability alter microwave irradiation". Radiat. Environ. Biophys. 15, 367-377.

581. Meyer, H.H. (1913). "Theorie des Fiebers und seiner Behandiung". *Verhandi. deut. Bes. inner Med. 30*, 15.

582. Michaelson S.M. (1970) "Biological effects of microwave exposure," pages 35-58 in *Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation: Symposium Proceedings*, Cleary, S. F., Ed., U. S. Public Health Service Plublication No BRH/DBE 70-2 (Government Printing Office, Washington)

583. Michaelson, S.M. (1972). "Cutaneous perception of microwaves". *J. Microwave Power 7*, 67-73.

584. Michaelson, S.M.(1974). "Thermal effects of single and repeated exposures to microwaves-a review," pages 1-14 in *Biological Effects and Health Hazards of Microwave Radiation*, Czerski, P., Ostrowski, K., Silverman, C., Shore, M. L., Suess, M. J. and Waldeskog, B., Eds., (Polish Medical Publishers, Warsaw, Poland).

585. Michaelson, S.M. (1977a), "Endocrine and biochemical effects", pages 18-23 in *Microwave and Radio- frequency Radiation*, (World Health Organization, Copenhagen)

586. Michaelson, S.M.(1977b) "Central nervous system responses to microwave induced heating". *Neurosci. Res, Prog. Bull. 15*, 98-100

587. Michaelson, S.M., Thompson R.A.E. and Howland J.W. (1961). "Physiologic aspects of microwave irradiation of mammals". *Am. J. Physiol. 201*, 351-356.

588. Michaelson ,S.M., Thompson R.A.E., El Tamami, M.Y., Seth, H.S. and Howland, J.W. (1964) "The hematologic effects of microwave exposure," *Aerospace Med. 35*, 824-829.

589. Michaelson, S.M., Thompson R.A. and Howland, J.W.(1967) "*Biologic Effects of Microwave Exposure*, ASTIA Doc. No. 824-242 (Griffiss Air Force Base, Rome, New York).

590. Michaelson, S.M., Thompson R.A.E. and Quinlan, W.J. (1968) "Effects of electromagnetic radiation on physiologic responses". *Aerospace Med. 38*, 293-298

591. Michaelson, S.M., Houk, W.M., Ledba, N.J., Lu, S.T. and Magin, R. (1975). "Biochemical and neuroendocrine aspects of exposure to microwaves". *Annals N. Y. Acad. Sci. 247*,21-45

592. Michaelson, S.M., Guillet, R., Catallo, M.A.., Small, J., Inanime, G. and Heggeness, F.W. (1976). "Influence of 2450 MHz CW microwaves en rats exposed in-utero." *J. Microwave Power II*, 165-166.

593. Michaelson, S.M., Guillet, R., Lotz, W.G., Lu, S.T. and Magin, R.L.(1977). "Neuroendocrine responses in the rat and dog exposed to 2450 MHz (CW) microwaves," pages 263-276 in *Symposium Biological Effects and Measurements of radiofrequency Microwaves*, Report FDA 77-8026 Hazzard D.G. Ed. (Department of Health and Human Services 'Washington)

594. Mickey, G.M.(1963). "Electromagnetism and its effect on the organism", *New York State J. of Med. 63*. 1935-1942.

595. Miguel J. and Hayrnaker W.(1965) "Astroglial reactions to ionizing radiation, with emphasis on glycogen accumulation," *Prog. Brain Res. 15*, 89-114.

596. Mikolajzyk, H. (1972). "Hormone reactions and changes in endocrine glands under influence of microwaves." *Medycyna Lotnicza 39*, 39-51.

597. Mikolajzyk, H. (1974) "Microwaves irradiation and endocrine functions, pages 46-51 in *Biologic Effects and Health Hazards of Microwave Radiation*, Czerski, P., Ostrowski, K., Silverman, C., Shore, M. L., Suess, M. J. and Waldeskog, B., Eds. (Polish Medical Publishers,Warsaw)

598. Mikolajzcyk, H. (1977) "Microwave-induced shifts of gonadotropic activity in anterior pituitary glands of rats", pages 377-383 in *Biologic Effects of Electromagnetic Waves, vol. 1*, Johnson, C. C. and Shore, M. L., Eds., Report No. DHEW (FDA) 77-8010 (Government Printing Office, Washington).

599. Milham, S.Jr. (1982). "Mortality from leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields". New England. *J. Med. 307*, 249.

600. Millar, D.B., Christopher, J.P., Hunter, J. and Yeandle, S.S. (1984). "The effect of exposure of acetylcholine esterase to 2450 MHz microwave radiation". *Bioelectromagnetics 5*, 165-

177.

601. Míllard, J.B. (1961). "Effects of high-frequency currents and infrared rays on the circulation of the lower limb in man." *Annals Phys. Med. 6*, 45-66.

602. Milroy, W.C. and Michaelson, S.M.(1972). "Thyroid pathophysiology of microwave radiation," *Aerospace Med. 43*, 1126-1131.

603. Miro, L., Loubriere, R. and Pfister, A. (1974) "Microwave effects on the metabolism of the reticulohistiocytic system", pages 89-97 in *Biologic Effects and Health Hazards of Microwave Radiation*, Czerski, P., Ostroswski, K., Silverrnan, C. Shore, M. L., Suess, M. J. and Waldeskog, B., Eds. (Polish Medical Publishers, Warsaw).

604. Mitebell, J.C. and Gass, A.B. (1971) "Hematological and biochemical results from RF exposures at 10.5, 19.3 and 26.6 MHz", pages 1-14 in *Proceedings of the Department of Defense Electromagnetic Research Workshop* (Department of Defense, Washington).

605. Mitchell, D.S., Switzer, W.G. and Brosugh, E.L. (1977) "Hyperactivity and disruption of operant behavior in rats after multiple exposures to microwave radiation". *Radio SCI 12*, 263-271.

606. Mittlemann, E., Osborne, S.L. and Coulte, J.S. (1941). "Short wave diathermy power absorption and deep tissue temperature" . *Arch Phys. Ther, 22*, 133-139.

607. Mittier, S. (1976). "Failure of 2- and 10-meter radio waves to induce genetic damage in Drosophila melanogaster". *Environ. Res. II*, 326-330

608. Mizumori, S.J., Lovely, R.H., Johnson, R.B., and Guy, A.W. (1979) "Developmental alterations in rats following in-utero exposure to 500 W/cm$^2$, 2450-MHz microwaves", page 399 in *Abstracts of the Proceedings of the USNC/URSI Annual Meeting and Bioelectromagnetics Symposium*, Seattle, Washington (National Academy of Sciences, Washington).

609. Moe, K.E., Lovely, R.H., Myers, D.E. and Guy, A.W.(1976) "Physiological and behavioral effects of chronic low level microwave radiation in rats." pages in 248-256. *Biological Effects of Electromagnetic waves*, vol. 1, Johnson, C. C. and Shore, M. L., Eds., HEW Publication No. FDA 77-8010 (Government Printing Office, Washington)

610. Monahan, J.C. and Ho, H.S. (1977). "The effect of ambient temperature on the reduction of microwave energy absorption by mice". *Radio Sci. 12*, 257-262.

611. Montgomery, L.D. (1972). "Stimulation of Heath Transfer in Man Under Immersed Conditions". Ph.D. Dissertation (University of California, Los Angeles).

612. Moody, E., McLerran, C., Frazer, C.W. and Segreto, V.A. (1979). "Effects of 1.07 GHz RF fields on microbial systems", page 438 in *Abstracts of the Proceedings of the USNC/URSI Annual Meeting and Bioelectromagnetics Symposium*, Seattle Washington (National Academy of Sciences, Washington).

613. Moore, W. (1968). "Biological aspects of microwave radiation: A rewiew of Hazards". U.S. Public Health Service Publication No TSB 68-4. (Government Printing Office. Washington)

614. Moressi W.J.(1964). "Mortality patterns of mouse sarcoma 180 cells resulting from direct heating and chronic microwave irradiation". *Exp. Cell Res. 33*. 240-253.

615. Mortimer, B. and Osborne, S.L. (1935). "Short wave diathermy- some biologic considerations". *J. Am. Med. Assoc. 104*. 1413.

616. Myers, R.D. (1971) "Hvpothalamic mechanisms of pyrogen action in the cat and monkey." page 131 - 153 in *CIBA Symposium on Pyrogens Fever* (Churchill Ltd. London)

617. Nadel, E.R. Ed. (1977) “Problems with temperature Regulation During Exercise (Academic Press. New York)
618. Nadel, E.R., Bullard, R.W. and Stolwijk, J.A.J. (1971a). "Importance of skin temperature in the regulation of sweating". *J. Appl. Physiol. 31*. 80-87.
619. Nadel, E.R., Mitcheli, J.W., Saltin, B. and Stolwijk, J.A.J. (1971b). "Peripheral modifications to the central drive for sweating". *J. Appl. Physiol. 31*. 828-833.
620. Nadel, E.R., Pandolf, K.B., Roberts, M.F. and Stolwijk, J.A.J. (1974). "Mechanisms of thermal acclimation to exercise and heat". J*. Appl. Physiol. 37*, 515-520

621. Nair, V. and Roth, L.J. (1964). "Effect of x-irradiation and certain other treatment on blood-brain barrier permeability.". *Radiat. Res. 23*, 249-264.
622. Nakayama, T., Eisenman, J.S. and Hardy, J.D. (1961) "Single unit activity of anterior hypothalamus during local heating". *Science 134*. 560-561.
623. Nakayama, T., Hammel, H.T., Hardy, J.D. and Eisenman, J.S. (1963). “Thermal stimulation of electrical activity of single units of the preoptic region." *Am. J. Physiol. 204*. 1122-1126.
624. NCRP (1981) National Council on Radiation Protection and Measurements Radiofrequency Electromagnetic Field – Properties Quantities and Units. Biophysical Interaction and Measurements NCRP. Report No. 67 (National Council on Radiation Protection and Measurements. Bethesda. Maryland).

625. Neill, J.D. (1970). "Effect of 'stress' on serum prolactin and luteinizing hormone levels during the estruscycle of the rat." *Endocrinol 87*, 1192-1197

626. Nelson, A.J.M. and Holt, J.A.G.(1978). "Combined microwave therapy" . *Med. J. Australia 2.* 88-90

627. Nelson, J.C., Lin, J.C. and Ekstrom, M.E. (1979) "Teratogenic effects of RF radiation on mice", page 405 in *Abstracts of the Proceeding UNSC/URSI Annual Meeting and Bioelectromagnetics Symposium*, Seattle. Washington (National Academy of Sciences, Washington)

628. Nicolis, G. and Lefever, R. (1975). "Membranes, dissipative structures and evolution" *Adv*. *Chem. Phys 29* . 1-374.

629. Nielsen, M. (1938) "Die Regulation der Köpertemperatur bei Muskelarbeit.". *Skand. Arch*. *Physiol. 79*, 193-230.

630. Nielsen, B. and Nielsen, M. (1965) "Influence of passive and active heating on the temperature regulation of man." *Acta Physiol. Scand. 64*, 323-331.

631. Nikogosyan, S.Y (1960). "Influence of UHF on the cholinesterase activity in the blood serum and organs in animals." pages 83-88 in *The Biological Action Frequencies*, Latavet A.A. and Gordon Z.V. Eds. translation, Joint Publications Research Service, No. 12471 (National Technical Information Service Springfield. Virginia)

632. Novitskii, A.A., Murashov, B.F., Krasnobaev, P. E. and Markozova, N. F. (1977). "The functional condition of the system hypothalamus-hypophysis-adrenal cortex as an criterion in establishing the permissible levels of superhigh frequency electromagnetic emissions". *Voen Med. Zh.*. 53-56.

633. Noyes, R.M. and Field, R.J. (1974). "Oscillatory chemical reactions." *Am. Rev,. Phys Chem 25*, 95-119

634. Odland, L.T.(1972) "Observations on microwave hazards to USAF personnel.". *J. 0ccup*. *Med. 14.* . 544-547

635. Oke, A.F., Mendelson, J. and Justesen, D.R. (1974). "Cortical hyperthermia is a sequela of electroconvulsive shock". *Nature 248*, 437-439.
636. Olcerst, R.B. and Rabinowitz, J.R.(1978) "Studies on the interaction of microwave radiation with cholinesterase.". *Rad. Environ. Biophys. 15*, 289-295
637. Olcerst, R.B., Belman, S., Eisenhud, M., Murnford, W.W. and Rabinowitz, J.R. (1980) "The increased passive efflux of sodium and rubidium from rabbit erythrocytes by microwave radiation". *Radiat. Res. 82*, 244-256
638. Oldendorf, W.H. (1970) "Measurement of brain uptake of radiolabelled substances using a tritiated water internal standard". *Brain Res. 24*. 372-376.
639. Oldendorf, W.H. (1973). “Stereo specificity of blood–brain barrier permeability to amino acids”. *Amer. J. Physiol 224*, 967-969
640. Oldendorf, W.H. (1975). “Permeability of the blood brain barrier” pages 279-289 in *The Nervous System*. Tower D. Ed. Vol 1 of *The Basic Neuro – Science* (Raven Press. New York)
641. Oldendorf, W.H. (1977). “The blood – brain barrier”. *Exper. Eyes Res. (Suplement)* 177-190
642. Olsen, R.G. (1977). “Insect teratogenesis in a standing – wave irradiation system”. *Radio Sci.* 12, 199-207
643. Olsen, R.G. and Hammer, W.C. (1980). “Microwave induced pressure waves in a model of muscle tissue”. *Bioelectromagnetics 1*, 45-54
644. Olsen, R.G. and Lin, J.C. (1981). “Microwave pulse induced acoustic resonance’s in spherical head models”. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech. MTT-29*, 1114-1117
645. Olsen, R.G., Durney, C.H., Lords, J.L. and Johnson, C.C. (1975) “Low level microwave interaction with isolated mammalian hearts”, pages 76-78 in *Proceedings of the Microwave Power Symposium*, Alberta, East, T.W.R. and Ford J.D. Eds (International Microwave Power Institute. Edmonton, Alberta)
646. Olsen, R.G., Lords, J.L. and Durney, C.H. (1977). “Microwave induced chronotropic effects in the isolated rat heart”. *Ann. Biomed. Eng. 5*, 395-409
647. Ortner, M.J., Galvin, M.J. and McRee, D.I. (1981). “Studies on acute in vivo exposure of rats to 2450 MHz microwave radiation. I. Mast cells and basophilic”. *Radiat Res. 86*, 580-588
648. Ortoleva, P.J. and Ross, J (1972) “Response of unstable chemical systems to external perturbations” .*J. Chem. Phys 56*, 293-294
649. Osborne, S.L. and Coulter, J.S. (1938). “Thermal effects of short wave diathermy on bone and muscle”. *Arch. Phys. Ther. 38*, 281-284
650. Oscar, K.J. and Hawkins, T.D. (1977). “Microwave alteration of the bloodbrain barrier system of rats”. *Brain Res. 126*, 288-293
651. Oscar, K.J. and Gruenau, S.P. (1978). “Regional cerebral blood flow and blood – brain barrier permeability after low – level mivrowave energy xposure” presented at the Blood – Brain Barrier Workshop, October 30/1978 (Department of the Navy, Annapolis, Maryland) (see. Benedick: 1979)
652. Oscar, K.J., Gruenau, S.P., Folker, M.T. and Rapaport, S.I. (1981) “ Local cerebral blood flow After microwave exposure”. *Brain Res. 204*, 220-225
653. Osha (1971) Occupational Health and Safety Administration. Nonionizing Radiation. Title 29, Part 1910,97 Code of Federal Ragulations (Goverment Printing Office, Washington)
654. Osipov, Y.A. (1965) “Occupational Hygiene and the Effects of Radiofrequency Electromagnetic Field on Workers. Pages 78 (Izd. Meditsina Press, Leningrad)
655. Ott, I. (1887) “the heat center in the brain”. *J. Nerv. Ment. Dis 14*, 152-162
656. Overgaad, J. (1978) “Biological effects of 27.12 MHz short wave diathermic heating in experimental tumors” IEEE Trans. Microwave Theory Tech MTT-26, 523-529
657. Overgaad, K. and Overgaard, J. (1972ª) “Investigations on the possibility of a thermic tumor therapy. I.Short-Wave treatment of a transplanted isologous mouse mammary carcinoma” Europ. J. Carcen 8, 65-78
658. Overgaard, K. and Overgaad, J. (1972b) “Investigations on the possibility of a thermic tumor therapy. II. Action of combined heat-roetgen treatment on a transplanted mouse mammary carcinoma”. *Europ. J. Cancer 8,* 573-575
659. Paff, G.H., Boucek, R.J., Nieman, R.E. and Diechmann, W.B. (1963) “the embryonic heart subjected to radar” . *Anat. Rec 147*, 379-385
660. Parker, L.N. (1973). “Thyroid suppression and adrenomedullary activation by low intensity microwave radiation”. *Amer. J. Physiol 224*, 1388-1390

661. Parker, G.H. and Von Heusen, A.P. (1917) “The responses of the catfish. Amiurus nebulosus, to metallic and non metallic rods”. *Am. J. Physiol 44*, 405-420
662. Partlow, L.M., Bush, L.G., Stensaas, L.J., Hall, D.W., Riazi, A. And Gandhi, O.P. (1981) “Effects of millimeter wave radiation on monolayer cell culture. I. Design and validation of a novel exposure system”. *Bioelectromagnetics 2*, 123-140
663. Pattishell, E.G. Ed (1975) Proceedings of the Tri – service Conference on the Biological Hazard of Microwave Radiation Held on 15-16 July 1957. ASTIA Document Nº AD 115603 (National Technical Information Service, Springfield, Virginia)
664. Pay, T.L., Andersen, A. and Jessup, G.L. (1978) “A comparative study of the effects microwave radiation and conventional haeting on the reproductive capacity Drosophila melanogaster”. *Radiat. Res. 76*, 271-282
665. Pay, T.L., Beyer, E.C. and Reichelderfer, C.F. (1972) "Microwave effects en reproductive capacity and genetic transmission in Drosophila melanogaster". *J. Microwave Power- 7*, 75-82
666. Pazderova-Vejlupkova., J. (1981) Update on Epidemiology: Europe. Open Series on Interaction of Electromagnetic Waves with Biological Systems. XXth General Assembly of the International Union of Radio Science Washington 14 August 1911 (National Academy of Sciences, Washington)
667. Peacock P.B, Simpson J.W. Alford C.A. and Saunders F.(1971) "Congenital anomalies in Alabama." J. Med. Assoc. State Alabama 41,42-50
668. Perez, G.A. (1981) "Local hvperthermia and irradiation in cancer therapy". *J. Microwave Power 16*, 205-213
669. Peterson, D.J., Partlow, L.M. and Gandhi, O.P. (1978)"Lack of an effect of microwave irradiation en red blood cells permeability," page 94 in Abstracts of Proceedings of the UNISC/URSI Annual Meeting, Helsinki (National Academy of Sciences, Washington).
670. Petroy, I.R. Ed.(1970). Influence of Microwave Radiation on the Organism of Men and animals (Meditsina Press. Leningrad) (NASA. TTF-708, 1972)
671. Petrov, I.R. and Syngayevska, V.A.(1970) "Endocrine glands." pages 31-41. in Influence of microwave Radiation on the Organism of Man and Animals, Petrov I.R. Ed. (Meditsina Press, Leningrad). (NASA TTF-708).
672. Pflomm (1931 ) "Experimentelle u. klinische Untersuchungen Uber die Wirkung ultrakurzer elektrischen Weilen." . *Arch Klin. Chir. 166*.151
673. Phillips, R.D., Hunt, E.L. and King, N.W. (1973a) "Physiologic response of rats te hyperthermia induced by exposure to 2450MHz microwaves". *Physiologist 16*, 423 (Abstract).
674. Phillips, R.D., King, N.W. and Hunt, E.L. (1973b) "Thermoregulatory, cardiovascular and metabolic response of rats to single or repeated exposures to 2450 MHz microwaves," pages 3B5/1-4 in Proceedings of the 1973 Microwave Powew Symposium, Loughborough, England (International Microwave Power Institute, Edmonton, Alberta).
675. Phillips, R.D., Hunt, E.L., Castro, R.D. and King, N.W. (1975a) "Thermoregulatory, metabolic and cardiovascular response of rats to microwaves". *J. Appl. Physiol. 38*, 630-635
676. Phillips, R.D. Hunt, E.L. and King, N.W. (1975b) "Field measurements, absorbed dose, and biologic dosimetry of microwaves". *Annals N. Y. Acad. Sci. 247*, 499-509
677. Piatigorsky, J. and Schinobara, T. (1977) "Lens cataract formation and reversible alteration in crystallin systhesis in cultured lenses," Science 196, 1345-1347
678. Pickard, W.F.(1973) "Does the resting potential of Chara braunii have an electrogenic component? Can. J.Bot. 51,715-724
679. Pickard, W.F. and Barsoun, Y.H. (1981) "Radiofrequency bioeffects at the membrane level: Separation of thermal and athermal contribution in the Characeae". *J. Membrane Biol. 61,* 39-54.
680. Pickard, W.F. and Olsen, R.G. (1979) "Developmental effects of microwaves en Tenebrio: Influences of culturing protocol and of carrier frequency," Radio Sci. 14, 181-185
681. Pickard, W.F. and Rosenbaum, F.J. (1978) "Biological effects of microwaves at the membrane level: Two possible athermal electrophysiological mechanisms and a proposed experimental test". *Math. Biosci. 39*, 235-253
682. Pinakatt, T., Cooper, T. and Richardson, A.W. (1963). "Effect of ouabain en the circulatory response to microwave hyperthermia in the rat". *Aerospace med.34*, 497.
683. Portela, A., Llobera, O., Michaelson, S.M., Stewart, P.A,. Perez, J.C., Guerrero, A.H., Rodriguez, C.A. and Perez, R.J. (1974) "transient effects of low-level microwave irradiation

en bioelectric muscle cell properties and en water permeability and its distribution," pages 93-127 in *Fundamental and Applied Aspects of Nonionizing Radiation*, Michaelson S.M. Miller M.W. Magin R. and Cartensen E.L. Eds. (Plenum Press, New York)

684. Portela A., Guardado, M.I., de Xammar Oro, J.R., Brenna, M., Trainotti, V,. Stewart, P.A,. Perez, R. Rodriguez, C.A., Girneno, A. and Rozzeli, T.C. (1979) "Quantitation of effects of repeated microwave radiation en muscle-cell osmotic state and membrane permselectivity". *Radio Sci*. *14*, 127-139 (Supplement).
685. Pound, R.V. (1980) "Radiant heat for energy conservation" Science 208,494-495
686. Prausnitz, S. and Süsskind, C.(1962) "Effect of chronic microwave irradiation en mice," IRE *Tran. Biol. Med. Electron. 9*,104-108
687. Preskorn, S.W., Edwards, W.P. and Justesen, D.R. (1978) "Retarded tumor growth and greater longevity in mice alter fetal irradiation by 2450-MHz microwaves". *J. Surg. Oncol, 10*, 482-492.

688. Presman, A.S.(1968). "Elektroinagnetnyye Polya í zhivaya prioda (Electrornagnetie Fields and Animate Nature) (Academy of Science, USSR, Moscow:Nauka).

689. Presman, A.S.(1970). Electromagnetic Fields and Life (Translation by sinclair, F.L.) (Plenum Press, New York)

690. Presman, A.S. and Kamenskii, Yu. I. (1961) "Apparatus for investigating the excitability of nerve- muscle preparations during microwave irradiation". *Biophys. 6*, 71-74

691. Presman, A.S. and Levitina, N.A. (1962a) "Non-thermal action of microwaves on the rhythm of cardiac contration in animals, Part 1: A study of the action of continuous waves," Bull. Exper. Biol. Med. (Russian) 53,36-39

692. Presman, A.S. and Levitina, N.A. (1962b). "Non-thermal action of microwaves on the rhythm of cardiac contraction in animals, Part II: Investigation of the action of impulse waves". *Bull*. *Exper. Biol. Med. (Russian) 53*, 39-43.

693. Preston, E. (1982) "Failure of hyperthermia to open rat blood-brian barrier: Reduced permeation of sucrose", *Acta Neuropathol 57*,255-262

694. Preston, E. and Prefontaine, G. (1980). "Cerebrovascular permeability to sucrose in the rat exposed to 2450-MHz microwaves", *J. Appl. Physiol. resp, Environ. Excercise Physiol. 49*, 218-223.

695. Preston, D., Vavasour, e.J. and Assenheini, H.M. (1978) "Effect of 2450-MHz microwaves irradiation on permeability of the blood-brain barrier to mannitol in the rat," page 5 in *Abstracts of Scientific Papers*, 1978. Symposium on Electromagnetic Fields in *Biological Systems*, Rossell T. Ed.,(International Microwave Power Institute, Edmonton, Canada).

696. Preston, E., Vayasour, E.J. and Assenheim, H.M. (1979). "Permeability of the blood-brain barrier to mannitol in the rat following 2450-MHz microwave irradiation". *Brain Res. 174*, 109-117.

697. Prigogine, I.(1969) "Structure, dissipation and life." pages 23-52 in Theoretical Physics and Biology, Marois, M., Ed. (North-Holland, Amsterdam).

698. Prigogine I. and Nicolis, G.(1971), "Biological order, structure and instabilities". *Quart. Rev*. *Biophys. 4*,104-148

699. Prigogine, I., Lefever, R., Goldbetter, A. and Herschkowitz-Kaurman, M. (1969) "Symmetry breaking instabilities in biological systems", *Nature 223*, 913-916

700. Prince, J.E. (1971) "A possible cytologic aspect of RF radiation in subhuman primates," pages 33-49 in *Proceeding of the Department of Defense Electromagnetic Research*

*Workshop*. (National Technical Information Service, Springfield, Virginia)

701. Pyle, S.D., Nichols, D., Barnes, F.S. and Gamow, E. (1975) "Threshold effects of microwave radiation on embryo cell systems" . *Annals N.Y.Acad.Sci. 247*, 401-407

702. Radiation and Environmental. *Biophysics 17,* (3) (1980)

703. Ragan, H.A., Phillips R.D., Bushbom, R.L., Busch, R.H., and Morris, J.E. (1983) "Hematologic and immunologic effects of pulsed microwaves in mice". *Bioelectromagnetics 4*, 383-396.

704. Rapoport, S.I. (1976). Blood-Brain Barrier in *Physiology and Medicine* (Raven Press, New York).

705. Rapoport, S.I., Ohno, K., Fredericks, W.R. and Pettigrew, K.D. (1979). "A quantitative method for measuring altered cerebrovascular permeability". *Radio Sci. 14*, 345-348 (Supplement).

706. Rawson, R.O. and Quick, K.P. (1970). "Evidence of deep-body thermoreceptor response to intra-abdominal heating of the ewe", *J. Appl. Physiol. 28*, 813-820.

707. Reed, J.R., III, Lords, J.L. and Durney, C.H. (1977) "Microwave irradiation of the isolated rat heart after treatment with ANS blocking agents". *Radio Sci.12*,161-165

708. Reese, T.S. and Karnovsky, M.J (1967). "Fine structural localization of a blood-brain barrier to exogenous peroxidase", *J. Cell Biol. 34*, 207-216.

709. Reiter, T. (1932). "Reserches sur les ondes ultra-courtes" *Annals d'Inst. Actinologie 7*, 195-198.

710. Revutsky, E.L. and Edelman, F.M. (1964) "Effects of centimeter and meter electromagnetic waves in the content of biologically active substances in human blood.". *Fiziol. Zh. Akad Nauk Ukr SSR 10*, 379-383

711. Richardson, A.W. (1959). "Blood coagulation changes due to electromagnetic microwave irradiation's". *Blood 14*, 1237-1243

712. Richardson, A.W., Duane, T.D. and Hines, H.M.(1948.) "Experimental lenticular opacities produced by microwave irradiation's" . *Arch. Phys. Med 29*, 765-769

713. Richardson, A.W., Imig, C.J., Feucht, B.L. and Hines, H.M. (1950). "The relationship between deep tissue temperature and blood flow during electromagnetic radiation", *Arch. Phys. Med*. *1*. 19-25.

714. Richardson, A.W., Duane, T.D. and Hines, H.M. (1957) "Experimental cataract produced by three centimeter pulsed microwave irradiation", A.M.A., *Arch. Ophthalmol. 45*, 382-386

715. Riley, V. (1975). "Mouse mammary tumors: alteration of incidence as apparent function of stress". *Science 189*, 465-467

716. Rinder, K. and Olson, Y. (1968) "Vascular permeability changes in experimental brain concussion, Parts 1 and 2". *Acta Neuropathologie* (Berlin)

717. Robinette, C.D., Silverman, C. and Jablon, S. (1980). "Effects upon health of occupational exposure to microwave radiation (radar)". *Amer. J. Epidemiol. 112*, 39-53.

718. Robinson, J.E. (1977). "Hypertemia as an adjunct to cancer therapy.", *J. Bioeng.* I, 467-469.

719. Robinson, S. (1949). "Physiological adjustments to heat.", pages 193-231 in *Heal Regulation and the Clothing*, Newburg. C.H. Ed. (W.B. Saunders. Philadelphia)

720. Roffo, A.E. Jr.(1934). "Relation entre les ondes, electriques et la multiplication cellulaire dans les cultures de tissues in vitro". *Arch. D'eletric. Med. 42*.

721. Rogers, S.I. (1981) "Radiofrequency burn hazards in the MF/HF band" pages 76-89 in Aeromedical Review. *Proceedings Workshop on the Protection of Personal Against Radiofrequency Electromagnetic Radiation*. Mitchell J.C. Ed. Report Review 3-81 (U.S. Air Force School of Aerospace Medicine, Brooks Air Force Base, Texas)

722. Rohdenburg, G.L. and Prime, F.(1921) "The effect of combined radiation and heat on neoplasms". *Arch. Surg. 2*.116-129.

723. Rolier, W.L. and Goldnin, R.F.(1967). "Estimation of solar radiation environment," Int. J. *Biometeorol. II*, 329-336

724. Rosenthal, S.W., Birenbaum, L., Kaplan, I.T., Metiay, W., Snyder, W.Z. and Zaret, M.M.(1975) "Effects of 35 and 107 GHz CW microwaves, on the rabbit eye." pages 1 10- 128 in *Abstracts of the Proceedings of the URSI/USNC Annual Meeting. Boulder*. Colorado (National Academy of Sciences, Washington)

725. Ross-Riveros, P. and Leith, J.T. (1979) "Response of 9L tumor cells to hyperthermia and x irradiation". *Radiat Res. 78*. 296-311

726. Rothmeier, J. (1970). "Effect of microwave radiation on the frog sciatic nerve." pages 57-69 in *Nervous System and Electric Currents* (Plenum Press, N. Y.)

727. Rotkovska, D. and Vacek, A. (1972). "Effect of high-frequency electromagnetics fields upon hematopoietic stem cells in mice". *Folia Biologica 18*, 292-297

728. Roikovska, D. and Vacek, A. (1975). "The effect of electromagnetic radiation on the hematopoietic stern cells of mice.". *Annals N.Y. Acad. Sci. 247*,243-250

729. Roy, D. and Spector, A. (1976). "Absence of low-molecular-weight alpha crystallin in nuclear region of old human lenses", *Proc. Nat. Acad Sci. 73*, 3484-3487

730. Rubin, A. and Erdman, W.J. (1959) "Microwave exposure of the human female pelvis during early pregnancy and prior to conception". Case Rep. *Am. J. Phys. Med. 38*. 219-220

731. Rubner, M. (1902) Die Gesetze des Energiei,ei-brauchs bie dei- Ei-tiahi-ung (Franz Deutiche, Leipzig and Vienna).

732. Ruch, T.C. and Patton, H.D. Eds (1966) "Autonomic Nervous System" pages 226-235 in *Physiology and Biophysics*, 19th ed. (W.B. Saunders Co., Philadelphia).

733. Ruggera, P.S. (1980). Measurements of Emission Levels During Microwave and Shortwave Diathermy Treatments, HHS Publication (FDA) 80-8119 (Center for Devices and Radiological Health, Rockville, Maryland)

734. Rugh, R. and McManaway, M. (1976a). "Are mouse fetuses uniformly sensitive to microwave radiation". *Teratology- 13*, 34A-35A (Abstract).

735. Rugh, R. and McManaway, M. (1976b) "Anaesthesia as an effective agent against the production of congenital anomalies in mouse fetuses exposed to electromagnetic radiation." *J. Expt. Zool. 197*, 363-368

736. Rugh, R. and McManaway, M. (1976c) "Comparision of ionizing and microwave radiation's with respect to their effects on the rodent embryo and fetus", *Teratology 14*, 251 (Abstract).

737. Rugh, R., Ginns, E.I., Ho, H.S. and Leach, W.M. (1974). "Are microwaves teratogenic?" pages 98- 107 in *Biologic Effects and Health Hazard of Microwave Radiation*, Czerski P. Ostrowski, K., Silverman, C., Shore, M.L., Suess, M.J. and Waldeskog, B. Eds. (Polish Medical Publishers, Warsaw, Poland)

738. Rugh, R., Ginns, E.I., Ho, H.S. and Leach, W.M. (1975) "Responses of the mouse to microwave radiation during estrous cycle and pregnancy". *Radiat.Res.62*, 225-241

739. Rugh, R., Ho, H.S. and McManaway, M. (1976) "The relation of dose rate of microwave radiation to the time of death and total absorbed dose in the mouse", *J. Microwave Power 11*, 279-281

740. Sabbot, I. and Costin, A. (1974) "Effects of stress on the uptake of radiolabelled calcium in the pituitarv gland and the brain of the rat". *J. Neurochem 22*,731-734

741. Sacher, G.A. (1967) "The complementarity of entropy terms for the temperature dependence of development and aging", *Annals N.Y. Acad. Sci. 138*, 680-712

742. Sadchikova, M.W. and Oriova, A.A. (1958) "Clinical picture of the chronic effects of electromagnetic microwaves". *Ind. Hyg. Occup. Dig. (USSR) 2*, 18

743. Sadchikova, M.W. (1974) "Clinical manifestations of reactions to microwave irradiation in various occupational groups," pages 261-267 in *Biologic Effects and Health Hazard of Microwave Radialion.* Czerski P. Ostrowski K. Silverman C. Shore M.L. Suess M.J. and Waldeskog B. Eds (Polish Medical Publishers, Warsaw, Poland)

744. Saito, M. and Schwan, H.P. (1961). "The time constants of pearl-chain formation", pages 85-97 in *Biological Effects of Microwave Radiation*, vol. 1. Peyton, M.F. Ed. (Plenum Press, New York)

745. Salcman, M. (1981) "Clinical hyperthermia trials: Design principles and practices." J. *Microwave Power 16*, 171-177

746. Samaras, G.M., VanHorn, H.W., King, V.F., Slawson, E.I. and Cheung, A.Y. (1981) "Clinical hyperthermia systems engineering". *J. Microwave Power 16*. 161-169.

747. Sams, H.W. (1968). Reference Data for Radio Engineers, 5th ed. (International Telephone and Telegraph Corporation, New York)

748. Satinoff, E. (1964) "Behavioral thermoregulation in response to local cooling of the rat brain," AM. *J. Physiol. 206*,1389-1394

749. Schally, A.V., Akimura, A. and Kastin, A.J. (1973) "Hypothalamic regulatory hormones". *Science 179*, 341-350

750. Schereschewsky, S.W.(1928), "The action of very high frequency upon transplanted mouse sarcomas". *Public Health Reports 43*, 937.

751. Schliephake, E. (1935). Short Wave Therapy page 181 (The Actinic Press, London)

752. Schliephake, E. (1958). "General principles of thermotherapy" pages 126-169 in Therapeutic-Heat and Cold, Licht S. Ed. (E. Licht Publishing Co. New Haven, Connecticut)

753. Schliepbake, E. (1960). "Endocrine influence on bleeding and coagulation time". *Zbl. Chir*. *85*, 1063- 1066

754. Schmitt, F.O. and Samson, F.E. Eds (1969). Brain Cell Microenvironment, *Neurosci. Res*. *Program Bull. 7*, 277-417

755. Schrot, J. and Hawkins, T.D. (1976). "Interactions of microwave frequency and polarization with animal size", pages 184-192 in *Biological Effects of Electromagnetic Waves*, vol. I, Johnson, C. C. and Shore M.L. Eds. HEW Publication No FDA 77-8010 (Government Printing Office, Washington)

756. Schwan, H.P.(1957). "Electrical properties of tissues and celis" . *Adv. Biol. Med. Phys. 5*,147-209

757. Schwan, H.P.(1958) "Survey of microwave absorption characteristics of body tissues," pages 126-145 in *Proceedings of the Second Tri-Service Conference on Biological Effects of Microwave Energy* 8-10 July 1958, Pattisheli E.G. and Banghart F.W. Eds. ARDC-TR-58-54, ASTIA document No AD131477 (National Technical Information Service, Springfield, Virginia)

758. Schwan, H.P. (1959) "Alternating current spectroscopy of biological substances". *Proc. IRE 47*, 1841 - 1855.

759. Schwan, H.P. (1970). "Interaction of microwave and radio frequency radiation with biological systems", pages 13-20 in *Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation: Symposium Proceedings*, Cleary, S. F., Ed., U.S. Public Health Service Publication No. BRH/DBE 70-2 (Government Printing Office, Washington)

760. Schwan, H.P. (1975) "Dielectric properties of biological materials and interaction of microwave fields at the cellular and molecular level", pages 3-19 in *Fundamental and Applied Aspects of Nonionizing Radiation,* Michaelson S.M. Miller M.W. Magin R. and Carstensen E.L. Eds. (Plenum Press, New York, N.Y.)

761. Schwan, H.P.(1977) "Classical theory of microwave interactions with biological systems." pages 91-112 in *The Physical Basis of Electromagnetic Interactions with Biological Systems* Taylor L.D. and Cheung A.Y. Eds.(University of Maryland, Maryland)

762. Schwan, H.P. and Li, K.(1953) "Capacity and conductivity of body tissues at UHF". *Proc. IRE 41*, 1735-1740.

763. Schwan, H.P. and Li, K.(1956) "The mechanism of absorption of UHF EM energy in tissues, as related to the problem of tolerance dosage". *IRE Trans. Med. Electronics 4*, 45-49.

764. Schwan, H.P. and Peirsol, G.M. (1954). "The absorption of electromagnetic energy in' body tissues. Part 1. Biological aspects". *Am. J. Phys. Med. 33*, 370-404.

765. Schwan, H.P. and Peirsol, G.M.(1955) "The absorption of electromagnetic energy in body tissues. Part 11. Physiological and clinical aspects". *Am. J. Phys. Med. 34*, 425-448

766. Schwan, H.P., Anne, A. and Sher, L. (1966) .Heating of Living Tissues, Report NAEC-ACEL-534 (U.S. Naval Air Engineering Center, Philadelphia)

767. Schwarz, G.(1962). "A theory of the low frequency dielectric dispersion of colloidal particles in electrolyte solutions", *J. Phys. Chem. 66*, 2636-2642.

768. Schwarz, G.(1967) "A basic approach to a general theory for cooperative intramolecular conformation changes of linear biopolimers". *Biopolymers 5*, 321-324

769. Schwarz, G.(1968). "Kinetic analysis by chemical relaxation methods". *Rev. Mod. Phys. 40*, 206-218.

770. Schwarz, G. (1972) "Chemical relaxation of cooperative conformational transitions of linear biopolymers" .*J. Theor. Biol. 36*, 569-580.

771. Schwarz, G. and Engel, J.(1972) "Kinetics of cooperative conformational transitions of linear biopolymers". *Angew. Chem. Int. E. Engl. 11*, 568-575.

772. Schwartz, B. and Feller, M.R. (1962). "Temperature gradients in the rabbit eye". *Invest. Ophtalmol. 1,* 513-521

773. Seaman, R.L. and Watebel, H. (1978) "Slow and rapid responses to CW and pulsed microwave radiation by individual Aplysia pacemakers". *J. Microwave Power 13*, 77-86

774. Sekins, K.M., Dundore, D., Emery, A.F., Lehmann, J.F., McGrath, P.W. and Nelp, W.B. (1980). "Muscle blood flow changes in response to 915 MHz diathermy with surface cooling as measured by $^{133}$Xe clearance". *Arch. Phys. Med. Rehabilitation 61*, 105-113

775. Selye, H. (1946). "The general adaptation syndrome and the diseases of adaptation". *J. Clin. Endocrinol. 6*,117-230

776. Selye, H.(1950). Stress (Acta, Inc., Montreal)

777. Servantie, B., Servantie, A.M. and Etienne, J. (1975) "Synchronization of cortical neurons by a pulsed microwave field as evidenced by spectral analysis of electrocorticograms from the white rat". *Annals N. Y. Acad. Sci. 247*, 82-86

778. Sessions, G.R. (1981). "Effects of chlordiazepoxide. HCL, and 2450 MHz pulse-modulated microwave radiation in waveguide on fixed- and variable-interval bar press responding in rats", page 3 in *Abstracts of the Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society*, Washington (Bioelectromagnetics Society, Gaithersburg, Maryland).

779. Seth, H.S. and Michaelson, S.M. (1965). "Microwave cataractogenesis". *J. Occup. Med. 7*, 439-442

780. Shacklett, D.E., Tredici, T.J. and Epstein, D.L. (1975). "Evaluation of possible microwave-induced lens changes in the United States Air Force". *Aviation Space Environ. Med. 46*, 1400-1406.

781. Shandala, M.G., Rudnev, M.I., Vinogradoy, G.K., Belonoshko, N.C. and Gonchar, N.M. (1977). "Inmunological and hematological effects of microwaves at low power densities," page 85 in *Abstracts Of Proceedings of the USNC/URSI Annual Meeting*, Arilie, Virginia (National Academy of Sciences, Washington)

782. Shapiro, A.R., Lutomirski, R.F. and Yura, H.T.(1971) "Induced fields and heating within the cranial structure irradiated by an electromagnetic wave". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech. MTT-19*, 187-196.

783. Shearer, D., Creel, D. and Witson, C.E. (1973). "Strain differences in the response of rats to repeated injections of pentobarbital sodium". *Lab.Animal Sci 23*, 662-664

784. Sheridan C.L.(1976). Fundamentals of Experimental Psychology, 2nd. Ed. (Holt, Rinehart and Winston, New York)

785. Shimkovich, I.S. and Shilyaev, V.G. (1959). "Cataract of both eyes which developed as a result of repeated short exposures to an electromagnetic field of high density". *Vestn. Oftal. 72*, 12-16

786. Shizume, K. and Okinaka, S. (1964). "Control of thyroid function by the nervous system," pages 286-306 in *Major Problems in Neuroendocrinology*, Bajusz, E. and Jasmin, G. Eds.(S. Karger, Basel and New York)

787. Shore, M.L., Feiton, R.P. and Lamanna, A. (1977). "The effect of repetitive prenatal low-level microwave exposure on development in the rat", pages 280-289 in *Symposium on Biological*

*Effects and Measurement of Radio Frequency Microwaves*, Hazard, D. G., Ed., HEW Publication (FDA) No. 77-8026 (Center for Devices and Radiological Health, Rockville, Maryland).

788. Shutenko ,O.I. and Shvayko, I.I. (1972). "Impact of low-intensity SHF radiation on the functional condition of the thyroid gland", page 52 in *Industrial Health and the Biological Effect of Radio Frequency Electromagnetic Waves*, Material of the Fourth All-Union Symposium, 17-19 October, 1972, Moscow.

789. Siekierzynski M. (1972). "The influence of microwave radiation on iron metabolism in rabbits" *Med. Lotnicza 39*, 53-77 (cited in Baranski, 1971)

790. Siekierzynski, M., Czerski, P., Gidynski, A., Zydecki, S., Czarnecki, C., Dzuik, E. and Jedrzejezak, W. (1974). "Health surveillance of personnel occupationally exposed to microwaves. III. Lens tranlucency". *Aerospace Med. 45*, 1146-1148.

791. Siekierzynski, M., Czarnecki, C., Duzik, E., Jedrzejczak, W.W., and Szady, J. (1976). "Microwave radiation and other harmful factors of working environment in radio-location: Method of determination of microwave effects". *J. Microwave Power II*, 144-145.

792. Siems, L.L., Kosman, A.J. and Osborne, S.L. (1948). "A comparative study of shortwave and microwave diathermy in blood flow". *Arch. Phys. Med. 29*. 759

793. Sigler, A.T., Lilienfeld, A. M., Cohen, B.H. and Westlake, J.E. (1965). "Radiation exposure in parents of children with mongolism (Down's Syndrome)". *Bull. Johns Hopkins Hosp. 117*, 374-399

794. Silverman, C. (1973). "Nervous and behavioral effects of microwave radiation in humans," *Amer. J. Epidemiol. 97*, 219-224

795. Silverman, C. (1980) "Epidemiologic studies of microwave effects". *Proc. IEEE 68*, 78-84

796. Simon, E. (1974). "Temperature regulation: The spinal cord as a site of extrahypothalamic thermoregulatory functions". *Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol. 71*, 1-76

797. Singer, S.J. and Nicolson, G.L. (1972) "The fluid mosaic model of the structure of cell membranes". *Science 175*, 729-730.

798. Smialowicz, R.J. (1976). "The effect of microwaves (2450 MHz) on lymphocyte blast transformation in vitro", pages 472-483 in *Biological Effects of Electromagnetic Waves*, vol. 1, Johnson, C. C. and Shore, M. L., Eds., DHEW Publication (FDA) 77-8010 (Government Printing Office, Washington).

799. Smialowicz, R.J., Kinn, J.B., Weil, C.M. and Ward T.R.(1977). "Chronic exposure of rats to 425-or 2450-MHz microwave radiation: Effects on lymphocytes" page 140 in *Abstracts of Proceedings of the USNC/URSI Annual Meeting*, Airlie, Virginia, (National Academy of Sciences, Washington)

800. Smialowicz, R.J., Riddle, M.M., Brugnolotti, P.L., Sperazza, J.M. and Kim, J.B. (1979a) "Evaluation of lymphocyte function in mice exposed to 2450-MHz (CW) microwaves, pages 122-152 in *Proceedings of the 1978 Symposium on Electromagnetic Field in Biological Systems* (International Microwave Power Institute, Edmonton, Canada)

801. Smialowicz, R.J., Berman, E., Buosian, S.J., Kinn, J.B., Liddle, C.G., Reiter, L.W. and Weil, C.M.(1979b)."Chronic exposure of rats to 100-MHz (CW): Assessment of biological effects," page 297 in *Abstracts of Proceedings of the USNC/URSI Annual Meeting and Bioelectromagnetics Symposium*, Seattle, Washington. (National Academy of Sciences, Washington)

802. Smialowicz, R.J., Riddle, M.M., Brugnolotti, P.L., Compton, K.L. and Kinn, J.B. (1979c) "Primary immune response of mice exposed to continuous or pulsed wave 425-MHz radiofrequency radiation" page 471 in *Abstracts of Proceedings of the USNC/URSI Annual Meeting and Bioelectromagnetics Symposium*, Seattle, Washington. (National Academy of Sciences, Washington)

803. Smialowicz, R.J., Weil, C.M., Marsh, P., Riddie, M.M., Rogers, R.R. and Rehnberg, B.F.(1981) "Biological effects of long-term exposure of rats to 970-MHz radiofrequency radiation". *Bioelectromagnetics 2*, 279-284

804. Smialowicz, R.J., Riddle, M.M., Rogers, R.R. and Stott, G.A.(1982a). "Assessment of immune function development in mice irradiated in utero with 2450-MHz microwaves". *J. Microwave Power 17*, 121-126

805. Smialowicz, R.J., Weil, C.M. and Elder, J.A. (1982b). “Exposure of rats to 425-MHz (CW) microwave radiation: Effects on lymphocytes". *J. Microwave Power 17*, 166-176.

806. Smialowicz, R.J., Riddle, M.M., Weil, C.M., Brugnolotti, P.L. and Kinn, J.B. (1982c) "Assessment of the immune responsiveness of mice irradiated with continuos wave or pulse-modulated 425-Mflz radio- frequency radiation". *Bioelectromagnetics 3*, 467-470

807. Smirnova, M.I. and Sadchikova, M.N.(1960). "Determination of the functional activity of the thyroid gland by means of radioactive iodine in workers with UHF generators", pages 47-49 in *The Biological Action of Ultrahigh Frequencies*, Letavet A.A. and Gordon Z.Y. Eds. (Moscow)

808. Smith, P.E. and James E.W.(1964). "Human response to heat stress", *Arch. Environ. Health 9*, 332

809. Sommer, A.(1977). "Cataracts as an epidemiologic problem", *Amer. J. Ophtliamol. 83*, 334-339

810. Southworth, G.C. (1937) "New experimental methods applicable to ultra short waves", *J. Appl. Phys. 8*, 660

811. Spalding, J.F., Freyman, R.W. and Holland, L.M. (1971) "Effects of 800-MHz electromagnetic radiation on body weight, activity, hematopoiesis and life span in mice". *Health Phys. 20*, 421-424

812. Sparks, H.V., Mossman, D.L and Seidel, C.L. (1976). "Radio and microwave radiation experimental atherosclerosis". *Atheroesclerosis 25*, 55-62.

813. Spiegel, R.J., Deffenbaugh, D.L. and Mann, J.E. (1976). "A thermal model of the human body exposed to an electromagnetic field". *Bioelectromagnetics I.* 253-270

814. Sprague, C.H. and Munson, D.M. (1974) "A composite ensemble method for estimating thermal insulation values of clothing". *ASHRAE Trans. 80*, 120-129

815. Siefanokskaya, N.V. and Klochkova, G.M.(1969). "Effect of hyperthemia on the reaction of the adrenal cortex of heal-conditioned animals", *Izv, Akad. Nauk, Turkm SSR Ser. Biol. Nauk 4*, 74-77

816. Stensaas, L.J., Partlow, L.M., Bush, L.G., Iverson, P.L., Hill, D.W., Hagmann, M.J. and Gandhi, O.P. (1981). "Effects of millimeter wave radiation on monolayer cell cultures. II. Scanning and transmission electron microscopy". *Bioelectromagnetics 3*,141-150

817. Stern, S., Margolin, L., Weiss, B., Lu, S.T. and Michaelson, S.M. (1979). "Microwaves: Effects on thermoregulatory behavior in rat". *Science 206*, 1198-1201

818. Stevens, J.C. (1983). "Thermal sensation: Infrared and microwaves" pages 191-201 in *Microwaves and Thermoregulation,* Adair E.R. Ed. (Academic Press, New York)

819. Stevens, J.C. and Marks, L.E. (1971) "Spatial summation and the dynamics of warmth sensation". *Percept. and Pshychophys 9*, 391-398

820. Stevens, J.C., Oculicz, W.C. and Marks, L.E.(1973). "Temporal summation at the warmth threshold". *Percept. And Pshychophys 14*. 307-312

821. Stevens, J.C., Marks, L.E. and Simonson, D.C. (1974). "Regional sensitivy and spatial summation in the warmth sense". *Physiol. and Behav. 13*, 825-836

822. Stitt, J.T.(1979). "Fever versus hyperthermia". *Fed. Proc. 38*, 39-43.

823. Stitt, J.T., Adair, E.R.,Nadel, E.R. and Stolwijk, J.A.J. (1971) "The relation between behavior and physiology in the thermoregulatory response of the squirrel monkey". *J. Physiol (Paris*) *63*, 424-427

824. Stitt, J.T., Hardy, J.D. and Stoiwijk, J.A.J. (1974). "PGE, fever: Its effect on thermoregulation at different low ambient temperatures". *Am. J. Physiol. 227*. 622-629

825. Stodolnik-Baranska, W (1966) The Influence of Vibrations and Microwaves on Cells and Chromosomes Doctoral Thesis (Academia Medyczne, Warsaw)

826. Stodolnik-Baranska, W.(1967). "Lymphoblastoid transformation of lymphocytes in vitro after microwave irradiation", *Nature 214*, 102-103

827. Stolwijk, J.A.J. (1971). "A mathematical model of physiological temperature regulation in man." Report CR-1855 (National Aeronautics and Space Administration, Washington)

828. Stolwijk, J.A.J. (1980). "Mathematical models of thermal regulation". *Annals N. Y. Acad. Sci*. *335*, 98-106

829. Stolwijk, J.A.J. (1982). "Whole body heating thermoregulation and modeling' " pages 565-586 in *Physical Aspects of Hyperthemia*, Nussbaum G.H. Ed. (American Institute of Physics, New York)

830. Stolwijk, J.A.J. and Hardy, J.D. (1966). "Temperature regulation in man-A theoretical study." *Pflugers Arch. Ges. Physiol. 291*. 129-162

831. Stolwijk, J.A.J. and Hardy, J.D. (1977). "Control of body temperature", pages 45-68 in *Handbook of Physiology,* Section 9, Reactions to Environmental Agents, Lee D.H.K. Ed.(American Physiological Society, Bethesda, Maryland)

832. Storm, F.K., Ed. (1982) Hypherthermia in Cancer Theraphy (G.K. Hall, Boston. Massachusetts)

833. Storm, F.K., Harrison, W., Elliot, R.S., Kaiser, L.R., Silverman, A.W. and Morton, D.L. (1981) "Clinical radiofrequency hyperthermia by magnetic-loop induction". *J. Microwave Power 16*, 179-183

834. Straub, K.D. (1977) "Microwave absorption of non-ionizing radiation in biological systems," pages 35- 42 in *The Physical Basis of Electromagnetic Interactions with Biological Systems*, Proceedings of a workshop, Taylor, L. D. and Cheung, A. Y., Eds. (University of Maryland, College Park, Maryland)

835. Straub, K.D. and Carver, P. (1975). "Effects of electromagnetic fields on microsomal ATPase and mitochondrial oxidative phosporylation". *Annals N. Y. Acad. Sci. 247*, 292-300

836. Streffer, C., Van Beuningen, D., Dietzel, F., Rottinger, E., Robinson, J.E., Scherer, E., Seeber, S. and Trott, K.R. Eds. (1978) Cancer Therapy bv Hyperthermia and Radiation (Urban and Schwarzenberg, Munich and Baltimore)

837. Stuchly, M.A., Athey, T.W., Stuchly, S.S., Samaras, G.M. and Taylor, G.(1981). "Dielectric properties of animal tissues in vivo at frequencies 10 MHz -1 GHz". *Bioelectromagnetics 2*, 93-103

838. Stverak, I. Marha K. and Pafkova, G. (1974). "Some effects of various pulsed fields on animals with audiogenic epilepsy", pages 141-144 in *Biologic Effects and Health Hazards of Microwave Radiation*. Czerski P. Ostrowski K. Silverman C. Shore M.L. Suess M.J. and Waldeskog B. Eds. (Polish Medical Publishers, Warsaw, Poland)

839. Subbota, A.G. (1970). “Respiratory system, cardiovascular system and blood”, page 44 in *Influence of Microwave Radiation in the Organism of Man and Animals*. Petrov I.R. Eds. Nasa TTF-708, February 1972 (National Technical Information Service, Springfield, Virginia)

840. Süsskind, C. (1975) “On D.R. Justesen’s prescriptive grammar for the radiobiology and non-ionizing radiation”. *J. Microwave Power 10*, 357

841. Sutherland, E.W and Robinson, G.A. (1966) “The role of 3’.5’ adenosine monophosphate in response to catecholamines and other hormones”. *Pharmacol. Rev. 18*, 145-161

842. Sutton, C.H. and Carroll, F.B. (1979) “Effects of microwave induced Hyperthermia on the blood -brain barrier of the rats” .*Radio Sci.10*, 329-334 (Supplement)

843. Swiecicki, W. and Edelwejn, Z. (1936ª) “The influence of 3 cm and 10 cm microwve irradiation in blood protein in rabbits” . *Med. Lotnicza 11*, 54

844. Swiecicki, W., Edelwejn, Z. (1936 b) “Electrophoresis of blood protein in rabbits exposed to acute irradiation with very high frequency electromagnetics waves”. *Farmacja Polska 19*, 189

845. Swift, R.J. (1932). The effects of low environmental temperature upon metabolism 2. The influence of shivering, subcutaneous fat, and skin temperature on heat production” J. *Nutrition 5*, 227-249

846. Switzer, W.G. and Michtell, D.S. (1977) “Long–term effects of 2,45 GHz radiation on the ultrastructure of the cerebral cortex and hematologic profiles in rats”. *Radio Sci.12*, 287-293 (Supplement)

847. Szmigielski, S. (1975) “Effect of 10 cm (3 GHz) electromagnetic radiation (microwave) on granulocytes in vitro”. *Annals N.Y. Acad. Sci. 247*, 275-281

848. Szmigielski, S and Janiak, M. (1977). “Alteration of cell-mediated immunity by local microwave Hyperthermia (43ºC) of Guerin epithelioma”,page 141 in *Abstracts of Proceedings of the USNC/URSI Annual Meeting*, Airlie. Virginia (National Academy of Science, Washington)

849. Szmigielski, S, Luczak, M. and Wiranowska, M. (1975) “Effects of microwaves on cell function and virus in cell cultures irradiated in vitro”. *Annals N.Y. Acad Sci 247*, 263-274

850. Szmigielski, S, Jeljaszewicz, J. and Wiranowska, M. (1975) “Acute staphylococcla infections in rabbits irradiated with 3 GHz microwaves “. *Annals N.Y. Acad. Sci. 247*, 305-311

851. Szmigielski ,S, Bielec, M., Janiak, M., Kobus, M., Luczak, M. and DeClerq, E. (1978) “Inhibition of tumor growth in mice by microwave Hyperthermia, polyriboinosinic-polyribocytidylic, and mouse interferon”. *IEEE Trans. Microwave theory Tech. MTT-26*, 520-522

852. Szmigielski, S, Luczak, M., Janiac, M., Kobus, M. and Laskowska, B. (1976). “Effects of 3 GHz microwaves on experimental viral infection in mice (Herpes, Vaccinia)” page 117 in A*bstracts of Proceedings of the USNC/URSI Annalls Meeting*, Amherst. Massachusetts (National Academy of Sciences, Washington)

853. Szmigielski, S, Pulverer, G., Hryniewicz, W., and Janiak, M. (1982), “Inhibition of tumor growth in mice by microwave Hyperthermia . Streptolysis and colcemide”. *Radio Sci. 12*, 185-189 (supplement)

854. Szmigielski, S, Szudzinski, A., Pietraszek, A., Bielec, M., Janiac, M. And Wrembel, J.K. (1982), “Accelerated development of spontaneous and benzopyrene – induced skin cancer in mice exposed to 2450MHz microwave radiation”. *Bioelectromagnetics 3*, 179-191

855. Szudzinski, A., Pietraszek, A., Roszkowki, S. (1980) “Enhancement of chemically (3-4 benzopyrene) induced skin cancer development in mice by long–term exposition to 2450 MHz microwaves”. *Abstract of Papers of de Proceedings of International Symposium on Electromagnetic Waves and Biology*” URSI – CNFRS. June 30- July 1, 1980, Paris – France

856. Taflove, A. and Brodwin, M.E. (1975). “Computation of the electromagnetic fields and induced temperatures within a modelof the microwave – irradiated human eye”. *IEEE Trans*. *Microwave Theory Tech. MTT-23*, 888-896

857. Takashima, S. and Schwan, H.P. (1974) “Passive electrical properties of squid axon membrane”. *J. Membrane Biol. 17*, 51-68

858. Takashima, S., Oronal, B. and Schwan, H.P. (1979). “Effects of modulated RF energy on the EEG of mammalian brains”. *Radiat.and Environ. Biophys. 16,*15-27

859. Taylor, L.S. (1981) “The mechanisms of athermal microwave biological effect” *Bioelectromagnetics 2* , 259-268

860. Taylor, E.M. and Ashleman, B.T. (1975). “Some effects of electromagnetic radiation on the brain and spinal cord of cats”. *Annals N.Y. Acad. Sci. 247*, 63-73

861. Tell, R.A. and Narlem, F. (1979). “A review of selected biological effects and dosimetry data useful for development of radiofrequency safety standards for human exposure”. J. *Microwave Power 14*, 405-424

862. Thomas, J.R. and Maitland, G. (1979) “Microwave radiation and dextroamphetamine: Evidence of combined on behavior of rats”. *Radio Sci. 14*, 253-258 (supplement)

863. Thomas, J.R., Yeandle, S.S. and Bureh, L.S. (1976), "Modifications of internal discriminative stimulus control of behavior by low fields of pulsed microwave radiation" pages 201-214 in *Biological Effects of Electromagnetic Waves*, vol. 11 Johnson C.C. and Shore, M. L., Eds., HEW Publication No. FDA 77- 8010 (Government Printing Office, Washington)

864. Thomas, J.R., Bureh, L.S. and Yeandle, S.S. (1979) "Microwave radiation and chlordiazepoxide Synergistic effects on fixed-interval behavior", *Science 203*, 1357-1358.

865. Tigranian, R.E., Khafizov, R.Z. and Tyszhelov, Y.V. (1980). "Effect of microwaves on nervous-muscular preparation of frog", pages 63-65 in *Abstracts of Proceedings of the USNC/URSI International Symposium on Electromagnetic Waves and Biology*, (National Academy of Sciences, Washington)

866. Tinney, C.E., Lords, J.L. and Durney, C.H. (1976). "Rate effects in isolated turtle hearts induced by microwave irradiation". *IEEE Trans. Microwave Theory Tech. MTT-24*, 18-24.

867. Tolgskaya, M.S. and Gordon, Z.V. (1964) "Changes in the neurosecretory function of the hypothalamus and the neuropituitary body during chronic irradiation with centimeter waves of

low intensity", pages 87- 97 in *The Biological Effects of Radiofrequency Fields*, Works of the Laboratory of Radiofrequency Electromagnetic Fields, Institute of Work Hygiene and occupational Diseases, AMN SSSP 3, 87-97 (Moscow)

868. Tolgskaya, M.S. and Gordon, Z.V. (1973). Pathological Effects of Radiowaves, (Consultants Bureau, New York)

869. Travers, W.D. and Vetter, R.J. (1977) "Low intensity microwave effects on the synthesis of thyroid hormones and serum proteins", in *Abstracts of the 22nd Annual Meeting of the Health Physics Society*, *Health Phys. 33*, 662.

870. Trokel, S. (1962). "The physical basis for transparency of the crystalline lens", I*nvest. Ophthalmol.II* ,493-501.

871. Turing, A.M. (1952). "The chemical oasis of morphogenesis". *Phil. Trans. Roy. Soc. B 237*, 37-72

872. Tyagin, N. V. (1959). "Changes in the blood of animals subjected to a UHF field,'" Voen. Med. Akad. 73, 116 (Abstract translation in *Zb. Biol. 59923*, 1959).

873. Tyazhelov, Y.V., Tigranian, R.E., Khizhniak, E.0. and Akoev, R.G.(1979) "Some peculiarities of auditory sensations by pulsed microwave fields," Radio Sci. 14, 259-263 (Supplement)

874. U.S. Senate (1977) Radiation Health and Safety, pages 284, 1195 and 1196 in the Hearings before the Committee on Commerce, Science, and Transportation, First Session on Oversight of Radiation Health and Safely, Serial No. 95-49 (Government Printing Office, Washington)

875. U.S. Senate (1979) Microwave Irradiation of the U.S. Embassy in Moscow, Hearings before the Committee on Commerce, Science, and Transportation, Committee Print 43-949 (Government Printing Office, Washington)

876. USAF (1975) United States Air Force, Radiofrequency Radiation Health Hazard Control, AFR 161-42 (United States Air Force. Washington)

877. USSR Academy of Sciences (1974), "Scientific Session of the Division of General Physics and Astronomy" USSR Academy of Sciences (17-18 January 1973), *Abstracts, Sov. Phys-Usp. V16*, 568-579.

878. Valentino, A.R. (1972). "Evaluation of the E-field simulator at UCLA". Technical Memorandum (Illinois Institute of Technology Research Institute, Washington)

879. Valtonen, E.J.(1966). "Giant mast cells - A special degenerative form produced by microwave radiation". *Exp. Cell Res. 43*, 221-224

880. Van Ummersen, C.A.(1961) "The effect of 2450 MHz radiation on the development of the chick embryo", pages 201-219 in *Biological Effects of Microwave Radiation*, Peyton, M. F., Ed. (Plenum Press, New York)

881. Van Ummersen, C.A. and Cogan, F.C. (1976) "Effects of microwave radiation on the lens epithelium in the rabbit eye". *Arch. Ophthalmol. 94*, 828-834

882. Varma, M.M. and Traboulay, E.A. (1976). "Evaluation of dominant lethal test and DNA studies in measuring mutagenicity caused by non-ionizing radiation", pages 386-396 in *Biological Effects of Electro- magnetic Waves*, vol. 1, Johnson, C. C. and Shore, M. L., Eds., HEW Publication No. FDA 77-8010 (Government Printing Office, Washington)

883. Vendrik, A.J.H. and Vos, J.A. (1958) "Comparison of the stimulation of the warmth sense organ by microwave and infrared". *J. Appl. Physics 13*, 435-445.

884. Vetter, R.J. (1975). "Neuroendocrine response to microwave irradiation". *Pro. Nat. Electron Conf. 30*, 237-238

885. Von Ardenne, M. (1978) "On a new physical principle for selective local hyperthermia of tumor tissues", pages 96-104 in *Cancer Therapy by Hyperthermia and Radiation,* Streffer C. Van Beuningen, D., Dietzel, F., Rottinger, E., Robinson, J.E., Scherer, E., Seeber, S. and Trott, K.R. Eds. (Urban and Schwarzenherg, Munich and Baltimore)

886. Von Liebermeister, C. (1875) Handbuch der Pathologie und Therapie des Fiebers (Vogel, Leipzig).

887. Wachtel, H., Seaman, R.L., and Joines, W. (1975) "Effects of low intensity microwaves on isolated neurones", *Annals N. Y. Acad. Sci. 247*, 46-62

888. Walcott, C., Gould, J.L. and Kirschvink, J.L.(1979). "Pigeons have magnets", *Science 205*, 1027-1029.

889. Walker, C.M.B., McWhirter, K.G. and Voss, W.A.G. (1974) "Use of a bacteriophage system for investigating the biological effects of low intensity pulsed microwave radiation", *J. Microwave Power 9*. 221-229

890. Wallace, G.B. and Brodie, B.B. (1939). "The distribution of iodide, thiocyanate, bromide, and chloride in central nervous system and spinal fluid". *J. Pharmacol. Exp. Therapeutics 65*, 220-226.

891. Wallace, G.B. and Brodie, B.B.(1940). "On the source of cerebrospinal fluid: The distribution of bromide and iodide throughout the central nervous system", *J. Pharmacol. Exp. Therapeutics 70*, 418-428.

892. Wangemann, R.T. and Cleary, S.F. (1976) "The in vivo effects of 2.45 GHz microwave radiation on rabbit serum components*", Radiat. Environ. Biophys. 13*, 89-103

893. Wanner, R.A., Edwards, M.J. and Wright, R.G.(1976) "The effect of hyperthermia on the neuroepithetium of the 21-day guinea-pig foetus: Histological and ultrastructural study, J. Path. 118, 235-244

894. Ward J.M. (1983) "Background data and variations in tumor rates of control rats and mice," *Prog. Exp. Tuntor Res. 26*, 241-258.

895. Ward, T. R., Allis, J. W. and Elder, J. A. (1975). "Measure of enzymatic activity coincident with 2450 MHz exposure". *J. Microwave Power 10*, 315-320

896. Way, W.I., Kritikos, H. and Schwan, H.P., (1981). "Thermoregulatory physiologic responses in the human body exposed to microwave radiation". *Bioelectromagnetics 2*, 341-356

897. Webb, S.L. (1976) "Effects of microwaves on normal and tumour cells as seen by laser-Raman spectroscopy.". *J. Microwave Power II*, 138 (Abstract)

898. Webb, S.J. and Booth A.D. (1969). "Absorption of microwaves by microorganisms". *Nature 222*, 1199-1200.

899. Webb, S.J. and Dodds, D.D. (1968) "Inhibition of bacteria) cell growth by 136 gc microwaves", *Nature 218*, 374-375

900. Webb, S.J. and Stoneham, M.E. (1977) "Resonance between 10" and $10^{12}$ Hz in active bacterial cells as seen by laser Raman spectroscopy". *Phys. Lett. 60ª.* 267-268.

901. Webb, S.J., Montgomery, J. and Stoncham, M.E. (1976a). "Effects of microwaves on the metabolic time clocks of normal and tumour cells: A laser-Raman study". *IRCS J. Med. Sci*.

*4*, 10

902. Webb, S.J., Stoneham, M.E. and Montgomery, J. (1976b) "Identification of bacterial, normal and tumour mammalian cells by laser-Raman spectroscopy", *IRCS J. Med. Sci. 4*, 8-9

903. Weil, C.M.(1975) "Absorption characteristics of multilayered sphere models exposed to UHF/Micro- wave radiation", *IEEE Trans. Biomed. Engr. 22*, 468-476.

904. Weiss, J.M. (1971). "Effects of coping behavior in difference warning signal conditions on stress pathology in rats", *J. Comp. Physiol. Psvchol. 77*, 1-13

905. Weissenberg, E. (1935). *Soc. Francaise d'Electrotherapie et de Radiologie 10*, 535

906. Weiter, J.J., Finch, E.D. ,Schultz, W. and Frattali, V.(1975) "Ascorbic acid changes in cultured rabbit lenses after microwave irradiation", *Biological Effects of Nonionizing Radiation*, Tyler, P., Ed.", *Annals N. Y. Acad. Sci. 247*, 175-181

907. Wever, R. (1968). "Einfluss schwacher electromagnetischer Felder auf die circadiane Periodik des Menschen", *Natui-wissetischaften 55*, 29-33.

908. Wever, R.(1977). "Effects of low-level, low-frequency fields on human circadian rhythms," *Neurosci. Res, Program Bull. 17*, 39-45

909. Whitcomb, E.R., Blackman, C.F. and Well, C.M. (1979). "Contraction of smooth muscle in an microwave field", *Radio Sci. 14*, 155-158 (Supplement)

910. Who (1981). World Health Organization, Environmental Health Criteria for Radiowaves in the Frequency Range from 100 KHz to 300 GHz- Radiofrequency and Microwaves), WHO Environmental Criteria Program (United Nations, New York)

911. Wiktor-Jedrzejczak, W., Ahmed, A., Czerski, P., Leach W.M. and Sell, K.W. (1977a) "Immune response of mice to 2450 MHz microwave radiation: Overview of immunology and empirical studies of lymphoid splenic cells", *Radio Sci. 12*, 209-219. (Supplement)

912. Wiktor-Jedrzejczak, W., Ahmed, A., Sell, K W., Czerski, P. and Leach, W.M. (1977b) "Microwave induced increase in the frequency of complement receptor-bearing lymphoid spleen cells in mice.". *J. Imunol. 118*, 1499-1502

913. Wiktor-Jedrzeiczitk, W., Czerski, P., Leach, W.M. and Sell, K.W. (1980). "Effect of microwaves (2450-MHz) immune system of nice: Studies of nucleic acid and protein synthesis", *Bioelectromagnetics 1,* 161-170

914. Wiktor-Jedrzejczak, W., Schlagel, C.J., Ahmed, A., Leach, W.M. and Woody, J.N. (1981) "Possible humoral mechanisms of 2450-MHz microwave-induced increase in complement receptor positive cells". *Bioelectromagnetics 2*, 81-84

915. William, D.B., Monahan, J.P., Nicholson, W.J. and Aldrich, J.J. (1955). Biologic effects of Microwaves Radiation: Time and Power Threshold for the Production of Lens Opacities by 12.3 cm Microwaves". Report No 55-94 (USAF School of Aviation Medicine, Randolph Air Force Base. Texas)

916. Williams, N.M. (1937). "Production and absorption of electromagnetic waves from 3 cm. to 6 mm in length*". J. Appl. Phys. 8*, 655

917. Williams, R.J., McKee, A a and Finch, E.D.,(1975). "Ultrastructural changes in the rabbit lens induced by microwave radiation" in *Biological Effects of Nonionizing Radiation*, Tyler. P. Ed. *Annals N. Y. Acad. Sci. 247*, 166-174

918. Wilson, J.G. (1977) "A new area of concern in teratology" . *Teratology 16*, 227-228

919. Winslow, C.E.A., Gagge, A.P. and Herrington, L.P.(1940), "Heat exchange and regulation in radiant environments above and below air temperature". *Am. J. Physiol 131*, 79-92

920. Wissler, E.H. (1961). "Steady-state temperature distribution in man." *J. Appl. Physiol 16*, 734-740

921. Wissler, E.H. (1964). "A mathematical model of the human thermal system". *Bull. Math. Biophys 26*, 147-166

922. Wissler, E.H. (1970) "The use of infinite difference techniques in simulating the human thermal system." pages 367-388 in *Physiological and Behavior Temperature Regulation*, Hardy J.D., Gagge, A.P. and Stolwijk, J.A.J. Eds. (Charles C Thomas, Springfield Illinois)

923. Wit, A and Wang, S.C. (1968) "Temperature-sensitive neurones in preoptic/anterior hypothalamic region: Effects of increasing ambient temperature.", *Am. J. Physiol 215*, 1151-1159.

924. Woodcock, A.H., Pratt, R.L. and Breckenridge, J.R. (1960). Theory of the Globe Thermometer Research Study Report BP-7 (Quartermaster Research and Engineering Command U.S. Army Natick Laboratories. Natick. Massachusetts)

925. Worden, R.E., Herrick, J.F., Wakini, K.G. and Krusen, F.H. (1948). "The heating effects of microwaves with and without ischemia" *.Arch. Phys. Med. 29*. 751.

926. Wünnenber, W. and Hardy, J.D. (1972) "'Response of single units of the posterior hypothalamus to thermal stimulation". *J. Appl. Physiol 33*, 547-552

927. Wyndham, C.H. (1973). "The physiology of exercise under heat stress.". *Ann. Rev. Physiol 35*, 193-220

928. Yagi, K., Uryama, R., Kurohave, S., Hiramine, N., Itoh, H. and Umehara, S (1974) "Hazardous effects of microwave radiation on the bone narrow", pages 75-88 in *Biologic Effects and Healt Hazard of Microwave Radiation*, Czerski P. Ostrowski K. Silverman C. Shore M.L. Suess M.J. and Waldeskog B. Eds. (Polish Medical Publishers Warsaw Poland)

929. Yahara, I. and Edelman, G.M. (1972) "Restriction of the mobility of Lymphocyte immunoglobulin receptors by concanavalin A". *Proc. Natl. Acad. Sci. 69*, 608-612.

930. Yao, K.T.S. and Jiles M.M. (1970) . "Effects of 2450 MHz microwave radiation on cultivated rat kangaroo cells", pages 123-133 in *Biological Effects and Health Implication of Microwave Radiation: Symposium Proceedings*. Cleary S.F. Ed. U.S. Public Health Service Publication Nº BRH/DBE 70-2 /Government Printing Office. Washington)

931. Yao, K.T.S. and Jiles, M.M. (1971) "Mortality patterns of 2450 MHz microwave irradiated rat kangaroo cell In vitro". *J. Microwave Power 6*, 89-90

932. Yearger, E.K., Langley, J.B., Sheppard, A.P. and Huddleston, G.K. (1975). "Effects of microwave Radiation on enzymes." *Annals N. Y. Acad. Sci. 247*,301-304

933. Zaret, M.M. (1974a) "Cataracts following use of microwave oven.". *N. Y. Stated J. Med. 74*, 2032-2048

934. Zitret, M.M. (1974b) "Selected cases of microwave cataract in man associated with *concomitant annotated pathologies*", pages 294-301 in *Biologic Effects and Health Hazard* Microwave Radiation, Czerski, P.O., Trowski, K.. Silverman, C., Shore, M.L., Suess, M.J. and Waldeskog, B. Eds. (Polish Medical Publishers. Warsaw. Poland)

935. Zitret, M.M., Cleary, S.F. and Pasternack, B. (1963). ”A Study of Lenticular Imperfection in the Eyes of a Sample Of Microwave Wokers and a Control Population. Final report RADC-TDE-3610125 (Rome Air Development Center. Rome N.Y.)

936. Zaret, M.M., Kaplan, I.T. and Kay, A.M. (1970). "Clinical microwave cataracts," pages 82-84 in *Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation*.- *Symposium Proceedings*" Cleary, S. F., Ed., U. S. Public Health Service Publication No. BRH/DBE 70-2 (Government Printing Office, Washington)

937. Zhabotinsky, A.M.(1967) Abstracts on pages 149, 181, 199 and 252 in *Oscillating Processes in Biological and Chemical Systems*, Symposium of the Academy of Science USSR, 21-26 March 1966 (Academy of Sciences USSR, Moscow: Nauka)

938. Zimmer, R.P., Ecker, H.A. and Popovic, V.P. (1971) "Selective electromagnetic heating of tumors in animals in deep hypothermia, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech. M7T-19*, 232-238.

939. Zydecki, S. (1974). "Assessment of lens translucency in juveniles, microwave workers, and age-matched groups," pages 306-308 in *Biologic Effects and Health Hazards of Microwave Radiation*, Czerski P, Ostrowski K. Silverman C. Shore M.L. Suess M.J. and Waldeskog B. Eds.(Polish Medical Publishers, Warsaw, Poland)

940. NATO STANAG 2345, "Control and recording of personnel exposure to radiofrequency radiation", ratified by Canada 1 June 1979. Military Agency for Standardization, 16 February 1979

941. ANSI C95.1, "Safety levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields, 300 KHz to 100 GHz", published by the Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc., 1982

942. ACGIH, supplemental documentation to the TLV Book of the American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1981

943. Commonwealth of Massachusetts, Department of Health, regulations governing fixed facilities which generate electromagnetic fields in the frequency range of 300 KHz to 100 HHz and microwave ovens., Massachusetts Register Issue No. 397, 105 CMR 122.000, 9/11/83

944. Multnomah County, Oregon, Board of County Commissioners of Multnomah County Oregon, Ordinance No.330, 1982

945. Volfovskaya, R.N., Yu, A., Osipov, T.B., Kolyada, Ye, L., Kuiikovskaya, T.P., Asanova, A.V. Shchéglova. "On the combined action of high frequency field and x-rays in industry, " *Gigiena i Sanitariia, 1961*, 5:18-23

946. Stefanov, B. S., Solakova. "Effects of high frequency electromagnetic fields on the physiological status of worker" (Varna), labour hygiene and biological effects of electromagnetic freld, Moscow, 1972, p. 25

947. Stefanov, B.S., Solakova. "Changes in the functional state of the bodies of workers servicing high-frequency current generators", *Gig. Tr. Prof. Zabol. 7*: 44-45, 1973

948. Kharchov, K. "Study of labor hygiene and research results on the biological effects of electromagnetic fields in the long wavelength range (high frequency, 70 kHz)". Labor Hygiene and Biological Effects of Electromagnetic Field, Moscow, 1972, pp. 91-93

949. Chirkov, M.M. "The effects of the energy of electromagnetic vibrations of the acoustic spectrum on calalase activity of blood," In: *Some Questions of Physiology and Biophysics*, Voronezh, 1964, p. 25

950. Chukhlovin, B.A. and A.V. Kotova "The effects of electromagnetic field radiation on hematologic function," In: *Labour Hygiene and Biological Effects oí Electromagnetic Field*, Moscow, 1972, 57-58.

951. Kulin, Ye T. "Some disproportional effects on single cell and organisms depending upon the frequency of electromagnetic field". Labour Hygiene and Biological Effects of Electromagnetic Field, Fourth Symposium, Moscow, October 17-19, 1972, pp. 70-71

952. Mishchenko, L.I. and V.B. Karamyshev, "Effects of electric and magnetic field on the function of nervous system of animals". Labour Hygiene and Biological Effects of Electromagnetic Field, Fourth National Symposium, Moscow, October 17-19, 1972, pp. 49-50

953. Fukalova, P.P., M.S. Bychkova, M.S., Tolgskaya, I.A., Nitsovskaya, A.P., Volkova, and N.K. Demokidova, "Results of experimental studies on electromagnetic irradiation with low intensity USW, SW, and MW", Moscow o Biologicheskon Deystvii Elektromagnitnykl Poley Radiochastot in Russian, 1973, pp. 115-118, 1973

954. Kolodub, F.A., and G. I. Yevtushenko, "Biomedical aspect of the biological effect of a low-frequency pulsed electromagnetic field", Moscow, Hygiena Truda i Professional'nyye Zabolevaiya Russian, No. 6, 1972, JPRS 56588, pp. 13-17

955. Kolodub, F.A. and G.I. Yevtushenko, "The effects of low-frequency electromagnetic field pulses on skeletal muscle metabolism in the rat", Kiev Ukrayins'kyy Biokhimichnyy Zhurnal in Ukranian No. 3, 1973, pp. 356-361, JPRS 62462, 1974, pp. 6-13

956. Kolodub, F.A. and G.I. Yevtushenko, "Metabolic disorders and the liver function under the effect of low-frequency pulsed electromagnetic field, Moscow Gigyena Truda 1 Professional 'Nyye Zabolevaniya (Russian) No. 2, 1974, JPRS 66512, UDC 6616, 36-03:621.37, 7 January 1976, pp. 11-15

957. Kolodub, F.A. and G.I. Yevtushenko, "Biochemical aspects of the biological effect of a low-frequency pulsed electromagnetic field. UDC, 612.014.426.015.3, Institute of Occupational Hygiene and Diseases, In: *Proceedings of the 1976 Annual Meeting of the International Union of Radio Science*, Univ. of Mass., Amherst. Mass. 11-15 October 1976, USNC/URSI. (Washington, D.C.): 119-120

958. Kaune, W.T., M.F. Gillis, "General Properties of the Interaction Between Animals and ELF Electric Fields". *Bioelectromagnetics 2: 1-11*, 1981

959. Deno, D.W. "Currents induced in the human body by high voltage transmission line electric field- measurement and calculation of distribution and dose". *IEEE Trans. Power Apparatus and Systems.* PAS / Sept./ Oct, 1977, 96:1517-1527

960. Deno, D.W. and L.E. Zaffanella. "Electrostatic effects of overhead transmission line and stations", in *Transmissions Line Handbook, 365 kV and Above*." published by EPRI, 341 Hillview Ave. Palo Alto. CA 94304, 1979. Chap.8

961. Frazier, M.J., J.E. Bridges, R.G. Hauser. "Internal body potentials and currents from ELF electric fields and household appliances". In: *IEEE 1978 Symp..Rec. EMC. Atlanta GA. 1978* pp. 26-272

962. Bridges, J.E., M.F. Frazier. "The effects of 60-Hz electric and magnetic fields on implanted cardiac pace- makers". In: *EPRI, 1979. EPRI EA-1174*

963. Filipov, V.I. and Morozov, Yu A., Eds. Zashebita at Deystviya Eickiromaonitnykh Poley i Elektricheskovo Toka v. Promyshuennosti (USAMIIA translation USAMIIA-K-6929 "Protection from the effect of electromagnetic fields and electric current in industry") Publisher: Vsesoyuznyy Tesnbal'nyy Issledovatel'skiy Institut Okhranv Truda, Moscow. 1973. USAMIIA-K-6929

964. Evtushenko, G.I., Tape recording by A. W. Guy of discussion between U.S. scientists and Dr. Evtushenko in Kharkov Research Institute of Hygiene of Labour and Occupational Diseases. Kharkov, USSR under auspices of USA-USSR Exchange Program on Environmental Health, September 19/ 1977

965. Dalziel, C.F. "Effect of wave form on let-go currents" In: *Transactions Electrical Engineering*, *Vol. 62*, Dec. 1943 (a)

966. National Electrical Safety Code. 1977. Edition, ANSI C2, New York published by the Institute of Electrical Engineers, Inc. 1977

967. Dalziei, C.F., E. Ogden and C.E. Abbott. "Effect of frequency on let-go currents." *AIEE Trans*. *Vol. 62*, December 1943 (b), pp. 739-744

968. Dalziel, C.F. "Threshold of perception currents," *Electrical engineering, vol. 73*. 1954, pp. 625-630.

969. Daiziel, C.F. "The threshold of perception currents." *Trans. AIEE Vol. 73*, pt. 111-6, August 1954 (b), pp. 990-996

970. Dalziel, C.F. "The effects of electric shock on man." *IRE Trans. medical electronics*, PGME-5, May 1956

971. Dalziel, C.F. "'Threshold 60-Cycle fibrillating currents". *Trans. AIEE, vol. 79,* pt. III, October 1960, pp. 667-673

972. Dalzie, C.F. and W.R. Lee, "Lethal electric currents". *IEEE Spectrum, February 1969*. pp. 44-50

973. Keesey, J.C. and F.S. Letcher. "Human thresholds of electric shock at power transmission frequencies". *Arch. Environ. Health 21,* 547-552, 1970

974. Bernhardt, J.H. "Field interaction with nerve and muscle cells within 1 Hz and 30 MHz". In: *Abstracts of the proceedings of the international symposium on the biologic effects of electromagnetic waves* held June 30 - July 4. 1980 in Jouy en Josas. France P. 37

975. EPRI, transmission line reference book, 345 kV and Above published by EPRI, 3412 Hillview Ave., Palo Alto, CA 94304, 1979

976. Delaplace, L.R. and J.R. Reilly. "Dilectric and magnetic field coupling from high-voltage AC power transmission lines-classification of short-term effects on people". In: IEEE transactions on power apparatus and systems, Vol. PAS-97. No. 6, Nov/Dec. 1978 from

977. Johrison, C.C., C.H. Durney, P.W. ,Barber, H., Massoudi, S.J. Alien. "Radiofrequency radiation dosimetry handbook" In: *Proceedings of the 1976 annual meeting of the International Union of Radio Science*, Amherst. Massachusetts 11-15 October, 1976. USNC/URSI. (Washington, DC): 119-120.

978. Geddes, L.A., L.E. Baker, P. Cabier. and D. Brittain, "Response to Passage of Sinusoidal Current Through the Body", In: *The Nervous System and Electric Current, Vol. 2*, pp. 121-129

979. Straub, K.D. "Effects of Low Frequency Electrical Current on Various Marine Animals". Dept. of the Navy, Naval Air Development Center, Crew Systems Department Naval Air Systems Command Air Task No.R0410801 Work Unit No.0100, NADC-72126-CS, 21 June 1972

980. Osipov, Yu A.. "Effects of high frequency electromagnetic field radiation on human health," *Gigiena i Sanitariia, 6*:22-23. 1952

981. Osipov, Yu. A. "Induced current metal heating of high frequency electromagnetic field and hygiene", *Gigiena i Sanitariia, 8*:39-42, 1953

982. Osipov, Yu. A., R.N., Volfovskaya, T.P., Asanova, Ye. L., Kulikovskaya, T.V., Kolyada, A.B. Sebeglova, "On the combined effects of high frequency field and roentgen radiation in industry". *Gigiena i Sanitariia, 5:*35-38, 1962

983. Machabeli, M.E., V.A. Khubutiya, G.G. Chinchaladze, A.A. Khvtasi, "Sanitary-Hygiene labor conditions and state of health of persons working on High-frequency power plants". *Gigiena i Sanitariia, 11/81- 83*, 1957

984. Hagmann, M.J. and Gandhi, O.P. Numerical Calculations of Electromagnetic Energy Deposition in Models of Man with Grounding and Reflector Effecto. *Radio Science, 14* (G.S) 1979. pp. 28-29

985. Schwan, H.P. (1982). "Microwave and RF Hazard considerations". *J. Microwave Power 17*, 1-9

986. Schwan, H.P. (1982) "Nonthermal cellular effects of Electromagnetic fields: Ac - Fields induced ponderomotoric forces*". Brit. J. Cancer 45 (supp V):* 220-224

987. Schaefer, D.J., Warren, W. B., and Cain, F.L. (1982). "VLF Hazards Analysis. Final Technical Report (Project A-3172), Air Force School of Aeropace Medicine, Brooks Air Force Base, Texas, USA

988. Interim Guidelines on limits of exposure to radiofrequency Electromagnetic Fields in The Frequency range from 100 KHz to 300 GHz - IRPA/INIRC Document (1984) Health Physics, Vol. 46 No. 4, 975-984

989. Portela, A. et al (1981) - Prospección Electromagnética: Sistema de monitores para la determinación de niveles, en la exposición ambiental a RF-Microondas. *Primer Congreso Mundial de Ingeniería y Medio Ambiente*. pp 1-43 (Nov-16-18). UADI

990. Portela, A. et al (1981) - Interacciones, efectos biológicos y dosimetría: avances para el establecimiento de estándares de seguridad de RF-Microondas para el ser humano. *Primer Congreso Mundial: Ingeniería y Medio Ambiente*. pp 1-40 (Nov-16-18) UADI

991. Manual Provisorio para Estándares de Seguridad en Exposición a RF-Microondas - Portela, A. y col. Trabajo elaborado en el período 1973-1981, Contrato de Investigación con 3-111 Operaciones EMG del Ejército.

992. Manual para Estándares de Seguridad: Radiación Electromagnética RF-Microondas - Portela y col. Trabajo realizado en el período 1981-1982. Contrato de Investigación con el Ministerio de Salud y Acción Social - Servicio Naval de Investigación y Desarrollo, Armada Argentina.

993. Portela et al - Environmental Health Criteria 35.(Manual): Extremely Low Frequency (ELF) Fields. WHO/IRPA Task Group on ELF Fields. Report published under sponsorship of United Nations (Environmental Program). The World Health Organization (WHO) and the International Radiation Protection Association (IRPA); WHO, Geneva, 1984.

Segunda parte

# Normas de seguridad para la exposición ocupacional del personal de Telecomunicaciones y de estaciones de radar

Ejemplos prácticos de medición y cálculo
de la exposición a radiofrecuencias

## 1. INSTRUMENTACION Y METODOS USADOS EN EL ANALISIS DE LOS RIESGOS POR EXPOSICION A MICROONDAS

La industria militar y privada ha limitado la exposición del personal a la radiación de microondas, con niveles de densidad de potencia menores que 10 $mW/cm^2$. Este nivel de exposición permisible máximo era el mismo, independientemente de la duración de la exposición. Los niveles cada vez mayores de potencia de salida, en los nuevos sistemas de radares y microondas y de ciertos requerimientos militares tácticos, se han combinado para hacer que este límite de exposición sea muy difícil de cumplir. Por lo tanto, el nivel máximo de exposición permitida, anteriormente aceptado, de 10 $mW/cm^2$, para una exposición continua, ha sido modificado en los últimos años, adoptándose un nuevo criterio que considera los niveles elevados de exposición, con el tiempo de duración de la misma (Normas MS-AS, 1988, parte 1, vol. I)

La Armada y Fuerza Aérea de los Estados Unidos de América y el comité C-95 del Instituto de Estándares del mismo país (United States of America Standards Institute -U.S. ANSI-) habían adoptado estándares que relacionan el *Nivel* de exposición con el tiempo de duración de la misma. El Standard permitió exposiciones de hasta 10 $mW/cm^2$ para períodos de 0,1 hora. En sus recomendaciones, la Fuerza Aérea y la Armada permiten exposiciones que exceden los 10 $mW/cm^2$, basándose en la siguiente ecuación (ver figura 1):

$$T_p = \frac{6.000}{W^2}$$

Donde:

$T_p$ = tiempo de exposición permitido en minutos durante cualquier período de 1 hora.
W = densidad de potencia en el área a ser ocupada ($mW/cm^2$)

La figura 1 compara el tiempo de exposición en minutos vs. la densidad de potencia, para el estándar de 10 $mW/cm^2$ del comité C-95 (ANSI) y el de los militares de $6.000/W^2$. Debe advertirse que las publicaciones militares y del ANSI no permiten exposiciones por encima de 100 $mW/cm^2$ sino durante un período menor de 40 segundos. Las áreas con densidades de potencia de 100 $mW/cm^2$ son consideradas peligrosas y se las designa como áreas de *ocupación no permitida*.

Estos estándares de exposición fueron aconsejados hasta 1982. Posteriormente, se implementaron nuevos detectores y métodos de medición y cálculo de campos. Anteriormente sólo era necesario delinear la distancia desde la antena hasta el punto en que la densidad de potencia disminuía a un valor menor que 10 $mW/cm^2$ y restringir la exposición del personal al curso de un haz fuera de esta distancia. Teniendo en cuenta el peligro que constituye cualquier sistema de radar, actualmente en uso, este punto estaría en el *campo lejano* de la antena.

Con la *ocupación limitada*, permitida en áreas donde la densidad de potencia es mayor que 10 $mW/cm^2$ se vuelve necesario definir con precisión estas densidades de potencia, con el objeto de determinar el tiempo máximo de exposición permisible. Esto puede requerir mediciones y/o cálculos en los campos cercano, intermedio o lejano - según los parámetros que operan en el sistema de microondas analizado -, asegurando de esta manera, la evaluación del peligro.

La necesidad de medir densidades de potencia más elevadas y, además, de medirlas con mayor precisión (para que concuerden con el criterio de exposición) impone ciertos requerimientos más estrictos para los equipos de medición de densidad de potencia.

La figura 2 muestra un diagrama en bloque de la disposición de un equipo de prueba típico.

Este equipo generalmente consiste de los siguientes componentes:

1. *Antena de prueba*: Una antena calibrada, usada como dispositivo captador, para tomar muestras del campo radiado.
2. *Atenuador:* Un dispositivo, ya sea fijo o variable, que posee un factor de atenuación conocido, usado para reducir la energía de microondas recibida a un nivel que pueda ser manejado por el resto del sistema.
3. *Bolómetro o termistor:* Un dispositivo sensible al calor, cuya resistencia cambia con la temperatura.
4. *Medidor de potencia:* Un circuito electrónico y dispositivo de registro, que convierte este cambio de resistencia a una potencia indicada visualmente, o registro de densidad de potencia.

Todos los ítem indicados anteriormente deberían ser calibrados individualmente y con precisión. En algunos sistemas, uno o todos los ítem enumerados pueden combinarse en una o dos unidades integradas. Cuando se combinan en un sistema integrado, éste es generalmente de registro directo, o sea, la potencia de salida se registra directamente en densidad de potencia ($mW/cm^2$). Cuando se trata de componentes individuales, generalmente es un sistema de registro indirecto, es decir, sólo se indica la potencia real que recibe el medidor de potencia. En este caso, es entonces necesario calcular la densidad de potencia. Esto puede calcularse de la siguiente manera:

$$P_d = \frac{4\pi \cdot P_r}{\lambda^2 \cdot G}$$

Donde:

Pd = Densidad de potencia en $mW/cm^2$

Pr =Registro métrico en mW (potencia recibida)

$\lambda$ = Longitud de onda de la señal recibida en cm.

G = Ganancia de potencia absoluta de la antena en prueba (relación de potencia, no db)

Por ejemplo:

Un registro métrico de 10 mW ($P_r$) se obtiene en el campo de un equipo de radar que opera a una frecuencia de aproximadamente 10 GHz ($\lambda$ = 3 cm). La antena de prueba usada tiene una ganancia de 3 db (G = ganancia de potencia de 2). Luego, la densidad de potencia (Pd) es:

$$P_d = \frac{(12{,}56) \times (10)}{(9) \times (2)} = 6{,}9 \text{ mW/cm}^2$$

Debe notarse que si se ha usado un atenuador en el sistema de medición, debería multiplicarse el resultado por el factor de atenuación del atenuador. Si se hubiera usado un atenuador de 3 db (2x) en el ejemplo anterior, entonces, la densidad de potencia debería multiplicarse por 2, y el resultado sería 13,8 $mW/cm^2$

En la presente discusión sobre tipos de instrumentación y sus relativas ventajas y limitaciones, sólo se describen esos instrumentos. Estas ventajas y limitaciones son aquellas

pertinentes a su uso particular por los autores, y pueden no corresponder necesariamente al ser usadas por otros (deben tenerse en cuenta equipos tales como Holaday, Narda, etcétera, de amplio uso actual)

**1. Modelo Ramcor 1200A, densitómetro**

Este instrumento es un medidor de densidad de potencia portátil, que opera a baterías. Con sus seis antenas, cubre un rango de frecuencias de 200MHz a 11GHz, e indica directamente densidades de potencia desde 0-20mW/cm$^2$. Esta potencia de entrada puede extenderse con el uso de atenuadores adecuados. Es un instrumento de poco peso, de gran precisión y muy resistente, ideal para ser usado como portátil en el lugar de aplicación, aún con la antena más pesada, sólo pesa poco más de dos libras, y puede cargarse con una mano. Su limitación es la frecuencia que cubre: no se lo puede usar con precisión para frecuencias por debajo de los 200MHz o superiores a 11GHz.

**2. AN/USM-82, medidor de densidad de potencia**

Este instrumento es un medidor de densidad de potencia portátil, que opera a baterías. Se cubre el rango de 200 MHz a 10 GHz con tres antenas. El medidor registra la densidad de potencia directamente, y cubre el rango desde 0 - 2.000 mW/cm2 (0-2 W/cm$^2$) por medio de atenuadores incorporados cambiables. Este rango tan amplio es una característica excelente. A pesar de funcionar con baterías y de ser portátil, su peso es mayor de 10 libras, y al estar la antena separada hace difícil su manejo, especialmente cuando es necesario trepar torres. Cada una de las tres antenas posee un monitor calibrado, que debe ser ajustado de acuerdo a la frecuencia de la radiación a medirse. Estos monitores deben regularse con precisión, o de lo contrario pueden resultar registros erróneos. Esto es una desventaja cuando se desconoce la frecuencia exacta del sistema de radar que se está probando. El equivalente comercial de este aparato es el Empire Devices Model NF- 57 y el Monitor Holaday.

**3. Modelo Sperry B86B2, monitor de radiación**

También es un instrumento de registro directo, portátil y a baterías, diseñado como una unidad integrada, que sólo pesa tres libras. Características adicionales son: capacidad para operar líneas de potencia AC desde 115V, batería recargable con circuitos de carga internos, y antena individual montada sobre la unidad. Una de sus limitaciones es que cubre un rango de frecuencias similar al de las unidades, mencionadas anteriormente, 400 MHz a 10 GHz.

**4. Modelo Hewlett-Packard 431B, medidor de potencia**

Esta unidad es un medidor de potencia básico, y no registra la densidad de potencia directamente. Debe calcularse la densidad de potencia, dependiendo de los parámetros del equipo auxiliar (antenas, atenuadores, etcétera). El método para ese cálculo sería como se explicó anteriormente. Este instrumento, que dispone de la instalación de un termistor, cubre un rango de frecuencias desde 10 MHz a 40 GHz. Según las antenas y atenuadores usados, el HP-431 medirá densidades de potencia desde fracciones tan bajas como 1mW/cm2, hasta Watts/cm$^2$. La elección de estos accesorios está librada al usuario, y los proveen varios fabricantes. La unidad operará desde una potencia de 230 V.A.C., o puede funcionar hasta 24 horas con una batería recargable interna opcional. Las ventajas más importantes de este equipo son su frecuencia y rango de potencia amplios, y su batería recargable. Sus limitaciones son su volumen y peso (aproximadamente 6 Kg además del peso de la antena y del atenuador), y la necesidad de tener que calcular las densidades de potencia, en lugar de disponer de un registro instantáneo y directo de las mismas.

Se ha tropezado con un problema de medición al intentar medir las densidades de potencia radiadas por radares que utilizan registros electrónicos rápidos en lugar de registros mecánicos lentos. Los equipos de medición no responderán suficientemente rápido y será necesario utilizar un medidor de potencia del tipo integrativo. Este medidor registrará la densidad de energía (joules/cm$^2$). Se ha incorporado un medidor integrativo, evaluándose su conveniencia.

Portela, Skvarca y Loureiro han desarrollado un manual técnico de mediciones de intensidad de campo eléctrico (y magnético) y densidad de potencia de radiación de radiofrecuencias (en proceso de revisión).

En ciertas circunstancias, debido a la falta de accesibilidad del haz de radiación, o por no estar el equipo en funcionamiento en el momento de la inspección, puede ser necesario calcular los niveles de densidad de potencia radiados por un sistema de microondas. El tratamiento de dichos cálculos ha sido informado por varias fuentes. La antena emite energía electromagnética, variando su intensidad con la distancia. Relativamente cerca de la antena (en la región de *campo cercano*) la densidad de potencia se mantiene aproximadamente constante con la distancia y es alineada en un haz que posee aproximadamente el mismo tamaño que la apertura de la antena o reflector. Más allá de esta zona, el haz comienza a variar, hasta que a una distancia mayor, la densidad de potencia disminuye de acuerdo a la ley del cuadrado inverso ($1/R^2$). Esta última región es comúnmente denominada campo lejano. Por supuesto no existe ningún punto fiducial angular, donde esta transición tenga lugar, y es llamada, a veces, región de "crossover" o *campo intermedio*. Queda de manifiesto, a partir de una lectura cuidadosa de la literatura, que existen diferencias de opinión considerables con respecto a cuál es la distancia desde la antena, en que estas transiciones zonales tienen lugar. Según los autores la distancia respecto de la antena en que comienza el campo lejano varía desde $\frac{2D^2}{\lambda}$ (donde D es el diámetro de la antena, y $\lambda$, la longitud de onda de la energía radiada) a: $\frac{D^2}{2\lambda}$ .Esto equivale a una diferencia en distancia de 4 veces.

También, algunos autores no toman en cuenta el campo intermedio.

Mediciones extensivas de la densidad de potencia, durante varios años de evaluación de los riesgos a que se expone el personal a los sistemas de radar y microondas, usados por el Ejército, la Armada y la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, han demostrado que las densidades de potencia medidas no concuerdan con estos cálculos teóricos. Los resultados de estas mediciones indican que la densidad de potencia radiada por antenas circulares usadas en este tipo de sistemas se aproximarán, en función de la distancia, a valores dados según zonas de radiación, en figura 3.

Las ecuaciones usadas para computar las densidades de potencia de campos, para todos los sistemas con antenas *circulares*, son las siguientes (ver figura 3):

$R_1 = \frac{D^2}{5{,}66\lambda}$ $R_1$: distancia hasta el final del campo cercano

$R_2 = \frac{D^2}{2{,}83\lambda}$ o $2R_1$ $R_2$: distancia hasta el final del campo intermedio

D: diámetro del reflector.

y:

| | |
|---|---|
| $W_{nf} = 4W_0$ | $W_0$: densidad de potencia promedio en campo cercano. |
| | $W_{nf}$: densidad de potencia máxima en campo cercano. |
| $W_{if} = W_1(R_1/R)$ | $W_{if}$: densidad de potencia de campo intermedio, a una distancia R |
| $W_1 = 4W_0$ | $W_1$: densidad de potencia al final del campo cercano. |
| $W_2 = 2W_0$ | $W_2$: densidad de potencia al final del campo intermedio. |
| $W_{ff} = W_{if}\,(R_2R)^2$ | $W_{ff}$: densidad de potencia en campo lejano a una distancia R. |

La densidad de potencia máxima, W, existirá en todo el campo cercano ($W_{mf}$), a una distancia $R_1$, determinada por $D^2/5{,}66\lambda$, donde D es el diámetro del reflector de la antena y $\lambda$ es la

longitud de onda de la transmisión. La densidad de potencia disminuirá entonces linealmente, a una distancia $R_2$, determinada por $D^2/2{,}83\lambda$, punto en el cual será $W_2$ o $2W_0$. A partir de este punto disminuirá de acuerdo a la inversa de la ley del cuadrado. D, R y $\lambda$ deben estar en las mismas unidades. R es siempre la distancia respecto de la antena.

A pesar de que la densidad de potencia real variará a lo largo de todo el campo cercano ($W_{nf}$), si se considera la seguridad del personal, se supone que el máximo que pueda existir ($4W_0$) lo hará en todo el campo cercano.

La densidad de potencia máxima para el reflector de antena circular puede ser calculada de la siguiente manera:

$$W=4W_0$$

Donde:

W : densidad de potencia máxima en el eje del haz ($mW/cm^2$)
$W_0$: densidad de potencia promedio a través de la antena.

y,

$$W_0 = \frac{P}{A}$$

Donde:

P: potencia de salida promedio del transmisor en miliwatts
A: área del reflector en $cm^2$

La tabla I da una lista de áreas, $W_0$, y de la densidad de potencia máxima (W) por kilowatt de la potencia del transmisor, para antenas circulares típicas.

**Tabla I**

**Densidad de potencia máxima, de campo cercano**

| **Tamaño del reflector en cm de diámetro** | **Area: ($cm^2$)** | **$W_0$/kW: ($mW/cm^2$) KW (X). $10^{-6}$** | **W/kW: ($mW/cm^2$) KW (X) .$10^{-6}$** |
|---|---|---|---|
| 122 | $1{,}17 \times 10^4$ | 85,47 | 341 |
| 184 | $2{,}63 \times 10^4$ | 38,02 | 152 |
| 245 | $4{,}67 \times 10^4$ | 21,41 | 85,64 |
| 360 | $7{,}31 \times 10^4$ | 13,67 | 54,7 |
| 366 | $1{,}05 \times 10^5$ | 9,174 | 36,7 |
| 456 | $1{,}64 \times 10^5$ | 6,097 | 24,4 |
| 920 | $6{,}55 \times 10^5$ | 1,525 | 6,1 |
| 1220 | $11{,}6 \times 10^5$ | 0,8625 | 3,45 |
| 1830 | $26{,}2 \times 10^5$ | 0,3825 | 1,53 |

La máxima densidad de potencia que puede ser radiada se determina buscando el tamaño de la antena en la primera columna y multiplicando W/kW (última columna) por la potencia de salida del transmisor en kilowatts. Si la resultante, W, es menor que 10 $mW/cm^2$, se puede considerar que el sistema no es peligroso. Si la resultante, W, excede los 10 $mW/cm^2$, entonces el equipo es considerado potencialmente peligroso, y debe calcularse la densidad de potencia vs.

la distancia, para determinar la distancia respecto de la antena en que la densidad de potencia es menor que 10 mW/cm$^2$. Este procedimiento está resumido en el párrafo siguiente.

Si la densidad de potencia en $R_2$ excede los 10 mW/cm$^2$ (asimismo, si excede los 20 mW/cm$^2$ en el campo cercano), entonces, el punto de 10 mW/cm$^2$ estará en el campo lejano, y se puede calcular de la siguiente manera:

$$R\left(10\,\frac{mW}{cm^2}\right) = R_2 \cdot \sqrt{0{,}1 \cdot W_2} \qquad para \quad W_1 > 20\,\frac{mW}{cm^2}$$

Si la densidad de potencia en $R^2$ es menor que 10 mW/cm$^2$, y la densidad de potencia, o $4W_0$, en $R_1$, es mayor que 10 mW/cm$^2$, entonces, el punto de 10 mW/cm$^2$ estará en el campo intermedio, y se puede calcular de la siguiente manera:

$$R\left(10\,\frac{mW}{cm^2}\right) = 0{,}1 \cdot W_1 \cdot R_1 \qquad para \quad 10\,\frac{mW}{cm^2} < W_1 < 20\,\frac{mW}{cm^2}$$

De los dos métodos básicos para la evaluación de la densidad de potencia radiada por sistemas de transmisión de microondas, el primero, cálculos teóricos, ha sido descripto en los párrafos anteriores. El segundo, método más preciso de medición *in situ* y estudio de la evaluación de riesgos, se discute a continuación.

La inspección *in situ* que incorpora las ventajas de la medición de intensidad directa y de observaciones positivas, permite una comprensión más precisa del comportamiento de la intensidad del campo al recibir la influencia de las variables, tanto intrínseca como extrínseca. Más aún, cuando este método es conducido por investigadores con experiencia, provee resultados muy precisos y reproducibles. Las mediciones que realiza una persona sin experiencia, por supuesto, pueden conducir a datos erróneos y conclusiones falsas. Las predicciones teóricas, independientemente de proximidad a las intensidades medidas, no poseen la fiabilidad que se logra con mediciones fidedignas y por consiguiente, deberían aplicarse con reserva y sólo después de una revisión crítica. En el estado actual de conocimiento, la examinación *in situ* debería quedar como la base principal para la evaluación de densidades de potencia, y el método teórico, como una aproximación secundaria, útil como guía general, pero no para ser interpretado como representativo de todas las situaciones específicas.

En general, la examinación de la evaluación de riesgos debería acarrear las siguientes consideraciones:

1. Características del equipo y parámetros en operación.

2. Propósito y uso del equipo.

3. Configuración del lugar y terreno.

4. Procedimientos seguidos en todas las etapas de la operación, incluyendo mantenimiento y prueba.

5. Magnitudes de densidad de potencia.

6. Extensión de las áreas potencialmente peligrosas, tanto *in situ* como fuera el del lugar de experimentación.

7. Presencia de radiación ionizante, atribuible a tubos generadores de microondas, tales como klystrones, thyratrones, etcétera.

8. Técnicas de control que reducirán efectivamente los riesgos potenciales.

Las técnicas de control que reducirán la exposición innecesaria del personal, generalmente entrarán en una de estas dos categorías:

1. Limitar la trayectoria del haz de radiación de manera que no irradie las áreas ocupadas, o

2. Limitar el acceso de personal a las áreas donde existan densidades de potencia peligrosas.

Si una evaluación de los riesgos por microondas revela la existencia de áreas de ocupación limitada o de ocupación no permitida, pueden usarse las siguientes medidas para reducir exposiciones innecesarias:

1. Todas las áreas de peligro potencial (ocupación limitada) o áreas de peligro (ocupación no permitida), deberían ser indicadas (con carteles o avisos) en forma bien visible, con signos de advertencia apropiados (ver diagramación de indicadores, apéndice I).

2. En los casos en que el tipo de operación lo permita, la colocación de la antena debería limitarse, para reducir la extensión de las áreas de exposición, reduciendo de este modo los riesgos innecesarios. Estas restricciones permisibles se pueden implementar mediante sistemas de corte; o sea, instalación de dispositivos de corte en las componentes eléctricas o mecánicas de un sistema, el que interrumpirá automáticamente la transmisión cuando se dirige la antena en una dirección predeterminada; o instruyendo al personal para no transmitir en ciertos azimuts y/o elevaciones, por medio de un procedimiento de operación estándar *impuesto*.

3. Durante los procedimientos de prueba o mantenimiento, que requieren radiación en el espacio libre, es necesario una limitación adecuada en la colocación de la antena, si la densidad de potencia excede los 10 $mW/cm^2$.

4. El uso de cargas fantasmas para absorber la energía de salida de microondas, se propone para los casos en que la transmisión en espacio libre no es necesaria, es decir, en talleres o instalaciones de entrenamiento.

5. Se requiere el uso de barreras y cerrojos para prevenir la entrada del personal en áreas de ocupación no permitida.

6. Donde la antena no está instalada permanentemente, ésta puede ser reubicada para reducir las densidades de potencia en áreas de exposición, hasta niveles aceptables.

7. En situaciones en que las operaciones no puedan ser debidamente limitadas por la implementación de los métodos arriba mencionados, se puede lograr una atenuación adecuada de los niveles de densidad de potencia, mediante blindaje ("*shielding*"). En la tabla II se da un esquema de la atenuación, para varios materiales, a diferentes frecuencias.

**Tabla II**

**Factores de atenuación (“shielding")**

| **Materiales** | **Frecuencias** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1-3 GHz | 3-5 GHz | 5-7 GHz | 7-10 GHz |
| 60 x 60 mesh screening | 20 db | 25 db | 22 db | 20 db |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 32 x 32 mesh screening | 18 db | 22 db | 22 db | 18 db |
| 16 x 16 window screen | 18 db | 20 db | 20 db | 22 db |
| 0,63 cm mesh (hardware cloth) | 18 db | 15 db | 12 db | 10 db |
| Window glass | 2 db | 2 db | 3 db | 3,5 db |
| 1,88 cm Pine sheating | 2 db | 2 db | 2 db | 3,5 db |
| 20 cm Concrete block | 20 db | 22 db | 26 db | 30 db |

Los protectores oculares para resguardar al personal de los riesgos que puede producir la exposición a láseres en la vista se consiguen fácilmente a nivel comercial.

No obstante, protectores oculares contra la radiación de microondas prácticamente no existen, a pesar de que hemos convivido con este riesgo durante muchos años.

Los laboratorios no disponen de protectores oculares para microondas. Algunas gafas experimentales utilizan una trama muy delgada colocada dentro de los vidrios de las lentes, con material absorbente de microondas en los bordes. La visión fue afectada en forma relativa; las gafas poseían una atenuación de 20 db (100 veces) desde 1 GHz a 20 GHz, y más de 15 db (40 veces) desde 20 GHz a 40 GHz. Estas gafas eran un tanto pesadas e incómodas, pero un futuro refinamiento podría reducir el tamaño y peso. Estimamos deseable realizar más investigaciones sobre protectores oculares.

En conclusión, debe notarse que hasta los procesos y dispositivos protectores más elaborados se volverán ineficaces, a no ser que todo el personal interesado conozca y comprenda los peligros potenciales a los que puede estar expuesto, y también las medidas empleadas para asegurar su protección. Como en general es frecuente la falta de conocimiento de la naturaleza, magnitud y grado de los peligros atribuidos a la radiación de microondas, no se recalca la importancia de un programa adecuado de instrucción y entrenamiento del personal. Esto debería ser considerado prerrequisito para llevar a cabo cualquier plan de acción ideado para minimizar estos riesgos.

En condiciones operativas normales de rutina, las instalaciones y sistemas de radar, radioenlace, comunicación por satélite, incluyendo los equipos de comunicaciones trabajando con frecuencias superiores a 300 MHz, observarán el cumplimiento de los límites de exposición establecidos en las normas MS- S (1988), dadas en la tabla A y gráficos 1 y 2.

Cuando estos sistemas están sujetos a calibración y ajustes en sus condiciones de trabajo, se acepta emplear niveles de exposición controlados superiores a los dados en la tabla A, pero ajustando el tiempo de exposición de acuerdo a lo aconsejado en este manual.

EXPOSICION VS. DENSIDAD DE POTENCIA
1,000
600
100
10
DENSIDAD DE POTENCIA EN MW/cm²
(10 mW/cm²)
0.1
0.6
1
6
10
60
100
EXPOSICION EN MINUTOS

FIGURA 1

FIGURA 2

FIGURA 3

## Tabla A

### Límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia.
### Limites de exposición ocupacionales

| Región de frecuencias (MHz) | Intensidad del campo eléctrico, RMS, no perturbado (V/m) | Intensidad del campo magnético, RMS, no perturbado (A/m) | Densidad de potencia equivalente para onda plana ($mW/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| 0,3-3 | $376.382,25^{1/2}$ | 1,58 | 100 |
| 3-30 | $\left[3.764\,(900\,/\,f^2)\right]^{1/2}$ | $\left[0,025\,(900\,/\,f^2)\right]^{1/2}$ | $900/f^2$ |
| 30-400 | $3.764^{-1/2} = 61,35$ | 0,16 | 1 |
| 400-2.000 | $3.f^{1/2}$ | 0,025 (f/300) | f/400 |
| 2.000-300.000 | 137 | 0,36 | 5 |

GRAFICO 1

GRAFICO 2

## 2. CONTROL DE RIESGOS PARA LA SALUD POR IRRADIACIÓN CON MICROONDAS

1. Introducción.
2. Propósito.
3. Consideraciones generales.
4. Vigilancia médica.
5. Evaluación de riesgos.
6. Antenas rotantes de exploración.
7. Exposición del personal.
8. Control de exposición.
9. Ejemplos de riesgos que se presentan en instalaciones típicas de radar.
10. Producción de rayos X por los equipos generadores de microondas.

### 2.1. Introducción

Los progresos alcanzados en los sistemas de radar y comunicación, así como los notables avances sobre líneas similares de la industria de satélites, han resultado en el uso de transmisores de microondas, con salida de potencia elevada.

Más aún, el amplio uso de estos sistemas aumenta la probabilidad de exposición del personal a intensidades riesgosas (potencia, frecuencia, polarización, régimen de pulsos, tiempo) de irradiación por microondas. Por lo tanto, es muy importante que se tomen medidas de protección adecuadas para reducir toda exposición innecesaria. Este manual (parte I) ha sido preparado con el fin de adoptar tales medidas.

### 2.2. Propósito

El manual provee *información* a quienes están relacionados con la protección de personal en funciones, o que permanecen en la vecindad de equipos de transmisión de microondas, incluyendo las medidas a utilizar para reducir exposición innecesaria.

### 2.3. Consideraciones generales

*a) Naturaleza de la radiación de microondas*

Los sistemas de radar existentes utilizan la porción del espectro electromagnético incluida aproximadamente entre las frecuencias 300 MHz y 300 GHz, es decir, desde 300 hasta 300.000

megaciclos por segundo. Ese ámbito de frecuencia es llamado *Región de microondas,* en el espectro electromagnético de RF.

Cuando ese ámbito es insertado en la posición apropiada de dicho espectro, y su ubicación analizada en relación a las frecuencias limítrofes, es posible apreciar las siguientes *característica*s de este tipo de *radiación*:

I. Está alejada de las radiaciones ionizantes (rayos X y $\gamma$). Sus haces no causan ionización, y por lo tanto son clasificadas como radiaciones no ionizantes.

II. Ocupa una posición intermedia entre el infrarrojo y radiofrecuencias del espectro electromagnético, y presenta características conocidas de ambas regiones. Un aspecto importante entre ellas es, el efecto combinado de calor y penetración en un sistema biológico tal como el cuerpo humano. Cuando las microondas inciden sobre el cuerpo humano, o en general sobre cualquier sistema biológico, producen fuerzas eléctricas y magnéticas, que generan trabajo y calor. El calor y las fuerzas, si son suficientemente intensos, tienen profundos efectos. Aunque los efectos pueden ser usados en forma beneficiosa, son peligrosos, y deben ser tenidos muy en cuenta.

La radiación electromagnética de microondas no posee suficiente energía para producir ionización. Sin embargo puede excitar a los átomos y causar así la producción de calor. Por lo tanto, cuando la radiación es absorbida por la materia, aparece un aumento de temperatura del objeto u organismo irradiado; la penetración depende de la frecuencia (f):

- Calentamiento de tejidos profundos (f menor que 1 GHz).
- Calentamiento según efectos combinados, de ámbito inferior y superior (f entre 1 y 3GHz).
- Calentamiento de tejidos superficiales, con disipación hacia estructuras más profundas (f mayor que 3 GHz).

*b) Aspectos biológicos* [*]

Las características de las respuestas biológicas son:

I. La experimentación biológica indica que ocurrirá un aumento de la temperatura en el animal irradiado cuando se produce suficiente absorción de energía de microondas. La rapidez de aumento de temperatura depende de la cantidad de radiación absorbida y de la habilidad del animal para disipar calor. Durante un lapso, el animal puede compensar el estímulo y detener el aumento de temperatura, pero si la energía absorbida supera la regulación, ocurrirá una suba ulterior de temperatura. Si se llena a una carga calórica (debida a la absorción de energía radiante electromagnética) que no puede ser compensada, el animal muere si la irradiación continúa. Si la radiación cesa antes de quebrar los mecanismos de control térmico, el animal se recobrará sin presentar efectos residuales. La secuencia es similar en los seres humanos, pero no hay seguridad de que los valores obtenidos con animales sean aplicables al hombre debido principalmente a la diferencia en los mecanismos de control térmico.

II. El ser humano posee un mecanismo de control térmico y disipación más complejo y eficiente que el animal experimental. Mientras el ser humano puede controlar el intercambio de calor a través de toda la piel, un animal experimental puede intercambiar sólo en áreas limitadas. Experimentalmente, exposiciones breves a 100 $mW/cm^2$ provocan descenso de temperatura en los seres humanos y, en cambio, aumento definido en el animal. Probablemente, entonces, la cantidad de energía absorbida que se necesita para provocar efectos en el ser humano es mayor que en los animales.

III. Existen dos estructuras en el cuerpo humano que son más susceptibles al calentamiento que el resto: testículos y cristalinos del ojo.

Los testículos reaccionan por su sensibilidad a la temperatura: un cambio de pocos grados causa el cese de la producción de esperma, sea debido a irradiación por microondas o por

[*] I, II y III describen los efectos térmicos

calentamiento de otros orígenes. Este cambio es reversible cuando los órganos vuelven a su temperatura normal.

Los cristalinos carecen de un sistema circulatorio eficiente, por lo que no pueden disipar calor tan rápido como el resto del cuerpo, y por esta causa pueden ser dañados más fácilmente. Si se alcanza una destrucción celular mayor, las células muertas migran a la porción capsular posterior del cristalino y pueden producir enturbiamiento. Se ha demostrado la producción de cataratas por exposición a microondas, tanto en los animales experimentales como en los seres humanos. En éstos, los cambios patológicos son, primeramente, una fibrosis de la cápsula posterior y luego enturbiamiento del humor vítreo. Los tiempos de exposición requeridos para producir cataratas en el ser humano son de corta duración (aproximadamente cinco minutos).

IV. Se puede demostrar experimentalmente la producción de *efectos atérmicos* (no dependientes de la temperatura): formación de cadenas moleculares o alineación de partículas, inactivación de ciertas enzimas, cambios en excitabilidad muscular y nerviosa, etc.

V. El personal puede escuchar un zumbido como *respuesta auditiva*, al ser expuesto a la radiación de microondas. La sensación de sonido está dada por la frecuencia de repetición de pulsos y no por la de microondas.

VI. Cuando el efecto térmico se produce principalmente en la piel, se obtiene una respuesta de los sensores nerviosos en forma de sensación calórica (acaloramiento). Este fenómeno está asociado comúnmente con el ámbito de frecuencia entre 8 x $10^3$ Mc/s (8 GHz) y 26 x $10^3$ Mc/s (26 GHz).

VII. Algunas *respuestas* del ser humano al radar permanecen *inexplicables*, como desórdenes epigástricos y/o náuseas transitorias, que pueden ocurrir en niveles bajos, aparentemente asociados con el ámbito de frecuencias entre 8 x $10^3$ Mc/s (8 GHz) y 12 x $10^3$ Mc/s (12 GHz).

### 2.4. Vigilancia médica

Para estudiar los efectos biológicos posibles de exposiciones excesivas a campos de microondas con densidades de potencia mayores que 10 mW/$cm^2$, se necesita un programa específico de revisación previa completa y examen médico, para personal potencialmente expuesto tanto militar como civil. Debe instrumentarse un plan de vigilancia médica para el personal asociado íntimamente con el desarrollo, calibración, o mantenimiento de equipos que generan densidades de potencia en exceso de 10 mW/$cm^2$, tal como el que trabaja en radiocomunicaciones y sistemas de radares. Para este propósito, el examen consiste en una revisación física de rutina sumada a una oftalmológica completa, que incluya la evaluación de la movilidad ocular, medio y fondo de ojo, agudeza visual corregida para visión cercana y lejana, y examen oftalmológico del cristalino por lámpara de hendidura con pupila dilatada. Revisaciones periódicas de vigilancia, con intervalos anuales, incluyen una revisación cuidadosa de la sintomatología general y ocular, así como examen físico, revisación completa de ojos o análisis de laboratorio, como lo indique la historia clínica. Las revisaciones más frecuentes y detalladas deben ser especialmente indicadas, incluyendo los tiempos de exposición del personal.

### 2.5. Evaluación de riesgos

*a) Datos de preevaluación*

Como cada equipo de radar es capaz de emitir en ángulos diversos (azimut, elevación) es necesario considerarlos individualmente. Sin embargo, antes de intentar cualquier evaluación de riesgos, debe disponerse de cierta información básica acerca de cada equipo y las condiciones de su ubicación. La información requerida así como las fuentes de referencia, son las que siguen:

I. *La densidad de potencia a lo largo del eje del haz, a distancia dada, desde la superficie de la antena*. Esta información puede ser obtenida consultando gráficos y tablas correspondientes a los apéndices II y III. Los datos similares para equipos de radar de la Fuerza Aérea, la Marina y el Ejército deben ser instrumentados.

II. *La altura del haz sobre el nivel del terreno a distancia dada, desde la superficie de la antena*. La altura aproximada de la antena y los ángulos de elevación del haz aparecen como ejemplos en el apéndice I. Las características de algunos sistemas de radar están dadas en el mismo. Por medio de un diagrama de alturas del haz es posible determinar la altura del eje del haz sobre el nivel del terreno. Naturalmente, debe tomarse en cuenta la configuración del sitio y las características del terreno.

III. *Los ángulos* (azimut, elevación) *de orientación de la antena*. Esta información puede ser obtenida del personal operativo.

IV. *Conocimiento de la configuración del terreno y del sitio en la vecindad del equipo*, incluyendo características naturales y artificiales. Cuando la inspección en el terreno es impracticable, debe usarse una carta topográfica (indica los contornos de iguales alturas) para obtener esta información. Cuando son usadas las cartas, debe disponerse de croquis adicionales que muestran las elevaciones de las construcciones e instalaciones humanas (ver apéndice I).

V. Ubicación de todas las áreas ocupadas en la vecindad del equipo. Debe incluir naturaleza y duración de la ocupación. El personal operativo debe estar en condiciones de proveer esta información.

VI. Procedimientos seguidos por el personal durante todas las etapas de operación del equipo. Esto incluye la naturaleza y duración de la ocupación, particularmente mantenimiento y ensayos técnicos.

*b) Análisis de riesgos*

Es necesario realizar un análisis de los datos reunidos, en la preevaluación a), si se desea una evaluación realista del equipo (para un ejemplo de análisis, ver sección 2.9 - a y b).

Un esbozo general para analizar los datos es el siguiente:

I. Después de identificar el equipo que va a ser evaluado, deben ser consultados los apéndices, para determinar si el equipo irradia con densidades de potencia superiores a 10 $mW/cm^2$. Si no fuera así, no existe riesgo potencial y no es necesario proseguir con la evaluación.

II. Puesto que son conocidos los ángulos (azirnut, elevación) de orientación de la antena, es posible determinar la extensión de las superficies expuestas al haz. Puede dibujarse un diagrama de alturas del haz usando la altura aproximada de la antena y el mínimo ángulo de elevación del haz sobre su plataforma. De allí, un cálculo simple proporciona la altura del haz respecto al nivel del suelo, a una distancia dada de la antena. Se debe conceder interés particular a características del terreno y configuración del sitio al hacer este cálculo. En conjunción con el análisis de altura del haz es necesario realizar un estudio del plano en relieve del sitio, para determinar la extensión horizontal de las áreas expuestas. Si la posición del haz es tal que en todo momento es inaccesible al personal, no hay una condición de riesgo potencial. Si pudiera quedar expuesto al haz, se debe evaluar el riesgo correspondiente.

III. Cuando las condiciones son tales que el personal puede quedar expuesto al haz, es necesario conocer las densidades de potencia incidentes. Como las distancias de la antena a áreas de exposición son obtenidas del análisis previo de la posición del haz, quedan sólo por determinar las densidades de potencia correspondientes a estas distancias. Esta información puede ser obtenida de los apéndices I, II y III.

IV. Cuando los haces de dos o más equipos de radar se superponen, la densidad de potencia que existe en el área de intersección puede ser considerada como la suma de las densidades individuales.

V. Cuando la densidad de potencia en el área de exposición es significativamente menor que 10 $mW/cm^2$, no existe riesgo potencial. Sin embargo, si la densidad de potencia excede 10m $W/cm^2$, existe un riesgo potencial. De acuerdo con eso, las áreas de exposición quedan

clasificadas en zonas: segura, intermedia, insegura, riesgosa y de peligro (ver apéndice I, indicadores 1 al 8).

### 2.6. Antenas rotantes de exploración

Las densidades de potencia indicadas en el apéndice II han sido calculadas sobre la base de antenas estacionarias. Cuándo la antena está en continua rotación, el nivel de densidad de potencia estacionaria debe reducirse al promedio utilizando la ecuación que sigue, salvo cuando las densidades de potencia exceden 100 mW/cm$^2$ (porque en esa densidad el tiempo de exposición debe ser menor que 5 segundos):

$$W = W_0 \cdot \frac{D}{2\pi R}$$

donde:

W: Densidad de potencia promedio (no estacionaria)
$W_0$: Densidad de potencia estacionaria.
D: Dimensión de la antena paralela al eje de rotación.
R: Distancia de la superficie de la antena al punto de medición.
R y D: En unidades iguales (ver ejemplo en sección 2.9-III), para aplicar la ecuación.

Puede ser utilizada para reducir densidades de potencia estacionarias a cualquier distancia de la antena, pero a medida que la distancia crece los resultados son más conservadores.

### 2.7. Exposición del personal

*a) Areas de ocupación transitoria*

I. La exposición de¡ personal en un área de ocupación transitoria es permitida sólo por el lapso dado por la siguiente ecuación:

$$T_P = \frac{6000}{W^2}$$

donde:

$T_P$: Tiempo permisible de exposición (minutos) durante cualquier período de una hora.

W: Densidad de potencia en área a ser ocupada (mW/cm$^2$)

Esta ecuación es aplicable solamente a densidades de potencia entre 10 y 100 mW/cm$^2$ (ver figura 1, sección I).

No es posible controlar exposiciones limitadas por menos de dos minutos y consecuentemente esta fórmula no debe ser aplicada a intensidades que superen los 55 mW/cm$^2$.

II. El pasaje transitorio a través de áreas potencialmente riesgosas debe ser autorizado cuando sea necesario, por la ubicación de rutas existentes, senderos peatonales, etcétera, siempre que el tiempo permisible de exposición no sea excedido. Deben ser colocados en lugares destacados avisos apropiados de advertencia, con tiempos permisibles de exposición (ver apéndice I, indicadores 1 al 8).

III. Se recomienda la reducción de densidad del nivel estacionario al nivel rotante de vigilancia. Si la densidad de potencia reducida es menor que 10 mW/cm$^2$, el área no será considerada riesgosa mientras la antena emisora esté rotando y el tiempo de exposición sea controlado. El límite aconsejado es de 5 mW/cm$^2$.

*b) Areas de ocupación prohibida*

Bajo ninguna circunstancia se permitirá que el personal sea expuesto a densidades de potencia que excedan 25 mW/cm$^2$ durante 10 minutos.

**2.8. Control de exposición**

Si una evaluación de los riesgos por microondas revela la existencia de áreas restringidas o prohibidas, deben ser utilizadas las siguientes medidas, para reducir exposiciones innecesarias:

I. Cuando sea posible, los equipos de radar deben estar colocados de manera que sean minimizadas las exposiciones en áreas adyacentes a y dentro de las instalaciones militares. Toda área de ocupación transitoria o prohibida dentro de las instalaciones materiales debe ser indicada en forma destacada con indicadores de advertencia apropiados. La evaluación de cada condición operativa anunciada incluirá la consideración y el desarrollo de procedimientos para asegurar la colocación de indicadores temporarios o permanentes durante los períodos de operaciones. Deben usarse indicadores (ver apéndice I).

II. Cuando la operación lo permite, la posición de la antena debe ser "restringida" para minimizar la extensión de las áreas de exposición, reduciéndose así riesgos innecesarios. Estas restricciones permisibles pueden ser instrumentadas a través de la anulación del sector, esto es, instalación de elementos de protección, como componentes eléctricos o mecánicos de un sistema que corte automáticamente la transmisión cuando la antena es orientada en una dirección determinada o instruyendo al personal operador para que no transmita en ciertos ángulos (azimut, elevación).

III. Durante los ensayos o el mantenimiento, que requieren irradiación en espacio libre, es obligatorio usar restricciones para la posición de la antena, si las densidades de potencia exceden 10 mW/cm$^2$. El nivel óptimo permisible es de 5 mW/cm$^2$.

IV Se aconseja el uso de cargas fantasmas para absorber la energía de microondas cuando la transmisión en espacio libre no es necesaria, por ejemplo, en laboratorios, institutos y áreas de entrenamiento.

V. Se requiere el uso de barreras e interruptores de seguridad para evitar el ingreso de personal en áreas prohibidas.

VI. Donde no se ha instalado permanentemente una antena, debe ser reubicada para reducir a niveles aceptables las densidades de potencia en áreas expuestas.

VII. En situaciones en las cuales las operaciones quedarían indebidamente restringidas al instrumentar los métodos precedentes, se puede realizar una adecuada atenuación de los niveles por medio de blindajes. Una guía de atenuación para varias frecuencias y materiales variados aparece en la tabla A (apéndice II).

**2.9. Ejemplos de riesgos en equipos típicos de radar**

Las condiciones posibles que pueden existir en una instalación de radar son: seguridad, riesgo potencial y riesgo. Los criterios que determinan estas condiciones y los equipos de radar que tipifican cada una de ellas son:

*a) Seguridad*

Permiso para exposición indefinida.

I. *Las densidades de potencia son significativamente menores que 10 mW/cm$^2$* (ver clasificación de zonas de irradiación).

Ejemplo: cualquiera de los radares citados en el apéndice III como emisores de densidades de potencia por debajo de 10mW/cm$^2$, considerándose óptimo 5 mW/cm$^2$.

II. *Haz emitido es inaccesible para el personal*.

Ejemplo: radar de seguimiento NIKE-AJAX (apéndices I, II y III). Con la antena baja en el ángulo mínimo de elevación, el eje de haz aproximadamente a 3,70 m sobre el nivel del suelo y con inclinación + 2,0º respecto a la horizontal. Para las características del terreno que aparecen en figura 10 (apéndice I), el haz no afectaría al personal, por lo que no existiría riesgo de salud y en consecuencia no se necesitaría acción protectora. Sin embargo, objetos elevados, como edificios, etcétera, colocados dentro de un radio de 55 m harían que el haz afecte al personal.

III. *Densidad de potencia rotante promedio*.

Ejemplo: radar de seguimiento NIKE-AJAX (figura 10, Apéndice I). Suponiendo que un vehículo esté colocado a 8 m de la antena y que el personal parado encima del vehículo esté expuesto al haz, la densidad de potencia estacionaria sería 38,4 mW/cm$^2$ (figura 28, apéndice II). Con la antena en rotación continua esta densidad de potencia estacionaria se reduce a una potencia rotante de vigilancia como sigue (ver "Radar de seguimiento Ajax", en apéndice I).

$$W = W_0 \cdot \frac{D}{2\pi \cdot R} = 38{,}4 \cdot \frac{15{,}8}{2\pi \cdot 25} \quad \frac{mW}{cm^2}$$

$$W = 3{,}86 \quad \frac{mW}{cm^2}$$

Como ese valor disminuye a menos del límite 5 mW/cm$^2$ (ANSI), no existe riesgo, siempre que la antena continúe rotando.

*b) Riesgo potencial*

Se permite exposición transitoria. Las densidades de potencia exceden 10 mW/cm$^2$, pero no 55 mW/cm$^2$ (10 mW/cm$^2$ < W < 55 mW/cm$^2$) y el haz llega al personal por muy breves períodos de tiempo.

Ejemplo: iluminador HAWK de baja potencia (figura 11 apéndice I). Con la antena baja en el ángulo mínimo de elevación, el eje del haz estará aproximadamente a 2,4 m sobre el nivel del suelo, con inclinación -2,26º respecto a la horizontal. Suponiendo que la altura en la cual el personal quedaría expuesto es 1,8 m y considerando las características del terreno cruzado por el haz 1, el eje del haz sería accesible aproximadamente entre 15 m y 32 m. El movimiento de personal en esta área debe ser controlado de acuerdo con sección 2.7 - a).

El haz 2, aunque inaccesible para el personal debido al terreno en pendiente, irradiará lugares elevados, como un camión. La ocupación de esta área debe ser controlada. Suponiendo que el camión está a 25 m de la antena, la densidad de potencia sobre el camión sería 15,4 mW/cm$^2$ (figura 32, apéndice II). En la figura 1 (sección 1) el tiempo permisible de exposición que corresponde a la densidad de potencia 15,4 mW/cm$^2$, es 25 minutos. Por consecuencia, el personal puede permanecer encima del camión cualquier lapso hasta 25 minutos. De alcanzarse este límite de exposición, será necesario esperar 35 minutos antes de que se permita una segunda exposición. No es necesario restringir el movimiento de personal en el nivel del suelo.

*c) Riesgo*

Exposición prohibida. Las densidades de potencia exceden 55 mW/cm$^2$ y el haz es accesible. Ejemplo: iluminador HAWK de alta potencia (figura 12, apéndice I). Con la antena baja, en el mínimo ángulo de elevación, el eje del haz estará aproximadamente 3 m sobre el suelo y -11,50º de inclinación respecto a la horizontal. Para las características del terreno según la figura 12, el haz sería accesible (menos de 1, 8 m sobre el nivel del suelo) aproximadamente a 4,2 m de

la superficie de la antena. Por lo tanto existiría un área de ocupación prohibida entre 4,2 m y 35 m. Se prohibirá el movimiento de personal en esta área y será necesario actuar para asegurar que el personal no quede expuesto inadvertidamente. Un área de ocupación transitoria existiría en el nivel del suelo entre 35 m y 156 m desde la antena. El movimiento de personal en esta área debe ser controlado de acuerdo con la sección 2-7-a.

**2.10. Producción de rayos x por equipo generador de microondas**

a) La tensión elevada necesaria para operar los tubos electrónicos usados para generar energía de microondas, produce radiación (ionizante) de rayos X. La energía de microondas no es capaz de causar ionización atómica (se ha demostrado que con densidades de potencia muy grandes se produce Ionización);

b) La producción de rayos X en sistemas de transmisión de microondas ocurre porque ciertos tubos electrónicos, tales como klystron, magnetrón, tyratrones TWT (de onda progresiva) y de alto potencial, poseen las condiciones físicas básicas que les permiten actuar como generadores de rayos X. Los fabricantes de tubos electrónicos para la generación de microondas incorporan generalmente suficiente blindaje en el diseño de su equipo, como para dar suficiente protección al personal. Los estudios del Ejército, la Armada y la Fuerza Aérea y de otras organizaciones de investigación, han establecido que mientras el blindaje protector del fabricante se mantenga intacto, no existe riesgo potencial para la salud del personal, que pueda atribuirse a rayos X producidos por los sistemas de microondas. Durante el mantenimiento de rutina o los procedimientos normales de operación debe preservarse la integridad del blindaje del tubo o generador para evitar exposición del personal. La introducción de interruptores en los componentes del sistema es de considerable valor para cumplir este propósito;

c) Las operaciones de mantenimiento mayor, que imponen quitar el blindaje de fábrica, deben ser realizadas sólo por expertos, alerta a los riesgos en juego. Este tipo de mantenimiento implica usualmente desarmar los elementos generadores de microondas y no entran en el criterio de mantenimiento rutinario.

*Nota:* Los datos de densidad de potencia en este manual serán usados por el Ejército, la Armada y la Fuerza Aérea, solamente para la evaluación de riesgos del personal, y no serán aplicados en análisis de riesgo para combustibles.

## APENDICE 1

### I.1. Definición de distancia de seguridad

Se establecen las distancias para dos niveles límites de densidad de potencia en el eje principal del haz de irradiación cuando el sistema (transmisor - línea de transmisión - antena) funciona con emisión de potencia máxima:

<10 mW/cm$^2$: La mínima distancia a la que se puede permanecer, durante 6 minutos, sin riesgo de daño biológico.

< 55 mW/cm$^2$: La mínima distancia a la que se puede permanecer, durante 2 minutos 24 segundos, sin riesgo de daño biológico.

Se deben confeccionar tablas, indicando los valores de las distancias de seguridad correspondientes a los equipos en operación, teniendo en cuenta los niveles mencionados de densidad de potencia, para campos estacionarios y no - estacionarios (radiación CW o PW).

### I.2. Determinación de la intensidad de campo o niveles de densidad de potencia

Las numerosas mediciones de densidad de potencia realizadas en EE.UU. por la marina, ejército y aeronáutica, en 10-15 años de evaluación de riesgos del personal cumpliendo tareas en los sistemas de radares y radiocomunicaciones, han mostrado que las densidades de potencia medidas no concuerdan con las calculadas teóricamente. Estas mediciones incluyeron todas las zonas, buque o instalación en tierra a los que el personal tuvo acceso.

Para conocer la densidad de potencia en un punto se pueden utilizar dos métodos:

a) Calcularla teóricamente, o

b) Realizar mediciones con un monitor.

Se concluyó que este último método era el más adecuado dado que, debido a las complicadas estructuras en las cercanías de los transmisores de potencia elevada, se producen complejas reflexiones que combinadas con las radiaciones provenientes de distintos emisores de RF, dificultan el cálculo teórico.

Se ha desarrollado instrumental para efectuar mediciones de la intensidad de campo eléctrico y de densidad de potencia, ambos en función de la frecuencia.

Para la banda de radiocomunicaciones (hasta 200 MHz) se emplean medidores de intensidad de campo E, cuyo sensor funciona empleando un diodo (Schottky Barrier Diodes) convencional, cuya señal es amplificada (amplificador de C.C.); rango de frecuencia: 0.5 MHz hasta 1 GHz, |E| desde 1 V/m a 3.000 V/m.

Otros sensores que determinan la intensidad del campo E y H asociados a un micro-procesador se emplean en rango de frecuencia: 0.5 MHz hasta 1 GHz (1 V/m hasta 3.000 V/m). Estos instrumentos son fabricados por HOLADAY, NARDA, etc.

El medidor de potencia modelo 431 B, asociado con atenuadores, antenas, etc., cubre el rango de 10 MHz a 40 GHz. Se puede emplear conjuntamente instrumental que cubre esa banda de comunicaciones (10 MHz – 200 MHz) y la banda de radar (200 MHz – 20 GHz) cuyos sensores determinan densidad de potencia (S en mW/cm$^2$) y se basan en la variación de corriente en elementos perpendiculares entre sí cuya respuesta es proporcional a $E^2$ tangencial a los elementos.

La sumatoria de las señales de C.C. de los tres elementos ortogonales sensores, provee una medida de la energía total o densidad de potencia, independiente de la dirección o polarización de las señales RF. Los detectores para la generación de la señal de C.C. son termocuplas que proveen salidas cuadráticas. Estos sensores poseen características de banda

ancha, e isotrópicas, desde 10 MHz a 300 MHz y 10 MHz a 26 GHz y densidades de potencia entre 0,02 mW/cm$^2$ y 100 mW/cm$^2$.

Existen otros monitores que cubren el rango de densidad de potencia desde 60 mW/cm$^2$ hasta 300 mW/cm$^2$.

Monitores de pérdidas electromagnéticas desde 0,2 mW/cm$^2$ a 100 mW/cm$^2$ a frecuencias definidas son disponibles (NARDA, EIT, HOLADAY, I.F.I., RAMCOR, AN/USM-82 medidor de densidad de potencia, monitor de radiación Sperry, etc.).

Cuando se realizan mediciones de intensidad de campo o densidad de potencia, como una consecuencia de las "imágenes de interferencia", generadas por reflexiones, se provocan incrementos locales de densidad de potencia. Dichos incrementos pueden alcanzar hasta 6 db para aquellas antenas muy direccionales o frecuencia muy elevada, o 3 db para las frecuencias más bajas. Debido a esta situación se tiene que aplicar en todos los casos un factor de seguridad de 2 (3 db) a 4 (6 db).

### I.3. Determinación de los niveles de densidad de potencia en el ámbito de frecuencias entre 200 MHz y 30 GHz

Cuando una antena emite energía electromagnética la densidad de potencia varía con la distancia. Relativamente cerca de la antena (región del campo cercano o región de Fresnel), la densidad de potencia (S) permanece aproximadamente constante con la distancia y está colimada en un haz de casi la misma sección transversal que la de la apertura de la antena o reflector. Más allá de esta zona el haz comienza a diverger hasta que a una distancia considerable la densidad de potencia disminuye de acuerdo a la ley de la inversa del cuadrado de la distancia $\left(\frac{1}{R^2}\right)$. Esta última región se define como la región de campo lejano (o región de Fraunhöfer). De hecho no existe una superficie perfectamente delimitada a partir de la cual tenga lugar esta transición; por lo general es una región de transición llamada "zona de Crossover" o zona intermedia.

La intensidad del campo irradiado por una antena, en un punto del espacio, depende del diseño de la antena y la distancia respecto a la misma.

Tres (3) regiones pueden distinguirse:

$$A.\ para\ R < \frac{D^2}{4\lambda}$$

Dentro de esta región, el campo está esencialmente "concentrado" dentro de un haz de la misma sección transversal que el área proyectada de la apertura de la antena. La densidad de potencia dentro del haz es máxima en el eje y disminuye a valores bajos en los bordes del haz.

Queda así definido el límite superior de la región de Fresnel o del campo cercano

$$R_1 = \frac{D^2}{4\lambda}$$

siendo:

D: diámetro de la apertura de la antena
$\lambda$: longitud de onda

Se la caracteriza a esta región por la complejidad de interferencias. El valor de la densidad de potencia media en este haz, en la práctica, puede variar entre

$$S = \frac{16 \cdot P}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot P}{A} \qquad \text{y,} \qquad (1)$$

$$S = \frac{3 \cdot P}{A}$$

Según características de las antenas, etc., siendo:

P: potencia irradiada
A: área efectiva de la antena

Conociendo la ganancia G de la antena relativa a un irradiador isotrópico

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2}$$

Se puede también expresar la densidad de potencia S, a la distancia r, como

$$S = \frac{3 \cdot P}{\left(\frac{G\lambda^2}{4\pi}\right)} = \frac{12\pi P}{G\lambda^2}$$

o bien:

$$S = \frac{4 \cdot P}{\left(\frac{G\lambda^2}{4\pi}\right)} = \frac{16\pi P}{G\lambda^2} \qquad (2)$$

$$B: para \ \frac{D^2}{4\lambda} < R < \frac{D^2}{\lambda}$$

Esta es la región de Crossover (región intermedia o cuasi Fresnel) y queda comprendida entre $R_1$ y la distancia $R_2$, siendo:

$$R_2 = \frac{D^2}{\lambda}$$

En esta región cuasi Fresnel, S es inversamente proporcional a la distancia R desde la antena. Podríamos prescindir de este campo intermedio

$$C. \ Para \ \frac{D^2}{\lambda} < R < \frac{2D^2}{\lambda}$$

Se define la región de Fraunhöfer (campo lejano). La densidad de potencia en esta región es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde la antena.

Para sitios sobre el eje principal del haz de irradiación, S se calcula por la siguiente ecuación:

$$S = \frac{G \cdot P}{4\pi R^2} = \frac{A \cdot P}{\lambda^2 \cdot R^2}$$

Se adoptará como factor de seguridad, para asegurar la corrección debido a reflexiones, un valor comprendido entre 2 (3 db) y 4 (6 db).

**I.4. Determinación de los niveles de densidad de potencia e intensidad de campo eléctrico en el ámbito de frecuencias entre 3 y 30 MHz**

Las antenas, generalmente utilizadas son dipolares de media onda. (en caso que se utilicen otros tipos de antena, adicionalmente, los cálculos y mediciones se realizarán según especificaciones).

Cuando se realizan mediciones en la región del campo cercano ($R_1 = \frac{\lambda}{2}$), la medición o cálculo de la densidad de potencia es complejo. Por lo tanto se efectúan esas mediciones en la región de campo lejano $R_1 < \frac{2D^2}{\lambda}$. A partir de esa distancia de la antena se determina:

$$S = \frac{P}{7{,}7 \cdot R^2}\left(\frac{W}{m^2}\right)$$ y,

intensidad del campo,

$$E = \frac{7\sqrt{P}}{R}$$

donde:

P= potencia (W)

La corrección por reflexiones se obtiene aplicando un coeficiente de 2 (3db).
A continuación se anexa un gráfico de distribución del espectro electromagnético.

EM frequencies emitted by VDTs (a) and covered in survey (b) compared with EM spectrum (c).

FIGURA 1

FIGURA 2

FIGURA 3

FIGURA 4

FIGURA 5

FIGURA 6

FIGURA 7

FIGURA 8

FIGURA 9

Condiciones de seguridad.

Ejemplo: Nike-Ajax acquisition radar

VISTA DE PLANTA

VISTA EN ELEVACION

* No se observa personal expuesto, ni sitios elevados irradiados por la antena.

FIGURA 10

Condiciones de exposición potencialmente riesgosas
Ejemplo: Hawk low power illuminator

VISTA DE PLANTA

VISTA EN ELEVACION: HAZ 1

Haz radiado accesible al personal a un nivel del suelo de 50' (15.24 m) de la antena.

FIGURA 11

Condiciones de exposición potencialmente riesgosas
Ejemplo: Hawk low power illuminator

VISTA DE PLANTA

VISTA EN ELEVACION: HAZ 2

El haz radiado es accesible al personal ubicado en sitios elevados como por ejemplo, la parte superior del vehículo.
* Haz radiado inaccesible al personal que se encuentra al nivel del suelo.

FIGURA 11 (Cont.)

Condiciones de sitios peligrosos.
Ejemplo: Hawk High Power Illuminator.

VISTA DE PLANTA

VISTA EN ELEVACION

* El haz radiado es inaccesible al personal al nivel del suelo, a una distancia de 4.26 m (14') de la antena.

FIGURA 12

## APENDICE II

**Decibeles vs. relación de potencia***:* La siguiente tabla B se usa para convertir valores de densidad de potencia dados en las figuras (agregadas como ejemplo para las fuerzas armadas) en decibeles (db), en mW/cm$^2$ (milivatios sobre centímetros cuadrados) El procedimiento es el siguiente:

1. La *densidad de potencia* a la distancia de interés en decibeles se lee en el eje de las ordenadas (lado izquierdo de la figura); se debe tener en cuenta el signo de este valor.
2. La relación de potencia equivalente se encuentra refiriéndose a la columna apropiada de la tabla, que se determina de acuerdo al signo del valor en decibeles.
3. La densidad de potencia en mW/cm$^2$ se logra multiplicando el valor de la línea de referencia de cero decibeles (a partir de la figura) por la relación de potencia determinada a partir de la tabla.

*Ejemplo 1*

Suponiendo una densidad de potencia de 150 mW/cm$^2$ en el rango de frecuencia entre 4,5 GHz y 6 GHz, en el exterior de un edificio con una ventana blindada, el nivel de densidad de potencia dentro del edificio, y cerca de la ventana se atenuará en 22 db (blindaje, ver en tabla A, apéndice II) más 3db (ventana) hacen un total de 25 db.

Se debe buscar en la columna "P ratio" el valor que corresponde a -25 db (tabla B, apéndice II) o sea 0,003. El siguiente paso es multiplicar este último valor por la densidad de potencia de referencia: 150 mW/cm$^2$. La densidad de potencia resultante en la cercanía de la ventana es 0,45 mW/cm$^2$. Siempre debe ser considerada la trayectoria de mínima atenuación. Si el edificio fuera de estructura de madera con revestimiento de pino de 3/4" (19,05 mm) y una capa de piedra de 3/8" (9,53 mm) en el interior de las paredes, la densidad de potencia se vería reducida en 2 db (3/4" espesor del pino) más 1 db (3/8" espesor de capa de piedra) o sea en 3 db. Refiriéndose al valor -3 db en la columna correspondiente de la tabla se observa que el factor por el que se debe multiplicar la potencia incidente es 0,5.

La densidad de potencia dentro del edificio excepto en frente de la ventana blindada es 75 mW/cm$^2$.

Otros materiales de edificios tales como 3/8" de espesor de piedra (9,53 mm); 1/2“ (12,7 mm) de celotex; 1/4" y 3/4" (6,35 mm y 19,06 mm respectivamente) de madera prensada, tienen todos factores de atenuación menores que 2 db a partir de 6 GHz a 10 GHz y no son considerados adecuados como blindaje.

*Ejemplo 2*

Para determinar la densidad de potencia existente a una distancia de 100 pies (30,48 m) de la antena (HAWK HI Power Illuminator, figura 31), obsérvese en el eje X, hasta encontrar el valor 100 pies y siguiendo la línea vertical hasta la intersección con el gráfico (línea gruesa) que muestra la densidad de potencia relativa. A partir de esta intersección, se lee en el eje Y de la figura el valor aproximadamente = -2 db por debajo de la línea 0 db de 200 mW/cm$^2$. Refiriéndose a la tabla B (apéndice II) (db vs. relación de potencia), -2 db corresponde a una relación de potencia de 0,63 . Multiplicando el valor de referencia de la figura: 200 mW/cm$^2$ (correspondiente a 0db) por 0,631 se obtiene el valor 126,2 mW/cm$^2$

## Tabla A
## Factores de atenuación (blindaje)

| Material | $1 \times 10^3 – 1.5 \times 10^3$ | Rango de frecuencia (Unidad: MHz) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $2.5\times10^3$-$3.5\times10^3$ | $4.5\times10^3$-$6\times10^3$ | $8\times10^3$-$12\times10^3$ |
| 60 x 60 Malla, de blindaje | 20 db | 25 db | 22 db | 20 db |
| 32 x 32 Malla, de blindaje, blindaje de ventanas | 18 db | 22 db | 22 db | 18 db |
| Malla 6.3mm (vestimenta, hardware) | 18 db | 15 db | 12 db | 10 db |
| Ventanal de vidrio | 2 db | 2 db | 3 db | 3,5 db |
| Recubrimiento de madera de pino, 23mm | 2 db | 2 db | 2db | 3,5 db |
| Bloques de concreto, de 20 mm de espesor | 20 db | 22 db | 26 db | 30 db |

## Tabla B
## Decibeles vs. Relación de potencia

| Power Ratio (minus) | - dbt + | Power Ratio (plus) | Power Ratio (minus) | - dbt + | Power Ratio (plus) | Power Ratio (minus) | - dbt + | Power Ratio (plus) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.000 | 0 | 1.000 | .199 | 7.0 | 5.012 | .016 | 18.0 | 63.10 |
| .977 | 0.1 | 1.023 | .178 | 7.5 | 5.623 | .014 | 18.5 | 10.79 |
| .955 | 0.2 | 1.047 | .159 | 8.0 | 6.310 | .013 | 19.0 | 79.43 |
| .933 | 0.3 | 1.072 | .141 | 8.5 | 7.079 | .011 | 19.5 | 89.13 |
| .912 | 0.4 | 1.096 | .126 | 9.0 | 7.943 | .010 | 20.0 | 100.0 |
| .891 | 0.5 | 1.122 | .112 | 9.5 | 8.913 | .008 | 21.0 | 125.9 |
| .871 | 0.6 | 1.148 | .100 | 10.0 | 10.0 | .006 | 22.0 | 158.5 |
| .851 | 0.7 | 1.175 | .089 | 10.5 | 11.22 | .005 | 23.0 | 199.5 |
| .832 | 0.8 | 1.202 | .079 | 11.0 | 12.59 | .004 | 24.0 | 251.5 |
| .813 | 0.9 | 1.230 | .071 | 11.5 | 14.13 | .003 | 25.0 | 316.2 |
| .794 | 1.0 | 1.259 | .063 | 12.0 | 15.85 | .0025 | 26.0 | 398.1 |
| .708 | 1.5 | 1.413 | .056 | 12.5 | 17.78 | .0020 | 27.0 | 501.2 |
| .631 | 2.0 | 1.585 | .050 | 13.0 | 19.95 | .0016 | 28.0 | 631.0 |
| .562 | 2.5 | 1.778 | .045 | 13.5 | 22.39 | .0012 | 29.0 | 794.3 |
| .501 | 3.0 | 1.995 | .040 | 14.0 | 25.12 | .0010 | 30.0 | 1.000.0 |
| .447 | 3.5 | 2.239 | .035 | 14.5 | 28.18 | $1 \times10^{-4}$ | 40.0 | $1 \times10^{4}$ |
| .398 | 4.0 | 2.512 | .032 | 15.0 | 31.62 | $1 \times10^{-5}$ | 50.0 | $1 \times10^{5}$ |
| .355 | 4.5 | 2.818 | .028 | 15.5 | 35.48 | $1 \times10^{-6}$ | 60.0 | $1 \times10^{6}$ |
| .316 | 5.0 | 3.162 | .025 | 16.0 | 39.81 | $1 \times10^{-7}$ | 70.0 | $1 \times10^{7}$ |
| .282 | 5.5 | 3.548 | .022 | 16.5 | 44.67 | $1 \times10^{-8}$ | 80.0 | $1 \times10^{8}$ |
| .251 | 6.0 | 3.981 | .020 | 17.0 | 50.12 | $1 \times10^{-9}$ | 90.0 | $1 \times10^{9}$ |
| .224 | 6.5 | 4.467 | .018 | 17.5 | 56.23 | $1\times10^{-10}$ | 100.0 | $1 \times10^{10}$ |

## Tabla C
## Decibels vs. Power ratio

| Power Ratio (minus) | - dbt + | Power Ratio (plus) | Power Ratio (minus) | - dbt + | Power Ratio (plus) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.000 | 0.00 | 1.000 | 0.896 | 0.47 | 1.115 |
| 0.995 | 0.02 | 1.005 | 0.892 | 0.49 | 1.120 |
| 0.990 | 0.04 | 1.010 | 0.888 | 0.51 | 1.125 |
| 0.985 | 0.06 | 1.015 | 0.884 | 0.53 | 1.130 |
| 0.980 | 0.08 | 1.020 | 0.881 | 0.54 | 1.135 |
| 0.975 | 0.10 | 1.025 | 0.877 | 0.56 | 1.140 |
| 0.970 | 0.12 | 1.030 | 0.873 | 0.58 | 1.145 |
| 0.966 | 0.14 | 1.035 | 0.869 | 0.60 | 1.150 |
| 0.961 | 0.17 | 1.040 | 0.865 | 0.62 | 1.155 |
| 0.956 | 0.19 | 1.045 | 0.862 | 0.64 | 1.160 |
| 0.952 | 0.21 | 1.050 | 0.858 | 0.66 | 1.165 |
| 0.947 | 0.23 | 1.055 | 0.854 | 0.68 | 1.170 |
| 0.943 | 0.25 | 1.060 | 0.851 | 0.70 | 1.175 |
| 0.938 | 0.27 | 1.065 | 0.847 | 0.71 | 1.180 |

| Power Ratio (minus) | - dbt + | Power Ratio (plus) | Power Ratio (minus) | - dbt + | Power Ratio (plus) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.934 | 0.29 | 1.070 | 0.843 | 0.73 | 1.185 |
| 0.930 | 0.31 | 1.075 | 0.840 | 0.75 | 1.190 |
| 0.925 | 0.33 | 1.080 | 0.836 | 0.77 | 1.195 |
| 0.921 | 0.35 | 1.085 | 0.833 | 0.79 | 1.200 |
| 0.917 | 0.37 | 1.090 | 0.829 | 0.80 | 1.205 |
| 0.913 | 0.39 | 1.095 | 0.826 | 0.82 | 1.210 |
| 0.909 | 0.41 | 1.100 | 0.823 | 0.84 | 1.215 |
| 0.904 | 0.43 | 1.105 | 0.819 | 0.86 | 1.220 |
| 0.900 | 0.45 | 1.110 | 0.816 | 0.88 | 1.225 |
| 0.813 | 0.89 | 1.230 | 0.743 | 1.28 | 1.345 |
| 0.809 | 0.91 | 1.235 | 0.740 | 1.30 | 1.350 |
| 0.806 | 0.93 | 1.240 | 0.738 | 1.31 | 1.355 |
| 0.803 | 0.95 | 1.245 | 0.735 | 1.33 | 1.360 |
| 0.800 | 0.96 | 1.250 | 0.732 | 1.35 | 1.365 |
| 0.796 | 0.98 | 1.255 | 0.729 | 1.36 | 1.370 |
| 0.793 | 1.00 | 1.260 | 0.727 | 1.38 | 1.375 |
| 0.790 | 1.02 | 1.265 | 0.724 | 1.39 | 1.380 |
| 0.787 | 1.03 | 1.270 | 0.722 | 1.41 | 1.385 |
| 0.784 | 1.05 | 1.275 | 0.719 | 1.43 | 1.390 |
| 0.781 | 1.07 | 1.280 | 0.716 | 1.44 | 1.395 |
| 0.778 | 1.08 | 1.285 | 0.714 | 1.46 | 1.400 |
| 0.775 | 1.10 | 1.290 | 0.711 | 1.47 | 1.405 |
| 0.772 | 1.12 | 1.295 | 0.709 | 1.49 | 1.410 |
| 0.769 | 1.13 | 1.300 | 0.706 | 1.50 | 1.415 |
| 0.766 | 1.15 | 1.305 | 0.704 | 1.52 | 1.420 |
| 0.763 | 1.17 | 1.310 | 0.701 | 1.53 | 1.425 |
| 0.760 | 1.18 | 1.315 | 0.699 | 1.55 | 1.430 |
| 0.757 | 1.20 | 1.320 | 0.696 | 1.56 | 1.435 |
| 0.754 | 1.22 | 1.325 | 0.694 | 1.58 | 1.440 |
| 0.751 | 1.23 | 1.330 | 0.692 | 1.59 | 1.445 |
| 0.749 | 1.25 | 1.335 | 0.689 | 1.61 | 1.450 |
| 0.746 | 1.27 | 1.340 | 0.687 | 1.62 | 1.455 |
| 0.684 | 1.64 | 1.460 | 0.453 | 3.43 | 2.205 |
| 0.682 | 1.65 | 1.465 | 0.443 | 3.53 | 2.255 |
| 0.680 | 1.67 | 1.470 | 0.433 | 3.62 | 2.305 |
| 0.677 | 1.68 | 1.475 | 0.424 | 3.71 | 2.355 |
| 0.675 | 1.70 | 1.480 | 0.415 | 3.81 | 2.405 |
| 0.673 | 1.71 | 1.485 | 0.407 | 3.90 | 2.455 |
| 0.671 | 1.73 | 1.490 | 0.399 | 3.98 | 2.505 |
| 0.668 | 1.74 | 1.495 | 0.391 | 4.07 | 2.555 |
| 0.666 | 1.76 | 1.500 | 0.383 | 4.15 | 2.605 |
| 0.664 | 1.77 | 1.505 | 0.376 | 4.24 | 2.655 |
| 0.643 | 1.91 | 1.555 | 0.369 | 4.32 | 2.705 |
| 0.623 | 2.05 | 1.605 | 0.362 | 4.40 | 2.755 |
| 0.604 | 2.18 | 1.655 | 0.356 | 4.47 | 2.805 |
| 0.586 | 2.31 | 1.705 | 0.350 | 4.55 | 2.855 |
| 0.569 | 2.44 | 1.755 | 0.344 | 4.63 | 2.905 |
| 0.554 | 2.56 | 1.805 | 0.338 | 4.70 | 2.955 |
| 0.539 | 2.68 | 1.855 | 0.332 | 4.77 | 3.005 |
| 0.524 | 2.79 | 1.905 | 0.327 | 4.85 | 3.055 |
| 0.511 | 2.91 | 1.955 | 0.322 | 4.92 | 3.105 |
| 0.498 | 3.02 | 2.005 | 0.316 | 4.98 | 3.155 |
| 0.486 | 3.12 | 2.055 | 0.312 | 5.05 | 3.205 |
| 0.475 | 3.23 | 2.105 | 0.307 | 5.12 | 3.255 |
| 0.464 | 3.33 | 2.155 | 0.302 | 5.19 | 3.305 |
| 0.298 | 5.25 | 3.355 | 0.156 | 8.06 | 6.400 |
| 0.293 | 5.32 | 3.405 | 0.153 | 8.12 | 6.500 |
| 0.289 | 5.38 | 3.455 | 0.151 | 8.19 | 6.600 |
| 0.285 | 5.44 | 3.505 | 0.149 | 8.26 | 6.700 |
| 0.281 | 5.50 | 3.555 | 0.147 | 8.32 | 6.800 |
| 0.277 | 5.56 | 3.605 | 0.144 | 8.38 | 6.900 |
| 0.273 | 5.62 | 3.655 | 0.142 | 8.45 | 7.000 |
| 0.269 | 5.68 | 3.705 | 0.140 | 8.51 | 7.100 |
| 0.266 | 5.74 | 3.755 | 0.138 | 8.57 | 7.200 |
| 0.262 | 5.80 | 3.805 | 0.136 | 8.63 | 7.300 |
| 0.196 | 7.07 | 5.100 | 0.135 | 8.69 | 7.400 |

| Power Ratio (minus) | - dbt + | Power Ratio (plus) | Power Ratio (minus) | - dbt + | Power Ratio (plus) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.192 | 7.16 | 5.200 | 0.133 | 8.75 | 7.500 |
| 0.188 | 7.24 | 5.300 | 0.131 | 8.80 | 7.600 |
| 0.185 | 7.32 | 5.400 | 0.129 | 8.86 | 7.700 |
| 0.181 | 7.40 | 5.500 | 0.128 | 8.92 | 7.800 |
| 0.178 | 7.48 | 5.600 | 0.126 | 8.97 | 7.900 |
| 0.175 | 7.55 | 5.700 | 0.125 | 9.03 | 8.000 |
| 0.172 | 7.63 | 5.800 | 0.123 | 9.08 | 8.100 |
| 0.169 | 7.70 | 5.900 | 0.121 | 9.13 | 8.200 |
| 0.166 | 7.78 | 6.000 | 0.120 | 9.19 | 8.300 |
| 0.163 | 7.85 | 6.100 | 0.119 | 9.24 | 8.400 |
| 0.161 | 7.92 | 6.200 | 0.117 | 9.29 | 8.500 |
| 0.158 | 7.99 | 6.300 | 0.116 | 9.34 | 8.600 |
| 0.114 | 9.39 | 8.700 | 0.030 | 15.18 | 33.000 |
| 0.113 | 9.44 | 8.800 | 0.029 | 15.31 | 34.000 |
| 0.112 | 9.49 | 8.900 | 0.028 | 15.44 | 35.000 |
| 0.111 | 9.54 | 9.000 | 0.027 | 15.56 | 36.000 |
| 0.109 | 9.59 | 9.100 | 0.027 | 15.68 | 37.000 |
| 0.108 | 9.63 | 9.200 | 0.026 | 15.79 | 38.000 |
| 0.107 | 9.68 | 9.300 | 0.025 | 15.91 | 39.000 |
| 0.106 | 9.73 | 9.400 | 0.025 | 16.02 | 40.000 |
| 0.105 | 9.77 | 9.500 | 0.024 | 16.12 | 41.000 |
| 0.104 | 9.82 | 9.600 | 0.023 | 16.23 | 42.000 |
| 0.103 | 9.86 | 9.700 | 0.023 | 16.33 | 43.000 |
| 0.047 | 13.22 | 21.000 | 0.022 | 16.43 | 44.000 |
| 0.045 | 13.42 | 22.000 | 0.022 | 16.53 | 45.000 |
| 0.043 | 13.61 | 23.000 | 0.021 | 16.62 | 46.000 |
| 0.041 | 13.80 | 24.000 | 0.021 | 16.72 | 47.000 |
| 0.040 | 13.97 | 25.000 | 0.020 | 16.81 | 48.000 |
| 0.038 | 14.14 | 26.000 | 0.020 | 16.90 | 49.000 |
| 0.037 | 14.31 | 27.000 | 0.020 | 16.98 | 50.000 |
| 0.035 | 14.47 | 28.000 | 0.019 | 17.07 | 51.000 |
| 0.034 | 14.62 | 29.000 | 0.019 | 17.16 | 52.000 |
| 0.033 | 14.77 | 30.000 | 0.018 | 17.24 | 53.000 |
| 0.032 | 14.91 | 31.000 | 0.018 | 17.32 | 54.000 |
| 0.031 | 15.05 | 32.000 | 0.018 | 17.40 | 55.000 |
| 0.017 | 17.48 | 56.000 | 0.008 | 20.79 | 120.000 |
| 0.017 | 71.55 | 57.000 | 0.007 | 21.13 | 130.000 |
| 0.017 | 17.63 | 58.000 | 0.007 | 21.46 | 140.000 |
| 0.016 | 17.70 | 59.000 | 0.006 | 21.76 | 150.000 |
| 0.016 | 17.78 | 60.000 | 0.006 | 22.04 | 160.000 |
| 0.016 | 17.85 | 61.000 | 0.005 | 22.30 | 170.000 |
| 0.016 | 17.92 | 62.000 | 0.005 | 22.55 | 180.000 |
| 0.015 | 17.99 | 63.000 | 0.005 | 22.78 | 190.000 |
| 0.015 | 18.06 | 64.000 | 0.005 | 23.01 | 200.000 |
| 0.015 | 18.12 | 65.000 | 0.004 | 23.22 | 210.000 |
| 0.015 | 18.19 | 66.000 | 0.004 | 23.42 | 220.000 |
| 0.014 | 18.26 | 67.000 | 0.004 | 23.61 | 230.000 |
| 0.014 | 18.32 | 68.000 | 0.004 | 23.80 | 240.000 |
| 0.014 | 18.38 | 69.000 | 0.004 | 23.97 | 250.000 |
| 0.014 | 18.45 | 70.000 | 0.003 | 24.14 | 260.000 |
| 0.014 | 18.51 | 71.000 | 0.003 | 24.31 | 270.000 |
| 0.013 | 18.57 | 72.000 | 0.003 | 24.47 | 280.000 |
| 0.013 | 18.63 | 73.000 | 0.003 | 24.62 | 290.000 |
| 0.013 | 18.69 | 74.000 | 0.003 | 24.77 | 300.000 |
| 0.013 | 18.75 | 75.000 | 0.003 | 24.91 | 310.000 |
| 0.013 | 18.80 | 76.000 | 0.003 | 25.05 | 320.000 |
| 0.012 | 18.86 | 77.000 | 0.003 | 25.18 | 330.000 |
| 0.009 | 20.41 | 110.000 | 0.002 | 25.31 | 340.000 |
| 0.002 | 25.44 | 350.000 | 0.001 | 27.63 | 580.000 |
| 0.002 | 25.56 | 360.000 | 0.001 | 27.70 | 590.000 |
| 0.002 | 25.68 | 370.000 | 0.001 | 27.78 | 600.000 |
| 0.002 | 25.79 | 380.000 | 0.001 | 27.85 | 610.000 |
| 0.002 | 25.91 | 390.000 | 0.001 | 27.92 | 620.000 |
| 0.002 | 26.02 | 400.000 | 0.001 | 27.99 | 630.000 |
| 0.002 | 26.12 | 410.000 | 0.001 | 28.06 | 640.000 |
| 0.002 | 26.23 | 420.000 | 0.001 | 28.12 | 650.000 |

| Power Ratio (minus) | - dbt + | Power Ratio (plus) | Power Ratio (minus) | - dbt + | Power Ratio (plus) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.002 | 26.33 | 430.000 | 0.001 | 28.19 | 660.000 |
| 0.002 | 26.43 | 440.000 | 0.001 | 28.26 | 670.000 |
| 0.002 | 26.53 | 450.000 | 0.001 | 28.32 | 680.000 |
| 0.002 | 26.62 | 460.000 | 0.001 | 28.38 | 690.000 |
| 0.002 | 26.72 | 470.000 | 0.001 | 28.45 | 700.000 |
| 0.002 | 26.81 | 480.000 | 0.001 | 28.51 | 710.000 |
| 0.002 | 26.90 | 490.000 | 0.001 | 28.57 | 720.000 |
| 0.002 | 26.98 | 500.000 | 0.001 | 28.63 | 730.000 |
| 0.001 | 27.07 | 510.000 | 0.001 | 28.69 | 740.000 |
| 0.001 | 27.16 | 520.000 | 0.001 | 28.75 | 750.000 |
| 0.001 | 27.24 | 530.000 | 0.001 | 28.80 | 760.000 |
| 0.001 | 27.32 | 540.000 | 0.001 | 28.86 | 770.000 |
| 0.001 | 27.40 | 550.000 | 0.001 | 28.92 | 780.000 |
| 0.001 | 27.48 | 560.000 | 0.001 | 28.97 | 790.000 |
| 0.001 | 27.55 | 570.000 | 0.001 | 29.03 | 800.000 |
| 0.001 | 29.08 | 810.000 | 0.001 | 29.59 | 910.000 |
| 0.001 | 29.13 | 820.000 | 0.001 | 29.63 | 920.000 |
| 0.001 | 29.19 | 830.000 | 0.001 | 29.68 | 930.000 |
| 0.001 | 29.24 | 840.000 | 0.001 | 29.73 | 940.000 |
| 0.001 | 29.29 | 850.000 | 0.001 | 29.77 | 950.000 |
| 0.001 | 29.34 | 860.000 | 0.001 | 29.82 | 960.000 |
| 0.001 | 29.39 | 870.000 | 0.001 | 29.86 | 970.000 |
| 0.001 | 29.44 | 880.000 | 0.001 | 29.91 | 980.000 |
| 0.001 | 29.49 | 890.000 | 0.001 | 29.95 | 990.000 |
| 0.001 | 29.54 | 900.000 | 0.001 | 29.99 | 1.000.000 |

AN/CPN 18
AN/CPN-18 A
+ 20
+ 10
0
10
− 20
− 30
Densidad de potencia (en decibeles)
13.38 mW/cm²
10.0 mW/cm²
5 mW/cm²
94.55 m
310'
55.5 m
182'
Línea de referencia 0 decibel (6.64 mW/cm²)
Distancia de la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA 13

AN/CPS-9
+ 20
+ 10
0
− 10
− 20
− 30
Densidad de potencia (en decibeles)
17.32 mW/cm²
10.0 mW/cm²
5 mW/cm²
Línea de referencia 0 decibel (4.33 mW/cm²)
75,64 m
248′
54.9 m
180′
Distancia de la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA 14

AN/FPN-40 (Azimuth Antenna)
+ 20
+ 10
0
− 10
− 20
− 30
Densidad de potencia (en decibeles)
12.8 mW/cm²
10.0 mW/cm²
5 mW/cm²
51,24 m
168
28.0 m
92'
Línea de referencia 0 decibel (6.4 mW/cm²)
Distancia de la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA 15

AN/FPN-40 (Elevation Antenna)
Densidad de potencia (en decibeles)
+ 20
+ 10
0
− 10
− 20
− 30
13.9 mW/cm²
10.0 mW/cm²
5 mW/cm²
36,60 m
120'
24,4 m
80'
Línea de referencia 0 decibel (6.9 mW/cm²)
Distancia de la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA 16

AN/FPS-4
AN/MPS-8
AN/TPS-100
+20
+10
0
-10
-20
-30
Densidad de potencia (en decibeles)
14.6 mW/cm²
10,0 mW/cm²
5 mW/cm²
Línea de referencia 0 decibel (7.3 mW/cm²)
57.3 m
188'
82,35 m
270'
Distancia de la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA 17

AN/FPS-6
AN/FPS-6A
AN/MPS-14
+ 20
+ 10
0
− 10
− 20
− 30
Densidad de potencia (en decibeles)
31.0 mW/cm²
10.0 mW/cm²
5 mW/cm²
115.8 m
380'
158,60 m
520'
Línea de referencia 0 decibel (15.5 mW/cm²)
Distancia desde la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA 18

AN/FPS - 16
(1 megawatt)
+ 20
+ 10
0
- 10
- 20
- 30
Densidad de potencia (en decibeles)
36.2 mW/cm²
10.0 mW/cm²
5 mW/cm²
Línea de referencia 0 decibel (9.05 mW/cm²)
121.9 m
400'
175.37 m
575'
Distancia de la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA 19

AN/FPS-16
(3 megawatt)
+ 20
+ 10
0
−10
− 20
− 30
Densidad de potencia (en decibeles)
65,2 mW/cm²
10,0 mW/cm²
5 mW/cm²
Línea de referencia 0 decibel (16,3 mW/cm²)
237,90 m
780'
161,5 m
530'
Distancia de la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA 20

AN/FPS-18
+ 20
+ 10
0
− 10
− 20
− 30
Densidad de potencia (en decibeles)
12,1 mW/cm²
10,0 mW/cm²
5 mW/cm²
225,70 m
740'
1,25 m
410'
Línea de referencia 0 decibel
(6,05 mW/cm²)
Distancia de la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA- 21

AN/FPS-71
+ 20
+ 10
0
- 10
- 20
- 30
Densidad de potencia (en decibeles)
18,26 mW/cm²
10,0 mW/cm²
5 mW/cm²
Línea de referencia 0 decibel (9,13 mW/cm²)
85,3 m
280'
128,10 m
420'
Distancia de la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA 22

AN/MPQ-10
AN/MPQ-10A
+20
+10
0
−10
−20
Densidad de potencia (en decibeles)
26,3 mW/cm²
10,0 mW/cm²
5 mW/cm²
Línea de referencia 0 decibel (6,58 mW/cm²)
11,3 m
37'
15,25 m
50'
Distancia de la antena (en pies)
1
10
100
1.000

FIGURA 23

AN/MPQ-12
+ 20
+ 10
0
− 10
− 20
Densidad de potencia (en decibeles)
46,8 mW/cm²
10,0 mW/cm²
5 mW/cm²
Línea de referencia 0 decibel (11,7 mW/cm²)
17,2 m
56,5'
24,40 m
80'
Distancia de la antena (en pies)
1
10
100
1.000

FIGURA 24

AN/MPQ-29
+20
+10
0
−10
−20
−30
Densidad de potencia (en decibeles)
14,9 mW/cm²
10,0 mW/cm²
5 mW/cm²
Línea de referencia 0 decibel (3,96 mW/cm²)
6,6 m
21,5'
8,84 m
29'
Distancia de la antena (en pies)
1
10
100
1.000

FIGURA 25

AN/TPS-1G
AN/TPS-1D
+20
+10
0
−10
−20
−30
Densidad de potencia (en decibeles)
15,0 mW/cm²
10,0 mW/cm²
5 mW/cm²
Línea de referencia 0 decibel (7,5 mW/cm²)
10,1 m
33°
15,25 m
50°
Distancia de la antena (en pies)
1
10
100
1.000

FIGURA 26

AN/TPS-25
+30
+20
+10
0
-10
-20
-30
Densidad de potencia (en decibeles)
15,1 mW/cm²
10,0 mW/cm²
5 mW/cm²
Línea de referencia 0 decibel (7,56 mW/cm²)
12,2 m
40'
19,52 m
64'
Distancia de la antena (en pies)
1
10
100
1.000

FIGURA 27

AJAX ACQUISITION RADAR
+ 20
+ 10
0
− 10
− 20
− 30
Densidad de potencia (en decibeles)
38,4 mW/cm²
10,0 mW/cm²
5 mW/cm²
76,3 m
250'
53,6 m
176'
Línea de referencia 0 decibel (19.2 mW/cm²)
Distancia de la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA 28

AJAX Missile Tracking Radar
+20
+10
0
−10
−20
−30
Densidad de potencia (en decibeles)
17,7 mW/cm²
10,0 mW/cm²
5 mW/cm²
Línea de referencia 0 decibel (4,4 mW/cm²)
29,5 m
97'
42,70 m
140'
Distancia de la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA 29

HAWK Continuous Wave Acquisition Radar
+ 20
+ 10
0
− 10
− 20
− 30
Densidad de potencia (en decibeles)
32,2 mW/cm²
10,0 mW/cm²
5 mW/cm²
Línea de referencia 0 decibel (16,1 mW/cm²)
20,4 m
27,75 m
91'
Distancia de la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA 30

HAWK High Power Illumination
+20
+10
0
−10
−20
−30
Densidad de potencia (en decibeles)
800,0 mW/cm²
Línea de referencia 0 decibel (200,0 mW/cm²)
10,0 mW/cm²
5 mW/cm²
155,55 m
510'
108,5 m
356'
Distancia de la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA 31

HAWK Low Power Illuminator
+20
+10
0
−10
−20
−30
Densidad de potencia (en decibeles)
61,6 mW/cm²
10,0 mW/cm²
5 mW/cm²
45,75 m
150'
32,0 m
105'
Línea de referencia 0 decibel (15,4 mW/cm²)
Distancia de la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA. 32

HAWK Pulse Acquisition Radar
+20
+10
0
−10
−20
−30
Densidad de potencia (en decibeles)
15,4 mW/cm²
10,0 mW/cm²
5 mW/cm²
16,8 m
55'
26,53 m
87'
Línea de referencia 0 decibel (7,7 mW/cm²)
Distancia de la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA 33

HAWK Range Only Radar
+ 20
+ 10
0
− 10
− 20
− 30
Densidad de potencia (en decibeles)
48,9 mW/cm²
10,0 mW/cm²
5 mW/cm²
45,1 m
148'
62,22 m
204'
Línea de referencia 0 decibel (12,2 mW/cm²)
Distancia de la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA 34

NIKE-HERCULES Acquisition Radar (LOPAR)
(Basic and Improved)
+ 20
+ 10
0
− 10
− 20
− 30
Densidad de potencia (en decibeles)
19,4 mW/cm²
10,0 mW/cm²
5 mW/cm²
Línea de referencia 0 decibel (9,7 mW/cm²)
38,7 m
127'
54,59 m
174'
Distancia de la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA 35

Improved NIKE-HERCULES Acquisition Radar (HIPAR)
+20
+10
0
−10
−20
−30
Densidad de potencia (en decibeles)
55,4 mW/cm²
Línea de referencia 0 decibel (27,7 mW/cm²)
10,0 mW/cm²
5 mW/cm²
73,1 m
240'
105,22 m
345'
Distancia de la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA 36

NIKE-HERCULES Missile Tracking Radar (AJAX Model)
(Basic and Improved)
+ 20
+ 10
0
− 10
− 20
− 30
Densidad de potencia (en decibeles)
13,3 mW/cm²
10,0 mW/cm²
5 mW/cm²
Línea de referencia 0 decibel (3,3 mW/cm²)
38,4 m
126'
68,93 m
226'
Distancia de la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA 37

Improved NIKE-HERCULES Target Tracking Radar
(Wide Pulse)
+ 20
+ 10
0
− 10
− 20
− 30
Densidad de potencia (en decibeles)
28,8 mW/cm²
10,0 mW/cm²
5 mW/cm²
Línea de referencia 0 decibel (7,2 mW/cm²)
70,1 m
230'
100,65 m
330'
Distancia de la antena (en pies)
10
100
1.000
10.000

FIGURA 38

## APENDICE III
## Características de sistemas de radar

| Sistema de radar | Dimensiones de antenas | | Angulos de exploración vertical (en grados) | Altura de la antena (respecto de su eje central) | | Densidad de potencia máxima mW/cm$^2$ | Distancia para densidad de potencia máxima 100 mW/cm$^2$ | Distancia para densidad de potencia máxima 10 mW/cm$^2$ | | Distancia para densidad de potencia máxima 5 mW/cm$^2$ | | Notas |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pies | metros | | | | | | | | | | |
| AN/FPN-33 Azimuth Antenna | H-3.0' W-9.0' | 0.9 m 2.7 m | 0º to +25º | 12.0' | 3.7 m | 2.7 | | | | | | |
| Elevation Antenna | H-10.0' W-2.5' | 3.0 m 0.8 m | -1º to +30º | 10.0' | 3.0 m | 2.9 | | | | | | |
| AN/FPN-40 Azimuth Antenna | H-3.0' W-9.0' | 0.9 m 2.7 m | 0º to +25º | 12.0' | 3.7 m | 12.8 | | 92' | 28.0 m | 51.24 | 168' | Ver Fig. Nº15 |
| Elevation Antenna | H-10.0' W-2.5' | 3.0 m 0.8 m | -1º to +30º | 10.0' | 3.0 m | 13.9 | | 80' | 24.4 m | 36.6 | 120' | Ver Fig. Nº16 |
| AN/FPS-3 AN/FPS-3a | H-16.0' W-40.0' | 4.9 m 12.2 m | -5º to +6.5º | 36' | 11.0 m | 2.4 | | | | | | |
| AN/MPS-7 AN/FPS-4 AN/MPS-8 | H-10.0' | 3 m | -2º to +23º | 35' | 10.7 m | 14.6 | | 188' | 57.3 m | 82.35 | 270' | Ver Fig. Nº17 |
| AN/TPS-100 AN/FPS-5 AN/MPS-4 | H-1.5' W-3.0' | 4.6 m 0.9 m | -2º to +20º | 34.5' | 10.5 m | 5.1 | | | | | | |
| AN/FPS-6 AN/FPS-6a | H-30.0' | 9.1 m | -2º to +32º | 44.0' | 13.4 m | 31.0 | | 380' | 115.8 m | 158.60 | 520' | Ver Fig. Nº18 |
| AN/MPS-14 AN/FPS-8 AN/MPS-11 | H-14.0' W-25.0' | 4.3 m 7.6 m | -2º to +5º | 37.5' | 11.4 m | 6.0 | | | | | | |
| AN/MPS-11A HAWK High Power Iluminator | D-4.0 | 1.2 m | -11.5º | 10' | 3.0 m | 800.0 | 115.0 | 356' | 105.5 m | 155.55 | 510' | Ver Fig. Nº31 |
| HAWK Low Power Iluminator | D-4.0' | 1.2 m | -2.26º to + | 8' | 2.4 m | 61.6 | | 105' | 32.0 m | 45.75 | 150' | Ver Fig. Nº32 |
| HAWK Pulse Acquisition Radar | H-5.17' W-22.0' | 1.6 m 6.7 m | +1º to +45.5º | 12' | 3.7m | 15.4 | | 55' | 16.8 m | 26.53 | 87' | Ver Fig. Nº33 |

| Sistema de radar | Dimensiones de antenas | | Angulos de exploración vertical (en grados) | Altura de la antena (respecto de su eje central) | Densidad de potencia máxima mW/cm$^2$ | Distancia para densidad de potencia máxima 100 mW/cm$^2$ | Distancia para densidad de potencia máxima 10 mW/cm$^2$ | Distancia para densidad de potencia máxima 5 mW/cm$^2$ | Notas |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pies | metros | | | | | | | |
| HAWK Range Only Radar | D-4.0' | 1.2 m | -2.26º to + | 8' 2.4 m | 48.9 | | 148' 45.1 m | 62.22 204' | Ver Fig. Nº 34 |
| NIKE-HERCULES Acquisition Radar (LOPAR) | H-4.4'<br>W-15.8 | 1.3 m<br>4.8 m | +2º to +22º | 12' 3.7 m | 19.4 | | 127' 38.7 m | 54.59 174' | Ver Fig. Nº 35 |
| Improved NIKE-HERCULES Acquisition Radar (HIPAR) | H-20.8'<br>W-43.0' | 6.3 m<br>13.1 m | 0º to | 50' 15.2 m | 55.4' | | 240' 73.2 m | 105.22 345' | Ver Fig.Nº36 |
| NIKE-HERCULES Missile Tracking Radar (Ajax Mode) (Basic & Improved) | D-7.7' | 2.3 m | -10.3º to +91º | 8' 2.4 m | 13.3' | | 126' 38.4 m | 68.93 226' | Ver Fig.Nº37 |
| Improved NIKE-HERCULES Target Tracking Radar (Wide Pulse) | D-7.7' | 2.3 m | -1.75º to +183º | 8' 2.4 m | 28.8' | | 230' 70.1m | 100.65 330' | Ver Fig.Nº38 |
| AN/CPN-18<br>AN/CPN-18A | W-7'<br>H-9' | 2.1 m<br>2.7 m | 0º to +10º<br>+1º to +4º | 30 max<br>9 max | 13.4' | | 182.0'<br>55.5' | 94.55 310' | Ver Fig.Nº13 |
| AN/CPS-1 Upper Beam | W-25'<br>H-5' | 7.6 m<br>1.5 m | +1º to +4º | 32' 9.75 m | 4.1 | | | | |
| Lower Beam | W-25'<br>H-8' | 7.6 m<br>2.4 m | -1º to +2º | 32' 9.75 m | 2.5 | | | | |

| Sistema de radar | Dimensiones de antenas | | Angulos de exploración vertical (en grados) | Altura de la antena (respecto de su eje central) | | Densidad de potencia máxima mW/cm$^2$ | Distancia para densidad de potencia máxima 100 mW/cm$^2$ | Distancia para densidad de potencia máxima 10 mW/cm$^2$ | | Distancia para densidad de potencia máxima 5 mW/cm$^2$ | | Notas |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pies | metros | | | | | | | | | | |
| AN/MPS-5<br>AN/GPA-11<br>AN/CPS-4 | H-21'<br>W-5' | 6,4 m<br>1,5 m | -2º to 32º | 40' | 12,2 m | 9.0 | | | | | | |
| AN/CPS-5<br>AN/CPS-5B<br>AN/CPS-5C<br>AN/CPS-5D | H-14'<br>W-25' | 4,3 m<br>7,6 m | +5 | 43' | 13,1 m | 4,3 | | | | | | |
| AN/CPS-6<br>Vertical<br>Sail<br>Slant Sail | 10' x 25'<br>10' x 32' | 3,1 x 7,6m<br>3,1 x 9,8m | +2º to 7º | 35'<br>45' | 10,7m<br>13,7m | 2,7<br>2,1 | | | | | | |
| AN/CPS-6B<br>AN/FPS-10<br>Vertical<br>Sail | 10' x 25' | 3,1 x 7,6m | -1º to 30º | 35' | 10,7m | 9.3 | | | | | | |
| Horizontal<br>Sail<br>Slant Sail | 10' x 32'<br>10' x 25' | 3,1 x 9,8m<br>3,1 x 7,6m | +5º max<br>+5º to +11º | 35'<br>45' | 10,7m<br>13,7m | 7,3<br>9.3 | | | | | | |
| AN/CPS-9<br>AN/MPS-7 | D-7-3/4' | 2,36m | +5º to +90º | 15.0' | 4,6m | 17,32 | 180.0'<br>54.9 m | 75.64 | 248' | | | Ver Fig.Nº 14 |
| AN/MPS-8 | | | | | | | | | | | | Ver AN/FPA-3 |
| AN/MPS-11<br>AN/MPS-11A | | | | | | | | | | | | Ver AN/FPA-4 |
| AN/MPS-14 | | | | | | | | | | | | Ver AN/FPS-8 |
| AN/SPN-5 | H 1.54<br>W 5.16 | 0.5<br>1.6 | | | | 5.4 | | 158.60 | 520' | | | Ver AN/FPS-6 |
| AN/SPS-35 | | | | | | | | | | | | |
| AN/TPS-16<br>AN/TPS-1D | H 4.0<br>W 15.0 | 1.2<br>4.6 | | 10 | 3.0 | 15 | | 33.0 | 10.1 | 15.25 | 50' | Ver Fig.Nº 26 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AN/TPS-10D | | | | | | | | | 82.35 | 270' | Ver AN/FPS-4 |
| AN/TPS-25 | H 1.67<br>W 3.34 | 0.5<br>1.0 | -15º a 15º | 3 a 25 | 0.9 a 7.6 | 15.1 | | 40.0 | 12.2 | 19.52 | 64' | Ver Fig.Nº 27 |
| AN/TPS-33 | H 0.63<br>W 2.25 | 0.2<br>0.7 | | | | 6.2 | | | | | | |
| AJAX Acquisition Radar | H 4.4<br>W 15.8 | 1.3<br>4.8 | +2º a + 22º | 12 | 3.7 | 38.4 | | 176.0 | 53.6 | 76.3 | 250' | Ver Fig.Nº 28 |
| AJAX Missile Tracking Radar | D 5.9 | 1.8 | -10.2º a +91º | 8.0 | 2.4 | 17.7 | | 97.0 | 29.6 | 42.70 | 140' | Ver Fig. Nº 29 |
| HAWK Continuous Acquisition Radar | H 1.58<br>W 7.58 | 0.5<br>2.3 | +2.82º | 8.0 | 2.4 | 32.2 | | 67.0 | 20.4 | 27.75 | 91' | Ver Fig.Nº 30 |
| AN/FPS-10 | | | | | | | | | | | | Ver AN/CPS |
| AN/FPS-14<br>AN/FPS-14A | H-11'<br>W-17' | 3,4 m<br>5,3 m | -6º a + 5º | 80' | 24,4 m | 4,3 | | | | | | |
| AN/FPS-16 (1MW) | D-12' | 3,7 m | -10º to + 190º | 45' | 13,7 m | 36,2 | | 400' | 122m | 175.37 | 575' | Ver Fig.Nº 19 |
| AN/FPS-16 (3M/W) | | | | | | 65.2 | | 530' | 162m | 237,90 | 780' | Ver Fig.Nº 20 |
| AN/FPS-18 | H-11'<br>W-17' | 3,4 m<br>5,3 m | -6º to + 6º | 80' | 24,4 m | 12,1 | | 410' | 125m | 225.70 | 740' | Ver Fig.Nº 21 |
| AN/FPS-20 | H-16'<br>W-40' | 4,9 m<br>12,2 m | +2º to +8º | 15' | 4,6 m | 2,0 | | | | | | |
| AN/FPS-36 | H-16'<br>W-40' | 4,9 m<br>12,2 m | +2,5º | 20' | 6,1m | 1.2 | | | | | | |
| AN/FPS-71 | H-11'<br>W-40' | 3,4 m<br>12,2 m | +2,5º | 20' | 6,1m | 18,26 | | 280' | 85,3m | 128.10 | 420' | Ver Fig. Nº 22 |
| AN/MPQ-4A | H-5.5'<br>W-7.5' | 1,7 m<br>2,3 m | | | | 5.02 | | | | | | |
| AN/MPQ-10<br>AN/MPQ-10A | D-5.73' | 1,75 m | -7,1º to '87.5º | | | 26,3 | | 37' | 11,3m | 13.25' | 50' | Ver Fig. Nº 23 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AN/MPQ-12 | D-6.0' | 1,83 m | | | 46,8 | | 56,5 | 17,2m | 24,40 | 80' | Ver Fig.Nº 24 |
| AN/MPQ-29 | D-2,5' | 0,76 m | -10º to +88º | | 14.9 | | 21,5 | 6,6m | 8.84 | 29' | Ver Fig.Nº 25 |
| AN/MPS-4 | | | | | | | | | | | Ver AN/FPS-5 |
| AN/MPS-5 | | | | | | | | | | | Ver AN/CPS-1 |

## APENDICE IV
## Resumen de unidades y cantidades relacionadas con campos de Rf y microondas

Una descripción cuantitativa y cualitativa de la situación de campos electromagnéticos con sistemas biológicos o materiales, requiere una definición de términos, cantidades y unidades empleadas. Se incluye para facilitar la lectura del texto, una tabla de símbolos asociados con la denominación de la dimensión o cantidad, una descripción breve y la unidad SI y abreviatura.

*Densidad de desplazamiento eléctrico:* Ver densidad de flujo eléctrico.

*Campo eléctrico:* Un campo vectorial de intensidad de campo eléctrico o de densidad de flujo eléctrico.

*Vector campo eléctrico* (en un punto en un campo eléctrico): La fuerza por unidad de carga sobre una carga estacionaria positiva.

*Intensidad de campo eléctrico:* El módulo del vector campo eléctrico. Esta definición vale para valores pico y eficaces.

*Densidad de flujo eléctrico* (desplazamiento): Ver tabla (densidad de flujo) Es un vector que en un medio isotrópico tiene la misma dirección y sentido que el campo eléctrico y un módulo igual al producto de la intensidad de campo eléctrico (E) por la permisividad del medio (ε)

$$\vec{D} = \varepsilon . \vec{E}$$

*Susceptibilidad eléctrica Xe* (de un medio isotrópico para el cual la dirección del vector polarización y la del campo eléctrico son las mismas en cualquier punto del medio): es el cociente del módulo del vector polarización eléctrico (P) en ese punto del medio sobre la densidad de flujo eléctrico en ese punto:

$$X^e = \frac{P}{\vec{D}} = \frac{P}{e_0 \ \vec{E}} = (\varepsilon_r - 1)$$

*Energía electromagnética*: La energía de una onda electromagnética 0 de un campo electromagnético. Se expresa en joules (watt - segundo).

"*Ambiente electromagnético":* Campo o campos electromagnéticos existentes en un medio de transmisión.

*Radiación electromagnética:* Propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas.

*Onda electromagnética*: Una onda caracterizada por variaciones de campos eléctricos y magnéticos.

*Nota*: Las ondas electromagnéticas son conocidas como ondas de radio, rayos de luz, etc., dependiendo de la frecuencia.

*Densidad de energía* $\omega_e$ (ver tabla): En una onda plana que viaja, la densidad de energía es dada por el cuadrado de la intensidad del campo eléctrico multiplicado por la permitividad del medio en joules/metro$^3$

$$\omega_e: 1/2 \ \varepsilon . \left|\vec{E}\right|^2$$

ε: Permitividad del medio

$\vec{E}$ : Intensidad de campo eléctrico

*Región de campo lejano*: Es aquella región de¡ campo de una antena donde la distribución angular del campo es esencialmente independiente de la distancia desde la antena.

*Nota 1:* Si la antena tiene una máxima dimensión D de extremo a extremo, que es grande comparada con la longitud de onda, la región de campo lejano está ubicada a distancias de la antena mayores que $2D^2/\lambda$, siendo $\lambda$ la longitud de onda.

*Nota 2*- Para una antena enfocada al infinito, la región de campo lejano es llamada región de Fraunhöfer por analogía con la terminología óptica.

*Campo:* Una región del espacio en la cual ocurren ciertos fenómenos descritos por una cantidad escalar o vectorial, cuyo conocimiento permite evaluar los efectos de dicho campo.

*Intensidad de campo* (onda electromagnética): Ver tabla. Es el módulo del vector campo eléctrico o magnético expresado para el primero en voltios por metro, y para el segundo en amperes por metro.

*Región de Fraunhöfer:* Aquella porción del campo de radiación para la cual la distribución angular del campo de la antena es independiente de la distancia desde la apertura. El campo decae como l/r y para los propósitos prácticos, se puede hablar de un campo de ondas planas. Para antenas de gran apertura, el límite entre la región lineal de Fresnel y la de Fraunhöfer ocurre para $r>k\ D^2/\lambda$ (ver región de Fresnel), donde D es la dimensión lineal más grande de la apertura y k es la constante de propagación del medio. Para elementos de corriente el límite es dado por $r>\lambda$

*Espacio libre:* Un medio ideal, perfectamente homogéneo, que posee constante dieléctrica de valor unidad, y en el cual no hay nada que refleje, retracte o absorba energía. El vacío perfecto posee estas cualidades.

*Frecuencia:* (Ver tabla) Función periódica en la que el tiempo es la variable independiente. El número de períodos por unidad de tiempo:

f (frec.) = 1 /T (período)= $\omega/2\pi$
$\omega$ = velocidad angular en radianes/seg.

*Región de Fresnel*: Aquella porción del campo de radiación, para antenas de gran apertura, que se encuentra a una distancia intermedia entre una longitud de onda y una distancia r dada por $r = kD^2/\lambda$ donde D es la dimensión más grande de la apertura y k es una constante (usualmente 1 o 2) cuyo valor depende del error que se está dispuesto a tolerar al suponer que existe una onda plana a la distancia máxima antes mencionada. En la región de Fresnel la distribución angular de campo no es independiente de la distancia r de la antena y la mayor parte de la energía está contenida dentro de un cilindro barrido por la apertura de la antena para $\lambda< rD< kD^2/\lambda.\perp$

*Microondas:* El término microondas es usado aquí para ondas de radio en el rango de frecuencia entre un GHz y 300GHz.

*Salida de potencia pico:* En sistemas de portadora modulada la salida de potencia pico es la potencia de salida promediada sobre un cielo de portadora, en la máxima amplitud que pueda tener con cualquier combináción de señales que se transmiten.

*Propagación:* El viaje de ondas a través o a lo largo de un medio.

*Ganancia* (ganancia de transmisión): Son términos generales usados para denotar un aumento en la potencia de la señal en la transmisión desde un punto a otro. La ganancia es usualmente expresada en decibeles y es ampliamente usada para indicar ganancia de traducción.

*Campo H* (vector H) (ver tabla)

*Antena bocina:* Es una antena con forma de tubo cuya sección transversal aumenta hacia su extremo abierto y a través de la cual pasan las ondas de radio.

*Impedancia característica:* La impedancia característica se refiere a la razón del voltaje V a la corriente 1 en una línea de transmisión infinita de dos conductores Z.

*Impedancia intrínseca*: La impedancia intrínseca se refiere a la razón de $|\vec{E}|$ a $|\vec{H}|$ para una onda plana (TEM) en un medio ilimitado. Se define como ŋ = $|\vec{E}|$ / $|\vec{H}|$ = ω/ε

*Impedancia de una onda*: La impedancia de una onda se refiere a la razón de una componente de campo eléctrico a una componente de campo magnético en el mismo punto de la misma onda. Para una onda plana la impedancia de la onda es la misma que la impedancia intrínseca pero para modos de orden superior como en una guía de onda conductora hueca puede haber tantas impedancias de onda como combinaciones de componentes de campo eléctrico y magnético. Para un modo TE en una guía de onda rectangular la impedancia de la onda transversal es $Z_{yz} = E_y/H_z$.

*Onda incidente*: Es una onda que viaja a través de un medio y se encuentra (incide) con una discontinuidad o un medio de diferentes características de propagación.

*Intensidad:* El nivel o valor de una cantidad. Por ejemplo la intensidad de la radiación electromagnética en un punto dado y en un instante dado es igual a la densidad de potencia instantánea o vector de Poynting en ese punto.

*Irradiancia espectral:* (Ver densidad de flujo radiante)

*Isotrópico*: Que tiene las mismas propiedades en todas direcciones.

*Antena isótrópica:* Es una antena ideal que emite o recibe igualmente en cualquier dirección.

*Nota*: En el caso de ondas electromagnéticas las antenas isotrópicas no existen física-mente pero representan antenas de referencia, convenientes para expresar propiedades direccionales de las antenas reales.

*Joule:* Es el trabajo realizado por una fuerza de un newton a lo largo de una distancia de un metro. Un joule es equivalente a un watt - seg

J = W . s

*Tangente de pérdida:* (Ver factor de disipación)

*Campo magnético*: Un campo vectorial cuyo módulo en cada punto es la intensidad del campo magnético.

*Intensidad del campo magnético:* Por analogía a la intensidad dé¡ campo eléctrico (usando un polo unidad ficticio): Es el módulo de la fuerza ejercida sobre una unidad de polo magnético. Esta definición vale para valores pico y eficaz. Se mide en ampere /metro.

*Región de campo cercano*: Para antenas de apertura o dispositivos de muchos elementos de corriente, las contribuciones al campo de diferentes partes de la apertura pueden sumarse o cancelarse, y el resultado neto puede o no contener términos variando como $1/r^2$ (campo electrostático). Por esta razón, el campo a una distancia menor que una longitud de onda de la apertura, es llamado región de campo cercano - incluye campos de inducción y electrostáticos en la vecindad de la fuente, así como en la vecindad de objetos reflectores 0 dispersores -. Para una antena enfocada al infinito a la región de campo cercano, se la denomina región de Fresnel por analogía con la terminología óptica.

*Amplitud pico de pulso:* Es el valor pico máximo absoluto de pulso, excluyendo aquellas porciones consideradas como no deseables, tales como espigas.

*Nota*: Donde se hacen tales exclusiones, es conveniente que la amplitud elegida sea ilustrada pictóricamente.

*Potencia pico de pulso:* La potencia en el máximo de un pulso, excluyendo espigas.

*Polarización*: (Ver tabla) Para un dieléctrico ubicado en un campo eléctrico E, la polarización puede ser descrita como el momento dipolar por unidad de volumen en coulombs/$m^2$, donde

$$\vec{P} = \vec{D} - \varepsilon_0 \vec{E}$$

$\vec{P}$ = polarización (del dieléctrico)

$\vec{D}$ = densidad de flujo eléctrico

$\varepsilon_0$= permisividad del vacío

$\vec{E}$ = intensidad del campo eléctrico

*Potencia:* (Ver tabla)

1. Media: trabajo (o energía) dividido por el tiempo en el cual este trabajo (o energía) es producido o absorbido. En fenómenos periódicos se torna generalmente la potencia promediada en un período.
2. Instantánea: el límite de la potencia promedio cuando el intervalo de tiempo considerado se vuelve infinitamente pequeño.

*Densidad de potencia*: Es el módulo del vector de Poynting en un punto en el espacio, en potencia por unidad de área:

watts/$m^2$

*Nota:* Para microondas y frecuencias superiores y para mediciones realizadas en campos lejanos, la densidad de potencia es una cantidad significativa. Para ondas planas $|E|^2$ está directamente relacionado a la densidad de potencia y es la cantidad medida por un medidor cuando el elemento sensor es sensible al cuadrado del módulo del campo eléctrico, es decir:

$$P = \frac{|\vec{E}|^2}{377} \text{ en mW/cm}^2$$

Sin embargo, para que las medidas sean significativas a muy cortas distancias de la fuente, que incluye los campos reactivos, las cantidades $|\vec{E}|^2$ (ó $|\vec{E}|$) y $|\vec{H}|^2$ (ó $|\vec{H}|$) deben ser medidas ya que no se mantiene la situación de onda plana. Bajo estas condiciones de medición, usando un monitor que mide $|\vec{E}|^2$, se mide realmente $= \frac{|\vec{E}|^2}{377}$, que tiene unidades de mW/$cm^2$, pero puede no estar relacionado al flujo de potencia. Este valor es llamado entonces densidad de *potencia aparente*, donde cada mW/$cm^2$ equivale a 377 volt$^2$/$m^2$. La práctica corriente y los monitores actuales determinan la necesidad de esta terminología.

*Ganancia de potencia*: La ganancia de potencia de un dispositivo amplificador es la razón de la potencia entregada a una impedancia especificada, a la potencia absorbida por su entrada.

*Nota:* Si hay más de una componente involucrada en la entrada o la salida, las componentes particulares usadas deben ser especificadas. Esta razón es usualmente expresada en decibeles.

*Ganancia de potencia de una antena*: (Ver ganancia direccional)

*Ganancia direccional:* La ganancia direccional en una dirección dada, es $4\pi$ veces la razón de la intensidad de radiación en esa dirección, a la potencia total radiada por la antena.

*Nota:* El término es también aplicado a antenas receptoras.

*Vector de Poynting*: (Ver tabla) Un vector cuyo flujo a través de cualquier superficie representa la potencia electromagnética instantánea transmitida a través de esa superficie en watt/m$^2$, y es dada por S = $\vec{E}$ x $\vec{H}$, donde $\vec{E}$ es el vector campo eléctrico en Volt/m, y $\vec{H}$ es el vector campo magnético en Ampere/m; x = producto vectorial.

*Radar*: Un radar es un sistema que radia ondas electromagnéticas y utiliza la reflexión de tales ondas, causada por objetos distantes, para determinar su existencia o ubicación. Su nombre es derivado de las letras iniciales de la expresión "radio direction and ranging".

*Registro de radar:*

1. El movimiento del haz del radar a medida que busca un objeto de interés o un blanco.

2.La trayectoria o "pattern" descripto por este movimiento.

3. El proceso de dirigir un haz de radar.

*Campo de radiación*: Aquella porción del campo electromagnético producido por una apertura o un conductor que lleva corriente, donde el módulo del vector campo eléctrico o magnético varía inversamente con la distancia al conductor; la energía de dicho campo es propagada desde el conductor. Esta región está formada por dos partes distintas: la región de Fresnel y la de Fraunhöfer o zona de campo lejano. La distinción entre región de Fresnel y lejana, no tiene significado práctico para radiadores pequeños, pero es muy importante para antenas grandes.

*Región de campo cercano - reactivo (antena):* Aquella región de campo de una antena, que la rodea inmediatamente, donde predomina el campo reactivo.

*Nota:* Para la mayoría de las antenas, el límite exterior de la región es tomado comúnmente a una distancia $\lambda/2\pi$, donde $\lambda$ es la longitud de onda.

*Coeficiente de reflexión*: Para ondas homogéneas planas, el coeficiente de reflexión es la razón del campo eléctrico o magnético asociado con la onda reflejada, a aquel asociado con la onda incidente.

$$P = \frac{\text{señal reflejada}}{\text{señal incidente}} = \frac{|\vec{E}|_r}{|\vec{E}|_i}$$

*Absorción específica (SA):* Es la energía absorbida en el tejido en joule por kg; (j/kg) (Ver nota en SAR)

*Régimen de absorción específica (SAR):* Es el régimen con el que la energía se absorbe en el tejido, en watts/kg.

$$SAR = \frac{\sigma}{P} E^2_t \, X10^{-3} W/KG$$

donde

$\sigma$ = la conductividad del tejido en la frecuencia de radiación; en mho/m
p = densidad del tejido; kg/M$^3$
$E_t$ = valor eficaz de la intensidad del campo eléctrico en el tejido; V/m

*Nota:* En vista de la proliferación de términos usados en describir las condiciones de radiación electromagnética en materiales biológicos, y la interpretación orientada a la disciplina de estos términos, establecemos que watts/kg se estandarice como la unidad significativa para el régimen de absorción específica de energía, en animal expuesto, o muestra de tejido. La cantidad define el régimen de absorción específica designándola con el símbolo de SAR equivalente a 1 W/kg. La energía absorbida en el tejido, joule/kg, será llamada "absorción específica", y a la unidad se le dará el símbolo de SA, equivalente a 1 joule/kg.

*Factor de disipación* (tangente de pérdida): La razón de la parte imaginaria de la constante dieléctrica compleja de un material, a su parte real. Esta parte imaginaria es una medida del calentamiento dieléctrico bajo la acción de una onda electromagnética.

$$\text{tangente de pérdida} = \tan \sigma = \frac{e''_r}{e'_r}.$$

$e'_r$ = la parte real de la permisividad relativa del medio
$e''_r$ = la parte imaginaria de la permisividad relativa del medio

*Relación de potencia*: En radioingeniería, los niveles de potencia se expresan, en general, como relaciones. Estas se refieren a algún nivel de potencia absoluto, o simplemente como relaciones donde el nivel absoluto no tiene un significado especial.

La relación más comúnmente utilizada es el decibel, abreviado dB. Algunas veces se agrega un subíndice. Por ejemplo cuando el nivel al que se refiere es el mWI($10^{-3}$W), la abreviatura usada es dBm. Para dos niveles de potencia P1 y P2 su relación en dB es dada por:

$$n(dB) = 10 \log \left(\frac{P1}{P2}\right) = 10 (\log P1 - \log P2)$$

donde: "log" indica logaritmo en base 10.

Por ejemplo si P1 =100 =$10^2$ cuyo logaritmo es 2.0 y P2 =10 =$10^1$ cuyo logaritmo es 1, entonces:

$$n(dB) = 10 \log. \left(\frac{100}{10}\right) = 10$$

o P1 es 10 dB mas que P2, sí solo se conocen los potenciales, entonces:

$$n(dB) = 10 \log. \left(\frac{E1^{-2}}{E2^{-2}}\right)$$

Ya que log $E^2$ = 2 log E entonces es:

$$n(dB) = 20 \log \left(\frac{E1}{E2}\right)$$

Donde: E1 y E2 son los voltajes y n el número de decibeles correspondientes a su relación.

*Constante de atenuación:* (Ver constante de propagación). La parte real de la constante de propagación. La unidad es el neper por unidad de longitud (1 neper es equivalente a 8.686 decibeles)

*Potencia promedio (W):* El “rate” de tiempo promedio de transferencia de energía.

$$W = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t1}^{t2} W(t)dt$$

Para cálculos de radar la potencia promedio es: W =potencia pico X ancho de pulso X PRF

*Haz:* un flujo de radiación electromagnética o de partículas que es esencialmente unidireccional.

## Tabla de cantidades, usando el sistema internacional de unidades (SI), comúnmente usado en electromagnetismo

| Nombre de dimensión de la cantidad | Símbolo | Descripción | Unidad SI y abreviaturas |
|---|---|---|---|
| Admitancia | Y | $\frac{1}{\text{impedancia}}$ | Mho ($\upsilon$) |
| Area | A | $(\text{longitud})^2$ | $\text{Metro}^2$ ($m^2$) |
| Capacidad | C | Carga/potencial | Farad (F) |
| Carga | Q.q | Corriente x tiempo | Coulomb ( C ) |
| Densidad de carga (volumen) | $\rho$ | $\frac{\text{Carga}}{\text{Volumen}} = \nabla.D$ | $\frac{\text{Coulomb}}{\text{metro}^3}$ $(C \cdot m^3)$ |
| Conductancia | G | $\frac{1}{\text{resistencia}}$ | mho ($\upsilon$) |
| Conductividad | $\upsilon$ | $\frac{1}{\text{resistividad}}$ | $\frac{\text{mho}}{\text{metro}}$ $(\upsilon \cdot m^{-1})$ |
| Corriente | I | Carga/tiempo | Ampere (A) |
| Densidad de corriente | J | Corriente/área | $\frac{\text{ampere}}{\text{metro}^2}$ $(A \cdot m^{-2})$ |
| Momento dipolar (eléctrico) | $P(=q^1)$ | carga x longitud | coulomb-metro (Cm) |
| Momento dipolar (magnético) | $M(=Q_m 1)$ | Intensidad del polo x longitud = corriente x área= $= \frac{\text{torque}}{\text{densidad de flujo magnético}}$ | ampere - $\text{metro}^2$ ($A .m^2$) |
| Energía o trabajo | W | Fuerza x longitud = = potencia x tiempo | joule (J) |
| Densidad de energía | w | energía/volumen | $\frac{\text{joule}}{\text{metro}^3}$ $(J \cdot m^{-3})$ |
| Intensidad del campo eléctrico | E | $\frac{\text{potencial}}{\text{longitud}} = \frac{\text{fuerza}}{\text{carga}}$ | volt/metro ($V.m^{-1}$) |
| Flujo eléctrico | $\Psi e$ | carga $= \iint D \cdot ds$ | Coulomb (C) |
| Flujo magnético | $\Psi m$ | $\iint B \cdot ds$ | Weber (Wb) |
| Densidad de flujo eléctrico (vector desplazamiento D) | D | Carga/aérea | $\frac{\text{coulomb}}{\text{metro}^2}$ $\left(C \cdot m^{-2}\right)$ |
| Densidad de flujo magnético (vector B) | B | $\frac{\text{fuerza}}{\text{polo}} = \frac{\text{fuerza}}{\text{corriente}}$ $= \frac{\text{flujo magnético}}{\text{área}}$ | tesla (T) ($Wb. m^{-2}$) |
| Frecuencia | f | ciclos/tiempo | hertz (Hz) |
| Campo H (vector H) | H | mmf/longitud | $\frac{\text{ampere}}{\text{metro}}$ $(A \cdot m^{-1})$ |
| Impedancia | Z | potencial/corriente | ohm ($\Omega$) |
| Inductancia | L | $\frac{\text{flujo magnético concatenado}}{\text{corriente}}$ | henry (H) |
| Longitud | l | | metro (m) |
| Magnetización (polarización magnética) | M | $\frac{\text{momento magnético}}{\text{volumen}}$ | $\frac{\text{ampere}}{\text{metro}}$ $(A \cdot m)$ |
| Masa | M,m | | Kilogramo (kg) |
| Período | T | $\frac{1}{\text{frecuencia}}$ | segundo (s) |
| Permeabilidad magnética (para vacío $\mu_o = 400\pi nHm^{-1}$) | $\mu$ | $\frac{\text{inductancia}}{\text{longitud}}$ | $\frac{\text{henry}}{\text{metro}}$ $\left(F \cdot m^{-2}\right)$ |
| Permitividad (constante dieléctrica para el vacío) $\varepsilon_0$= 8,85 pF/m $\cong 10^{-9}/36\pi$ $F.m^{-1}$ | $\varepsilon$ | $\frac{\text{capacidad}}{\text{longitud}}$ | $\frac{\text{farad}}{\text{metro}}$ $\left(F \cdot m^{-2}\right)$ |
| Polarización | P | $\frac{\text{momento dipolar}}{\text{volumen}}$ | $\frac{\text{coulomb}}{\text{metro}^2}$ $\left(Cm^{-2}\right)$ |
| Potencial | V | trabajo/carga | volt (V) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Potencia | P | $\frac{\text{fuerza / longitud}}{\text{tiempo}} = \frac{\text{energía}}{\text{tiempo}}$ | Watt (W) |
| Vector de Poynting | S | potencia/área | $\frac{\text{Watt}}{\text{metro}^2}$ $\left(W \cdot m^{-2}\right)$ |
| Intensidad de radiación | P | $\frac{\text{potencia}}{\text{unidad de ángulo sólido}}$ | $\frac{\text{Watt}}{\text{steradian}}$ $\left(W \cdot sr^{-1}\right)$ |
| Reactancia | X | Potencial/corriente | ohm (Ω) |
| Permeabilidad Relativa | $\mu_r$ | razón $\frac{\mu}{\mu_0}$ | |
| Permitividad Relativa | r | razón $\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$ | |
| Resistividad | S | resistencia x longitud = 1/conductividad | ohm-metro (Ω-m) |
| Resistencia | R | potencial/corriente | ohm (Ω) |
| Susceptancia | B | 1/reactancia | mho (υ) |
| Tiempo | T,t | | segundo (s) |
| Velocidad (de la luz en vacío= 300 $Mms^{-1}$) | v | longitud/tiempo | $\frac{\text{metro}}{\text{segundo}}$ $\left(m \cdot s^{-1}\right)$ |
| Volumen | v | $\text{longitud}^3$ | $\text{metro}^3$ ($m^3$) |
| Magnitud de onda | | longitud | metro (m) |

## APENDICE V

### Análisis de los datos de antenas de radar
### Mediciones de radar en aeronaves, en el campo cercano

Se presenta un modelo de análisis de niveles de exposición a RF-MO en la proximidad de aeronaves estacionadas en bases, aeropuertos, instalaciones de control y mantenimiento. Las mediciones son realizadas en cinco aeronaves que poseen tres tipos de radares y cuatro combinaciones diferentes (radar-aeronave). Se presenta en la tabla I. Las características de dichos radares se muestran en la tabla II.

Los valores medidos se aproximan a los calculados, partiendo de un modelo donde se emplean factores de corrección de ganancia de la antena en el campo cercano. Las antenas de radares de aviación, normalmente rotan o "exploran" un sector bien definido. Las mediciones se efectúan con las antenas en condición estacionaria y los valores promedio de densidad de potencia son calculados teniendo en consideración la rotación de la antena (condición normal de funcionamiento).

*Mediciones:* Los instrumentos que se usan para medir la densidad de potencia (o intensidad de campo E y/o H) son variados; pero en estas prospecciones EM, a manera de ejemplo, se emplean los monitores NARDA y Holaday con sensores adecuados, cubriendo el ámbito de frecuencia entre 300 MHz y 18 GHz. Estos sensores son sensibles a radiación EM de cualquier polarización; el sistema puede medir la densidad de potencia media de un campo de radiación modulado (figura 1). La densidad de potencia media es determinada en cada radar, dados en la tabla I, a lo largo del eje del lóbulo principal de emisión de la antena, a varias distancias de la misma (superficie del radomo). Las mediciones se realizan con la antena fija (se interrumpe su rotación) asegurando así que todas las mediciones se efectúan en el lóbulo principal de radiación, y compensando también la respuesta lenta de los monitores (constante de tiempo del orden de 1 segundo). Para cada radar el radomo es levantado del morro de la aeronave, para tener acceso al dispositivo electro-mecánico que controla la rotación. Esta es interrumpida, y la antena se orienta manualmente hacia una zona de espacio libre, para eliminar radiación reflejada, que alteraría el valor real de la densidad de potencia en el punto de medición. Obtenida esa zona de espacio libre, se establece la proyección del centro de la antena respecto a tierra (PCA). Las distancias son determinadas mediante una cinta métrica (longitud superior a 30 metros), extendida sobre la superficie, a partir del punto proyectado (PCA). La mayoría de las mediciones se efectúan retornando el radomo a su posición original (cierre del sistema en el morro de la aeronave). Estando alineada la antena, según lo expresado, el radar es puesto en funcionamiento y se inician las mediciones de prospección EM a distancias de 12 a 18 metros (40-60 pies) de la superficie externa del radomo. Una vez determinado el eje principal (lóbulo) de la antena, y obtenida una estimación de la magnitud del campo EM, se realizan sucesivas mediciones a distancias menores. Todas las mediciones se obtienen sosteniendo el dispositivo sensor de campo EM, con una mano, en el punto elegido o establecido, y el instrumento de medida en la otra, buscando el valor máximo en el instrumento de lectura (densidad de potencia sobre el eje) en cada distancia. Se logra así una prospección de campo EM definida por planos transversales sucesivos al haz de radiación en función de la distancia, al radomo.

Debe cuidarse que la distancia entre el sensor y el técnico operador sea suficientemente grande, para minimizar las reflexiones de radiación debidas al cuerpo.

*Análisis de los datos:*

Puesto que las antenas de radar no son fuentes puntuales de radiación, la densidad de potencia no varía como una función simple de la distancia respecto a la fuente, especialmente a distancias próximas a la misma.

La variación en la densidad de potencia puede dividirse en tres zonas analíticamente:

a) La zona más próxima a la antena se define como "campo cercano" o zona de Fresnel;

En el campo cercano la densidad de potencia oscila (no existe en un plano cercano al haz, una distribución homogénea), pero el valor máximo de la oscilación a lo largo de la antena, permanece constante (por supuesto esto se cumple en la zona de Fresnel);

b) La zona intermedia que representa la transición entre el campo cercano y la zona del campo lejano o de Fraunhöfer.

En la zona intermedia la densidad de potencia disminuye aproximadamente con la inversa de la distancia radial desde la antena al punto de interés o medición de exposición (1/R);

c) La zona llamada "campo lejano" o zona de Fraunhöfer, donde la densidad de potencia W decrece con $1/R^2$ de acuerdo a la simple ecuación para el espacio libre:

$$W = P \cdot G/4 \cdot \pi \cdot R^2 \qquad (1)$$

donde:

P= Potencia medida de salida del transmisor del radar
R = Distancia desde la antena
G = Es la ganancia de potencia de la antena

Algunos autores no están de acuerdo sobre dónde se inicia el campo lejano. Los valores dados en la bibliografía varían desde distancias mínimas de $D^2/2\lambda$ hasta una distancia máxima de $2D^2/\lambda$, donde D es la dimensión máxima de antena y $\lambda$ la longitud de onda de la energía radiada. D y $\lambda$ están expresadas en las mismas unidades. En esta guía el análisis usado para las mediciones de campo electromagnético, se basa en la distancia máxima dada por $2D^2/\lambda$. También conviene definir una unidad de campo lejano "r" como:

$$r=R/(2D^2/\lambda) \qquad (2)$$

*Nota:* Se reitera el concepto ya vertido en este trabajo: El criterio más usado frecuentemente para dividir los campos cercanos y lejanos respectivamente, es que las fases de los campos electromagnéticos (EM) para todos los puntos de la apertura de la antena radiante no difiere más que el equivalente de $\lambda/16$, donde $\lambda$ es la longitud de onda (la distancia máxima es aproximadamente $2D^2/\lambda$).

En el campo cercano próximo a la antena ($<2D^2/\lambda$) existe un campo de inducción, las líneas del campo eléctrico terminan en la propia antena (ver figura 2). Los campos eléctricos E y magnético H están fuera de fase y la energía está oscilando entre dichos campos. Ese campo de inducción asociado con la emisión de antena es despreciable a pocas longitudes de onda de ésta.

Para distancias cercanas a la antena en las zonas de campo cercano o intermedio, el valor de campo lejano de la ganancia de potencia de la antena dado por la ecuación (1) debe modificarse y hacerlo más pequeño para que se ajuste a la condición de la antena para enfocar la señal emitida de radar. Formulaciones analíticas, para el límite de reducción de la ganancia encontradas en los campos cercanos e intermedios respectivamente, resultan muy complejas y son dependientes de la forma física de la antena y la exacta iluminación usada en potencia de alimentación a la misma. La iluminación es una medida de la distribución de energía a través de la apertura de antena. Para diversos tipos de antenas de radar se han calculado valores para la reducción de ganancia en el campo cercano, sobre el eje y fuera del mismo, así como también las funciones de iluminación. En los ejemplos presentados en este apéndice V, se han aplicado esos resultados para obtener comparaciones de los datos medidos con las predicciones teóricas.

Los datos de Cain y colaboradores (ver referencias) son los que más se aproximan a los valores obtenidos en antenas de radar de aeronaves. Esos datos corresponden a antenas circulares, donde la iluminación varía como una función coseno con la intensidad, que en el borde "límite" es un factor 10 veces menor que el valor en el eje (10 dB). Este método de iluminación es

llamado coseno, en un soporte (pedestal) de -10dB y es típico o característico de la mayoría de las antenas de aeronaves militares o comerciales.

En la figura 3 la disminución o reducción de la ganancia en el eje de la antena es graficada en términos de decibeles (dB) en función de unidades de campo lejano (r), definida por la ecuación (2). Para valores de "r" menores que 1, la reducción apropiada de la ganancia en dB obtenida de la figura 3, es sustraída al valor de la ganancia de antena en el campo lejano, dado en la tabla II para obtener la ganancia de la antena en el campo lejano.

Antes de sustituir este nuevo valor de la ganancia corregida de antena, en la ecuación (1), debe ser convertido al de ganancia de potencia absoluta mediante la siguiente relación:

$G = 10^{g/10}$ o bien

$G = \text{Antilog}\ (g/10)$ (3)

donde:

g = Valor de la ganancia en dB
G = Valor de la ganancia en unidades absolutas de potencia

Para valores de "r" mayores que uno (r>1) los valores de la ganancia de antena en el campo lejano dados en la tabla II, convertidos a ganancia absoluta de potencia, son usados en la ecuación (1). Una observación simple de la figura 3, muestra que la ganancia de la antena en el campo cercano (Gcc) difiere del valor de ganancia en el campo lejano (Gcl) en aproximadamente 1 dB para r = 0,25 y es esencialmente idéntico al del valor de ganancia en el campo lejano.
($Gcc \simeq Gcl$) cuando r = 0,5.

Esto probablemente contribuye a explicar las diferencias o definiciones alternativas de distancia del campo lejano, dadas por $D^2/2\lambda$ y $D^2/\lambda$, expresadas anteriormente.

Aproximadamente cuando r=0,08 (unidades de campo lejano), el haz de radiación electromagnética se bifurca y causa una nueva oscilación en la ganancia medida sobre el eje de la antena, comprendida entre las curvas sólida y punteada, mostrada en la figura 3. Las curvas en esta región son la envolvente de la función oscilatoria.

Empleando los valores dados por la curva sólida, se obtiene una reducción conservativa de la ganancia de antena.

Los valores de reducción de la ganancia dados por Cain (ver referencias) pueden ser utilizados para determinar las densidades de potencia alejadas del eje principal de la antena o comprendidas dentro del límite marcado por el borde o límite interno de las antenas circulares.

La figura 4 es una gráfica donde el patrón de antena está expresado en términos de un factor de proporcionalidad del haz (F). Es decir, F (en grados) aparece relacionado con la reducción de ganancia para ángulos alejados del eje de alineamiento, de antenas de apertura circular. El factor F está dado por la ecuación:

$F = \theta \cdot D/\lambda$

donde:

$\theta$ = Es el ángulo entre el eje de la antena y el punto donde se requiere calcular (en grados)
D = Diámetro de la antena circular
$\lambda$ = Longitud de onda

Se observa que el factor F es graficado como una función de la reducción de la ganancia a intervalos seleccionados, de la unidad de campo lejano "r".

Empleando esta curva y la definición de F, la reducción de la ganancia de antena en cualquier ángulo seleccionado puede calcularse, o inversamente, para una reducción de ganancia dada, puede determinarse el ángulo asociado.

En esta forma puede determinarse, en distintos puntos dentro del campo cercano, el ancho del haz de 3 dB (media-potencia) de antena de apertura circular.

El ancho del haz (3 dB) de radiación EM de RF (radiofrecuencia) puede emplearse en el cálculo de la reducción de exposición debido a la rotación de antena.

Se considera nuevamente necesario aclarar que otros modelos se han desarrollado para calcular densidades de potencias en el campo cercano.

Por su sencillez de aplicación que se aproxima a lo aquí expuesto, se agrega el modelo empírico desarrollado para antenas circulares basado en una experiencia de datos en la evaluación de sistemas del US Army, que se lo define en este trabajo como el modelo del "Army".

El modelo es esquematizado por el siguiente "set" de ecuaciones:

Donde:

| | |
|---|---|
| $R_1 \frac{D^2}{5{,}66\lambda}$ | $R_1$= Distancia límite del campo cercano |
| $R_2 \frac{D^2}{2{,}83\lambda}$ | $R_2$= Distancia hasta el final del campo intermedio |
| Wo=P/A | P= Potencia promedio del transmisor<br>A= Area del reflector |
| $W_{nf}$= 4.Wo=$W_1$ | $W_{nf}$= Dens. pot.máx.campo cercano |
| $W_1$= 4.Wo<br>$W_{if}$= 4.Wo ($R_1$/R)<br>$W_{if}$= $W_1$ ($R_1$/R)<br>$W_{ff}$= 2.Wo $(R_2/R)^2$<br>$W_{ff}$= $W_2$ $(R_2^2/R^2)$ | $W_{if}$=Dens. pot. camp. intermedio a una distancia R<br><br>$W_{ff}$=Dens. pot. camp. lejano a una distancia R |

La densidad de potencia máxima $W_{nf}$=4Wo se asume constante en todo el campo cercano ($W_{nf}$), a una distancia $R_1$ determinada por la ecuación $R_1$= $D^2/5{,}66\lambda$, donde D es el diámetro del reflector (antena) y $\lambda$ es la longitud de onda de la transmisión.

La densidad de potencia disminuirá entonces en forma lineal a una distancia $R_2$, determinada por $D^2/2{,}83\lambda$, punto en el cual su valor será Wo.

A partir de este punto disminuirá de acuerdo a la ley inversa del cuadrado. "D" y "R" deben estar en las mismas unidades. R es la distancia respecto de la antena. (Figura 5.)

A pesar de que la densidad de potencia variará a lo largo del campo cercano ($W_{nf}$), si se considera la seguridad del personal, se supone que el máximo será de 4Wo, en todo el campo cercano.

La densidad de potencia máxima para el reflector de antena circular puede calcularse de la siguiente manera:

W=4Wo
Wo=P/A

donde:

W = densidad de potencia máxima en el eje del haz ($mW/cm^2$)

Wo = densidad de potencia promedio a través de la antena
P = potencia de salida promedio del transmisor en milivatios
A = área del reflector en $cm^2$

En la tabla 3 se representa una lista de áreas de antena circular Wo/kW y W/KW, la densidad de potencia promedio de la antena Wo y la densidad de potencia máxima W en el eje del haz por kilovatio de la potencia del transmisor para antenas circulares fijas. La máxima densidad que puede ser emitida, se determina buscando el tamaño de la antena en la tabla, y multiplicando W/KW (última columna) por la potencia de salida del transmisor en kilovatios. Si la resultante W es menor que 10 $mW/cm^2$, se puede considerar que el sistema no es peligroso, y debe calcularse la densidad de potencia en función de la distancia, para establecer la distancia respecto de la antena en que la densidad de potencia es menor que 10 $mW/cm^2$. Este procedimiento está resumido en el párrafo siguiente:

Si la densidad de potencia en $R_2$ excede los 10 $mW/cm^2$ (asimismo si excede los 20 $mW/cm^2$ en el campo cercano), entonces el punto de 10 $mW/cm^2$ estará en el campo lejano, y se puede calcular de la siguiente manera:

$$R_{(\text{punto } 10\ mw/cm^2)} = R_2 \sqrt{0{,}1 \cdot W_2} \qquad \text{para } w_1 > 20\ mW/cm^2$$

Si la densidad de potencia en $R_2$, es menor que 10 $mW/cm^2$ y la densidad de potencia (ó 4Wo) en $R_1$, es mayor que 10 $mW/cm^2$, entonces el punto de 10 $mW/cm^2$ estará en el campo intermedio y puede calcularse así:

$$R_{(\text{Punto } 10\ mw/cm^2)} = 0.1 W_1 R_1 \qquad \text{para } 10\ mW/cm^2 < W_1 < 20\ mW/cm^2$$

Se ha tomado como referencia aquellos niveles que estando por encima de los recomendados en esta guía (exposición laboral), requieren calcular el tiempo de exposición. Si bien, en general, los valores dados como niveles de exposición permisibles (tabla IV, ocupación 8 horas diarias), son las aconsejables en trabajos de rutina, éstas pueden ser transitoriamente superadas de acuerdo a las indicaciones expuestas. Los datos de la tabla se complementan con los gráficos 1 y 2.

*Glosario*

*Pedestal:* Impulso con la parte superior plana que eleva el nivel de base o referencia de otra onda. En radar, pedestal de antena, estructura portaantena.

Para aperturas circulares, donde la iluminación varía como una función coseno con la intensidad y en el límite ("edge") es un factor 10 veces menor (10 dB) que el del valor axial (eje principal).

Este método de iluminación es llamado coseno en un valor pedestal de -10dB, y es típico de la mayoría de antenas en aeronaves militares y comerciales.

*Nota importante*

Para el personal que opera el sistema de radares, se establece la obligación de seguir estrictamente las guías de límites de exposición a campos electromagnéticos (EM) de radiofrecuencias (ámbito comprendido entre 0,1 MHz y 300.000 MHz [300 GHz]).

Considerando la importancia de protección contra la radiación de RF-MO se recomienda mantener los límites de seguridad de exposición ocupacional (tabla IV) y exposición poblacional (tabla V).

En este último caso cuando el sistema de radar puede exponer a zonas pobladas vecinas se deben emplear los valores dados en esa tabla.

**V1. Ejemplos de cálculos para antenas de radar**

*Ejemplo 1*

Un radar con una potencia de salida de 10 kW, transmite en la frecuencia de 9.375 MHz ($\lambda$ longitud de onda 3,2 cm). La radiación electromagnética es emitida mediante una antena circular (reflector) de 9,15 metros (60 pies) de diámetro (ver tabla III).

Para el propósito de la seguridad del personal se acepta que existe una densidad de potencia máxima $W_1$ en el punto $R_1$, límite de la zona definida como campo cercano del orden $W_1$= 4Wo (ver figura 5, zonas de radiación).

La máxima densidad de potencia que puede ser radiada se determina buscando en la tabla III (densidad de potencia máxima en el campo cercano) el tamaño de la antena en la primera columna; seguidamente se logra ese dato multiplicando el valor dado en la última columna (W/kW) por la potencia de salida (en kW) del transmisor ($P_t$).

Para este ejemplo:

$W_{1\ (mW/cm^2)}$ = W[(mW/cm$^2$)/k W]$P_t$ (kW)

$W_1$= 1,53 x $10^{-6}$ x 10 kW = 15,3 mW/cm$^2$

Como la densidad de potencia a la distancia $R_1$ es mayor que 10 mW/cm$^2$ debe considerarse que el uso del sistema requiere establecer medidas de seguridad.

La distancia $R_1$ límite del campo cercano está dada por la expresión

$$R_1 = \frac{D^2}{5{,}66 \cdot \lambda}$$

$$R_1 = \frac{(915\ \text{cm}^2)}{5{,}66 \cdot 3{,}2\ \text{cm}} = \frac{837.225\ \text{cm}^2}{18{,}11\ \text{cm}} = 46.230\ \text{cm} = 462{,}3\ \text{metros}$$

Y la distancia $R_2$ límite del campo intermedio es:

$$R_2 = \frac{D^2}{2{,}83 \cdot 3{,}2\ \text{cm}} = 924{,}60\ \text{metros}$$

Por lo tanto si la densidad de potencia en $R_2$ (donde $R_2 = \frac{D^2}{2{,}83 \cdot \lambda}$ y la densidad de potencia $W_2$ = 2Wo) es menor que 10 mW/cm$^2$, la densidad de potencia en $R_1$ (donde $R_1 = \frac{D^2}{5{,}66 \cdot \lambda}$ y $W_1$= 4Wo) es mayor que 10 mW/cm$^2$ entonces la distancia R con respecto a $R_1$, donde la densidad de potencia será de 10 mW/cm$^2$, estará dada por un punto ubicado en la zona del campo intermedio, puede calcularse aplicando la siguiente ecuación:

$R_{(10\ mw/cm2)}$ = 0,1 $W_1$ $R^1$

Para 10 mW/cm$^2$ < $W_1$ < 20 mW/cm$^2$

para el ejemplo aquí presentado:

$R_{(10mw/cm2)}$ = 0,1 x 15,3 mW/cm$^2$ x 462,3 m = 707,32 m

*Ejemplo 2*

Considerando los datos de potencia de transmisión, frecuencia y diámetro de antena anteriores, calcularemos ahora la distanciada la cual se tendrá el valor de densidad de potencia de 5 mW/cm$^2$.

Considerando el valor de la densidad de potencia $W_1$ calculada anteriormente, haremos lo siguiente:

Recordemos que $W_1$=4Wo, donde Wo era la densidad de potencia promedio a través de la antena. De aquí obtenemos el valor de Wo como:

$$Wo = \frac{W_1}{4} = \frac{15{,}3\ mW/cm^2}{4}$$

Wo = 3,825 mW/cm$^2$

Teniendo este valor a continuación obtenemos $W_2$, (densidad de potencia máxima en el límite del campo intermedio), para determinar si allí existe una densidad de potencia superior a 5 mW/cm$^2$:

$W_2$ = 2 x Wo = 2 x 3,825 mW/cm$^2$ = 7,65 mW/cm$^2$

Notamos aquí que el valor de W, es superior a 5 mW/cm$^2$, por lo tanto tendremos que calcular, para dar seguridad, el punto de esta magnitud. Recordando que la densidad de potencia en el campo lejano está expresada por $W_{ff} = W_2 \cdot R_2/R^2$ para una distancia R, podemos calcular ésta para 5 mW/cm$^2$ de la siguiente manera:

$$W_{ff} = \frac{W_2 \cdot R_2}{R^2}$$

Despejando de aquí el valor de R, nos quedaría:

$$R = \sqrt{\frac{W_2.R_2}{W_{ff}}} = \sqrt{\frac{7{,}65(mW/cm^2)\cdot(924{,}6\ cm)^2}{5(mV/cm^2)}}$$

R = 114.366,7038 cm = 1.143,667 m

por lo tanto,

$R_{(5mW/cm2)}$ =1.143,667m

*Ejemplo 3*

Determinar las medidas de seguridad de un sistema de radar que transmite en una frecuencia de 2,88 GHz (aproximadamente 10 cm de longitud de onda), con una potencia de salida de 0,1 kW, a través de una antena circular (reflector) de 92 cm de radio.

Para calcular $R_{(10mW/cm2)}$ se procede como el ejemplo anterior, es decir:

1. Se determina la máxima densidad de potencia que emite este sistema, usando la tabla III y la ecuación:

$W_1$ = [W(mW/cm$^2$)/kW] x $P_t$(kW)

$W_1$ = 152 . $10^{-6}$ x 0,1 kW = 15,2 mW/cm$^2$

2. Partiendo de la información ya presentada:

$$R_1 = \frac{D^2}{5{,}66\lambda} = \frac{(92cm)^2}{5{,}66.10cm} = \frac{8.464\ cm^2}{56{,}5\ cm} = 14{,}95\ m$$

$$R_2 = \frac{D^2}{2{,}83.\lambda} = 29{,}9\ m$$

$W_1 = 4.\ Wo = 15{,}2\ mW/cm^2$ en $R_1$

$W_2 = 2.\ Wo = 7{,}6\ mW/cm^2$ en $R_2$

Dado que la densidad de potencia en $R_2$ es menor que 10 $mW/cm^2$, y en $R_1$ es mayor que 10 $mW/cm^2$, el punto R entre $R_1$ y $R_2$, zona intermedia donde la densidad de potencia será de 10 $mW/cm^2$, se determina por la ecuación:

$R_{(10mW/cm^2)} = 0{,}1\ .\ W_1\ .\ R_1$

$R_{(10mW/cm^2)} = 0{,}1 \times 15{,}2 \times 14{,}95 = 22{,}72\ m$

*Ejemplo 4*

Para obtener el punto de los 5 $mW/cm^2$, se consideran los mismos parámetros que los tratados en el ejemplo 2, procediéndose para los cálculos de igual forma:

Calculemos primeramente la densidad de potencia promedio a través de la antena:

$$W_o = \frac{W_1}{4} = \frac{15{,}2\ mW/cm^2}{4} = 3{,}8\ mW/cm^2$$

$$W_2 = 2\ .\ W_o = 2 \times 3{,}8\ mW/cm^2 = 7{,}6\ mW/cm^2$$

donde $W_2$ es la densidad de potencia en el límite del campo intermedio, notándose que el punto de los 5 $mW/cm^2$ se encuentra en el campo lejano. Por lo tanto se procederá en forma análoga al ejemplo 2:

$$W_{ff} = \frac{W_2\ .\ R_2^2}{R^2}$$

Luego:

$$R_{(5mW/cm^2)} = \sqrt{\frac{W_2 \cdot R_2^2}{W_{ff}}}$$

$$R_{(5mW/cm^2)} = \sqrt{\frac{7{,}6(mW/cm^2) \cdot (29{,}9\ cm)^2}{5(mW/cm^2)}}$$

$R_{(5mW/cm^2)} = 36{,}8632\ m$

Es decir el punto en el cual se localizan los 5$mW/cm^2$, está a 36,8632 m.

**V.2. Antenas estacionarias**

En las figuras 6, 7 y 8 se presentan como ejemplo los valores medidos de densidad de potencia para todas las combinaciones de aeronave-radar con antenas estacionarias como una función de la distancia desde la superficie externa del radomo. Para obtener la distancia desde la antena deben sumarse los valores 0,55, 0,58 y 0,60 metros a los valores de la abscisa para las aeronaves BAC-III, Convair 580 y DC-9, dadas en dichas figuras.

Las curvas de la densidad de potencia supuestas o esperadas, calculadas a partir de los valores de reducción de la ganancia en el campo cercano obtenidos del trabajo de Cain y col (1974, 1973); y los parámetros del sistema están incluidos en las figuras.

En la figura 8 también se grafica la curva de la densidad de potencia precedida sobre la base del "Army model". Se pueden comparar ambas curvas.

Las distancias con las que la densidad de potencia disminuye a 10 $mW/cm^2$ y 1 $mW/cm^2$, respectivamente para cada una de las configuraciones de radar, con la antena estacionaria, se presentan como ejemplos en la tabla VIA.

Analizando esta tabla se muestra que la densidad de potencia puede llegar a exceder el nivel de los 10 $mW/cm^2$ dentro de los 2 a 4 metros del radomo de la aeronave.

La densidad de potencia máxima observada para cada configuración de radar y la distancia al radomo se muestran en la tabla VIB. Los valores oscilan entre 10 y 26 $mW/cm^2$.

**V.3. Corrección para la rotación de antena**

Si bien los valores medidos de la densidad de potencia dados como ejemplos fueron obtenidos con antenas estacionarias, las antenas normalmente rotan explorando un sector circular.

Cuando la antena está rotando, los valores promedios de exposición se reducen por un factor bien definido, que desde el punto R más distante donde la señal radárica es más efectiva en la detección hasta aquel punto donde se inicia el campo lejano, depende de la distancia respecto a la fuente emisora (antena).

En el campo lejano de la antena este factor multiplicador de reducción es constante y es convencionalmente considerado generalmente así como el cociente del ancho angular del haz y el ángulo de exploración (barrido).

El ancho angular del haz (apertura angular del haz; ángulo de apertura del haz; anchura del haz; en relación a una antena direccional ángulo entre los puntos a -3 dB respecto a la dirección de máxima radiación, o sea, los puntos donde la intensidad de campo es la mitad de la correspondiente al centro del haz. Este ángulo disminuye con la directividad de la antena), es el ángulo comprendido entre las líneas radiales dirigidas desde la antena hasta los puntos de 3 dB (o potencia mitad; 10 Log.1/2=3dB).

En la zona del campo lejano, este ángulo es constante.

Por definición el ancho a potencia mitad de un lóbulo en un plano conteniendo la dirección de su valor máximo, es el ángulo comprendido entre las dos direcciones en aquel plano alrededor del máximo, en el cual la intensidad de radiación (potencia) es la mitad del valor máximo del lóbulo.

A partir de los datos presentados en la tabla VII, el factor de reducción del campo lejano oscila desde 0,041 (4,9/120º) para el WP-103 hasta 0,062 (5/80º) para el AVQ-50.

Se conocen dos métodos para tener en cuenta la reducción de la densidad de potencia promedio en el campo cercano, debido a la rotación de la antena.

El modelo más conservativo desde el punto de vista del riesgo es el usado por el Army y US Air Force (Departments of the Army and Air Force, "Control Hazards to Health From Microwave Radiation", Department of the Army Technical Bulletin TB MED 270, Department of the Air Force Manual AFM 161-7, 1965).

En este modelo el factor f, está definido por el cociente del diámetro de la antena y la circunferencia del sector cubierto por el barrido de antena, en el punto o sitio de interés:

$f= D/R.\theta$

donde

D= diámetro de la antena, paralelo al trayecto de rotación
R= distancia de la antena al punto de interés
$\Theta$ = ángulo de barrido, en radianes.

En esta aproximación se asume que el haz no diverge y la densidad potencia en el eje (valor máximo) es uniforme en toda la sección transversal del haz.

Las densidades de potencia promedio, para aquellas configuraciones radáricas medidas teniendo en cuenta la rotación de la antena, se presentan como ejemplos en la figura 9.

Se puede observar que los valores son menores que 100 $mW/cm^2$. Como alternativa se puede utilizar la misma propuesta, como la empleada en el campo lejano, dividiendo el valor del ancho del haz definido en los puntos de media potencia (1/2), por el ángulo de barrido.

Los anchos de los haces definidos por los puntos de media potencia (3dB) pueden determinarse, usando los datos dados por Cain (ver Referencias). El factor de proporcionalidad del haz F, para cualquier valor deseado de "r" es tomado por la figura 4 y de Cain (ver Referencias).

Los valores de $\theta$ son entonces calculados mediante la ecuación : $F=\theta.D/\lambda$ e incrementado dos veces para obtener el ancho angular del haz 3 dB (o media potencia). Los factores de reducción en el campo cercano son entonces obtenidos empleando la relación convencional dada por el ancho angular del haz de 3 dB y el ángulo de barrido sectorial.

Los resultados de este cálculo comparados con valores calculados mediante el modelo del "Army-Air Force" (ecuación $F=D/R.\theta$), se presentan en la tabla VII.

El modelo "Army-Air Force" es más conservador ya que da valores mayores para la densidad de potencia que los obtenidos por el método de reducción de la ganancia del campo cercano en el eje principal. Para algunos casos la diferencia es 2 ó 3 veces mayor.

Como ejemplo es útil e interesante examinar el valor de densidad de potencia que excede 10 $mW/cm^2$, en la figura 8.

Se observa (tabla VI B) que el valor máximo calculado para el AVQ-50 es de 26 $mW/cm^2$; esos valores se presentan fundamentalmente en la superficie externa del radomo.

En el Convair, la antena está localizada en el interior del radomo de 0,58 metros de su superficie frontal o 0,63 m cuando el monitor de radiación electromagnética se encuentra a 5 centímetros de la superficie externa del radomo (punto de medición), aplicando la ecuación:

$$f= D/R.\theta$$

Se obtiene un factor de reducción de $0{,}52.10^{-6}$ y en consecuencia una densidad de potencia de 13,52 $mW/cm^2$ (dado el valor gráfico en la figura 8).

El factor de reducción correspondiente usando la corrección de ganancia en el campo cercano, extrapolado de los datos de la tabla es del orden de 0,35 dando así una densidad de potencia de aproximadamente 9 $mW/cm^2$.

Si bien ninguna de estas técnicas tienen en cuenta los efectos de lóbulos laterales, el método más empleado, usando los factores de corrección de ganancia en el campo cercano, es probablemente el más correcto.

Sin embargo, hasta que datos adicionales más precisos puedan lograrse el modelo "Army-Air Force", más conservador, es aconsejable usarlo en el cálculo de factores de reducción rotacional.

*Ejemplo:* RCA AVQ-30X

Basada en la existencia de una aproximación aceptable entre los datos obtenidos por medición y aquellos valores calculados de la densidad de potencia, queda sugerido que el empleo de las curvas de reducción de ganancia en el campo cercano para antenas circulares del tipo usado en aeronaves, suministra una base lógica para la interpretación de datos de medición en el campo cercano.

Por lo tanto, hasta el presente, se realizaron los cálculos para obtener la densidad de potencia como una función de la distancia, para el radar RCA AVQ-30X, usado en aeronaves tales como el B-707, B-747, DC-10.

La tabla VIII presenta las especificaciones técnicas de este radar y la figura 10 presenta los resultados de los cálculos para una antena estacionaria.

En este ejemplo las distancias están referidas a la antena, para una potencia media de 75 vatios.

Para radares de aeronaves de antenas circulares, el modelo desarrollado hasta la actualidad como para antenas circulares de coseno, de iluminación –10dB en la base o soporte, puede usarse para calcular niveles de densidad de potencia en el campo cercano, ya que los datos así obtenidos se aproximan a los valores medidos.

No obstante, se aclara que en la mayoría de los casos, este modelo matemático presenta valores excesivos de exposición respecto de aquellos medidos.

El modelo del “Army Air Force” antes descrito es aun más conservativo. La comparación de los datos dados por los dos modelos se presenta en la tabla VIII. Se observa que el valor estimado del valor máximo en el campo cercano es aproximadamente un factor dos veces mayor que el valor estimado empleando el modelo de corrección de la ganancia del campo cercano.

En general esta diferencia es aproximadamente la misma para el caso de los otros en el campo cercano.

Los datos de corrección de la ganancia en el campo cercano pueden también aplicarse en la determinación de factores de reducción rotacional, y esos valores en general proporcionan una reducción mayor que el modelo simple del “Army Air Force”. Ya que, en está etapa de la tecnología y teoría del campo cercano de antena se avanza acorde con los avances de laboratorio, el modelo más apropiado deberá emplearse para determinar los valores de E y/o H o densidad de potencia (espacio libre – región del campo lejano), si correspondiera.

En los procedimientos normales de operación, el radar no esta emitiendo cuando la aeronave se encuentra en pista (Federal Aviation Administration “F.A.A.” “Recommended Radiation Safety Precaution for Airborne Weather Radar”). En general el radar está en condición “off” o bien “standby”.

El radomo debe retirarse de su posición del morro para lograr el acceso a la antena y cortar la rotación (para la misma). La antena estará rotando si el radar estuviera emitiendo, o bien en funcionamiento mientras la aeronave permaneciera en tierra para el mantenimiento de rutina.

Observando la figura 9 los valores medidos –corregidos para la estación, muestran que la densidad de potencia media cuando la antena está rotando es menor que 10 $mW/cm^2$ en cualquier dirección.

Como ejemplo, el valor de 13 mW/cm$^2$, corresponde a la configuración Convair 580–AVQ-50 y se mide en la superficie de radomo.

Igualmente este valor es menor que 10 mW/cm$^2$ si son usados los valores o factores de corrección de la ganancia en el campo cercano, para determinar el factor rotacional de reducción.

Hasta 1982-1985, el estándar para las exposiciones menores a 6 minutos (0,1 hora), de acuerdo con la relación densidad de energía = 1mW-h/cm$^2$ (durante cualquier período de tiempo de 0,1 hora), permitía densidades de potencia más elevadas.

Por ejemplo, para una exposición de 13 mW/cm$^2$ se calcula el tiempo de exposición mediante esta forma:

W. t = 1 mW-h/cm$^2$
t = (1 mW-h/cm$^2$)/(13 mW/cm$^2$)
t = 0,077 h = 4,6 minutos

Por lo tanto, mientras no deba realizarse ningún procedimiento de mantenimiento que requiera que el personal permanezca en esta región de nivel de densidad de potencia superior al permisible establecido será de práctica correcta la verificación de que el radar fue desconectado (posición off) o queda en standby (sin emisión de radiaciones electromagnéticas) antes de realizar tareas próximas al radomo. Se puede observar en la figura 9 que la densidad de potencia promedio disminuye a valores menores que 1 mW/cm$^2$, para los radares tomados como ejemplos, en el rango de distancias entre 2 y 3,5 m (6,5 y 11,5 pies). Sin embargo, estos valores medidos podrían aumentar en un ambiente complejo de exposición, como en el caso de hallarse cerca de un sistema reflector, o si los transmisores de otros tipos de radares, poseen potencias mayores.

### V.4. Potencia media y potencia de pico

La potencia emitida durante el pulso es llamada potencia de pico (o potencia máxima), y designada por $P_P$.

Si el transmisor estuviera continuamente emitiendo (pulsos), entregando la misma cantidad total de energía, emitirá un nivel de potencia mucho menor, indicado como $P_A$ en el diagrama.

$P_A$ es llamada potencia media. La potencia pico $P_P$ es mantenida durante el intervalo de tiempo "$\tau$" (duración del pulso) y esa potencia de pico es equivalente (en términos de energía total) a una potencia continua media $P_A$ mantenida por un intervalo de tiempo 1/f; por lo tanto:

$P_P \times \tau = P_A \times 1/f$
$P_A = P_P \times \tau \times f$

El producto de "$\tau$ x f" se define como régimen de trabajo (es decir, ancho del pulso por la frecuencia de repetición de pulsos f) o factor de rendimiento.

$P_A = P_P$ x [Régimen de trabajo]

Otra forma de definir el régimen de trabajo es la siguiente:

$$[\text{Régimen de trabajo}] = \frac{P_A}{P_P}$$

*Consideraciones sobre pulsos*

La energía electromagnética transmitida por un radar es emitida en la forma de muy corta duración llamada pulsos siendo la "frecuencia de repetición de pulso", el número de pulsos emitidos por segundo. La recíproca de la frecuencia de repetición de pulsos, es igual al intervalo de pulso, es decir:

$$[\text{Intervalo del pulso}] = 1/f$$

También el tiempo entre el comienzo de dos pulsos es llamado el "tiempo de repetición de pulsos".

**Tabla 1**
**Especificaciones para radares de aeronaves**

| | RADAR | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Collins Wp-103 | RCA AVQ-20 | | RCA AVQ-50 |
| Diámetro, antena | 18" (45.7 cm) | 18'' (45,7 cm) | 24" (61 cm) | 18" (45,7 cm) |
| Frecuencia de transmisión | | | | |
| (MHz) | 9.375 | 9.375 | 9.375 | 9.375 |
| Longitud de onda(cm) | 3.2 | 3.2 | 3.2 | 3.2 |
| Ancho de pulso(s) | 3.3 | 2.0 | 2.0 | 1.8 |
| Frecuencia de repetición de | | | | |
| pulso (Hz) | 400 | 400 | 400 | 400 |
| Factor de rendimiento | 0.0013 | 0.0008 | 0.0008 | 0.0007 |
| 1/Factor de rendimiento | 758 | 1.250 | 1.250 | 1.389 |
| Potencia pico de salida (kW) | 20 | 20 | 20 | 40 |
| Potencia media de salida (W) | 26 | 16 | 16 | 28 |
| Ganancia de antena (dB) | 28* | 28 | 32 | 28 |
| Potencia media máxima efectiva | | | | |
| radiada (kW) | 16 | 10 | 25 | 17.7 |
| Angulo de barrido de antena en | | | | |
| grados | 120 | 120 | 120 | 80 |
| Límites "tilt" de potencia en | | | | |
| grados | ±12* | ± 20 | ± 20 | ±20 |
| Velocidad de rotación | | | | |
| de antena (rpm) | 60 | 30 | 30 | 85 |
| Ancho del haz, 3 dB Haz | | | | |
| del tipo pincel (antena de 18") | 4.9º | 5º | - | 5º |
| Haz $CSC^2$ (antena de 24") | - | - | 3,8º | - |
| Polarización | ? | Vertical | Vertical | Vertical |
| Datos calculado: | | | | |
| Distancia donde se inicia el | | | | |
| campo lejano $2D^2/\lambda$ (m) | 13 | 13 | 23 | 13 |
| Densidad de potencia pico en | | | | |
| el campo cercano($W/cm^2$) | 49 | 49 | 27 | 97 |
| Densidad de potencia media | | | | |
| máxima en el campo cercano | | | | |
| ($mw/cm^2$) | 63 | 39 | 22 | 68 |

## Tabla II
## Combinaciones de radar en aeronaves

| **Sistemas de radar** | **Aeronaves** |
|---|---|
| Collins WP-103 | BAC 111 |
| Collins WP-103 | BAC 111, = 120 |
| RCA AVQ-20 | Convair 580, = 837 |
| RCA AVQ-50 | Convair 580, = 803, |
| RCA AVQ-20 | DC-9 = 972 |

## Tabla III
## Densidad de potencia máxima en el campo cercano

| Tamaño del reflector Diámetro (en pie 30.5 cm) | Area ($cm^2$) | $W_0$/KW ($mW/cm^2$) KW (X). $10^{-6}$ | W/KW ($mW/cm^2$) KW (X). $10^{-6}$ |
|---|---|---|---|
| 4' | $1,17 \times 10^4$ | 85,47 | 341 |
| 6' | $2,63 \times 10^4$ | 38,02 | 152 |
| 8' | $4,67 \times 10^4$ | 21,41 | 85,64 |
| 10' | $7.31 \times 10^4$ | 13,67 | 54,7 |
| 12' | $1,05 \times 10^5$ | 9,174 | 36,7 |
| 15' | $1,64 \times 10^5$ | 6,097 | 24,4 |
| 30' | $6,55 \times 10^5$ | 1,525 | 6,1 |
| 40' | $11,6 \times 10^5$ | 0,8625 | 3,45 |
| 60' | $26,2 \times 10^5$ | 0,3825 | 1,53 |

## Tabla IV

## Límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia
## Límites de exposición ocupacionales

| Región de frecuencias (MHz) | Intensidad del campo eléctrico RMS no perturbado (V/m) | Intesidad del campo magnético RMS no perturbado (A/m) | Densidad de potencia equivalente para onda plana ($mW/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| 0,3-3 | $376.382,25^{1/2}$ | 1,58 | 100 |
| 3-30 | $[3.764\ (900/f^2)]^{1/2}$ | $[0.025\ (900/f^2)]^{1/2}$ | $900/f^2$ |
| 30-400 | $3.764^{1/2}$= 61,35 | 0.16 | 1 |
| 400-2.000 | $3.f^{1/2}$ | 0,025(f/300) | f/400 |
| 2.000-300.000 | 137 | 0,36 | 5 |

## Tabla V

## Límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencias
## Límites de exposición poblacional

| Región de frecuencias (MHz) | Intensidad del campo magnético RMS no perturbado (A/m) | Intensidad del campo RMS no perturbado (V/m) | Densidad de potencia equivalente para onda plana (mW/cm2) |
|---|---|---|---|
| 0,3-1 | 87 | 0,23 | 2 |
| 1-10 | $87/f^{1/2}$ | $0,23/f^{1/2}$ | 2/f |
| 10-400 | 27,5 | 0,073 | 0,2 |
| 400-2.000 | $1.375f^{1/2}$ | $0,0037f^{1/2}$ | f/2.000 |
| 2.900-300.000 | 61,35 | 0,16 | 1 |

## Tabla VI A

## Resumen de exposiciones a radares (antenas estacionarias)

| Configuración radárica | Distancia aproximada desde la superficie del radomo al punto de exposición | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 10mW/cm$^2$ | | 1mW/cm$^2$ | |
| | m | Pies | m | Pies |
| WP-103 (BAC- 111) | 3 | 9 | 11 | 36 |
| AVQ-20 (Convair) | 2 | 7 | 11 | 36 |
| AVQ-50 (Convair) | 2 | 7 | 11 | 36 |
| AVQ-20 (DC-9) | 4 | 13 | 13 | 43 |

## Tabla VI B

## Densidad de Potencia máxima medida (antenas estacionarias)

| Configuración radárica | Densidad de potencia (mW/cm$^2$) | Distancia al radomo (m) |
|---|---|---|
| WP-103 (BAC-111) | 20 | 0,6 |
| AVQ-20 (Convair) | 10 | 1.5 - 1.5 |
| AVQ-50 (Convair) | 26 | Sup. del radomo |
| AVQ-20 (DC-9) | 15 | 2.8 |

## Tabla VII

## Factores de reducción de antenas rotativas Collins WP-103 y RCA AVQ.20 18" antenas

### Collins WP-103

| Distancia de la antena (m) | Ancho del haz (3dB) | Ciclo de trabajo rotativo | |
|---|---|---|---|
| | | Ejer. Fuerza Ae. | Georgia Tech |
| 0.653 | 25.2 | 0.334 | 0.210 |
| 0.830 | 27.2 | 0.263 | 0.143 |
| 1.07 | 12.9 | 0.204 | 0.108 |
| 1.37 | 6.7 | 0.159 | 0.056 |
| 1.76 | 4.9 | 0.123 | 0.0408 |

### RCA AVQ-50, 18" antena

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0.653 | 25.2 | 0.501 | 0.315 |
| 0.830 | 17.2 | 0.394 | 0.215 |
| 1.07 | 12.9 | 0.306 | 0.161 |
| 1.37 | 6.7 | 0.239 | 0.084 |
| 1.76 | 4.9 | 0.186 | 0.0613 |

### RCA AVQ-20, 24" antena

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1.16 | 18.9 | 0.251 | 0.156 |
| 1.49 | 12.9 | 0.195 | 0.108 |
| 1.90 | 9.7 | 0.153 | 0.081 |
| 2.40 | 5.04 | 0.121 | 0.042 |
| 3.13 | 3.67 | 0.093 | 0.0306 |

## RCA AVQ-30X, 3W' antena

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1.815 | 15.1 | 0.134 | 0.0838 |
| 2.32 | 10.3 | 0.104 | 0.0572 |
| 2.97 | 7.7 | 0.0817 | 0.0427 |
| 3.811 | 4.03 | 0.0636 | 0.0220 |
| 4.90 | 2.94 | 0.0495 | 0.0163 |

## Tabla VIII

## Especificaciones técnicas para el radar RCA AVQ.30X

| | |
|---|---|
| Diámetro de antena | 30 pulgadas |
| Ganancia de antena | 34 dB |
| Ancho del haz | 2.9º |
| Ancho del pulso | 5,75 seg. |
| Frecuencia de repetición del pulso | 200Hz |
| Exploración del sector | 180º |
| Potencia pico | 65kW |
| Frecuencia | 9375MHz |
| Angulo de inclinación | ± 40º |

1.000
100
10
1
INTENSIDAD DEL CAMPO ELECTRICO (V/m)
613,5
[3.7644*900/f^1]^1/2
61,35
137
3f^1/2
OCUPACIONAL
61,35
87f^1/2
27,5
1,375f^1/2
POBLACIONAL
1
2
3
10
30
100
400
1.000
10.000
100.000
FRECUENCIA (MHz)

GRAFICO 1

DENSIDAD DE POTENCIA (mW/cm²)
100
20
10
2
1
0,2
0,1
900/f²
20/f²
2/f
180/f²
A
B
C
D
1
0,2
f/400
f/2.000
5
1
OCUPACIONAL
POBLACIONAL
1
3
10
30
100
400
1.000
2.000
10.000
100.000
FRECUENCIA (MHz)

GRAFICO 2

FIGURA 1

Electric and magnetic fields very near to a dipole.

FIGURA 2

La reducción de ganancia en campo cercano como una función de la distancia en unidades del campo lejano, para las antenas de apertura circular que tienen un coseno en iluminación pedestal de −10 dB.

FIGURA 3

Reducción de ganancia para ángulos "OFF BORESIGHT" como una función del Factor de Proporcionalidad del haz para antenas de apertura circular que tienen un coseno en iluminación de pedestal de − 10 dB.

FIGURA 4

FIGURA 5

FIGURA 6

Datos calculados y medidos para el radar RCA AVQ-20

FIGURA 7

Datos calculados y medidos para el radar RCA AVQ-50

FIGURA 8

FIGURA 9

FIGURA 10

*Referencias*


1. Federal Aviation Administration, "Recommended Radiation Safety Precautions for Airborne Weather Radars". Federal Aviation Administration Advisory Circular AC N" 20-68. March 11, 1970

2. Aslan E. "Broad-Band Isotropic Electromagnetic Radiation Monitor", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement IM-21*: 421, 1972

3. Palmisano W.A. and Sliney D.H. "Instrumentation and Methods Used in Microwave Hazard Analysis", Presented at the American Industrial Hygiene Association Meeting, 1967, reprinted in *Laser and Microwave Hazards Course Manual*, U.S. Army Environmental Hygiene Agency, Edgewood Arsinal, MD.

4. Cain, F. L., Weaver, E. E., and Duffy, E. F., "Prediction of Near-Field Coupling Between Misaligned Antennas", In IEEE Electromagnetic Compatibility Symposium Record, pp. 302-308, IEEE Publication 74CHOS03-7EMC, 1974

5. Cain F.L. Ryan C.E. Cown B.J. and Weaver E.F, "Electromagnetic Effectiveness Investigations of Near-Field Obstacle Effects, Antenna Coupling, and Phased Arrays", Final Engineering Reports, project A-1399, Contract NO0024-72-C 1274, Georgia Institute of Technology, 1973, ASTIA Doc. AD 911 724 L.

6. Air Force Communications Service, "Electromagnetic Radiation Hazards", U.S. Air Force Technical Manual T.O. 317-10-4, 1971

7. Departments of the Army and Air Force, "Control of Hazards to Health From Microwave Radiation", Department of the Army Technical Bulletin TB MED 270, Department of the Air Force Manual AFM 161-7, page 6, 1965

8. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, "Nonionizing Radiation", Title 29 Code of Federal Regulations 1910-97

9. American National Standards Institute, "Safety Level of Electromagnetic Radiation with Respect to Personnel", ANSI C95.1, 1974.

10. Tell R.A. and Nelson J.C. "Microwave Hazards Measurements Near Various Aircraft Radars", Radiation Data and Reports, 15: 161, 1974.

.

# Prospección de radiación electromagnética ambiental no Ionizante

Radiación de radiofrecuencias:
Consideraciones biofísicas, biomédicas
y criterios para el establecimiento
de estándares de exposición

**VOLUMEN II**

**Texto digitalizado y revisado del original
por el personal del Centro de Información Técnica
de la Comisión Nacional de Comunicaciones**

ADOLFO PORTELA
Investigador Superior
del Consejo Nacional de Investigaciones
Científicas y Técnicas, Centro de Estudios Comparados (CEC)
Asesor Científico del Estado Mayor General de la Fuerza Aérea

JORGE JUAN SKVARCA
Jefe del Departamento de Radiofísica Sanitaria
Dirección Nacional de Calidad Ambiental
Secretaría de Salud
Ministerio de Salud y Acción Social

EDGARDO B. MATUTE BRAVO
Director General de Defensa Nacional
Secretaría de Comunicaciones
Ministerio de Obras y Servicios Públicos

LUIS A. LOUREIRO
Estado Mayor General del Ejército Uruguayo,
República Oriental del Uruguay
Investigador Visitante, Centro de Estudios Comparados (CEC)

DIRECCION NACIONAL DE CALIDAD AMBIENTAL
SECRETARIA DE SALUD
MINISTERIO DE SALUD Y ACCION SOCIAL

Los autores agradecen la tarea realizada por el
personal de la Imprenta del Congreso de la Nación

# PROLOGO

La exposición de la población en general causada por fuentes artificiales de radiaciones de radiofrecuencia (RF) y microondas (M0) excede hoy día considerablemente la provocada por fuentes naturales. El vertiginoso incremento de esas fuentes y el aumento en sus potencias probablemente llegue a producir una "contaminación electromagnética".

Entre las principales fuentes artificiales se incluyen las instalaciones de radar, emisoras radiales y de TV, equipos de telecomunicaciones, etcétera. Por otra parte los equipos de uso industrial, comercial y doméstico, en particular aquellos en los que la energía se utiliza para producir calor, también implican un riesgo potencial.

Los problemas de contaminación varían entre la simple interferencia electromagnética, como por ejemplo la que afecta la operación de un servicio de salud, y los riesgos directos para la salud de las personas expuestas a tales radiaciones.

Hoy día ya se dispone de pruebas, aunque escasas, de los efectos en el hombre debido a exposición excesiva, aguda y accidental. A fin de obtener mayor información deben incrementarse investigaciones epidemiológicas serias.

Estas últimas, junto con las consideraciones teóricas y estudios con animales de experimentación, constituyen la base para establecer normas para la protección de la salud.

En algunos países dichas normas han sido modificadas recientemente y existe una tendencia a adoptar límites de exposición menos dispares en comparación con las propuestas hace 15 años.

Nuestro país, a través, de la Dirección Nacional de Calidad Ambiental, de la Secretaría de Salud, preparó en base a estudios e investigaciones realizadas por el Instituto de Investigaciones Biofísicas (INDEBIO) como también otros organismos e instituciones internacionales, *Prospección de radiación electromagnética ambiental no ionizante.* Su primera parte, el Manual de estándares de seguridad para la exposición a radiofrecuencias comprendidas entre 100KHz y 300GHz, propone los límites de exposición ocupacional y a la población en general.

En su segunda parte se proponen también normas de seguridad en telecomunicaciones y radar con ejemplos prácticos de medición y cálculo. En la misma se exponen consideraciones biofísicas y criterios tenidos en cuenta en esta publicación.

La Dirección Nacional de Calidad Ambiental agradece a todos los colaboradores de esta publicación al mismo tiempo que subraya la necesidad de continuar y perfeccionar la labor iniciada en este campo.

MINISTERIO DE SALUD Y ACCIÓN SOCIAL
SECRETARÍA DE SALUD
DIRECCIÓN NACIONAL DE CALIDAD AMBIENTAL
AÑO 1988

# Planteo de la obra

Los riesgos asociados con la tecnología nuclear o de radiación X, fuero estudiados con antelación a su aplicación general (y siguen estudiándose y evaluándose) posibilitando el establecimiento y la revisión de normas de seguridad para el personal que trabaja en instalaciones; y para el medio ambiental, con actitud sanitaria preventiva. Esta labor permanente de investigación en el área de los bioefectos de la radiación electromagnética ionizante (rayos X y gamma) permitió reducir los riesgos, y por lo tanto aumentar la utilización de dispositivos nucleares generadores de energía, así corno también de aquellos derivados de la tecnología de radiación X (medicina, industria).

El desarrollo de la tecnología del electromagnetismo, con su rápida utilización de la energía de radiofrecuencias (incluye el ámbito de microondas) en sistemas de comunicaciones, radares, industria del moldeado de plásticos, hornos domésticos, medicina (diatermia), instalaciones de uso civil y militar, etcétera, ha provocado un nuevo tipo potencial de contaminante ambiental, de incidencia creciente.

Muchos son los países - incluyendo el nuestro- que han dictado reglamentaciones contra todo aquello que provoque contaminación ambiental: desde establecer niveles permisibles - cuando es inevitable el uso de determinados medios - hasta la desaparición del elemento agresivo productor.

Los efectos de las radiaciones electromagnéticas no ionizantes de radiofrecuencias son motivo de preocupación, ya que sus manifestaciones tienen un determinado espectro de daños, cubriendo desde lesiones leves y temporarias hasta graves y permanentes (crónicas e irreversibles); todo depende de la interacción entre los sistemas biológicos y las radiaciones, de acuerdo a sus características.

Los países que poseen alta tecnología han manifestado su preocupación y han alertado a los demás, en etapa anterior de desarrollo, porque consideraron que este tipo de contaminación electromagnética puede constituir una real amenaza, aunque de menor grado que la contaminación químico industrial que afecta actualmente a los grandes centros fabriles del mundo.

El problema de la dosimetría es muchísimo más complicado en el caso de la radiación electromagnética no ionizante (radiofrecuencias) que en el de la radiación electromagnética ionizante (X, gamma) En consecuencia, hemos trabajado en el laboratorio, para la obtención de información cuantitativa sobre la distribución de campos eléctricos (E) y magnéticos (H), y de la energía absorbida en sistemas biológicos, en estrecha colaboración con centros de investigación internacionales (período 1972-1987).

Es obvio que los estándares de protección contra la radiación de radiofrecuencias deben expresarse en términos de la intensidad del campo E (y H) y densidad de potencia $P_d$ en el espacio libre.

El propósito de la prospección de radiación de radiofrecuencias es medir los campos E y H, y Pd en el ambiente donde el hombre puede estar eventualmente expuesto y comparar esas mediciones con los estándares de niveles permisibles de exposición establecidos.

Los monitores miden $E^2$, que en el campo de radiación electromagnética es proporcional a $P_d$.

Hasta la década del 70 era casi imposible lograr cualquier tipo de conclusión cuantitativa acerca de dosimetría obtenida de estas mediciones, debido a la variedad de condiciones posibles de exposición. Así, resultó necesario establecer en el laboratorio, una relación cuantitativa entre los campos medidos externamente y los campos E inducidos en la masa corporal compleja

(tejidos, órganos, sistemas). De esta manera, se logró determinar la absorción específica de energía electromagnética en los tejidos, y relacionarla con los efectos biológicos observados.

Debido al desarrollo alcanzado en los últimos años, se ha implementado la tecnología y teoría para determinar E, H y $P_d$ en el nivel de tejidos, órganos, sistemas, normatizándose así las metodologías dosimétricas empleadas. De esta manera se estableció un criterio entre laboratorios de diferentes naciones técnicamente avanzadas, respecto del nivel de exposición a radiofrecuencias que debe considerarse primariamente no riesgoso.

En conclusión, los resultados de laboratorio y epidemiológicos han conducido progresivamente a la revisión de los estándares de exposición existentes.

El presente trabajo fue realizado para desarrollar un manual de estándares de seguridad para la exposición a radiofrecuencias. El mismo se fundamentó en los posibles riesgos de exposición. Esta obra se presenta en dos volúmenes.

El contenido del volumen I se ha dividido en dos partes. La primera parte comprende "Manual para estándares de seguridad: Límites de exposición ocupacional y poblacional en general a campos electromagnéticos (EM) de radiofrecuencias comprendidas entre 100 KHz y 300 GHz"; y la segunda parte incorpora "Normas de seguridad para la exposición ocupacional del personal de telecomunicaciones y estaciones de radar: ejemplos prácticos de medición y cálculo de la exposición a radiofrecuencias".

El volumen II, titulado "Radiación de radiofrecuencias: consideraciones biofísicas, biomédicas y criterios para el establecimiento de estándares de exposición", también se ha confeccionado en dos partes.

La primera parte trata de "Filosofía del establecimiento de estándares de emisión y estándares de exposición: protección para radiación de radiofrecuencias"; y la segunda parte presenta la fundamentación biomédica para el establecimiento de los estándares "Biofísica de las radiaciones y dosimetría: absorción y distribución de la energía electromagnética de radiofrecuencias en el cuerpo humano".

## Colaboradores

Alférez Carlos A. Rossi; mayor Rafael González Osterode y comodoro Francisco P. Matassi, miembros de los comandos de Instrucción, Regiones Aéreas y Operaciones Aéreas, respectivamente, del Estado Mayor General de la Fuerza Aérea.

Ingenieros Jorge Marchesano, Lucio Mancini y Maño Alberto Pascual, director Departamento de Operaciones, jefe de la Sección Principal Radioaficionados y jefe de la Sección Principal. de la Red de Emergencia Nacional, respectivamente, de la Dirección General de Defensa Nacional, Secretaría de Comunicaciones, Ministerio de Obras y Servicios Públicos.

Los miembros del Club de Buenos Aires, destacándose por las estimulantes discusiones durante el desarrollo del trabajo y en la formación del banco de datos.

Pedro C. Hessling Aleman, integrante de comisiones de Ciencia y Tecnología de las Cámaras de Diputados y Senadores, del Congreso Nacional, quien participó en la filosofía del establecimiento de estándares de exposición, asegurando la claridad de los criterios elaborados, que en definitiva plasmaron el manual.

Los miembros de las facultades de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Católica de Salta, quienes siguieron el desarrollo de los estudios y contribuyeron en discusiones y seminarios.

## Síntesis

Todas las guías o estándares son por su naturaleza, evolucionarias, puesto que están basadas en el conocimiento existente en el momento de su confección.

Las revisiones y refinamientos ocurren a medida que el conocimiento se amplía.

Las perspectivas de revisiones futuras de estas guías o estándares son considerables.

# Indice

Prólogo
Planteo de la obra .
Colaboradores
Síntesis

PRIMERA PARTE
Estándares de protección para radiación de RF
Filosofía del establecimiento de estándares
Estándares de emisión
Estándares de exposición
Conclusiones
Estándares de exposición humana
Tabla 1
Tabla 2

SEGUNDA PARTE
1 Resumen .
2 Fuentes de radiación por microondas
2.1 Sistemas de comunicación por satélite
2.2 Sistemas de radar
2.3 Transmisores de radiodifusión
2.4 Aparatos emisores de energía de microondas para la producción de calor
3.0 Biofísica - Absorción y distribución de la energía
3.1 Características del medio biológico
3.2 Onda plana incidiendo en láminas planas de tejido
3.3 Capas de tejido esféricas expuestas a ondas planas
3.4 Modelos elipsoidal y esferoidal - prolato de hombre y animales
3.5 Modelos varios y condiciones de exposición
3.6 Métodos de medición - Dosimetría
4.0 Mecanismos de interacción
4.1 Interacciones macroscópicas
4.2 Interacción microscópica - Mecanismos moleculares
4.3 Interacciones celulares
4.4 Interacción a través de fuerzas inducidas por el campo
4.5 Otros mecanismos de interacción
4.6 Consideraciones térmicas en la absorción de ondas EM
4.7 Interacción de microondas con materiales biológicos
4.8 Propiedades dieléctricas
4.9 Características de propagación y absorción de las ondas
5.0 Efectos de RF - Microondas en marcapasos
6.0 Fisiología de la termorregulación: Neuroendocrinología
7.0 Información adicional que completará la historia clínica del personal trajando en RF - Microondas

Laboratorio
Tablas 1 al 13
Figuras 1 al 27
Diagramas 1 al 20
Referencias

.

**Primera parte**

# Filosofía del establecimiento de estándares de emisión y estándares de exposición: protección para radiación de radiofrecuencias

## ESTANDARES DE PROTECCION
## PARA RADIACION DE RADIOFRECUENCIAS

La radiación de radiofrecuencias en determinadas intensidades y duraciones de exposición puede producir efectos biológicos dañinos de acuerdo con la bibliografía conocida.

Para proteger a la población en general y al personal expuesto ocupacionalmente se proponen dos tipos de estándares:

- Pautas para la protección del personal (estándares de exposición) y
- Regulación del funcionamiento de los sistemas emisores de radiofrecuencia (estándares de emisión) .

Un estándar de exposición se refiere al máximo nivel de exposición permisible de cuerpo entero (CE) o de algunas partes del mismo, y generalmente considera por lo menos diez factores de seguridad.

Un estándar de emisión se refiere a los equipos y especifica la emisión máxima (fuga de radiación) desde el dispositivo, a una distancia especificada. La máxima emisión permisible (o fuga) es tal que la exposición que resulta de ella, se encuentra generalmente varios órdenes de magnitud por debajo del estándar de exposición del personal. Los estándares para emisión y exposición del personal están programados para proteger al público en general y al trabajador, pero no se aplican para la utilización de energía de RF-MO con propósitos de diagnóstico o terapéuticos (ejemplo: diatermia; Ver Portela, Congreso Internacional del Cáncer, 1978; 1er. Congreso Mundial de Ingeniería y Medio Ambiente, 1981).

## FILOSOFIA DEL ESTABLECIMIENTO DE ESTANDARES

El establecimiento de estándares no es tarea fácil y requiere de una perspectiva adecuada y de la determinación realista de los efectos biológicos de manera que un individuo o el público en general no sean expuestos excesivamente. Más aun, la utilización provechosa de la energía no debería ser impedida o restringida innecesariamente.

La cuantificación de la respuesta biológica a las radiofrecuencias es un problema complejo debido al amplio espectro de frecuencias, gran número de variables físicas y biológicas y a las correlaciones entre estas variables.

Si hubiera una relación establecida cuantitativamente entre las densidades de potencia de la radiación incidente y todos los efectos biológicos en el ser humano, sería simple definir los niveles de seguridad.

Desafortunadamente nuestro conocimiento no es completo; la mayor parte de los datos científicos han sido obtenidos a partir de la experimentación en pequeños mamíferos o en organismos más simples; y relacionar los resultados experimentales al ser humano no es siempre un proceso definido claramente, por cuanto no puede realizarse simplemente una extrapolación. Además, existe una gran cantidad de evidencia no corroborada y contradictoria sobre varios efectos biológicos. En cualquier caso, debería hacerse la distinción precisa entre efectos *per se* y efectos potencialmente dañinos.

La comprensión del mecanismo de interacción que precede al efecto ayuda en gran medida a la traducción de los resultados experimentales en posibles riesgos de exposición para el hombre.

Diferentes filosofías son la base de los estándares de seguridad para los diversos países. Por ejemplo la URSS y algunos países del este europeo parecen aplicar para el establecimiento de sus estándares el principio ALARA (As Low As Reasonably Achievable) que implica que

cualquier exposición a la radiación de RF-MO debería ser limitada ya que puede comprender algún grado de riesgo.

En algunas instancias se emplea un factor de seguridad de 100 o aun 1.000.

Los interrogantes básicos que deben resolverse antes del establecimiento de estándares para la radiación de RF-MO fueron formulados durante la realización del trabajo, como sigue:

- ¿Los efectos biológicos observados en el ser humano son producidos por la exposición a radiofrecuencias?
- ¿Podrían estos efectos representar un riesgo sanitario potencial para el público en general o para el personal expuesto ocupacionalmente?
- ¿Cuáles son las fuentes de microondas? ¿Cuál es su régimen de crecimiento? ¿Son controlables?
- ¿Aliviarían este problema los estándares?
- ¿Cuál es el riesgo de exposición aceptable para la salud?
- ¿Cuál es el impacto económico que ocasiona el control?

Como la cantidad de datos sobre los efectos de la radiación de radiofrecuencias sobre el ser humano es muy limitada, es necesario atenerse a los datos de exposición de animales y modelos.

## ESTANDARES DE EMISION

Los estándares de emisión limitan la emisión de radiación desde dispositivos usados con frecuencia, en medios no controlados. Un ejemplo típico de estándares de emisión es el de los hornos de microondas en Canadá y en los Estados Unidos.

Las regulaciones canadienses se aplican para aparatos o serie de componentes diseñados para proveer energía de RF-MO a materiales dentro de una cavidad, en el rango de frecuencias de 10 MHz a 300 GHz; en otros términos, para hornos de microondas industriales, domésticos y comerciales. La emisión de radiación permitida es 1 $mW/cm^2$ con una carga de agua de 50 ml y 5 $mW/cm^2$ sin carga, a una distancia desde el horno de 5 cm. Las reglamentaciones de los Estados Unidos se aplican a los hornos de microondas usados en los hogares, restaurantes, comercios de despacho de alimentos y otros establecimientos similares que operan a frecuencias entre 980 MHz y 6 GHz en las bandas distribuidas ISM. La densidad de potencia de la radiación emitida por un horno de microondas a una distancia de 5 cm desde el mismo no debe exceder 1 $mW/cm^2$ antes de su adquisición por el cliente o comprador, y no más de 5 $mW/cm^2$ posteriormente. La carga de prueba es de 274 ml de agua. Adicionalmente, ambas regulaciones requieren otros aspectos de seguridad, como absorbentes para proteger de posibles exposiciones por mal funcionamiento del horno.

Otro ejemplo de estándares de emisión es la regulación de la diatermia que ha sido propuesta en Canadá y en los Estados Unidos.

Es conveniente examinar los niveles de exposición humana que puedan resultar de la emisión de radiación máxima de RF-MO, de 5 $mW/cm^2$.

La densidad de potencia de radiación en la cercanía de un horno con filtración de microondas disminuye rápidamente, aproximadamente como la inversa del cuadrado de la distancia desde el horno. A una distancia de 30 cm desde un horno que opera a 2.450 MHz, la densidad de potencia es de alrededor de 0,1 $mW/cm^2$, mientras que a 1 m disminuye a 0,01 $mW/cm^2$.

Se realizó por termografía, un cálculo de la energía depositada en modelos de seres humanos expuestos a la emisión electromagnética de un horno que opera a 915 MHz.

Los resultados del estudio resumido en la tabla 1 muestran los valores del régimen de absorción específico de energía en varias partes de un modelo de mujer y de niño a tres distancias diferentes desde el horno para una pérdida de radiación de 1 $mW/cm^2$ y a 5 cm desde el horno. El régimen de absorción metabólico de reposo (basal) de un adulto promedio es aproximadamente de 1,65W/Kg

## ESTANDARES DE EXPOSICION

A pesar de que se ha reconocido la necesidad de establecer estándares de exposición unificados y de aceptación internacional, y del esfuerzo realizado para lograr el Acuerdo, aún existe una diferencia entre los estándares de los países occidentales, y aquellos de la URSS y de los países de Europa Oriental. En varios países se han preparado algunas revisiones limitadas de los estándares de exposición que se resumen a continuación.

Existen dos tipos de estándares según el grupo de personas que se proteja, los que específicamente son:

- el estándar ocupacional para proteger a las personas que trabajan en medios de radiación de RF-MO, y
- estándares ambientales (también llamados estándares de salud pública), para proteger a la población en general.

Las condiciones de los estándares en la URSS, Polonia, Checoslovaquia, Bulgaria, República Democrática Alemana se presentan en la tabla 1, del volumen I (primera parte) de este trabajo.

Las condiciones de los estándares para Estados Unidos, Canadá y los países de Europa occidental se resumen en dicha tabla 1.

Algunos otros países no indicados en la misma como Gran Bretaña, Alemania, estipulan límites máximos de exposición permisible prácticamente idénticos a los del estándar del U.S. A.N.S.I.

Se pueden notar varias diferencias fundamentales en estos estándares. El estándar ocupacional de la URSS especifica 5 V/m como la máxima intensidad de campo eléctrico permisible para frecuencias entre 50 y 300 MHz. La densidad de potencia equivalente es de 6,7 $\mu W/cm^2$, mientras que para frecuencias arriba de 300 MHz se permiten 10 $\mu W/cm^2$. [*]En el rango de frecuencias de 30 a 50 MHz, se permite una intensidad de campo eléctrico de 10V/m, la intensidad de campo magnético que da la misma densidad de potencia, es de 0,027A/m, pero se permite una intensidad de campo magnético diez veces mayor (0,3A/m). Existía una razón lógica para estas diferencias en las condiciones de los estándares.

Está claro que los límites para las antenas rotatorias corresponden a los valores medidos con antenas estacionarias, tal como se requiere en la sección sobre mediciones (ver volumen I) En situaciones practicas en campo cercano, la densidad de potencia promedio calculada tomando en cuenta el factor de reducción rotacional, puede ser con frecuencia mayor que una décima de la densidad de potencia de la antena estacionaria. Por otro lado, en campo lejano de un radar de haz angosto, la densidad de potencia promedio puede ser 100 veces menor que aquella para antena estacionaria.

Es interesante notar, que no se hacen distinciones entre antenas estacionarias y rotatorias en los estándares de la URSS relacionados con la radiación de RF-MO en la población en general.

También son claras las condiciones para los estándares relacionados con antenas rotatorias v estacionarias en Polonia ya que está sobreentendido a qué valor de densidad de

[*] Se tuvo en cuenta el ámbito de frecuencias resonantes del hombre

potencia (medido o calculado tomando en cuenta el factor de reducción rotacional) se refiere el límite. Para antenas estacionarias, se permite una exposición ocupacional cinco veces mayor que la exposición de la población en general (1 $mW/cm^2$ versus 0,2 mW/cm2); para antenas rotatorias es diez veces mayor (10 $mW/cm^2$ versus 0,1 $mW/cm^2$).

Es interesante notar que se consideran varios factores de seguridad en los estándares para población en general, que dependen del rango de frecuencia. Los factores de seguridad 20,10 y 3 se aplican a las frecuencias entre 0,3 y 300 GHz de antenas estacionarias y entre 10 y 300 MHz de antenas rotatorias.

Se puede notar una información escasa en algunos estándares que sólo especifican niveles de densidad de potencia, mientras que según se señalara en el desarrollo de este trabajo en campo cercano sólo es posible determinar las intensidades de campo eléctrico y magnético, y sólo la densidad de potencia equivalente de onda plana es una cantidad definida en campo lejano.

## CONCLUSIONES

Se ha logrado un gran progreso en la comprensión de las consecuencias que puede traer sobre la salud la exposición a radiofrecuencias (RF - microondas [MO]), en el rango de frecuencias entre 10 MHz y 300GHz. Los diversos aspectos de los efectos biológicos han sido tratados con diferentes grados de atención -según fuera el caso- y han sido resueltos con diferentes grados de éxito.

En general, la mejor cooperación interdisciplinaria y el diálogo científico internacional han dado como resultado un mayor nivel de acuerdo con respecto a los resultados de las investigaciones realizadas en los últimos años.

Las principales dificultades en la determinación de los riesgos sanitarios potenciales de la exposición humana a RF-MO y en la cuantificación de los resultados de experimentos con animales, derivan de la gran complejidad de las relaciones simples entre las condiciones de exposición y la energía absorbida. No existen métodos directos para medir normalmente la dosis de energía. Más aún, la relación entre la dosis y el efecto no es simple en absoluto (ni se comprende bien).

La dosis absorbida, la energía total absorbida, Régimen de Absorción Específica (SAR), dependen de varios parámetros tales como frecuencia del campo, polarización, la representación sujeto - fuente, tamaño y forma del sujeto, y de factores ambientales como la presencia de objetos metálicos u otros objetos vivientes.

El régimen de deposición de energía en el sistema viviente, que resulta de la exposición, es altamente no uniforme. La distribución espacial de la energía absorbida depende de los parámetros del campo, como la frecuencia, polarización, modo de propagación (por ejemplo, una onda plana) y de las características del sistema, estructura interna del tejido, etcétera. Recientemente se ha logrado un progreso considerable en cuanto a dosimetría, y la comunidad de investigadores ha avalado el control estricto de las condiciones de exposición por su importancia. Idénticas condiciones de exposición dan como resultado no sólo diferentes valores de la energía total absorbida sino también diferentes distribuciones en el espacio de la energía absorbida en los cuerpos de las diferentes especies de animales. Aun suponiendo que se conocen la distribución de energía y el calor resultante, los efectos psicológicos no siempre pueden ser determinados para varias especies, inclusive para el hombre.

La falta de conocimiento, o el reconocimiento insuficiente de la complicada relación entre la dosis y el campo de exposición, debido a la falta de datos de dosimetría cuantitativa en los primeros trabajos experimentales de Occidente y en la mayor parte de los trabajos de los países del bloque soviético y de Europa oriental, trajo aparejado que los resultados de estos experimentos tuvieran un valor limitado. Sin embargo, el progreso que se ha alcanzado en los años más recientes en cuanto a dosimetría, ha abierto nuevos caminos para la investigación más rigurosa de los efectos biológicos de RF - microondas (MO).

Los puntos principales de las investigaciones recientes en el campo de la dosimetría incluyen el establecimiento de la existencia de frecuencias resonantes para el cuerpo entero y sus partes, en varias especies de animales, y también el desarrollo de métodos teóricos para predecir estas frecuencias resonantes. A pesar de que estos métodos emplean ciertas suposiciones simplificadoras, han sido verificados experimentalmente, y su valor e importancia son innegables. La absorción promedio del cuerpo entero (CE) puede ser calculada a partir del régimen de absorción Específica (SAR), dadas las varias condiciones de exposición a una onda plana de los diversos animales. El uso de un *Manual de dosimetría* en preparación (A. Portela, J. Skvarca, L. A. Loureiro, 1988) es una herramienta sumamente útil para la cuantificación de los resultados de experimentos en animales y para extrapolar los datos al ser humano. El calentamiento no uniforme del cuerpo humano o animal y de sus partes -específicamente la cabeza- ha sido demostrado y se dispone de los métodos que permiten de la cabeza con la inducción de hot spots (puntos calientes). El empleo de métodos dosimétricos en los experimentos con animales ha suministrado, en los últimos años, más datos cuantitativos y ha hecho posibles extrapolaciones más confiables a exposiciones de seres humanos. Una apreciación de la inducción de gradientes térmicos en cerebros de animales expuestos a campos de RF-MO conducirá a la determinación de mecanismos de interacción capaces de explicar los efectos fisiológicos y psicológicos observados.

Se han logrado nuevos progresos en las técnicas de medición y en la instrumentación para evaluar los campos incidentes, los campos inducidos internamente y las temperaturas resultantes en los animales experimentales durante la exposición. Se ha perfeccionado el diseño de las cámaras para exponer animales y se han desarrollado métodos más sofisticados para la exposición de preparaciones *in vitro*, equipos libres de "artefacto" (por ejemplo, electrodos implantables).

Las bases y mecanismos biofísicos del fenómeno de audición de microondas ya han sido establecidos.

Se ha reconocido la importancia del efecto que tiene este fenómeno en los estudios de comportamiento, cuando la exposición se realiza en campos pulsados, y se ha hecho hincapié en la posibilidad de interpretaciones erróneas de los primeros resultados experimentales.

Dos de los nuevos efectos investigados en los últimos años -ambos muy interesantes -, que pueden conducir a la determinación de los mecanismos de interacción y a una mayor comprensión de los efectos observados, son los cambios en el flujo de iones de calcio y la permeabilidad de la barrera sangre - cerebro.

El flujo de iones de calcio a través de las membranas del cerebro es afectado por campos de frecuencias extremadamente bajas (6-20 Hz) o por amplitudes moduladas de campos RF a estas frecuencias. Se han observado cambios en la permeabilidad de la barrera sangre - cerebro a niveles de densidad de potencia relativamente bajos (<10 $mW/cm^2$, a frecuencias muy cercanas a la frecuencia de resonancia de la rata). El flujo de iones de calcio ha sido planteado independientemente por grupos de investigadores y a pesar de que ya se han sugerido algunos mecanismos de interacción, aún es necesario una explicación más acabada. El fenómeno de alteración de la permeabilidad de la barrera sangre - cerebro no se ha establecido bien, y requiere nuevas investigaciones antes de que pueda emitirse una hipótesis sobre su mecanismo de interacción.

Ha habido nuevos progresos en la obtención de datos cuantitativos de los efectos de exposición a densidades de potencia promedio relativamente bajas (<10 $mW/cm^2$), para el caso de neuroendócrinas y sistema nervioso central de animales pequeños; y en el desarrollo fetal, después de la irradiación durante etapas críticas de la gestación.

Parece haber consenso entre los científicos en que la mayoría de los efectos de la exposición a radiación de RF-MO, son de naturaleza térmica. Sin embargo, esta afirmación no debería ser tomada en forma simplista. Los efectos del calor inducido por RF-MO son

significativamente diferentes de los efectos producidos por otras modalidades de calentamiento. Tres rasgos característicos del calor inducido por RF-MO son: profundidad de penetración variada, existencia de *hot spots* internos y rapidez de calentamiento.

La inducción de no uniformidades en la temperatura de varias partes del cerebro puede producir alteraciones cuyo grado y consecuencias no se conocen completamente aún.

Pero todavía, es muy pronto para estar de acuerdo con todos los efectos de estrés térmico observados. Se ha establecido que la irradiación de animales pequeños a 10 $mW/cm^2$ o menos, a determinadas frecuencias, puede dar como resultado niveles de calentamiento pequeños.

A frecuencias de resonancia - o cerca de las mismas- el animal "percibe" una intensidad de campo incidente mucho mayor que aquella medida por un medidor de densidad de potencia.

Los estudios realizados sobre los efectos en sistemas moleculares no han indicado en forma definida alteraciones no térmicas específicas en el rango de frecuencias de 10 MHz- 300 GHz.

La excepción, flujo de iones de calcio, está relacionada específicamente con frecuencias muy bajas (cercanas a las frecuencias de ondas cerebrales).

No obstante el progreso alcanzado en los últimos años, aún es necesario realizar nuevas investigaciones sobre efectos biológicos de la radiación de RF-MO para lograr una mayor comprensión dé los mecanismos de interacción y de las consecuencias para la salud humana. Es conveniente efectuar un enfoque interdisciplinario y formular en forma definida y competente los interrogantes más importantes. Es necesario realizar más estudios sobre las siguientes áreas en particular:

1. Efectos biológicos y psicológicos de exposiciones crónicas de nivel bajo (menor que 10 $mW/cm^2$) en los sistemas neuroendócrino y nervioso. Esto debería incluir la evaluación del estrés térmico de largo plazo producido por calentamiento rápido y no uniforme de varias partes del cuerpo, aún a niveles relativamente bajos.
2. Determinación del valor de los datos de animales para predecir la respuesta humana.
3. Estudios de la permeabilidad de la barrera sangre - cerebro.
4. Interacción de campos de RF-MO con membranas incluyendo efectos de frecuencia modulada.
5. Efectos de la exposición en los componentes de la sangre, teniendo en cuenta las contradicciones en resultados informados (por ejemplo, linfocitos)
6. Efectos de la exposición a radiación de ondas milimétricas.
7. Dosimetría de exposiciones en campo cercano y de radiación múltiple.
8. Métodos de medición e instrumentación para mediciones en materiales biológicos in vivo durante la exposición, especialmente con el fin de obtener datos de dosimetría esenciales.

Además, los resultados experimentales deberán ser determinados no sólo para definir el carácter cuantitativo de un efecto sino también para proveer una distinción entre un efecto benigno y uno riesgoso. También es necesario realizar una revisión crítica de todos los trabajos publicados. Desafortunadamente, el proceso de revisión exhaustiva no ha sido lo suficientemente estricto, y muchos informes de estudios conducidos en forma deficiente han producido considerable confusión en el campo.

El uso difundido y en constante aumento de las energías de RF-MO y la existencia de efectos dañinos con respecto a las mismas - cuando se las usa sin control -, hacen que se aplique el principio de protección de la salud pública al control de las radiaciones de RF-MO. Este control debería ejercerse para asegurar que el trabajador y la población en general no serán expuestos indebidamente, y que el progreso tecnológico y las aplicaciones provechosas de estas energías no serán obstaculizados ni restringidos innecesariamente.

## ESTANDARES DE EXPOSICION HUMANA

Los diversos factores que deben considerarse para el desarrollo de estándares de exposición han sido revisados.

A continuación se hace un resumen de las premisas y condiciones básicas de tal estándar, basándonos en la revisión de la información disponible:

1. La interacción de los campos de RF-MO con sistemas biológicos (con la posibilidad de efectos de modulación especiales) se realiza a través de mecanismos de conversión térmica.

2. El estrés térmico inducido por exposición a RF-MO es específico para estos tipos de energía, debido a la rapidez de calentamiento y al calentamiento profundo no uniforme que puede dar como resultado gradientes térmicos en el cuerpo.

3. La absorción de energía de radiofrecuencia y su distribución espacial en el cuerpo humano dependen de la frecuencia.

4. Debe emplearse un enfoque prudente para el establecimiento de niveles permisibles máximos de exposición ya que los riesgos sanitarios potenciales de la irradiación crónica de nivel bajo aún no han sido determinados.

5. Hasta el momento no se dispone de información suficiente para establecer los diferentes límites para radiación pulsada, a pesar de que se reconoce la posibilidad de que la radiación pulsada sea más dañina que la radiación de onda continua (OC o CW) en los mismos niveles de potencia promedio.

6. Aún no se han establecido efectos biológicos de nivel bajo realmente acumulativos de radiación de RF-MO.

7. La región de radiofrecuencias de 0, 1 MHz - 300 GHz puede ser dividida en cuatro ámbitos de frecuencias (ver volumen I, primera parte).

En el ámbito de frecuencias de 30 MHz - 400 MHz se produce un fenómeno de resonancia en el cuerpo entero y sus partes. El calentamiento de alguna de las partes puede ser un orden de magnitud mayor que la carga térmica promedio, cuando la radiación está cerca de la frecuencia de resonancia.

En la tabla 2 se establece una comparación entre el régimen de absorción específica (SAR) de exposiciones a 1 $mW/cm^2$ y el régimen metabólico nasal promedio (BMR) para el hombre a varias frecuencias.

Es importante señalar aquí, que la frecuencia de resonancia disminuye cuando el blanco biológico está en contacto con el suelo. Para un hombre estándar en contacto eléctrico con el suelo, la frecuencia de resonancia es aproximadamente 40 MHz. En el caso de niños, es mayor que para el hombre estándar; por ejemplo, para un niño de 0,50 m de altura la frecuencia de resonancia es aproximadamente 230 MHz y los valores SAR/BMR de la tabla 2 deberían ser modificados, con respecto a la frecuencia.

Los datos de la tabla D indican que el valor máximo permisible de densidad de potencia de 1 $mW/cm^2$ daría corno resultado una carga térmica insignificante, aun en el peor caso de resonancia.

El $SAR_{prom}$ CE estaría un 20% debajo del metabolismo basal (BMR) con la posibilidad de un aumento al 30 % para un hombre en contacto con el suelo y a un 40% o más durante períodos cortos en presencia de reflectores metálicos.

Fuera de la región de resonancia, el régimen de absorción específica disminuye igual que la profundidad de penetración, y se forman *hot spots* sólo cerca de la superficie del cuerpo. En el rango de frecuencias de 1 GHz - 300 GHz, el máximo nivel permisible de densidad de potencia de 5 mW/cm$^2$ da como resultado una relación SAR/BMR debajo del 15 %.

8. En el rango de frecuencias de 0,1 MHz - 3 MHz especialmente en el extremo más bajo (ver volumen I).

Puede realizarse la exposición en campo cercano. La máxima exposición permisible debería ser definida en términos de la intensidad del campo eléctrico y magnético más que por la densidad de potencia.

El régimen de deposición de energía en el cuerpo humano depende, por otra parte, de las intensidades de campo E y H; y a frecuencias más bajas los campos inducidos en el cuerpo por el campo magnético son mayores que aquellos inducidos por el campo eléctrico.

9. Existe poca información, que pueda ser usada para establecer un máximo nivel permisible de irradiación para exposiciones parciales del cuerpo.

Además de la promulgación de estándares de exposición para la radiación de RF-MO con el objeto de asegurar la protección adecuada del trabajador y de la población, debería fijarse un programa educacional especialmente dirigido a aquellas personas expuestas ocupacionalmente a la radiación de RF-MO.

TABLA 1

**Los regímenes de absorción específica en mW/g de modelos de mujer y niño expuestos a 1 mW/cm$^2$, medidos a 5 cm desde la fuente; f = 915 MHz.**

| Sujeto y región del cuerpo | Distancia desde la fuente | | |
|---|---|---|---|
| Niño, 0.94m, 15Kg. | 4.8 cm | 9.9 cm | 35.3 cm |
| Nasal (caballete Nasal) | 0.46 | 0.18 | 0.05 |
| Laríngeo | 0.11 | 0.10 | 0.02 |
| Orbital derecho | 0.14 | 0.06 | 0.03 |
| Orbital izquierdo | 0.15 | 0.04 | 0.05 |
| | | | |
| Mujer, 1.63 m, 59 Kg. | 5 cm | 10.1 cm | 35.5 cm |
| Púbica | 0.10 | 0.04 | 0.02 |
| Pudental | 0.10 | 0.04 | 0.02 |
| Umbilical | 0.14 | 0.05 | 0.02 |
| Abdominal lateral derecho | 0.09 | 0.05 | 0.01 |
| Abdominal lateral izquierdo | 0.05 | 0.05 | --- |

TABLA 2

**Relación SAR y BMR para un hombre promedio expuesto a una onda plana de 1 y 5 mW/cm$^2$ de densidad de potencia.**

| Frecuencia (MHz) | 10 | 20 | 50 | 60 | 80 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SAR/BMR (%), 1 mW/cm$^2$ | 0.13 | 0.6 | 5.8 | 16 | 16 | 12 |
| SAR/BMR (%), 5 mW/cm$^2$ | 0.65 | 3.0 | 29 | 80 | 80 | 60 |
| | | | | | | |
| Frecuencia (MHz) | 200 | 500 | 1.000 | 5.000 | 10.000 | 20.000 |
| SAR/BMR (%), 1 mw/cm$^2$ | 5.2 | 3.7 | 2.9 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| SAR/BMR (%), 1 mw/cm$^2$ | 26 | 18.5 | 14.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 |

# Segunda parte

## BIOFÍSICA DE LAS RADIACIONES Y DOSIMETRÍA: ABSORCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA DE RADIOFRECUENCIAS EN EL CUERPO HUMANO

## 1. RESUMEN

Esta sección del trabajo presenta los problemas y soluciones teórico - experimentales relacionados con los mecanismos de interacción - absorción de la energía dé radiación electromagnética por los sistemas biológicos y especialmente, en el ser humano.

Se resuelven, en particular los problemas relacionados con la absorción y la distribución de la energía, teniendo en cuenta diversos niveles de fantomas simulando al hombre, y se evalúan las respuestas térmicas para distintas configuraciones (tamaño y forma) como una función de la frecuencia de radiación.

Las propiedades dieléctricas de los tejidos son tomadas en cuenta para el cálculo de la dosis y se considera la conducta del agua ligada y libre, en la magnitud de los efectos o daños posibles.

Los diversos sistemas generadores de radiación electromagnética de RF - Microondas son analizados en cuanto a los riesgos posibles y medidas de seguridad.

Se analizan los distintos mecanismos de regulación nerviosa y neuroendócrina relacionados con la capacidad del sistema biológico para disipar calor (termorregulación) y la posibilidad clínica de detectar bioefectos mediante el estudio de las funciones endocrinas a través del seguimiento del flujo hormonal medible.

Finalmente son analizadas las situaciones de las radiaciones de RF- Microondas en prótesis electrónicas (marcapasos) y formas de reducir tales riesgos en los pacientes con tales implantes.

## 2. FUENTES DE RADIACION POR MICROONDAS

Las fuentes de radiación por microondas que pueden ser causas de riesgo potencial para la salud pueden dividirse, en general, en dos grupos. El primer grupo incluye las fuentes que irradian energía al espacio sea como haz estrecho (por ejemplo: radar) o bien omnidireccional (por ejemplo: emisoras de radio). El segundo grupo incluye aparatos en que la energía de microondas queda confinada dentro de un cierto espacio (por ejemplo: hornos, diatermia).

.

Es esencial reunir datos integrales sobre los sistemas existentes de radiación por microondas así como evaluar las nuevas aplicaciones para valorar los riesgos potenciales de irradiación. Los desarrollos recientes en fuentes de estado sólido y la consiguiente disminución en el costo ha causado la proliferación de los sistemas de microondas en casas, automóviles, lanchas y aviones privados.

En el campo del guiado y el control podemos anticipar una expansión ulterior de los sistemas de microondas para evitar colisiones y sistemas automáticos de frenado en los vehículos comerciales. Los desarrollos en la tecnología de computadoras, que requieren transmisión de información entre varias terminales, también estimulan una expansión ulterior de sistemas de microondas (1).

En consecuencia, debido a los sistemas existentes y a los nuevos que se agregan, está aumentando el volumen de espacio ambiental en que aparecen niveles medibles de microondas.

Como reconocimiento de la importancia de adquirir conocimientos sobre los niveles de energía radiante generados por el hombre en el ambiente se han destinado recursos sustanciales para la investigación y se ha acumulado una cantidad importante de datos (2-7). Para evaluar los niveles de radiación electromagnética en el ambiente, se desarrolló un sistema automatizado que

permite un análisis de banda estrecha en un amplio intervalo de frecuencias, desde 10 KHz hasta 10 GHz (8).

Con el fin de adquirir un criterio estimativa de problemas potenciales debidos a la radiación ambiental, vale referirse a los datos de los EE.UU. en 1973, que informan sobre el número de fuentes de radiaciones electromagnéticas capaces de producir densidades de potencia entre 10 $mW/cm^2$ y 0,01 $mW/cm^2$ a diversas distancias.

El número de fuentes capaces de producir un nivel de radiación de 10 $mW/cm^2$ a distancias mayores de 1 Km es limitado, pero aumenta espectacularmente para el nivel de 0,1 $mW/cm^2$ (9).

Esos datos deben ser tomados con alguna reserva (9), teniéndose en cuenta que algunas fuentes, debido a su aplicación y configuración geométrico, no producen los niveles de radiación descriptos en lugares accesibles a la gente, por ejemplo, estaciones de comunicación por satélite. Por otra parte, muchas áreas de las grandes ciudades están sometidas a irradiación por fuentes múltiples.

La revisión de varias fuentes de radiación de microondas que aparecen más adelante, tiene por objeto dar una comprensión general de las características básicas de las fuentes que puedan ocasionar daños.

Para evaluar la importancia e impacto de las fuentes debemos tomar en consideración los siguientes factores:

1. Potencial de producción de niveles peligrosos de radiación en condiciones de operación normales y anormales.
2. Número de fuentes en uso.
3. Número aproximado de personas que pueden ser expuestas.
4. Noción del riesgo del personal que trabaja en las cercanías o realiza su mantenimiento (10).

En vista de los resultados de investigación más recientes, factores tales como la frecuencia, la modulación de señal empleada (tipo y frecuencia), la relación máximo - pro- medio de potencias, así como las condiciones de irradiación (campo lejano vs. cercano), son todos pertinentes en cuanto a la determinación de los riesgos potenciales para la salud creados por la fuente de radiación.

## 2.1. **Sistemas de comunicación por satélite**

Las terminales terrestres de los sistemas de comunicación por satélite son las fuentes más poderosas de onda continua (OC o CW) de radiación ambiental con microondas (13). Su modo de operar provee la posibilidad de irradiación prolongada de ciertas regiones del ambiente durante el período de rastreo de satélites.

La necesidad de transmitir energía a través de grandes distancias impone una antena de gran diámetro y elevada potencia de transmisión. Ambos requisitos llevan a producir densidades de potencia elevadas sobre distancias extensas.

El parámetro más característico usado para describir tales sistemas es la *Potencia Eficaz Isotrópica Irradiada* (EIRP), que se define como la potencia hipotética total que una fuente de radiación electromagnética debería irradiar isotrópicamente, de modo que la potencia así irradiada por unidad de ángulo sólido resulte igual a la irradiada en forma real.

Las antenas de sistemas de comunicación por satélite son paraboloidales con diseño Cassegrain (doble reflector) Se ha desarrollado un modelo (10, 13) verificado experimentalmente, que permite calcular las densidades de potencia a distancias variables, dentro de los campos cercanos, intermedios y lejanos, para potencia, frecuencia y diámetro de antena dados.

La tabla I, en parte reproducida de (10), muestra las distancias desde las antenas de varios sistemas para los cuales las densidades de potencia son mayores o iguales que los tres niveles especificados (10, 1 y 0,1 mW/cm$^2$).

El alcance de campo cercano para una antena de sección circular paraboloide puede hallarse a partir de la ecuación (10):

$$d = \frac{D^2}{5{,}66\lambda} \qquad 2.1$$

donde D denota el diámetro de la antena y $\lambda$ la longitud de onda de la radiación. La máxima densidad de potencia de campo cercano (sobre eje) es:

$$W_{max} = \frac{16\eta P}{\pi D^2} \qquad 2.2$$

donde $\eta$ es la eficiencia en apertura, comúnmente $0{,}5 < \eta < 0{,}75$.

Los factores que deben considerarse cuando se evalúa un sistema, en relación con los riesgos potenciales de exposición, incluyen la potencia del transmisor usada en operaciones normales, las características de la antena (incluyendo directividad, ganancia y lóbulos laterales), altura desde el suelo, el ángulo de elevación de la antena y los procedimientos empleados en la operación del sistema.

Un sistema puede producir densidades de potencia importantes y constituir, sin embargo, un riesgo de exposición sólo limitado. A pesar de que los sistemas de comunicación por satélite producen niveles de radiación importantes sobre distancias extensas, el riesgo potencial de exposición para la población es relativamente limitado debido a los siguientes factores:

- Los sistemas están ubicados en áreas escasamente pobladas y son operados por personal entrenado de acuerdo a determinados procedimientos establecidos para minimizar la posibilidad de irradiación.

- Los haces de la antena están bien colimados, y los niveles de radiación fuera del eje disminuyen rápidamente a 0,01 para ángulos mayores que 5 grados (10). Algunos sistemas sólo pueden operar en ángulos de elevación mayores que 7,5 grados por encima del horizonte.

## 2.2. **Sistemas de radar**

Diversas categorías de radar han sido evaluadas desde el punto de vista del riesgo por irradiación. Existe una gran variedad de sistemas y sus características difieren según su aplicación.

La radiación de radar es por pulsos, y para la mayoría de los sistemas, el ancho de pulso y velocidad de repetición son tales que el promedio de la potencia del transmisor es como mínimo dos órdenes de magnitud menor que el valor máximo. Además, muchas antenas de radar rotan, y por lo tanto el promedio de la densidad de potencia en cualquier dirección queda disminuido.

En general los sistemas de radar pueden ser divididos en dos grupos: uno con gran poder de captación y de rastreo, usado para aplicaciones militares y civiles, y el otro con radares de potencia mediana o baja y de mayor proliferación, tales como los de aviación, de embarcaciones pequeñas y de tránsito. Aunque los niveles de radiación generados por las fuentes del primer

grupo son mucho mayores, el número y el fácil acceso del segundo grupo hacen a éste igualmente significativo como riesgo de exposición.

La *potencia eficaz irradiada promedio* desde el eje de la antena, puede ser calculada mediante la expresión:

$$ERP_{prom} = P_t G \tau f \qquad 2.3$$

donde Pt es la potencia máxima del transmisor, G es la ganancia de la antena, $\tau$ es el ancho del pulso y f es la rapidez de repetición del pulso.

Sí la antena rota:

$$ERP_{prom} = kP_t G \tau f \qquad 2.4$$

donde k es el factor de reducción rotacional. El factor rotacional el campo lejano puede ser determinado como (14):

$$k = \frac{\text{3 dB ancho del haz}}{\text{ángulo de rastreo}^*} \qquad 2.5$$

* 360º para rotación completa

El valor del factor rotacional para campo cercano depende del tipo de antena. La *distancia eficaz de campo cercano* puede expresarse como (10):

$$R_1 = 0{,}318\ A / \lambda \qquad 2.6$$

donde A es el área de la sección de la antena, y la *densidad máxima de potencia para campo cercano* resulta:

$$W_{max} = \frac{16\eta P}{A} \qquad 2.7$$

donde la eficiencia en apertura e s: $0{,}5 \leq \eta \leq 0{,}75$

Una evaluación analítica más detallada de los contornos del flujo de potencia para algunas antenas representativas puede ser hallada en (15)

Las distancias calculadas para la densidad de potencia 10, 1 y 0,1 mW/cm$^2$ de varios radares de elevada potencia están dadas en la tabla II sobre la base de los datos provistos en (10). Debe hacerse notar que para los radares de adquisición de datos las distancias son reducidas aún más significativamente cuando se toma en cuenta el factor de reducción rotacional.

El radar no rotacional de rastreo es generalmente capaz de producir radiación con niveles significativos sobre áreas mayores. Sin embargo, los sistemas con ganancia grande son relativamente pocos y sus ubicaciones remotas, por lo que sólo un número limitado de gente (personal de operaciones) estará expuesto a la radiación.

La distancia es estimada para el nivel 10 mW/cm$^2$ en varios sistemas de radar (16).

El *radar de aviación* representa adecuadamente las fuentes de potencia mediana, con proliferación relativamente amplia, puesto que cada avión tiene por lo menos uno, y a veces más, como equipo habitual. El intervalo típico de potencia para estos radares es entre 20 y 100 KW de potencia pico y frecuencia de 9.375 MHz ó 5.400 MHz. El tipo de antena que se usa casi exclusivamente es la antena parabólica.

Para este tipo de antena el campo de radiación puede ser dividido era tres zonas. En la zona del campo cercano la densidad de potencia oscila, pero el valor máximo de las oscilaciones permanece prácticamente constante a lo largo del eje de la antena. El campo cercano está seguido por una zona intermedia en la que la densidad de potencia disminuye como 1/r (r equivale a la distancia desde el centro de la antena). La reducción de ganancia en las regiones cercanas e intermedia fue evaluada analíticamente usando varios modelos (16, 18, 19); Ver volumen I, primera parte.

Se logró un buen acuerdo con los resultados experimentales, usando las siguientes relaciones aproximadas (14):

$R_1 = D^2/5{,}66\ \lambda$ 2.8
$R_2 = 2R_1$ 2.9
$W_o = P/A$ 2.10
$W_{1f} = 4W_O$ 2.11
$W_{2f} = 4W_O.\ (R_1/R_2)$ 2.12

.

dónde $R_1$ y $R_2$ son las distancias hasta el final de las zonas de campo cercano e intermedio respectivamente; $W_O$, $W_{1f}$ y $W_{2f}$ son la densidad de potencia promedio en campo cercano, la densidad de potencia máxima en campo cercano y la densidad de potencia en campo intermedio, respectivamente.

En la tabla III se muestran los resultados experimentales para algunos radares típicos con sus antenas estacionarias.

El examen de estos resultados muestra que para las antenas estacionarias la densidad de potencia puede exceder 10 mW/cm$^2$ a distancias de 2 a 4 metros desde el radomo (cúpula de la antena) Generalmente las antenas de aviación son rotatorias, y la exposición promedio disminuye. De todas las antenas de radar y de aviación examinadas, cuando se tomó en cuenta la rotación de la antena sólo pocas unidades examinadas produjeron niveles de radiación que superaron 10 mW/cm$^2$ a cualquier distancia (14).

Como conclusión, los radares de aviación que operan en condiciones normales (es decir, sólo en operaciones de vuelo) no producen niveles de radiaciones superiores a 10 mW/cm$^2$ sobre grandes áreas pobladas. Las pruebas realizadas demostraron que los niveles de radiación en la cabina del piloto no excedieron 0,2 mW/cm$^2$ (17). Por otra parte, pueden existir niveles de densidad de potencia del orden de 1 mW/cm$^2$ en algunas salas de espera de pasajeros, si no se suspende el funcionamiento del radar mientras el avión se encuentra en tierra. Además, los reflejos de objetos cercanos pueden introducir irregularidades en el campo de radiación produciendo un aumento de la densidad de potencia en algunos lugares.

Los *radares de marina*, radares de navegación de pequeñas embarcaciones, son otra fuente de niveles de radiación potencialmente riesgosos. La potencia de salida está generalmente limitada a 20 KW valor pico, pero el gran número de unidades en algunas flotas marinas puede provocar la existencia de niveles de radiación importantes. El Bureau of Radiological Health (US) (Dirección de Sanidad Radiológica de los EE.UU.) realizó un estudio de dos localidades donde existe una gran densidad de pequeñas unidades de radar, y se compararon los resultados experimentales con los cálculos teóricos, como se muestra en la tabla IV (20) Debe notarse que los datos que se dan son para antenas estacionarias, mientras que el modo normal de operación es con antena rotatoria.

Los cálculos realizados para distancias de campo cercano, menores que las que se muestran en la tabla IV, llevaron a la conclusión de que ningún tipo de radar salvo tres (se evaluaron más de 40 tipos de radares) produciría densidades de potencia mayores que 10 mW/cm$^2$ a distancias correspondientes a los respectivos radios de giro de la antena, aun cuando la rotación de la misma se interrumpa.

Otro tipo de radar muy común es *el de tráfico*, una unidad portátil pequeña usada por las autoridades para determinar la velocidad de los vehículos. Un radar típico consta de una antena bocina cónica, con fuente de potencia de estado sólido que libera hasta 100 mW y opera a una frecuencia de 10,525 GHz. La evaluación teórica y las mediciones fueron realizadas para tipos representativos de estos radares, hallándose una buena concordancia entre los niveles de densidad de potencia medidos en las zonas de campo cercano y lejano; los valores de la zona de campo cercano fueron calculados empleando el método descripto en (11, 21). El estudio (21) concluyó que el radar de tráfico produce niveles de densidad de potencia mayores que 1 $\mu W/cm^2$ a distancias en que normalmente pueden encontrarse personas. Se estimó la densidad de potencia máxima de 3,6$mW/cm^2$ a una distancia de 9 cm desde la antena. A 66 cm de distancia desde la antena, la densidad de potencia disminuye a 0,4 $mW/cm^2$.

2.3. **Transmisores de radiodifusión**

Los transmisores de radiodifusión son fuentes de radiación a las que están expuestas potencialmente una elevada cantidad de personas, como resultado directo del papel importante que desempeñan las comunicaciones. Utilizan antenas que generalmente poseen un esquema de radiación omnidireccional en el plano horizontal y haz alineado en el plano vertical. Su número es muy grande y se encuentra en constante aumento (22).

Con frecuencia existen varias estaciones ubicadas en la misma torre que crean condiciones de particular preocupación para los edificios altos cercanos. Otra área de preocupación se refiere al personal de mantenimiento, quien frecuentemente debe realizar trabajos variados en las torres emisoras mientras los transmisores están en operación.

Un amplio programa que apunta a la evaluación de la intensidad de radiación en la vecindad de diversas emisoras y la determinación de intensidades de campo en los lugares más congestionados por emisoras de radio en las grandes ciudades, viene siendo realizado en los EE.UU. desde hace tiempo (6, 7, 10, 22-26). Resumimos en la tabla V (23) algunos parámetros característicos de las emisoras de radio tales como la frecuencia, el máximo de potencia irradiada eficaz permisible y la intensidad de campo eléctrico y la densidad equivalente de potencia de onda plana a nivel del suelo.

La intensidad de campo eléctrico y la densidad de potencia de campo lejano pueden ser calculadas a partir de las siguientes ecuaciones:

$$E = \frac{E\alpha\sqrt{30xERP}}{R} \qquad 2.13$$

$$W = E^2/377 \qquad 2.14$$

donde $E\alpha$ es la intensidad relativa del campo, la cual es función del ángulo de depresión $\alpha$ relativo a la horizontal como se muestra en la figura 1, ERP es la potencia efectiva irradiada, R es la distancia desde la antena.

Un esquema típico de irradiación aparece en la figura 2 (23).

Se observa en la figura 2, que la intensidad de campo disminuye rápidamente con el ángulo de elevación. La densidad de potencia a varias distancias y alturas aparece en la figura 3 para 1 mW ERP (Potencia Eficaz Irradiada) en el transmisor (10).

En la práctica, la densidad de potencia en las áreas accesibles a la población es relativamente pequeña (por debajo de 0,1 $mW/cm^2$). La observación que resulta de las estimaciones teóricas ha sido confirmada por los estudios realizados en la vecindad de varias torres de transmisión en algunas áreas metropolitanas (24).

Como hemos mencionado previamente, las estaciones emisoras pueden constituir un riesgo de irradiación para el personal de mantenimiento de las torres, mientras las emisoras están operando. (Las condiciones de exposición no pueden ser evaluadas teóricamente en este caso, pero algunas mediciones han sido realizadas para una sola estación de FM situada en el monte Wilson, California (22). La estación transmite con potencia eficaz irradiada de 105 KW en los planos horizontal y vertical, la torre tiene 120 pies de alto (36 m) y la antena se encuentra a 80 pies (24 m) por sobre el nivel del piso. La densidad de potencia de 180 $mW/cm^2$ ha sido determinada en varios lugares de la estructura de la torre).

Estos niveles de exposición son probablemente comunes a las áreas localizadas cerca de las antenas, para la mayoría de las estaciones de FM. Las torres de TV pueden tener también campos de gran intensidad en la zona inmediatamente vecina a las antenas.

## 2.4. **Aparatos emisores de energía de microondas para la producción de calor**

Las aplicaciones de la energía de microondas para la producción de calor son muy diversas y aumentan continuamente tanto en variedad como en número. La aplicación más popular y difundida es la de calentar o cocinar alimentos en escala doméstica o comercial. Otras aplicaciones van desde su uso terapéutico (diatermia en medicina) hasta científico en espectroscopia. Un rasgo característico de todos los aparatos que pertenecen a este grupo es que la radiación debe ser confinada a un espacio limitado inaccesible a la gente. Debido a las limitaciones tecnológicas existe usualmente radiación residual, llamada pérdida (filtración) de radiación, en la proximidad de los aparatos.

La pérdida de radiación máxima permisible de los hornos de microondas está controlada por reglamentos federales en Canadá, los EE.UU. y la mayoría de los países de Europa occidental. El estándar canadiense (27) restringe la pérdida máxima a 1 $mW/cm^2$ a 5 cm del horno cargado, para todas las clases de hornos, domésticos, comerciales e industriales. El estándar de EE.UU. (28) especifica el nivel máximo de emisión de 1 $mW/cm^2$ antes de la compra y hasta 5 $mW/cm^2$ de allí en adelante, aplicable solamente a los hornos domésticos y comerciales para cocina, pero no para las instalaciones industriales. La exposición al horno de microondas es muy pequeña debido al rápido decrecimiento de la densidad de potencia al aumentar la distancia desde el horno.

Para la pérdida máxima del horno de microondas (5 $mW/cm^2$) en el peor de los casos, la densidad de potencia a 0,3 m es menor que 0,1 $mW/cm^2$, y a 1 m, aproximadamente de 10 $\mu W/cm^2$ (29).

Se ha informado sobre niveles considerables de pérdida de radiación en los secadores usados en las industrias textiles, de madera y de plásticos (15 - 40,4 MHz) (30). Para algunas unidades la densidad de potencia equivalente (condición de campo cercano, campo eléctrico y campos eléctrico y magnético efectivos medidos) llegó hasta 260 $mW/cm^2$ a la altura de los ojos del operador, y 190 $mW/cm^2$ al nivel de la cintura. Otro informe (31) señala que de las fuentes de espectroscopia excitadas por microondas, la densidad de potencias de 10 $mW/cm^2$ llega hasta 0,2 m.

Estas fuentes de radiación comprenden un número limitado de aparatos; pero la escasa disponibilidad de datos junto con los ejemplos previamente mencionados de los niveles de pérdida, exige un examen y una evaluación más precisos.

Los aparatos de diatermia por microondas empleados con fines terapéuticos son diseñados para emitir una cierta cantidad de potencia de microondas sobre un volumen limitado de tejido humano. Aparte de la irradiación del área deseada, estos aparatos generalmente producen una pérdida (filtración) de radiación. El nivel de pérdida máximo permisible está restringido a 5 $mW/cm^2$ en las regulaciones que se han propuesto en Canadá y otros países.

## 3.0. **Biofísica - Absorción y distribución de la energía**

En el estudio de las interacciones de radiación electromagnética con sistemas vivos, la cantidad física básica que determina el efecto biológico es el campo electromagnético real inducido dentro del cuerpo por el campo electromagnético incidente.

Mientras que la cuantificación de los campos electromagnéticos de varias fuentes en el medio ambiente es compleja, la cuantificación de los campos internos en un medio biológico es en un caso general - una tarea sumamente dificultosa debido a la irregularidad y heterogeneidad de la forma y composición de los sistemas biológicos. Los principales problemas en la evaluación de los campos electromagnéticos del ambiente, desde el punto de vista de los riesgos de exposición, incluyen: existencia de componentes reactivos en campo cercano, interferencias múltiples, cambios de polarización, interacciones entre la fuente y los objetos cercanos, y modulación complicada (12). Los campos internos inducidos en un medio biológico no sólo dependen de la magnitud del campo electromagnético externo, sino también de la frecuencia y configuración geométrica de la fuente con respecto al medio, y de las características del mismo.

Las características básicas de los tejidos biológicos con respecto a la absorción de energía de microondas, se indican a continuación junto con una breve revisión de los métodos analíticos y experimentales disponibles para la evaluación de la absorción y distribución de la energía electromagnética en los objetos biológicos y de las deficiencias de estos métodos.

### 3.1. **Características del medio biológico**

Las características de un medio biológico importantes para la determinación de la interacción con los campos electromagnéticos son: forma y dimensiones físicas, permitividad dieléctrica y permeabilidad magnética. En la práctica, todos los materiales biológicos pueden ser considerados no magnéticos; su permeabilidad magnética es igual a aquella del vacío. Por lo tanto, no se la considera en la determinación de la energía EM absorbido.

La permitividad dieléctrica se define:

$$\varepsilon = \varepsilon_o (\varepsilon' - j\varepsilon'') \qquad 3.1a$$

y la tangente de pérdida

$$\tan \delta = \varepsilon''/\varepsilon' \qquad 3.1b$$

donde $\varepsilon_o$ es la permitividad del vacío, $\varepsilon'$ es la constante dieléctrica relativa (con respecto al vacío) y $\varepsilon''$ es el factor de pérdida relativo.

La constante dieléctrica define la capacidad del medio para almacenar la energía eléctrica, mientras que el factor de pérdida define las pérdidas de potencia en el medio. En materiales biológicos a frecuencias de microondas, la pérdida de potencia se debe a pérdidas por "fricción" por flujo de carga y rotación dipolar. El factor de pérdida y la conductividad ($\sigma$) se interrelacionan de la siguiente manera:

$$\sigma = 2\pi.f,\varepsilon_o.\varepsilon'' \qquad 3.2$$

Cook, Schwan y sus colaboradores (32-41) midieron las propiedades dieléctricas del tejido biológico en un ámbito de frecuencias amplio. Todas las mediciones se refieren a las propiedades *in vitro*. Algunos investigadores (42) cuestionaron la validez de estas mediciones con respecto a las propiedades *in vivo*.

Como los valores de la permitividad compleja determinados *in vitro* son usados en todos los cálculos teóricos, es esencial verificar su validez. Este es uno de los problemas cuya solución es básica para la evaluación de los riesgos por exposición electromagnética (Portela et al. 43).

La permitividad dieléctrica depende del tipo de tejido, contenido de agua, temperatura y frecuencia. Para una mejor ejemplificación en la tabla VI se muestra la permitividad de dos grupos de tejido, uno de alto contenido de agua (piel, músculo), y el otro de bajo contenido de agua (óseo y adiposo) (44).

La permitividad relativa - según puede observarse en la tabla VI- es dependiente de la frecuencia. Se distinguen tres regiones para tejidos biológicos (45). Por debajo de 300 - 400MHz las membranas celulares, que actúan como capas de gran capacitancia y resistencia, se tornan membranas en cortocircuito. A medida que se aumenta la frecuencia, permiten que los contenidos de la célula participen en la conducción de corriente. Las propiedades del tejido están fuertemente influenciadas por el contenido de agua a frecuencias por encima de 4GHz. La frecuencia de relajación para agua es de 20GHz, y en el ámbito de 4GHz hasta aproximadamente 30GHz la permitividad está determinada fundamentalmente por el contenido de agua. En la región intermedia entre 400MHz y 4GHz, las membranas celulares ya no afectan las propiedades del tejido, y la relajación del agua no posee efectos significativos en este ámbito de frecuencias.

Los parámetros dieléctricos también varían con la temperatura. El coeficiente de temperatura de la constante dieléctrica es generalmente menor que el del factor de pérdida.

### 3.2. **Onda plana incidiendo en láminas planas de tejido**

Las características de la propagación de onda plana en tejidos biológicos de capas planas muestran la forma en que la radiación es absorbida cuando el radio de curvatura de la superficie del tejido es grande en comparación con la longitud de onda.

Este modelo se aplica sólo en la zona de campo lejano de varias fuentes de radiación. La constante de propagación y en un tejido biológico es igual a:

$$\gamma = \alpha + j\beta = j\frac{2\pi}{\lambda}\sqrt{\varepsilon} \qquad 3.3$$

donde $\alpha$ es la atenuación por unidad de longitud, $\beta$ es el cambio de fase por unidad de longitud y $\lambda$ es la longitud de onda en espacio libre.

La longitud de onda en el tejido, determinada a partir de la ecuación (3.3) es:

$$\lambda_t = \lambda / \{\varepsilon'/2\,(1 + \sqrt{1} + (\varepsilon''/\varepsilon')^2\}^{1/2} \qquad 3.4$$

Como puede verse, es dependiente de la frecuencia y sustancialmente menor que la longitud de onda en espacio libre $\lambda$. La reducción de longitud de onda es entre 6,5 y 8,5 para tejidos con alto contenido de agua, y entre 2 y 2,5 para tejidos con bajo contenido de agua (44)

La densidad de potencia absorbida en el tejido (en $mW/cm_2$) puede ser calculada a partir de:

$$W = \frac{\sigma}{2}[E]^2 \qquad 3.5$$

donde E es la magnitud del campo eléctrico interno (en V/m). La absorción de la potencia de microondas resulta en una reducción progresiva de la densidad de potencia (o la magnitud del campo eléctrico interno) a medida que la onda penetra en el tejido. La *profundidad de penetración* es la distancia que la onda propagada debe recorrer antes de que la intensidad de campo eléctrico

disminuya por un factor de 1/e. *La profundidad de penetración* para algunos tejidos biológicos de alto y bajo contenido de agua se muestra en la tabla VII (44)

La potencia absorbida también es dependiente del coeficiente de reflexión complejo en la interfase de dos medios que tienen diferentes propiedades.

Si se transmite la onda desde un medio (1) con una permitividad $\varepsilon_1$ a un medio (2) con permitividad $\varepsilon_2$ tendiendo a infinito (en la práctica, un valor mucho mayor que la profundidad de penetración), el coeficiente de reflexión (r) puede ser determinado a partir de:

$$\hat{r} = [\tau] \cdot e^{j\theta} = \frac{\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_{.2}}}{\sqrt{\varepsilon_1} + \sqrt{\varepsilon_{.2}}} \qquad 3.6$$

Para un modelo plano de capas del cuerpo humano o animal, que consiste en tres capas de tejido diferentes (piel, grasa, músculo) - ver figura 4- con el espesor de las dos capas externas menor que la profundidad de penetración para cada medio, la distribución del campo eléctrico dentro de cada capa depende de los coeficientes de reflexión y del espesor en las dos interfases. Se realizaron cálculos exhaustivos para un modelo que se muestra en la figura 8a (36, 40, 41, 45).

La figura 5 muestra las distribuciones típicas del porcentaje de potencia absorbida en varias capas (45). El efecto marcado del espesor relativo de las capas (respecto de la longitud de onda) en la distribución de potencia absorbida se hace evidencia a partir de estas figuras.

La figura 6 ilustra la densidad de potencia absorbida en la interfase del músculo y en una capa de piel de 2 mm de espesor como una función del espesor de la capa de grasa para un nivel de potencia incidente dado a cuatro frecuencias (27,1MHz, 433MHz, 918MHz y 2.450MHz) (44).

La densidad de potencia absorbida pico es siempre máxima en la piel para el modelo de capas planas. Esto no necesariamente da como resultado una temperatura elevada de la piel, debido a factores ambientales, por ejemplo, enfriamiento de la superficie.

### 3.3. **Capas de tejido esféricas expuestas a ondas planas**

El modelo de tejido plano -según se mencionara anteriormente- no es una aproximación razonable, si la curvatura del tejido es pequeña en comparación con la longitud de onda de la radiación. Para algunas partes del cuerpo en ciertos ámbitos de frecuencias, son más realistas los modelos de capas esféricas o cilíndricas.

Una esfera homogénea con la permitividad del tejido cerebral fue evaluada como el modelo más simple de cabeza humana o animal (44, 46, 47, 48). El análisis computacional de este modelo mostró que existen máximos en la absorción de potencia interna o esquema de calentamiento (*hot spots*). Su posición y magnitud dependen de la frecuencia y tamaño de la esfera. Como se ve en la figura 7, en una cabeza aislada se pueden distinguir dos regiones (48). En la primera región se produce un calentamiento máximo en la segunda superficie de la esfera, mientras que en la segunda región el calentamiento máximo tiene lugar dentro de la esfera. En la primera región se pueden distinguir dos casos. En el primer caso el tamaño de la esfera es relativamente pequeño en relación a la longitud de onda, y en el otro, en que el radio de la esfera es grande comparándolo con la longitud de onda, muy poca energía penetra en la esfera y el calentamiento máximo ocurre en la superficie frontal.

En la segunda región existen dos fenómenos físicos diferentes, responsables del calentamiento máximo dentro de la esfera. Para un radio de esfera mayor que la longitud de onda dentro del material de la esfera, el campo refractado converge y es enfocado, de manera que pueden aparecer uno o más *hot spots*.

A medida que la frecuencia disminuye y el radio se toma comparable o menor que la longitud de onda dentro de la esfera, la región de máximo calentamiento se traslada hacia la superficie de la esfera.

También se ha realizado un análisis para esferas de músculo, obteniéndole resultados cualitativamente similares (49) .

Numerosos investigadores probaron un modelo de multicapas esférico (ver figura 8b) y se calculó la distribución de densidad de potencia a frecuencias específicas para determinados tamaños de esferas (50, 53) En la figura 9 se muestra una comparación de los resultados obtenidos para una esfera de multicapas, esfera homogénea, piel de capas planas y cerebro de capas planas (52).

La *sección eficaz de absorción diferencial normalizada* se define como la potencia absorbida por unidad de volumen por unidad de potencia incidente. Para la configuración, mostrada, puede verse que para la esfera de 10 cm de diámetro, el calentamiento máximo siempre ocurre en el frente de la superficie. Para la esfera de 5 cm de radio, se produce un *hot spot* en el ámbito de frecuencias de 400 MHz a 2800 MHz.

Se desarrolló un modelo de multicapas esférico más sofisticado, de la cabeza (54). Este modelo consiste de un núcleo cerebral esférico central, rodeado de cinco capas concéntricas: fluido espinal del cerebro, membrana, hueso, grasa y piel. Se computó la densidad de potencia absorbida en función de la frecuencia para un radio de cabeza y de núcleo cerebral de 6,6 cm y 5,4 cm, respectivamente. A 100 MHz, una cabeza de este tamaño no altera esencialmente el campo de onda incidente, y se absorbe una cantidad de potencia mínima. A 433 MHz se deposita una cantidad pequeña de potencia en las capas anteriores y posteriores de la cabeza (figura 10a). A 915MHz, además de la entrega de potencia en la parte anterior y posterior, aparece una región de mayor entrega de potencia (*hot spots*) en el centro de la cabeza (figura 10b). Las figuras 10c y 10d muestran la distribución a frecuencias de 2.450 MHz y 5,8 GHz, donde se puede ver que el depósito de energía en el centro de la cabeza disminuye a medida que la frecuencia aumenta, para ese tamaño.

En la figura 11 se ilustran los efectos del tamaño de la cabeza con respecto a la longitud de onda de la radiación. En ella vemos la densidad de potencia absorbida normalizada para cuatro radios de cabeza a una frecuencia de 3 GHz. Los resultados indican grandes aumentos en la absorción de potencia a medida que las dimensiones de la cabeza se vuelven comparables a la longitud de onda interna (1,5 cm).

La distribución de densidad de potencia absorbida también es fuertemente dependiente de las propiedades dieléctricas de todas las capas -según se indica en (54) mediante cálculos ilustrativos- siendo la dependencia más pronunciada para la constante dieléctrica que para el factor de pérdida.

Como conclusión, la distribución de potencia absorbida dentro de un modelo esférico multicapas de cabeza humana (o animal), expuesta a la radiación electromagnética de onda plana simple depende del tamaño de la cabeza, frecuencia de radiación y propiedades dieléctricas de las capas de tejido. No obstante la simetría esférica del objeto, la absorción depende de la orientación respecto a la dirección de la polarización del campo eléctrico. La absorción en las capas del frente, generalmente es mayor que en otras regiones.

La absorción de potencia depende del radio en relación a la longitud de onda. Para un radio constante la absorción aumenta con la frecuencia, alcanzando el máximo a una frecuencia para la cual las dimensiones son comparables con la longitud de onda interna. Un nuevo aumento en la frecuencia da como resultado una disminución de la absorción de potencia. La absorción máxima en la capa exterior ocurre a frecuencias mayores que la absorción máxima en la interior. Para determinadas dimensiones de cabeza y propiedades dieléctricas, existe una región de gran

densidad de potencia absorbida (*hot spots* o puntos calientes), pero el máximo del centro es el más fuerte.

Un valor preciso de la constante dieléctrica, y en menor medida, del factor de pérdida, es esencial para la determinación de la potencia absorbida y de su distribución dentro de la cabeza. A pesar de que el modelo multicapas presentado permite un cálculo de la distribución de potencia bajo varias condiciones, no se debería dejar de tomar en cuenta sus limitaciones con respecto a situaciones reales de geometría de una cabeza irregular, y presencia de otros objetos cercanos (el cuerpo).

### 3.4. **Modelos elipsoidal y esferoidal prolato de hombre y animales**

Un elipsoide o un esferoide prolato puede ser considerado como un modelo más realista para describir a un hombre o animal en la interacción con ondas electromagnéticas.

Estos modelos, que tienen permitividad dieléctrica promedio homogénea, han sido evaluados analítica (55-63) y experimentalmente (64-70). El esfuerzo ha sido dirigido hacia la determinación de la potencia total absorbida o del régimen de absorción específica, SAR, en W/kg (con la densidad de potencia incidente como parámetro) en un ámbito de frecuencias amplio, para varias orientaciones de esferoides y elipsoides, bajo condiciones de iluminación de onda plana. Las técnicas experimentales incluyeron mediciones de la potencia total absorbida en determinadas partes de los fantomas de hombre y animal (67,70,71).

En la figura 12 se muestran configuraciones posibles del campo electromagnético y del modelo para un esferoide prolato, donde K simboliza el vector de propagación cuya magnitud es $k = 2\pi/\lambda$.

En la figura 13 se da un panorama general de la potencia total depositada para varias orientaciones del esferoide como una función de la frecuencia (66) Los resultados - tanto analíticos como experimentales - muestran que la potencia total absorbida es una función de la orientación del esferoide con respecto a los vectores de campo de onda plana incidente.

La figura 14 muestra el régimen de absorción específica para una onda incidente de $10 mW/cm^2$, como una función de la longitud del esferoide normalizado a la longitud de onda para las configuraciones más absorbentes (68). O sea, con el campo eléctrico (E) paralelo al eje mayor del esferoide (L), es decir E II L. Los resultados experimentales obtenidos con varios fantomas han sido descriptos. Se adoptó una altura estándar de $L_m$ = 1,75 m correspondiente a la altura del hombre promedio. En general, se pueden distinguir cinco regiones (68):

1) Frecuencias por debajo de la resonancia, $L/\lambda < 0,2$; la potencia absorbida aumenta con la frecuencia como $f^2$. Esto también fue deducido teóricamente y verificado experimentalmente por otros investigadores (58).

2) Región de subresonancia, $0,2 < L/\lambda < 0,36$; el régimen de entrega de energía cambia como $f^{2.75}$ a $f^3$ con la frecuencia.

3) Región de resonancia $L/\lambda = 0,36$ a 0,4. Para un hombre de 1,75 m de altura y L/2b = 6,34, donde L/2b = es la circunferencia promedio pesada y la frecuencia de resonancia entre 63 y 70 MHz, el $SAR_{prom}$ CE (de cuerpo entero) es entonces de aproximadamente 2,15 W/kg para la densidad de potencia de onda plana de $10 mW/cm^2$.

   Este valor de SAR es equivalente a aproximadamente 1,8 del "rate" metabólico basal n (Régimen metabólico basal).

4) Región de supra - resonancia, $0,4 < L/\lambda < 3,2$; la absorción de todo el cuerpo disminuye con la frecuencia como $f_r/f$, donde $f_r$, es la frecuencia de resonancia.

5) Para frecuencias por encima de la resonancia, el *coeficiente de absorción relativa* (definido como una relación de la sección eficaz de absorción de microondas a la sección eficaz física del cuerpo) alcanza asintóticamente el valor 0,5.

El SAR para otras dos orientaciones, es decir el campo H paralelo al eje mayor, y el eje mayor paralelo a la dirección de propagación de la onda, se muestra en la figura 15 (67). En ambos casos las resonancias son menos pronunciadas que cuando el campo E está paralelo al eje mayor, y la frecuencia resonante es mayor y corresponde a aproximadamente $L/\lambda \simeq 1$ para L/2b = 6,34. Para frecuencias entre cuatro o nueve veces la frecuencia de resonancia para las configuraciones E, existe relativamente poca diferencia en los regímenes de absorción para las tres polarizaciones. Para el ser humano, esto corresponde a frecuencias entre 250 y 550 MHz.

Se ha realizado un análisis de modelos elipsoidales prolatos de hombre y animales para las frecuencias por debajo de la resonancia (61, 62) El modelo elipsoidal se aplica mejor a situaciones reales que el modelo esferoide. Esto también ha sido confirmado mediante experimentos con animales en los que la rotación de 90º alrededor del eje mayor de los animales produjo diferencias importantes en la absorción de potencia (71).

En la figura 16 se muestran posibles permutaciones en la orientación elipsoidal, con respecto al campo electromagnético.

La figura 17 muestra la potencia absorbida específica promedio vs. la frecuencia, para seis configuraciones de hombre y animales de dimensiones diversas, según se resume en la tabla VIII (62), para una onda plana incidente cuya densidad de potencia es de 1 $mW/cm^2$.

Los resultados de los experimentos con monos vivos, realizados a una frecuencia determinada (40MHz), coincidieron satisfactoriamente con los valores que aparecen en la tabla IX (62).

Por el momento no se dispone de un análisis teórico riguroso para el modelo elipsoidal en la región de frecuencias de resonancia o por encima de ellas.

La distribución de energía electromagnética depositada en los modelos de hombre, fue investigada analítica (72, 73) y experimentalmente (67) Sin embargo, sólo existe una correlación cualitativa de los resultados. Se realizaron investigaciones experimentales de la absorción de potencia y su distribución para cuatro fantomas de hombre en reducción progresiva, de 23,5 a 12,1 cm de altura (67). Los resultados fueron resumidos en la tabla X y en las figuras 18, 19 y 20. Se encontró el "rate" más elevado de entrega de energía para la región del cuello a frecuencias de resonancia y por encima de ellas.

También se ha investigado el efecto del contacto eléctrico con el suelo sobre la absorción en el cuerpo entero (68).

En la figura 21 se muestran los resultados. La frecuencia de resonancia está entre 31 y 34 MHz para un hombre de 1,75 m de altura. En la resonancia, el "rate" de absorción específica[1] es aproximadamente el doble que el de un hombre no conectado a tierra, resultando pues igual a aproximadamente 4,3W/kg (aproximadamente 2,6 veces el "rate" del metabolismo basal[2], para iluminación con una onda plana de 10$mW/cm^2$ de densidad de potencia).

Se produce un aumento de la potencia total depositada cuando se ubica una superficie metálica plana reflectora o un reflector en esquina, cerca del hombre o animal. En la figura 22 se muestran los "rates" de absorción del cuerpo completo en el hombre o animales sometidos a una onda plana de 10 $mW/cm^2$ de densidad de potencia. En la tabla XI se da una comparación de la absorción del cuerpo completo bajo diversas condiciones con el "rate" de metabolismo basal[2], para exposiciones a una densidad de potencia de 1 $mW/cm^2$. La posición de, las superficies

[1] SAR: Régimen de Absorción Específica de Energía
[2] RBM o BRM: Régimen Metabólico Basal.

reflectores en relación con el modelo esferoide de hombre, es elegida de manera que se produzca un aumento máximo.

Es importante notar que las frecuencias de resonancia reales para el hombre y animales pueden ser diferentes como resultado de la relación de aspecto supuesta ($L/2b \simeq 6,3$) que no concuerda con los datos reales (ver tabla VIII; $L/2b \simeq 4,5$). Además, la forma del cuerpo humano es mucho más complicada que la que se había supuesto para los cálculos. Como han indicado los cálculos para modelos homogéneos y de multicapas de la cabeza, existen diferencias cuantitativas entre los resultados obtenidos para estos modelos, a pesar de que existe acuerdo cualitativo general.

Otro hecho importante que no se debe dejar de tomar en cuenta es que el ámbito de frecuencias resonantes es mucho más amplio que el que se muestra en la tabla XI, cuando se consideran las variaciones en tamaño y geometría en toda una población. Por ejemplo, para un niño de 0,5 m de altura, la frecuencia resonante en el espacio libre calculada es aproximadamente 230 MHz (a partir de la fórmula $fr \simeq [(64)^{*} \times 1,75/L]$ sugerida por Gandhi en los trabajos (64-69), para un niño de 0,5 m de altura $fr \simeq (64 \times 1,75/0,5) = 224$ MHz.

### 3.5. **Modelos varios y condiciones de exposición**

El esquema de absorción de energía en modelos cilíndricos multicapas que simulen extremidades del ser humano, fue determinado analíticamente para una exposición de onda plana (74-76), y en condiciones de exposición de campo cercano con las fuentes, de apertura (aplacador) en contacto directo con el tejido (77, 78). Estas investigaciones fueron emprendidas principalmente para determinar las condiciones óptimas de terapia térmica.

Se reconoció la importancia de posibles diferencias en la interacción de campos electromagnéticos pulsados y campos de onda continua, y se han iniciado algunos estudios teóricos (79, 80).

Se halló que para un pulso gaussiano incidente sobre un tejido dé capas músculo-hueso, la transmisión del pulso a través del medio depende del ángulo de incidencia y del ancho del pulso.

### 3.6**. Métodos de medición - Dosimetría**

La determinación de campos electromagnéticos potencialmente riesgosos, la evaluación de los efectos biológicos en animales, y su importancia en relación con la exposición del hombre, requieren que se realice una medición de los campos del ambiente así como también de los campos inducidos en los tejidos expuestos.

Se pueden medir los campos del ambiente mediante varios tipos de monitores disponibles comercialmente. Estos medidores generalmente consisten en un sensor y voltímetro calibrados en unidades de densidad de potencia ($mW/cm^2$). (Ver diagramas 18, 19 y 20.).

El sensor puede comprender, ya sea de tres elementos dipolares eléctricos ortogonales (en algunos casos dos) o tres espiras magnéticas ortogonales (por debajo de 300 MHz), cada uno terminado por una termocupla o diodo de microondas. El sensor está conectado con el voltímetro por medio de cables delgados de alta resistencia. En la zona de campo lejano (iluminación por onda plana) el medidor provee información sobre la densidad de potencia, mientras que en el campo cercano da el cuadrado de la intensidad de campo eléctrico ($voltio^2/metro^2$;$V^2/m^2$) para el sensor de dipolo E, o el cuadrado de la intensidad de campo magnético ($ampere^2/metro^2$; $A^2/m^2$) para el sensor de campo H (espiras magnéticas). Algunos medidores sólo emplean uno o dos dipolos o espiras y como resultado, son sensibles a la dirección de los campos medidos. En tales casos, para determinar el campo real, deberían obtenerse dos o tres mediciones (para un sensor

---

Valores comprendidos entre 62 y 68

de un elemento) en las direcciones recíprocamente perpendiculares. Se puede hallar una información más detallada de estos medidores en los trabajos (81-85), y en (12) un resumen de las posibles fuentes de error (diagrama 18).

Las mediciones de los campos inducidos y de las temperaturas dentro de los tejidos biológicos no son simples. Se han desarrollado varios métodos e instrumentos con dosimetría perfeccionada para exposición a microondas.

Se desarrolló una punta de prueba implantable aplicada ópticamente, para medir la intensidad del campo eléctrico (86-87). La punta de prueba contiene tres dipolos ortogonales muy pequeños conectados a detectores de diodo. La salida de tensión detectada por cada dipolo es convertida a forma digital para conducir luz a los diodos emisores, cuya salida es entonces transmitida a través de una fibra óptica a un receptor digital. El pequeño tamaño de la punta de prueba lo hace conveniente para el trazado de la distribución del campo eléctrico interno en fantoma y animales experimentales, aunque la sensibilidad (20 $\mu W/cm^2$) pueda ser insuficiente en muchos casos (el tamaño de la punta de prueba a que nos referimos es aproximadamente de 3 mm). La unión óptica introduce muy pocas alteraciones (o ninguna) al sistema medido, y no es susceptible a la interferencia de radiofrecuencia. La misma punta de prueba también puede ser usada para detectar el campo eléctrico, la distribución espacial en la zona de campo cercano de las fuentes de microondas, así corno también los campos dispersos en presencia de varios objetos reflectores.

Se desarrolló un sistema de fibra óptica con cristal líquido para medir la temperatura del tejido sin alterar el campo electromagnético (88-91) (diagrama 20).

El sensor está compuesto de un cristal líquido de mezcla colestérica encapsulado en el extremo de una punta de prueba de 2 mm de diámetro. El color del cristal cambia en función de la temperatura, y como resultado, también la reflexión de luz desde la superficie del cristal. La luz de un LED es transmitida al cristal y nuevamente al fotodetector en el montaje del medidor a través de un manojo de guías de luz. La punta de prueba opera en un ámbito de temperatura de 10º a 45º, con una precisión de 0,1º.

Cetas (92) desarrolló otra punta de prueba capaz de medir temperaturas alrededor de los 30º, con una precisión de 0,1º. Se emplea un cristal birrefrigerante como sensor de temperatura y fibra óptica para transmitir las señales de luz. También se sugirió una técnica de detección remota pasiva que usa diodos implantables, para determinar la distribución de campo eléctrico (93). Los diodos no están conectados por cables, y la medición de la intensidad del campo se basa en el espectro de Intermodulación re-radiado por los diodos.

Se ha desarrollado una técnica para la evaluación rápida de la densidad de la potencia absorbida en tejidos de forma y características arbitrarias, utilizando una cámara termográfica (44, 82, 94, 95). Esta técnica, que da una distribución de temperatura de la superficie, es empleada para fantomas que poseen formas y propiedades dieléctricas simulando tejidos biológicos y partes del cuerpo expuestos a varias fuentes de radiación en los campos cercano o lejano. Después de la exposición, los fantomas son rápidamente separados, a lo largo de las líneas perpendiculares a las interfases de los tejidos, donde el esquema de absorción de potencia debe ser determinado y entonces se toma una foto mediante la cámara termográfica. Este es un método excelente para obtener esquemas cuantitativos de absorción de potencia bidimensional.

## 4.0. **Mecanismos de Interacción**

La interacción de microondas con sistemas vivientes no sólo depende de la potencia absorbida y su distribución, sino también de la influencia de las reacciones de los mismos sistemas. Un sistema viviente puede considerarse a diversos niveles de organización: molecular, subcelular, celular, orgánico, de sistema de cuerpo entero (42, 96, 99).

Cualquier sistema viviente es autorregulador y homeostático.

Algunos autores dividen las interacciones de microondas con sistemas vivientes en primarias y secundarias (42). Las interacciones primarias se denominan efectos causados por la irradiación de microondas consideradas en términos de absorción de energía y distribución, mientras que los efectos secundarios son el resultado de la interacción primaria. Ambos tipos de efectos pueden ser térmicos en su naturaleza. Por ejemplo, cuando se absorbe la energía de microondas (una interacción primaria), la activación del mecanismo de compensación termorregulatorio es una interacción secundaria (42). En general, las interacciones primarias causan siempre una interacción secundaria o una cadena de interacciones.

### 4.1. **Interacciones macroscópicas**

El término interacciones macroscópicas implica que el fenómeno puede describirse en términos de electrodinámica clásica (es decir las ecuaciones de Maxwell), más que por la mecánica cuántica. Una interacción microscópica puede describirse en términos de la potencia absorbida, que a su vez, se determina por la permitividad dieléctrica y la intensidad del campo interno. La tasa de incremento de temperatura es igual a:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = KPv \qquad 4.1$$

donde: $\Delta$T es el aumento de temperatura en el tiempo $\Delta$t, Pv es la potencia absorbida en la unidad de volumen y k es el factor de proporcionalidad dependiente del calor específico y la densidad del tejido.

La transferencia de calor dentro del cuerpo se lleva a cabo por medio de dos mecanismos: conducción y convención circulatoria (100). El proceso de conducción en el cuerpo involucra el flujo del calor a través de los tejidos, debido al gradiente de temperatura.

Los tejidos del cuerpo son conductores térmicos Relativamente débiles, con valores típicos de conductividad entre 8 y 40 J/min. m. ºC (2 y 10 cal/min. m. ºC).

La convección forzada vía circulación sanguínea es de fundamental importancia en la transferencia de calor a la superficie. En tejidos muy profundos, la transferencia de calor es rápida debido a que las distancias que separan las células de los vasos sanguíneos son pequeñas.

Las diferencias de temperatura que están en el orden de algunos centésimos de grado, están equilibradas por el flujo sanguíneo. El flujo sanguíneo también afecta al aislamiento del cuerpo por medio de la constricción o expansión de los capilares cutáneos, de manera que la distancia que tiene que atravesar el flujo de calor por la capa superficial a la epidermis superficial, aumenta o disminuye correspondientemente. La cantidad de calor transferida del cuerpo al medio ambiente (o viceversa), está controlada por el mecanismo termorregulatorio.

A medida que el calor alcanza la superficie, se va perdiendo al medio ambiente por conducción, convención, radiación, difusión pasiva del vapor de agua a través de la piel y respiración. En contraste con la difusión pasiva, el sudor o "respiración sensitiva" involucro una secreción activa de fluido de glándulas especializadas que están localizadas en la piel. En la pérdida de calor a través del sudor segregado y su tasa de evaporación bajo condiciones normales de reposo, la convención responde por el 40 % de la pérdida de calor total, la radiación por el 45 %, la respiración por el 8 %, la difusión pasiva por el 7 %. Bajo algunas condiciones ambientales (alta temperatura) o fisiológicas (ejercicio pesado), el sudor se transforma en el mecanismo de pérdida de calor dominante. Si la pérdida de calor por sudor no compensa el calor almacenado en el cuerpo, un mecanismo de pérdida de calor evaporativo puede mantener la temperatura interna del cuerpo a niveles de seguridad. En muchos animales esto se lleva a cabo por la evaporación regulada del agua del tracto respiratorio, por leo. El hombre debe confiar en un método eficaz de secreción activa regulada de fluido por glándulas especializadas y su evaporación por la superficie de la piel.

El sudor está controlado por el mecanismo interactivo nervioso central que recibe las señales de los puntos termosensitivos dentro del cuerpo. El hipotálamo y la médula espinal consideran sensores de temperatura centrales equivalentes ya que las señales de sus termorreceptores son aditivas.

Se aplicaron varios modelos de termorregulación humana en la evaluación de los efectos de la absorción de la potencia de microondas. Se concluyó (100) que diferentes modelos de transpiración dan sustancialmente resultados diferentes cuando se los aplica a la absorción de energía de microondas. La disparidad indica una necesidad de nuevos y mejores modelos de transpiración para desarrollarlos antes de que puedan realizarse simulaciones confiables del comportamiento térmico de seres humanos expuestos a la radiación con potencia de microondas.

En general, la absorción de potencia de microondas por parte del tejido (humano o animal), lleva a efectos térmicos que, o bien se compensan por la acción termorreguladora y como resultado de esto la temperatura permanece sin cambio, o están acompañados por un aumento local o total de temperatura.

La distribución no uniforme de la potencia absorbida es un hecho perfectamente establecido que puede llevar a interacciones involucradas. En algunas situaciones de exposición, o ciertas partes del cuerpo absorben potencia de microondas. En (100), se dan nociones sobre los fenómenos posibles. Si se depositan 10 W de potencia en una cabeza (esto corresponde a una exposición de onda plana de 1 W/cm$^2$ a 100 MHz), y no se deposita potencia alguna en las partes del cuerpo restantes, se produce solamente un pequeño aumento de la temperatura del tejido interno de la cabeza, ya que está bien protegida por una gran irrigación sanguínea, pero la temperatura del tejido circundante disminuye considerablemente, a causa la transpiración que a su vez es el resultado de un aumento de la temperatura hipotalámica. Cuando por otro lado se depositan 100 W (que es equivalente al "rate" metabólico; al promedio del hombre) en el cuerpo (ninguna potencia en la cabeza), que corresponde a exposición de 120 mW/cm$^2$ 100 MHz o 590 mW/cm$^2$ a 20 MHz, no se produce aumento la temperatura hipotalámica, se inhibe el sudor y otros tejidos tienen que aumentar sus temperaturas para facilitar la transferencia de calor.

El calentamiento no uniforme causado por la exposición a radiación de microondas se denomina generalmente formación de "puntos calientes", y puede causar una variedad de interacciones secundarias (42, 97-104). El calentamiento diferencial del hipotálamo puede afectar la termorregulación y producir respuestas fisiológicas aberrantes aun a niveles de densidad de potencia relativamente bajos, que no estén acompañados por un aumento total la temperatura del cuerpo.

La sensitividad a la temperatura de las neuronas termosensitivas del núcleo preóptico del hipotálamo es tal, que un aumento de temperatura de sólo 0,1 ºC puede dar como resultado un cambio del 3 % en el "rate" de disparo de tales células (99). Se consideró el efecto de calentamiento con microondas sobre el complejo vestibular-coclear, y se sugirió que los gradientes térmicos dentro de los canales semicirculares del laberinto pueden iniciar una estilación vestibular natural a niveles de densidad de potencia bajos (104).

Los efectos de este tipo son específicos de la frecuencia, debido a la distribución en el espacio, de la potencia dentro de la cabeza, y son dependientes del tamaño y de la frecuencia. Ya que dependen de gradientes o aumentos de temperatura transitorios localizados, relativamente pequeños, se supone que los efectos son reversibles. La naturaleza específica y preliminar de estos mecanismos de interacción sugeridos, no debe pasarse por alto. Los nuevos progresos, tanto en los métodos analíticos y experimentales para determinar la potencia absorbida, y su distribución en cuerpos no homogéneos de hombres y animales, junto con el análisis detallado de los efectos de las situaciones térmicas específicas desde el punto de vista biomédico, deben mejorar la visión de los fenómenos de interacciones macroscópicas.

4.2. **Interacción microscópica. Mecanismos moleculares**

Se puede llevar a cabo la evaluación de los efectos biológicos posibles de la exposición a microondas a bajas densidades, considerando las posibles interacciones moleculares. Algunos efectos moleculares en sistemas biológicos y la energía que se requiere para provocarlos, están resumidos en la tabla XII (99, 105). A través de una frecuencia correspondiente, se indica la capacidad para suministrar la energía especificada (ley de Planck).

La energía de fotones asociada con radiación de microondas está entre 0,4 $x10^{-7}$ y 1,2 x $10^{-3}$ eV (electrón-Voltio) para frecuencias entre 10 MHz y 300 GHz. El potencial de ionización es aproximadamente $10^5$ veces mayor que la energía de un fotón de microondas de 3 GHz. Las potencias de campo que pueden producir ionización son tan grandes que la absorción de energía asociada resultaría en una elevación extrema de temperatura, y por lo tanto, este tipo de interacción es prácticamente imposible.

De manera similar, la unión covalente, unión de London - van der Waals (que es responsable de la unión celular específica de los tejidos), o la ruptura de la unión hidrógeno, todos necesitan sustancialmente una energía de activación mayor que las energías del fotón de la radiación con microondas.

Uno de los mecanismos básicos subyacentes a las interacciones de microondas con sistemas biológicos en el nivel molecular, es la rotación inducida por el campo de moléculas polares. Moléculas tales como el agua y las proteínas sufren una cupla de torsión cuando se las coloca en un campo eléctrico, y tienden a alinearse con el campo para minimizar la energía potencial de los dipolos. Como la frecuencia del campo cambia, el punto que alcanza la reorientación depende de las fuerzas viscosas de amortiguación del entorno molecular. De esta manera una molécula polar muestra una frecuencia de rotación crítica, que se denomina *frecuencia de relajación*. Esta frecuencia depende de las dimensiones de la molécula, viscosidad del solvente y temperatura. A la frecuencia de rotación crítica, se produce la transferencia máxima de energía del campo. La energía rotacional se convierte en calor. La interacción rotacional molecular se describe por el comportamiento con la frecuencia de la permitividad dieléctrica, que (desde el punto de vista de la interacción macroscópica), puede considerarse sin tener en cuenta el fenómeno molecular real.

En la región de frecuencias de 10 MHz a 300 GHz, se producen diversos fenómenos de rotación. El agua, que constituye cerca del 72 % del peso total del ser humano, muestra una relajación rotacional a frecuencias de microondas. El agua aparece en dos formas, como agua libre y agua ligada (106). El *agua ligada* se define como moléculas de agua mantenidas en una orientación no aleatoria cerca o en la superficie misma de una macromolécula, en una capa de hidratación de una a varias moléculas de espesor. Mientras que la relajación del agua libre está perfectamente comprendida, algunas de las complejidades del comportamiento del agua ligada no se han resuelto aún. La relajación del agua libre se produce a 20 GHz a temperatura ambiente y tal como se mencionó anteriormente, la frecuencia de relajación es una función de la temperatura. Un aumento de la temperatura provoca un aumento en la frecuencia de relajación. La frecuencia de relajación del agua ligada depende de la molécula, la que se encuentra ligada el agua, y se produce entre los 300 y 2.000 MHz (107).

El fenómeno de relajación dieléctrica se describe más frecuentemente en forma cuantitativa utilizando la teoría de Debye; puede encontrarse más información sobre esta tema en (102, 108).

La excitación rotacional del agua libre en la célula que puede convertirse en excitaciones translacionales y vibracionales, conduce a un aumento en la temperatura celular. Sin embargo no se suponen efectos biológicos específicos de estos mecanismos, ya que la estructura molecular permanece sin cambio (109). A niveles de potencia de microondas elevados, la relajación rotacional del agua libre, puede conducir a alteraciones en la estructura biológica, debido esencialmente al efecto de calentamiento (106). El mecanismo de relajación del agua ligada y sus implicancias biológicas deben ser estudiados más aún (106, 107) pero por el momento no deben

excluirse los efectos específicos. La especulación sobre lo, posibles mecanismos de interacción entre el agua ligada y las microondas, que resulta de la suposición de la similitud entre el agua ligada y el hielo "sembrado" (con impurezas), fue explicado por Vogelhut (110). En este modelo de absorción de potencia de microondas a la frecuencia de relajación o cerca de ella, provoca un cambio de fase de agua ligada a agua libre, en forma similar al cambio de fase hielo-agua a la frecuencia de relajación del hielo.

La excitación rotacional de moléculas biopolímeras tales como proteínas, aminoácidos, hemoglobina y péptidos pequeños, se produce en la región de microondas (0,1-3 GHz). No se prevén efectos biológicos específicos directos para este tipo de mecanismos de relajación (106, 109)

Las rotaciones por segmentos de secciones helicoidales de biopolímeros no aleatorias provocadas por grandes intensidades de campo electromagnético, pueden producir una desviación en el sistema, suficiente para romper el equilibrio. Posiblemente, si las desviaciones del equilibrio se hacen demasiado grandes, pueden llegar a interferir con los procesos replicativos o metabólicos.

Pueden distinguirse tres posibles movimientos internos inducidos, rotación de grupo terminar (-OH, $-NH_2$, etcétera), inversiones y deformación del anillo, y "tunneling" del protón (106) No es muy probable que se produzca una transferencia de protón único inducido por el campo en DNA (111). La figura 23 muestra un resumen de las interacciones inducidas por el campo esperadas (106). También se ilustran algunos efectos posibles en las bandas vecinas.

En la región de frecuencias de onda milimétricas por encima, de 100 GHz, pueden producirse mecanismos de interacción moleculares específicos (111).

En este ámbito de frecuencias pueden producirse vibraciones polares de moléculas tales como proteínas y DNA, y pueden dar como resultado hechos biológicamente significativos tales como atracción selectiva de las moléculas o abertura de una sección del complejo DNA.

### 4.3. **Interacciones celulares**

Las células consisten en orgánulos y un citoplasma rodeado por la membrana. El núcleo está cubierto por su propia membrana. Además de aislar el interior de la célula, la membrana regula el intercambio de fluidos entre el interior y el exterior, en una forma específica para cada tipo de célula (43, 102)

La capacitancia por unidad de área para un número elevado de membrabas es de 1 $\mu F/cm^2$, la conductancia de la membrana es 1 a 10 $S/cm^2$. Las membranas separan regiones de distintas propiedades dieléctricas, de manera que se forman interfases cargadas. Cuando se las somete a campos electromagnéticos de alta frecuencia, muestran un comportamiento de relajación de frecuencia que se denomina efecto Maxwell-Wagner (102, 107). La relajación Maxwell - Wagner se produce entre 10 MHz y algunos cientos de MHz. Las implicaciones biológicas de este fenómeno son similares a la relajación rotacional.

Una excitación de membranas biológicas debe considerarse un mecanismo de interacción importante. Muchos de los trabajos de Schwan están dedicados a este tema (102, 103, 107, 113) Por encima de los 100 MHz, las membranas están en cortocircuito debido a su capacitancia y no puede inducirse ningún potencial eléctrico. Se demostró (102) que cuando un campo eléctrico de algunos V/cm, se aplica perpendicularmente a la membrana que rodea a una neurona, puede formarse un potencial eléctrico de algunos mV (que pueden excitarla), a través de la membrana, para frecuencias inferiores a 1 MHz. Este potencial disminuye rápidamente con la frecuencia, y a frecuencias superiores a los 10 MHz es muy pequeño en comparación con el potencial en reposo de las neuronas. Se hizo una sugerencia importante (105) acerca de la posibilidad de una excitación del nervio a partir de las características rectificadoras de la membrana.

Bajo tales condiciones, puede generarse un voltaje, así como pueden excitarse los nervios. Se supone que los campos electromagnéticos pulsados de longitud de pulso lo suficientemente grande como para excitar al nervio deben producir efectos mayores que los campos continuos de la misma potencia promedio (105). Esta hipótesis no ha sido probada aún.

### 4.4. **Interacción a través de fuerzas inducidas por el campo**

Las fuerzas que actúan sobre las partículas biológicas cuando se las expone a campos alternos, pueden inducir dos tipos de efectos (43, 107, 113, 115): "Formación cadena de perlas ", que es un ordenamiento de partículas suspendidas y microorganismos, que resulta de una interacción dipolo-dipolo. La orientación de partículas no esféricas, ya sea perpendicular o paralela al campo, es el resultado de una tendencia a asumir estados de energía potencial eléctrica mínima. Ambos efectos están ilustrados en la figura 24. Tales efectos pueden ser inducidos cuando las fuerzas se toman significativas en comparación a las fuerzas térmicas no aleatorias. Las fuerzas provocadas por campos alternos no tienen posibilidad de ser significativas al nivel molecular y celular, salvo que se apliquen intensidades de campo elevadas (algunos cientos de V/cm). Sin embargo, al nivel celular, se encontró que algunos organismos unicelulares responden a campos del orden de 1 V/cm (107).

### 4.5. **Otros mecanismos de interacción**

En la sección 5 se describe el mecanismo del efecto auditivo de las microondas.

Presman postuló (116) que los campos electromagnéticos de diversas frecuencia, transmiten información biológica entre las diferentes partes componentes del cuerpo humano y animal. Se asume la existencia de algún tipo de intercomunicación entre los componen celulares dentro de la célula, y entre las distintas células dentro de un organismo multicelular. Los organismos individuales son a su vez, sensibles a los campos electromagnéticos el medio ambiente de manera tal que los campos electromagnéticos pueden interferir directamente en las funciones normales de los organismos. Como en otros casos, esta hipótesis ha sido comprobada.

### 4.6. **Consideraciones térmicas en la absorción de ondas, EM**

Para evaluar respuestas de una dosis aplicada de energía de microondas o RF, debe conocerse la relación entre la energía absorbida, los mecanismos de enfriamiento de los tejidos y la temperatura.

Hasta hace poco tiempo, no había un método adecuado que permitiera una dosimetría realista para tejidos expuestos a RF o a radiación de microondas. La densidad de potencia aplicada a la superficie de un animal o preparación de tejido, expresada en $mW/cm^2$ es el parámetro corrientemente usado para obtener una aproximación de la energía absorbida.

Esta medición comúnmente se realiza por medio de una antena receptora de ganancia estándar ubicada en el campo lejano, o calculando el esquema (pattern de densidad de potencia a partir del conocimiento de la potencia liberada de una antena transmisora de ganancia estándar y de la distancia desde esta antena.

El esquema de densidad de potencia cambia cuando el animal o preparación de tejido es colocado dentro del campo. Esto, unido a la reflexión del haz de radiación electromagnética, introduce una duda significativa acerca de los métodos usados en la estimación de la incidencia de potencia sobre la superficie del animal o tejido. La energía absorbida por el animal o preparación de tejido puede ser estimada por métodos calorimétricos.

Las técnicas usuales permiten determinar el nivel de potencia relativo en un sistema de exposición dado, pero no medir la potencia absorbida por el tejido o animal. Como consecuencia de la dificultad en la medición de una densidad de potencia significativa, se hace necesario desarrollar experimentos que permitan un cotejo de los resultados en términos de parámetros que

expresen la potencia absorbida por el animal, órgano, o preparación de tejido específico (es decir, el SAR)

La densidad de potencia incidente en el aire puede ser medida usando sensores isotrópicos de banda ancha, consistentes de tres dipolos ortogonales con detectores de diodo conectados entre los brazos de los dipolos. Las señales eléctricas de los dipolos son conducidas independientemente a través de conductores de resistencia alta, transparentes al campo de microondas (Bowman 1974; Bassen, 1975) (Diagrama 19).

Para intensidades de campo con grandes longitudes de onda en comparación con la longitud de los dipolos, las señales que se detectan de cada elemento ortogonal del sensor de campo son, como ya se ha dicho, proporcionales a $E^2$.

Puede ser usado también un sensor compuesto de tres elementos dispuestos en configuración ortogonal. Los elementos son disipativos, y se les transmite calor por irradiación electromagnética. Cada elemento consiste en una serie de termocuplas de película delgada, depositada en sustrato plástico (Aslan, 1972). El sensor es usado cuando la longitud de onda es grande en comparación a la longitud de las cintas de termocupla, y, como la resistencia de éstas es muy grande, las perturbaciones del campo son insignificantes y el calentamiento en cada cinta es proporcional al cuadrado de su componente de campo eléctrico (diagrama 18).

Más aún, pueden ser usadas puntas de prueba piroeléctricas (Huddleston y McRee, 1975) Estas utilizan el efecto piroeléctrico de cristales con polarización espontánea. La polarización espontánea de los cristales depende de su temperatura. Cuando la energía térmica es transmitida a los cristales por campo electromagnético, ésta puede ser detectada por efecto piroeléctrico.

La punta de prueba de cristal líquido (fibra óptica) recientemente desarrollada (Rozzell et al. 1974; Johnson et al.; 1975) puede ser un sensor interesante en la investigación biológica. Su utilidad es la medición de la temperatura en los tejidos expuestos a campos electromagnéticos. Esta punta de prueba es transparente al campo electromagnético ya que no posee componentes metálicos; utiliza fibras ópticas para transmitir la información a y desde la punta sensora, la cual consiste en una delgada película de cristal líquido. La punta sensora que es introducida en el tejido en el punto preciso donde se necesita la información sobre temperatura o dosimetría, está formada por una carga de cristal líquido encerrado en dos "tazas" (a modo de cápsulas) revestidas en "mylar" colocada sobre la punta del paquete de fibra óptica. La mitad de los filamentos de fibra óptica son usados para transmitir luz roja desde un diodo emisor de luz (LED) hacia el material de cristal líquido; la otra mitad conduce la luz roja disipada devuelta al fotodetector (FET). Cualquier cambio de temperatura en los cristales líquidos desplaza el centro de color, resultando un cambio en la retrodispersión de la luz roja (diagrama 20).

Esta punta de prueba tiene la capacidad de medir la verdadera temperatura en los tejidos expuestos a campos electromagnéticos, sin producir cambios en la configuración del campo de los mismos. Otras puntas de prueba térmicas han sido diseñadas, pero aún es necesario perfeccionarlas.

### 4.7. **Interacción de microondas con materiales biológicos**

Con el objeto de comprender algunas de las características de las interacciones de radiofrecuencia y microondas con materiales biológicos, se presenta en la tabla XIII una lista de algunos parámetros de onda importantes.

(Las frecuencias 27, 12, 40, 68, 433, 915, 2.450, 5.800MHz son significativas ya que son usadas en EE.UU. con propósitos diatérmicos, mientras que en Europa -también para diatermia- sólo se autoriza 433 MHz.)

La segunda columna da las longitudes de onda ($\lambda$) en cm y las restantes corresponden a las propiedades de onda en los tejidos. La tabla XIII da los datos para el músculo, piel y tejidos de alto contenido de agua, y para el hueso, grasa y tejidos de bajo contenido de agua. Otros tejidos

intermedios -con respecto al contenido de agua- como por ejemplo: pelo, pulmones, médula, etcétera, tendrán propiedades entre los valores tabulados para los dos grupos ya listados (Johnson y Guy). La tabla enumera las propiedades dieléctricas y la profundidad de penetración en varios tejidos expuestos a ondas electromagnéticas, en función de la frecuencia.

4.8. **Propiedades dieléctricas**

El comportamiento dieléctrico de los grupos de tejidos indicados en la tabla XIII ha sido evaluado minuciosamente por Schwan y sus colaboradores, y otros investigadores como Cook y Cole.

La integración de los campos de onda electromagnéticos con tejidos biológicos está relacionada con estas características dieléctricas. Los tejidos están compuestos por células limitadas por una membrana que contiene un fluido intracelular compuesto a su vez por diferentes iones, moléculas polares de proteína, y moléculas polares de agua. El fluido extracelular tiene una constitución similar de iones y moléculas polares, aunque algunos de sus compuestos químicos son diferentes.

La acción de los campos electromagnéticos en los tejidos produce dos tipos de efectos diferentes que controlan el comportamiento dieléctrico.

Las características intrínsecas que determinan el grado de interacción entre los campos EM (electromagnéticos) y las bioestructuras están dadas por las propiedades dieléctricas del tejido.

Como no hay materiales ferromagnéticos en los tejidos biológicos, la permeabilidad $\mu$ del medio es igual a aquella del vacío $\mu_0$ ($\mu = \mu' = j\mu'' = \mu_0$). La permitividad eléctrica $\varepsilon^*$ del tejido es una magnitud compleja. Es más conveniente utilizar la permitividad relativa $\varepsilon^*/\varepsilon_o = \varepsilon' - \varepsilon''$, donde $\varepsilon_o$ es la permisividad del espacio libre, $\varepsilon'$ es la constante dieléctrica y $\varepsilon''$ es el factor de pérdida o disipación del medio. La conductividad eficaz $\sigma$ (debida tanto a las corrientes de conducción como a las pérdidas dieléctricas) del medio está relacionada con $\varepsilon''$ por: $\sigma = \omega\varepsilon o\varepsilon''$, y la tangente de pérdida está dada por $tg\delta = \varepsilon''/\varepsilon' = \sigma/\omega\varepsilon'.\varepsilon_o$, donde $\omega$ es la frecuencia angular de la radiación EM ($2\pi f$, en cps).

Cuando una onda electromagnética atraviesa un medio, $\varepsilon''$ es una medida de la energía absorbida por ciclo, por el medio. Como la longitud de los ciclos se achica a medida que la frecuencia aumenta, $\varepsilon''$ finalmente disminuirá a cero, a pesar de que la energía total absorbida por el medio es infinita. Por esto, $\varepsilon''$ no es parámetro realista para determinar la absorción de energía; es preferible usar el siguiente parámetro: $\sigma = \omega\varepsilon_o\varepsilon''$ es decir, $\omega = 2\pi f$, y $\sigma = 2\pi f\varepsilon_o\varepsilon''$.

Es bien sabido, a partir de la teoría electromagnética, que la energía absorbida por unidad de volumen de un medio, en unidad de tiempo, está relacionada con $\sigma E$, donde E es la intensidad del campo eléctrico. Aún esta expresión no se aplica a microondas que atraviesan un medio absorbente, como lo es un tejido biológico. Esto se debe a que la intensidad del campo no es constante a lo largo del medio, sino que disminuye debido a la atenuación. De este modo, si las microondas con una intensidad de campo eléctrico $E_1$ son atenuadas hasta $E_2$ con una amplitud de tejido x, entonces: $E_1 = E_2 \exp(-\alpha x)$, donde $\alpha$ es el *coeficiente de atenuación del medio* a una frecuencia dada. De manera que la energía absorbida es proporcional a $\exp(-2\alpha x)$. A partir de la teoría dieléctrica, la relación entre la atenuación $\alpha$ y la permitvidad compleja $\varepsilon'$ para una onda electromagnética transversal (Transversal Electromagnetic Wade or Mode) (TEM) está dada por:

$$\alpha = \left[\frac{\omega^{1/2}}{2} \bullet c\right] \text{X} \left[\frac{(\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2)^{1/2} - \varepsilon'}{2}\right]^{1/2} \quad (1)$$

donde: $\omega$ = frecuencia angular $2\pi f$
c = velocidad de la luz en espacio libre
f = frecuencia de microonda

Esto hace que la relación entre la energía absorbida, frecuencia y permitividad compleja, sea realmente complicada. Cuando $\alpha$ es pequeña, igualmente [exp (-2αx)] tiende a 2αx, que combinado con una aproximación adecuada de la ecuación (3), muestra que la energía absorbida es proporcional a $\alpha$ en esta situación límite, o proporcional a $\sigma$. Esto se corresponde con el extremo de baja frecuencia de la región de dispersión y por lo tanto da una aproximación para el caso bien conocido de un medio entre placas de un condensador, en que la teoría indica que la energía absorbida es proporcional a la conductividad. Sin embargo, en general debe destacarse que el parámetro que determina la absorción de energía es el coeficiente de atenuación $\alpha$.

La variación de α con la frecuencia da una curva delineada en forma similar a aquella que corresponde a la variación de la conductividad con el aumento de la frecuencia.

La relación entre la energía reflejada desde la interfase del medio y los parámetros dieléctricos también es complicada, pero en una primera aproximación, es proporcional a:

$$(\varepsilon'^{\,1/2} - 1)^2 \times (\varepsilon'^{\,1/2} + 1)^{-2}$$

Si la onda es incidente desde el aire.

De manera que en vista de los rápidos cambios de la permitividad compleja a lo largo de la región de microondas para un material biológico es fundamental el conocimiento de $\varepsilon'$ y de $\varepsilon''$, y luego de $\alpha$, para cada frecuencia.

La reflexión parcial de las ondas electromagnéticas tiene lugar en la interfase que separa diferentes medios. La cantidad relativa de, energía total que será reflejada, se determina por la constante dieléctrica y el valor de resistencia específico de los diferentes medios.

La reflexión está caracterizada por un *coeficiente de reflexión complejo* "$\rho$", cuya magnitud r determina la cantidad relativa de energía total que será reflejada, y cuyo ángulo de fase $\phi$ da la demora resultante del proceso de reflexión.

Siempre que el espesor de la capa después de la interfase sea grande en comparación al valor de *profundidad de penetración* para radiación electromagnética, se expresa como:

$$p = re^{i\phi} = \frac{\sqrt{\varepsilon_1}^* - \sqrt{\varepsilon_2}^*}{\sqrt{\varepsilon_1}^* + \sqrt{\varepsilon_2}^*}$$

donde la magnitud r del coeficiente de reflexión es igual al porcentaje de energía reflejada.

Para el caso de tejido adiposo o muscular, es posible mostrar que una gran proporción de la energía total que penetra a través de la grasa subcutánea y llega al tejido muscular, es reflejada. Las ondas reflejadas interaccionan con las ondas incidentes, formando un modelo de onda estacionaria. Una distribución de la intensidad del campo da como resultado:

$$E = E_O (e^{-\gamma x} + p.e^{\gamma/x}) \qquad (2)$$

donde la constante de propagación de y está dada por:

$$\gamma = j \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right) \sqrt{\varepsilon^*} = \alpha + j\beta$$

donde:

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - j\,\frac{60\lambda}{\rho}$$

siendo $\rho$ la resistencia específica en ohm-cm y $\lambda$ la longitud de onda de la radiación electromagnética en el espacio libre.

Por consiguiente, aquí se obtiene un *coeficiente de absorción* inversamente relacionado con la profundidad de penetración D:

$$D = \frac{1}{2\alpha}$$

Por lo tanto, se define $\alpha$ como la parte real de la constante de propagación compleja $y = \alpha + j\beta$.

De aquí sigue la ecuación para obtener la energía absorbida por unidad de volumen (equivalente al potencial de calentamiento):

$$P = \frac{E_0^2}{2}\sigma\left[e^{-\alpha x} + \mathrm{r}^2 \cdot \mathrm{e}^{2\mathrm{xx}} + 2\mathrm{rcoS}\,(2\beta x + \phi)\right] \qquad (3)$$

siendo $\sigma$ la conductividad eléctrica.

La distribución relativa de las fuentes de calor, según fuera representado para el complejo grasa-músculo, no está afectada por la presencia de la capa de piel.

La cantidad $\varepsilon^*$ será dispersada debido a los varios procesos de relajación, juntamente con los fenómenos de polarización.

En los mamíferos hay dos tipos de tejidos corporales desde el punto de vista de las propiedades eléctricas. Los tejidos pueden dividirse en: tejidos de alto contenido de agua - como músculos, piel, hígado, riñón, sangre -con una constante dieléctrica $\varepsilon'$ y conductividad $\sigma$ elevadas; tejidos con bajo contenido de agua -que incluyen grasa y hueso- cuya constante dieléctrica y conductividad son menores. Otros tejidos con cantidades de agua intermedias - como el cerebro, pulmones y hueso medular- tienen la constante dieléctrica entre los tejidos de alto y bajo contenido de agua.

Los valores de estos parámetros eléctricos son correlativos con el contenido de agua en los tejidos, de manera que el primer tipo de tejido puede ser clasificado como tejido de alto contenido de agua y el segundo como tejido de bajo contenido de agua, según fuera indicado más arriba.

La tabla XIII presenta una lista de los parámetros dieléctricos de ambos tipos de tejido versus la frecuencia de 1 MHz a 10 GHz. La *profundidad de penetración* es definida como la distancia que la onda propagada deberá recorrer antes de que la densidad de potencia disminuya por un factor $e^{-1}$.

La acción de los campos EM en los tejidos produce dos tipos de efectos asociados con la disipación de energía, con oscilaciones de cargas o iones libres, y rotación de moléculas dipolares como las moléculas de agua o proteína, en correspondencia con la frecuencia de los campos EM aplicados.

El primer efecto produce una pérdida de la corriente de transmisión debido a la resistencia eléctrica; la segunda indica una pérdida de corriente de desplazamiento debido a la viscosidad del medio. Rigurosamente, el factor de pérdida relativo $\varepsilon''$ representa tres formas principales en que la energía es transferida desde el campo eléctrico hacia el cuerpo absorbente. Una es la transferencia de energía cinética a los electrones que no están fuertemente ligados a ningún átomo, y son por lo tanto llamados electrones libres. Estos electrones libres determinan la conductividad de los materiales. Las otras dos formas de transferencia de energía son la fricción asociada al alineamiento de dipolos eléctricos a por el campo E, y la fricción asociada al movimiento de vibración y rotación que E produce en las moléculas. Como $\varepsilon''$ representa la pérdida de energía en el campo eléctrico (E), decimos que una sustancia tiene pérdidas si $\varepsilon''$ es relativamente grande en comparación a $\varepsilon''$ de manera que una sustancia que tiene pérdida absorbe una cantidad relativamente mayor de potencia. En la mayoría de los casos, cuanto más húmeda sea una sustancia, más pérdida tendrá, y cuanto más seca, menos pérdida.

El tejido adiposo contiene menos agua que el muscular, y por lo tanto es menos absorbente que el mismo. Es importante recordar que estas afirmaciones relativas sólo son válidas si el campo eléctrico E en los diversos materiales es el mismo en cada caso; de todos modos, corno ya se explicó anteriormente, la permisividad del material también influye en la magnitud del campo eléctrico.

Estos efectos están relacionados con la constante dieléctrica y la conductividad de los tejidos.

El "rate" * de energía disipada o absorbida por unidad de volumen, o masa de tejido, que resulta de la conducción iónica y de la vibración de las moléculas dipolares en los tejidos, es definido como Régimen de Absorción Específica (SAR: Specific Absorption Rate) *.

La cantidad total y distribución de la energía EM absorbida en tejidos expuestos a campos EM es una función de varios factores, incluyendo las propiedades dieléctricas de los tejidos, la frecuencia y polarización de los campos aplicados, el tamaño, la forma y orientación del objeto a irradiar y de la fuente de energía EM, la potencia incidente y el tiempo de exposición.

El esquema calórico en el objeto expuesto es luego modificado por las propiedades térmicas de los tejidos, el sistema termorregulatorio. y factores del medio externo.

Cuando diferentes tejidos son expuestos al mismo campo EM aplicado, la absorción de energía en ellos puede diferir en varios grados de magnitud para objetos de diferente tamaño, forma y orientación.

Es por lo tanto importante medir el campo interno y el externo, para cuantificar los efectos biológicos de la radiación EM.

La disminución en la constante dieléctrica $\varepsilon_H$ y el aumento en la conductividad $\sigma_H$ en tejidos de alto contenido de agua con aumento de la frecuencia, se deben a la polarización interfacial a través de las membranas celulares. Las membranas celulares con una capacidad de $1\mu F/cm^2$, actúan como capas aisladoras a bajas frecuencias, de manera que las corrientes fluyen en los espacios extracelulares, explicando la baja permitividad de los tejidos. En frecuencias muy bajas, la constante de tiempo de carga es pequeña, como para cargar y descargar a la membrana en un solo ciclo, dando como resultado una alta resistencia capacitiva de tejido, y por ende una alta constante dialéctica.

Cuando la frecuencia es aumentada, la reactancia capacitiva de la célula disminuye, produciendo un aumento de corriente en el medio intracelular por el aumento en la conductividad total del tejido.

El aumento de la frecuencia impedirá que la membrana celular se cargue totalmente en un ciclo completo, dando lugar a una disminución en $\varepsilon_H$. A una frecuencia de 100 MHz (o mayor), la reactancia capacitiva de la membrana celular es lo suficientemente baja como para suponer que

las células están en corto circuito. En el rango de frecuencias de 100 MHz a 1 GHz el contenido iónico del medio electrolítico no tiene efecto sobre la dispersión de la constante dieléctrica, de manera que los valores de $\varepsilon_H$, y $\sigma_H$ son relativamente independientes de la frecuencia.

Sin embargo, Schwan ha sugerido que las moléculas de proteínas suspendidas con valores más bajos de constante dieléctrica, actúan como "cavidades dieléctricas" en los electrolitos, con lo cual baja la constante dieléctrica del tejido. Atribuye la leve dispersión de $\varepsilon$h a la variación de la constante dieléctrica efectiva de la molécula de proteína con la frecuencia.

La disminución final de $\varepsilon_H$ y aumento de $\sigma_H$ en frecuencias por encima de 1 GHz pueden ser atribuidos a las propiedades polares de las moléculas de agua cuya frecuencia de relajación es de 18-22 GHz aproximadamente.

El comportamiento dieléctrico de los tejidos con bajo contenido de agua es cuantitativamente similar al de tejidos con alto contenido de agua, pero los valores de la constante dieléctrica $\varepsilon_L$ y conductividad $\sigma_L$ son un orden de magnitud menor, y aún no han sido cuantitativamente comprendidos.

El elevado valor de la constante dieléctrica es debido al efecto de las grandes moléculas dipolares de agua que vibran por causa de las ondas. En otros tejidos con menos agua, los valores están entre 5 y 20.

También hay una gran variación en tejidos de bajo contenido de agua. Como el agua tiene una constante dieléctrica y conductividad altas en comparación a la grasa, la constante dieléctrica y conductividad netas del tejido variarán significativamente con los pequeños cambios que se produzcan en el contenido de agua. Los valores de $\varepsilon$ y $\sigma$ también variarán con la temperatura. En la región de microondas, donde la dispersión es pequeña, la variación está dada por:

$$\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} = 2\%/^{o}C$$

y por

$$\frac{\Delta\sigma}{\sigma} = -\ 0{,}5\%/^{o}C$$

Las propiedades dieléctricas de los tejidos juegan un papel importante en la determinación de la potencia reflejada y transmitida en las interfases que separan medios diferentes (tejidos).

También determinan la cantidad total de potencia que un espécimen biológico absorbera cuando se lo ubica en un campo electromagnético.

### 4.9. **Características de propagación y absorción de las ondas**

Las características de propagación de la onda plana en capas planas de tejidos biológicos pueden mostrar, al ser analizadas, cómo la radiación es absorbida cuando el radio de curvatura de la superficie del tejido es grande comparado con la longitud de onda. La constante de propagación $K_{H,L}$ para la transmisión de potencia en tejidos biológicos, puede ser dada en términos de la constante dieléctrica compleja $\varepsilon^*_{H,L}$ y constante de propagación de espacio libre $k_O$, en la forma estándar:

$$K_{H,L} = k_O\ (\varepsilon^*_{H,L}/\ \varepsilon_o)^{1/2} = \alpha_{H,L} - j\beta_{H,L}$$

donde las longitudes de onda

$$\lambda_{H,L} = 2\pi\ /\beta_{H,L}$$

se reducen significativamente en los tejidos debido a la alta constante dieléctrica. La tabla XIII indica que los factores de reducción son suficientemente grandes: entre 6,5 y 8.5 para tejidos de alto contenido de agua y entre, 2 y 2,5 para tejidos de bajo contenido. Además de la gran reducción de la longitud de onda, habrá una mayor absorción de energía en el tejido, generándose calor.

La densidad de potencia absorbida $P_{HL}$ que resulta de la conducción iónica y vibración de moléculas bipolares en el tejido está dada por:

$$P_{H,L} = \frac{\sigma_{H,L}}{2} \cdot |E|^2$$

donde E es la magnitud del campo eléctrico. Se puede notar a partir de las conductividades listadas en la tabla XIII que la absorción en tejidos de alto contenido de agua puede ser hasta 60 veces más grande que en aquellos de bajo contenido para los mismos campos eléctricos.

La absorción de potencia de microondas dará lugar a una reducción progresiva de la densidad de potencia de la onda, a medida que las ondas penetran en los tejidos. Esto puede ser cuantificado, definiendo una profundidad de penetración D = 1/2 α a una distancia que la onda propagada recorrerá antes de la disminución de la densidad de potencia por un factor $e^{-1}$.

El "Régimen" de generación de calor en un tejido determinado, varía inversamente al cuadrado de la profundidad de penetración.

Se puede observar a partir de la tabla XIII que la profundidad de penetración para tejidos de bajo contenido de agua puede ser hasta 10 veces más grande que este mismo parámetro para tejidos de alto contenido de agua. Como consecuencia, el calentamiento relativo por microondas en tejidos de alto contenido puede ser 100 veces mayor.

La conductividad eléctrica mostrada en la tabla XIII también puede ser usada como una guía para calcular el calentamiento de tejidos por

$$W_a = 10^{-3}\sigma \frac{|E|^2}{2\rho} = \frac{1}{2\rho}\omega\varepsilon_o\varepsilon''|E|^2$$

donde $\sigma$ es la conductividad eléctrica en mho/metro, p es la densidad del tejido en $g/cm^3$, y E es el valor rms del campo eléctrico (V/m) en el tejido.

Gandhi *et al.*, han informado una importante observación: la fuerte resonancia en la absorción de ondas electromagnéticas por objetos biológicos, cuyos cuerpos han sido expuestos en su totalidad. En el caso de irradiación con onda plana en espacio libre, el régimen más elevado de absorción de energía ocurre en campos polarizados a los largo del eje mayor del cuerpo (E I 1L) y para frecuencias en que la longitud mayor (L) está aproximadamente cerca a 0,4 veces la longitud de onda ($\lambda$) de radiación en espacio libre.

La absorción de energía electromagnética en animales y modelos de hombre con y sin conexión a tierra y efectos de reflexión, han sido estudiados por Gandhi, Hunt y D'Andrea. Curvas generalizadas para absorción de energía electromagnética del cuerpo entero fueron dadas por modelos.

Dado que cada tejido de un sistema biológico complejo - como el hombre- posee permitividades complejas diferentes, habrá en general reflexión de energía entre las diferentes interfases del tejido, durante la exposición a microondas.

El coeficiente complejo de reflexión p, debido a la transmisión de una onda desde un medio con permitividad compleja $\varepsilon_1^*$, hacia un modelo con permitividad $\varepsilon_2^*$, y espesor más grande que la profundidad de penetración, está dado por:

$$\rho = re^{j\theta} = \frac{\varepsilon_1^* - \varepsilon_2^*}{\varepsilon_1^* + \varepsilon_2^*}$$

Cuando una onda, en un tejido de bajo contenido de agua, incide sobre una interfase con un tejido de alto contenido de agua, que es lo suficientemente grueso (mayor que la profundidad de penetración), la onda reflejada está casi 180º fuera de fase con respecto a la onda incidente, produciendo una onda estacionaria con un mínimo de intensidad cerca de la interfase. Si la onda se propaga en un tejido de alto contenido de agua y es incidente en un tejido de bajo contenido de agua, la componente reflejada está en fase con la onda incidente, produciendo una onda estacionaria con un máximo de intensidad cerca de la interfase. Si hay varias capas de diferentes tejidos con un espesor menor a la profundidad de penetración para cada medio (tejido), la energía reflejada y el modelo de onda estacionaria estarán influidos por el espesor de cada capa y las diversas interfases de onda. Estos efectos pueden obtenerse a partir de las ecuaciones de líneas de transmisión estándar:

La distribución de las intensidades de campo eléctrico E en una capa dada es:

$$E = E_o\,[e^{-jkx} + pe^{jkx}]$$

donde $E_o$ es la magnitud pico del campo y p es el coeficiente de reflexión.

La ecuación (3) que define la magnitud de la potencia absorbida en la capa de tejido se fundamenta en esta última expresión.

Schwan ha realizado cálculos extensos de estas distribuciones de absorción en varios tejidos. Las distribuciones típicas están dadas para una onda transmitida a través de la grasa subcutánea hacia el medio muscular.

La densidad de potencia absorbida relativa es normalizada a la unidad, en el músculo, en la interfase grasa - músculo.

Las curvas de absorción relativa que se han mostrado no cambian para un espesor de grasa menor.

La discontinuidad entre la potencia absorbida en el músculo y la de la grasa es totalmente manifiesta. También puede observarse que los pulsos de onda estacionaria se agrandan en la grasa, y la penetración de la onda en el músculo es menor con el aumento de la frecuencia. Esto ilustra claramente la conveniencia de usar frecuencias menores que 2.450 MHz para diatermia (figuras 5 y 6).

La grasa subcutánea puede variar desde 1 cm de espesor hasta 2,5 cm según el individuo.

El calentamiento profundo para diatermia requiere transmisión de energía a través de: esta capa de grasa subcutánea hacia la capa de músculo. El valor absoluto de densidad de potencia absorbida en las capas de tejido depende de la densidad de potencia incidente, espesor de la piel, y de la capa de grasa.

Generalmente se ilustra la densidad de potencia absorbida en la interfase del músculo y la densidad de potencia absorbida pico, en una capa de piel de 2 mm de espesor en función del espesor de grasa, para una densidad de potencia incidente de 1 $mW/cm^2$.

Estos valores pueden ser usados para determinar la potencia absorbida en determinado lugar del músculo y grasa, relacionándolos con las curvas experimentales.

La densidad de potencia absorbida pico es siempre máxima en la capa de piel para el modelo de capas planas. Esto es significativo ya que los receptores térmicos del sistema nervioso están allí localizados e indicarán dolor cuando la densidad de potencia incidente alcance niveles que puedan dañar térmicamente el tejido.

Con el enfriamiento de la superficie de la piel por condiciones naturales del medio externo o por procedimientos clínicos de control, el aumento de la temperatura, sin embargo, puede ser más alto en la grasa o músculo. La absorción pico en los diversos tejidos, puede variar en un rango amplio, con el espesor de la grasa y la frecuencia. Es manifiesto que las frecuencias por debajo de 918 MHz pueden penetrar más profundamente en los tejidos. Lo que esto implica -en términos de peligros de radiación y aplicaciones terapéuticas- es evidente. Existen diagramas que indican las ventajas de frecuencias más bajas para diatermia, que incluyen:

1. Mayor penetración en el tejido muscular
2. Ondas estacionarias menos significativas, y "puntos calientes" en la grasa, y
3. Mejor control y estimación de la energía absorbida para una potencia incidente dada, con una gran variación de espesor de grasa en los diferentes pacientes.

Sin embargo, hay un límite práctico menor con respecto a la frecuencia que puede ser usada. A medida que la frecuencia es disminuida, el tiempo de exposición necesario se agranda, hasta que ya no es posible obtener los esquemas de calentamiento selectivos deseados. Si el tiempo de exposición no es aumentado a medida que la frecuencia disminuye, sólo resultará un calentamiento superficial (Guy y Lehmann; Guy)

La absorción de energía de campo electromagnético está determinada por varios factores. Entre ellos, las propiedades dieléctricas del tejido, el tamaño y forma del objeto a irradiar, la frecuencia del campo EM aplicado, y la orientación del objeto con respecto a la polarización del campo EM pueden influir en el acoplamiento de la energía por varios órdenes de magnitud. Las propiedades eléctricas de los tejidos y de otros sistemas biológicos no sólo controlan el modo de propagación de la energía EM en ellos, sino que también determinan la manera en que los campos EM interaccionan con estos materiales biológicos en varios niveles de complejidad.

Así, una descripción cuantitativa de los campos EM en tejidos, y la comprensión de la relación entre esos campos y la termodinámica de los sistemas biológicos, es de importancia básica. Esto último también provee las bases para técnicas de instrumentación útiles, que pueden usarse para determinar la densidad de potencia absorbida y campos inducidos en los tejidos de los sujetos expuestos, simplemente por mediciones de la temperatura.

Uno de los problemas en la investigación de la radiación no ionizante es que los conceptos y enfoques usados en radiación ionizante, han sido generalmente mal aplicados.

A pesar de que los efectos biológicos conocidos de la radiación ionizante son mejor interpretados que aquellos de la radiación no ionizante, el problema de la dosimetría en la no ionizante es muy diferente y mucho más complicado que en la primera.

A diferencia de la radiación ionizante, la misma densidad de potencia incidente medida en el aire puede producir efectos biológicos distintos debido a la diferente absorción, la cual depende de: la frecuencia, configuración de la fuente, tamaño y forma del objeto, polarización del campo, propiedades dieléctricas de los tejidos, orientación del sujeto blanco, etcétera.

Debido a que hay muchas variables que pueden determinar los efectos biológicos de las microondas, el conocimiento de la densidad de potencia absorbida no da suficiente información para hacer una comparación entre los laboratorios que están usando diferentes animales y diferentes enfoques experimentales.

Sin mediciones cuantitativas de la energía o campo real dentro del objeto expuesto, es difícil comparar resultados usando -como ya se dijo- diferentes animales y enfoques experimentales. Ha habido varias discusiones relativas a la elección de los parámetros más significativos a ser medidos. Wacher y Bownman han sugerido usar el cuadrado de la magnitud del campo eléctrico para densidad de energía en los tejidos, para cuantificar acciones.

Schwan propuso el parámetro de densidad de corriente en los tejidos como el más conveniente. Otros investigadores midieron el "rate" de densidad de energía absorbida en el tejido que es definido como Régimen de Absorción Específica (SAR), Sin embargo todos estos parámetros elegidos están directamente relacionados, y por lo tanto no hay diferencias en los resultados reales (Guy, 1975, 1977). Para el estudio de los bioefectos es necesario medir la densidad de potencia incidente en el aire ($mW/cm^2$), y el SAR, en los tejidos (W/kg) Sólo entonces se obtendrá una comprensión total de la interacción de los campos EM con los tejidos; sea en escala microscópica o macroscópica, o en la estructura total del cuerpo; sea el efecto observado "térmico" o "no térmico" en su origen, o meramente un artificio debido a la naturaleza de la aproximación experimental.

Tomando bien en cuenta el tamaño del cuerpo del animal experimental, junto con una dosimetría "in vivo" precisa, los resultados de experimentos en ratas pueden ser relacionados a aquellos obtenidos en experimentos con gatos, monos, perros, ranas o muestras de tejidos "in vitro".

En este trabajo se exponen varios factores que determinan la absorción de potencia de microondas o RF, destacando la complejidad de su respectiva dosimetría.

Se ha sintetizado la instrumentación y técnicas estándar disponibles para medir la potencia incidente y el SAR.

Por lo tanto, para determinar la importancia térmica de una cantidad dada de densidad de potencia absorbida en un tejido, con el objeto de averiguar si un efecto es específico del campo o de la temperatura, o de ambos, debe tenerse en cuenta la relación entre la energía absorbida, los mecanismos de enfriamiento del tejido y la temperatura.

## 5.0. **Efectos de RF - Microondas en marcapasos**

El marcapasos es una prótesis diseñada para revertir el bloqueo cardíaco, por ejemplo cuando el nodo A-V no transmite señales eléctricas. Los electrodos internos, directamente conectados al músculo cardíaco, reducen el empleo de corrientes elevadas.

Generadores pequeños de pulsos son implantados debajo de la piel, y las baterías se reemplazan mediante una simple operación.

El efecto de la emisión de radiación RF-Microondas sobre el funcionamiento del marcapaso es conocido. Este efecto depende del tipo de marcapaso y diseño, de la frecuencia, intensidad pico del campo E, ancho del pulso y el de repetición de pulsos (p.r.r.); el marcapaso puede bloquearse o interrumpirse totalmente, volver sobre su modo de rechazo de operación a una interferencia dada. Distintas experiencias fueron presentadas para una amplia variedad de tipos de emisoras instaladas en centros de población en los Estados Unidos. Esos experimentos fueron realizados para determinar sus significancias clínicas, y la posibilidad técnica de diseñar marcapasos para evitar interferencia electromagnética. Se lograron así diseños que aseguraron protección contra la interacción de Campos EM.

Un programa de investigación comprendió también el estudio de tecnologías para disminuir las acciones nocivas producidas por RF - Microondas en los distintos modelos de marcapasos producidos por la industria.

Se han clasificado los marcapasos según dos sistemas:

a) frecuencia fija (asincrónicos),

b) de demanda (sincrónicos, inhibidos por onda - R)

Los del tipo (a) suministran un régimen preestablecido de estímulos eléctricos a los ventrículos, que es independiente de la actividad eléctrica y/o mecánica del corazón. Los marcapasos sincrónicos (o de demanda) "sensan" las despolarizaciones de la actividad cardíaca muscular y producen sus propias señales de despolarización (mediante estímulos eléctricos), únicamente si no se generan las despolarizaciones normales de la actividad bioeléctrica del corazón. Los marcapasos sincrónicos atriales "sensan" la despolarización atrial, retardan la señal para simular el tiempo de conducción normal, y entonces suministran el estímulo eléctrico a los ventrículos (ver figura 25).

Este tipo de marcapaso requiere un electrodo atrial que detecta señales de 2-2,5 mV, correspondiente a la onda - R atrial y dos electrodos ventriculares. El marcapaso es ubicado en el abdomen, y conectado al corazón mediante electrodos (incluye un amplificador de onda - R, un delay, A-V, una unidad de bloqueo lógico y un amplificador de salida) La unidad de bloqueo lógico suministra una salida, en respuesta a la señal atrial a menos que esté ocurriendo fibrilación atrial, en cuyo caso una señal de referencia fija de 52 pulsos/minuto es enviada a los ventrículos.

Los "rates" atriales menores que 52 pulsos/minuto, o bien ondas - R por debajo de la capacidad de sensibilidad del amplificador, resultarán en la generación de pulsos sincrónicos, emitidos por la unidad de bloqueo. Por lo tanto, formas de alteraciones diferentes al bloqueo A-V, serán compensadas por esta unidad marcapaso.

Los marcapasos sincrónicos (inhibidos por onda – R) inhiben su señal de salida cuando estos sensan la despolarización de los ventrículos si sucede naturalmente, por ejemplo, el marcapaso funciona solamente cuando ocurre el bloqueo A -V.

La mayoría de los marcapasos implantados en pacientes son del tipo onda - R. Poseen un circuito de "timing" electrónico que es puesto a cero por despolarización normal o el estímulo marcapaso (figura 25).

Su circuito sensor está programado para responder a señales eléctricas normalmente generadas por el corazón. Pulsos de energía inducidos externamente vía los conductores del marcapaso o circuitos, pueden erróneamente inhibir su señal de salida necesaria para el tejido cardíaco activo. Luego, la interacción de campos RF con marcapasos cardíacos representó un original efecto biológico indirecto. El blindaje de los mismos se logró ampliamente.

Este resulta primariamente del hecho de que los umbrales de interferencia de las corrientes suministradas por el marcapaso comienzan a valores de ondas de 8-10 V/cm, mientras que niveles picos del campo E entre 200 y 600 V/m aproximadamente, pueden estar asociados con campos E pulsados, correspondiendo a densidades de potencias por debajo de 10 $mW/cm^2$; por ejemplo el nivel de campo E de una onda continua (CW), 10 $mW/cm^2$ es del orden de 200 V/m, pero puede ser éste mucho mayor para una fuente de onda pulsada (PW) de bajo cielo activo de trabajo (duty cycle), teniendo la misma densidad de potencia.

Los marcapasos en general, poseen circuitos de eliminación de interferencias eléctricas. No obstante las señales o pulsos electromagnéticos como acabamos de mencionar, con frecuencias de repetición, entre 0,1 Hz y 25 Hz y pulsos de energía eléctrica por encima del nivel umbral de control del marcapaso podían llegar a provocar la inhibición del sistema control del generador de señales del marcapaso, induciendo riesgos y provocando la muerte del paciente portador del mismo.

Se determinó en laboratorio:

1. La susceptibilidad de los umbrales de los marcapasos a campos EM de radiación teniendo "rates" de repetición de pulsos (p.r.r.) suficientes para inducir, o provocar al marcapaso variaciones en su régimen de pulsos preestablecido (onda-R, etcétera)

2. Frecuencias, polarización y otros parámetros que alteren su funcionamiento.

Las mediciones efectuadas en los marcapasos conocidos, expuestos a RF - Microondas han señalado que sus performances no son alteradas; Y por lo tanto sus blindajes cumplen con los requisitos de seguridad a radiación EM no ionizante (ejemplos, figuras 25, 26 y 27).

## 6.0. **Fisiología de la termorregulación: Neuroendocrinología**

Cuando la energía de radiación electromagnética no ionizante de radiofrecuencias interacciona con un organismo la mayor parte de ella se convierte en calor dentro de los tejidos, donde los campos EM están actuando.

El nivel que ha alcanzado la temperatura durante la exposición a la energía EM de RF-MO y el efecto que produce este aumento de la temperatura del tejido - sobre el organismo en su totalidad, pueden depender de la densidad de potencia, de la duración de la exposición a la radiación y de la facilidad con que este calor fluya hacia otras partes del organismo o del medio.

Las consecuencias de este aumento en la temperatura local del tejido pueden ser físicas, fisiológicas o patológicas. Las consecuencias de los cambios en los gradientes térmicos en las propiedades celulares locales y en los sistemas neuroendócrino, cardiovascular y muscular, son analizadas en este trabajo.

Los efectos locales del calor en tejidos y células son complejos ya que virtualmente todo proceso biofísico y bioquímico depende de la temperatura.

Mencionamos sólo dos de los más conocidos y principales efectos:

- Cambios en el nivel del metabolismo celular o del tejido, y
- En la circulación local de la sangre.

Un incremento en el nivel metabólico como resultado de un aumento en la temperatura local, produce un nuevo aumento en el nivel de generación de la energía libre, y es aditivo en sus consecuencias térmicas. El tono vasomotor periférico es regulado por los reflejos, por medio del sistema nervioso central, cuando las condiciones ambientales están cercanas a la termoneutralidad. Sin embargo, en temperaturas de la piel y ambientales bajas, los vasos periféricos tienden a mantenerse contraídos y, con temperaturas de la piel y ambientales elevadas los vasos pueden mantenerse dilatados mediante efectos térmicos locales sobre ellos.

De este modo, excepto en un pequeño ámbito de temperaturas ambientales, en las que los vasos del oído son sensibles al control simpático, las sustancias administradas centralmente y que activan o inhiben otras uniones efectoras termorreguladoras, no producen aparentemente ninguna acción sobre el tono vasomotor periférico.

Similarmente, las alteraciones térmicas locales debidas a la radiación electromagnética no ionizante ejercen un efecto directo en los vasos sanguíneos, periféricos, que los insensibilizan ante cualquier influencia de los centros integrativos neuronales del cerebro.

Principalmente, una alteración térmica actuará sobre los sensores térmicos locales y como reflejo inducirán cambios correctores adecuados, según los patrones e intensidad de las funciones efectoras termorreguladoras. Aparte del tono vasomotor periférico, que puede ser influido particularmente por efectos térmicos directos, éstos comprenden el origen térmico del temblor que aumenta el contenido de calor, o la ausencia del mismo y la pérdida evaporativa del calor mediante el sudor o jadeo que disminuyen el contenido de calor en todo el organismo.

Estas funciones están controladas por procesos reguladores centrales en los núcleos nerviosos de la región hipotalámica, y posiblemente en otras regiones del cerebro. Varios enfoques de investigación están relacionados con la búsqueda de la analogía más cercana al mecanismo por el cual la temperatura del cuerpo y sus procesos reguladores son controlados bajo

una carga térmica sostenida, como la que se produce durante una exposición prolongada a la radiación electromagnética no ionizante (RF-MO)

Este análisis y debate continuo sobre la naturaleza del control y regulación de la temperatura del cuerpo y del efecto sobre la misma del estrés térmico, está relacionado directamente a lo que sucede con la regulación de la temperatura del cuerpo durante la exposición a un nivel de radiación electromagnética no ionizante con efectos termorreguladores reversibles.

La acumulación local del calor, principalmente en los tejidos periféricos, cambia la potencia de salida desde los termosensores periféricos y esto puede cambiar el nivel de la temperatura central (oral o rectal) en la que la producción y pérdida de calor vuelven a su equilibrio.

Cuando la temperatura central de un animal aumenta y permanece en un nivel elevado durante un período prolongado posteriormente a la exposición a RF-MO no existe ningún intento del animal(o aparentemente del sistema controlador) para contrarrestar este aumento en la temperatura central (es decir, las características del proceso termorregulador de los mamíferos han sido igualadas a las de un regulador físico en el que una señal representativa de la variable controlada es comparada con una referencia o señal del "set point")

Una alteración térmica sostenida produce respuesta termorreguladoras, pero el nivel uniforme de la temperatura central puede ser sustituido. Este cambio es interpretado por algunos investigadores como un cambio (desplazamiento) en el "set point" biológico, pero otros discuten en contra de este concepto, y sugieren que la variable controlada puede no ser una temperatura corporal. Una propuesta alternativa es que el proceso regulador es esencialmente el mantenimiento servomecanístico del equilibrio entre la producción y la pérdida de calor. La temperatura central de animales expuestos a la radiación de microondas (10 $mW/cm^2$ durante 5 horas) aumenta y permanece en un nivel elevado hasta varias horas después de la irradiación. El sistema no contrarresta aparentemente este aumento en la temperatura central (oral o rectal) Cuando se produce una alteración térmica, como la carga calórica, la temperatura del cuerpo no se regula como podría esperarse según la hipótesis del "set point". Un cambio sostenido puede ser el efecto probable de una carga térmica sostenida.

Es difícil afirmar algo respecto a la relación entre la termosensibilidad periférico y la estabilidad de la temperatura central. Más aún, no existe información disponible acerca de la distribución de los sensores de temperatura en los órganos componentes de un sistema biológico, además de esos sensores térmicos de la piel, el hipotálamo y probablemente en la médula espinal. Es muy probable que estos receptores térmicos estén distribuidos a lo largo de todo el sistema. Su presencia no puede ser demostrada por simples técnicas de calentamiento o enfriamiento local. Pero sin embargo, cuando se cambia la temperatura de todo el cuerpo, estos sensores térmicos podrían estar contribuyendo con la entrada: de una señal significativa a los controles centrales. Por lo tanto, sería sumamente peligroso suponer que haya alguna área del cuerpo que no contenga termosensores y que sea insensible a la temperatura.

De manera que el problema depende de que las señales de los diferentes termosensores distribuidos en el cuerpo estén integrados o no. Debe esperarse que, como resultado de la información de señales convergentes, éstas se sumen o multipliquen en forma proporcional al contenido de calor de la estructura en su conjunto, y sean usadas en un sistema de control específico para mantener la relativa uniformidad del contenido de calor del cuerpo. Esto significa que: la señal resultante de varios de los termosensores transmite la información sobre la temperatura del cuerpo y puede contribuir a dar información sobre el contenido de calor del mismo. También parece que el "set point" o señal de salida de la respuesta, mencionado anteriormente, es un indicador del umbral de una estimulación térmica nociva (45ºC, por ejemplo) La temperatura del cuerpo humano opera a 37º-38ºC mientras que el regulador puede en realidad estar tomando como referencia los 45ºC.

Si utilizamos como base los conocimientos generales sobre el tema, sería extremadamente difícil en este momento establecer las características del equilibrio térmico para un animal expuesto a un calentamiento intenso profundo, no uniforme. Los resultados de la investigación

muestran concluyentemente que para frecuencias entre 1,2GHZ y 24,5GHz, la exposición a una densidad de potencia de 100mW/cm$^2$ durante un período de más de una hora, podría tener efectos térmicos definidos (hipertermia) A densidades de potencia menores que 10mW/cm$^2$ las evidencias de cambios patológicos permanentes son ambiguas. Tal vez la investigación básica más importante sobre exposición experimental controlada de seres humanos, a la radiación de RF-MO (2,88GHz, densidades de potencia entre 100 y 220mW/cm$^2$, y una duración de la exposición inferior a una hora) haya sido la que condujera Ely y sus colaboradores. El aumento de la temperatura rectal no indica un aumento en la temperatura promedio del cuerpo; sin embargo, durante la exposición a RF-MO, el sujeto se encuentra en un control térmico normal, con transpiración mínima y sin un aumento de la temperatura promedio del cuerpo.

Los datos que muestran la sensibilidad de las especies a la radiación de RF-MO (como perros, ratas, conejos) indican que no existe correlación entre el área de superficie, peso, o "rate" metabólico basal y la exposición (mW-h/cm$^2$), necesaria para inducir un aumento de la temperatura rectal de 1,5ºC, lo cual es una función complicada de la densidad y potencia y la exposición.

El tiempo que se requiere para un aumento determinado de la temperatura, no especifica estos factores, pero representa el análisis mínimo del cual debería disponerse en cualquier estudio sobre los efectos de RF-MO. Un hallazgo consistente ha sido el de la sensibilidad del conejo al calor inducido por RF-MO seguido por su muerte después de aproximadamente 3 horas de exposición a una densidad de potencia de 30 mW/cm$^2$. Más aún, la sensibilidad térmica de la rata depende de la frecuencia. Desafortunadamente, la rata fue aparentemente el único animal experimentar en el que se ha tomado en cuenta la frecuencia. Es necesario una comparación entre diferentes especies, para continuar las investigaciones en esta área. No se detectaron diferencias estadísticas significativas entre los aumentos de la temperatura rectal de animales expuestos en 1,2 GHz y 2,88 GHz de radiación RF-MO durante 6 horas, a 100 mW/cm$^2$; se notaron, sin embargo, diferencias en las respuestas subjetivas de los animales, lo que sugiere que la medición de la temperatura rectal puede ser un indicador exhaustivo de la respuesta a la radiación de RF-MO. Es más elevada la temperatura en órganos como el hígado, vesícula biliar, estómago, pulmones, etcétera, que las temperaturas oral y rectal tomadas en forma simultánea después de la exposición.

El problema del calentamiento local o no uniforme adquiere mayor importancia en las interpretaciones de los efectos inducidos por el calentamiento con RF-MO, y debe ser considerado en forma muy cuidadosa para la determinación de los riesgos biológicos relacionados con la observación de los complejos aumentos en la temperatura oral o rectal (temperatura central).

Sin embargo, dada la dificultad en la medición de una densidad de potencia significativa, se realizan experimentos biológicos que permiten una comparación de los resultados en términos de parámetros biofísicos y fisiológicos, que puedan reflejar los efectos de la absorción de potencia electromagnética (EM) por el animal o tejidos, órganos, células, en estudio.

Los cambios en la temperatura central (rectal u oral) son una función complicada de la densidad de potencia, frecuencia, duración de la exposición, condiciones ambientales, y no existe una relación simple entre la duración de la exposición y la densidad de potencia requerida palma producir un determinado efecto fisiológico, o sea un cambio en la temperatura oral o rectal (temperatura central).

Se indica la necesidad de una cuidadosa evaluación de la distribución del aumento de la temperatura en los órganos sistémicos de animales sometidos a la exposición de RF-MO (es decir, calentamiento por radiación EM).Esto señala el cuidado que debe tenerse al extrapolar los resultados de la distribución térmica de una especie animal a otra. El papel que juega el régimen del calentamiento, duración de la exposición, área de radiación, profundidad de penetración sobre el fenómeno de calentamiento local, es desconocido. Por lo tanto el modelo de la irradiación con RF-MO debe estar en relación recíproca con el área total del cuerpo, masa orgánica, profundidad, etcétera, y con la posición anatómica del órgano con respecto a la superficie.

Algunos investigadores de la URSS describen la naturaleza térmica y otros autores señalan los efectos de RF-MO específicos no térmicos, en los niveles molecular y celular funcional; en contraste con los estudios realizados en Estados Unidos de América, que generalmente han revelado la respuesta del organismo ante acciones térmicas producidas por la absorción de energía de RF-MO. Se han realizado trabajos significativos en la URSS sobre cambios funcionales transitorios, después de exposiciones menores que 10 $mW/cm^2$. Esa literatura señala que se debe considerar que el sistema nervioso central es moderadamente sensible a los cambios transitorios producidos por radiación.

Esto es especialmente cierto para campos EM y ha conducido a polémicas considerables sobre si los efectos observados en el nivel de sistemas neuronales y de conducta, se deben simplemente al calentamiento (efectos térmicos) o a la estimulación específica de la red neuronal por el campo de radiación electromagnética (efectos no térmicos).

El problema de los cambios en las funciones neuronales debido a RF-MO ha recibido considerable atención.

Algunos investigadores han llegado a la hipótesis de que la radiación de RF-MO altera aquellos mecanismos moleculares relacionados con la función excitatoria.

Otros investigadores han rehusado aceptar la posibilidad de una estimulación nerviosa no térmica, y han considerado una explicación basada en el calentamiento local. Se han realizado experimentos para estudiar los efectos de la radiación EM de RF-MO sobre el sistema nervioso de animales homeotermos y poiquilotermos. Los experimentos de animales homeotermos fueron diseñados para separar los efectos nocivos térmicos de los no térmicos.

Se irradiaron animales poiquilotermos refrigerados, con niveles de potencia de 40-60 $mW/cm^2$ en varios períodos. Se realizaron además, experimentos en preparaciones de nervios aislados, con la misma longitud de onda y densidad de potencia.

Los resultados de los experimentos en nervios periféricos “in vitro" parecen indicar que los informes anteriores sobre efectos nerviosos pueden explicarse como una consecuencia del calentamiento local de los troncos nerviosos periféricos más que debido a una excitación del sistema nervioso central. El principal efecto observado fue un aumento de la temperatura de la actividad motora del animal irradiado.

Estos experimentos proveen evidencias de que los efectos de RF-MO observados en preparaciones de tronco nervioso aislado, pueden reproducirse mediante un calentamiento no electromagnético equivalente. Sin embargo, estos datos experimentales deben ser revisados, ya que las respuestas bioeléctricas del tronco nervioso dependerán del tiempo (de duración), de la estimulación eléctrica (es decir, duración del pulso, amplitud, etcétera) necesaria para evaluar la excitabilidad de cada uno de los componentes de las fibras del tronco nervioso.

A partir del análisis general de los efectos térmicos en la fisiología y conducta del animal, podemos considerar que no existe hasta el presente una cantidad suficiente de datos que permitan una comparación de los parámetros fisiológicos y biofísicos, que reflejen los efectos posibles como resultado de la absorción de energía EM por animales, o células u órganos específicos del sistema.

Debe realizarse un mayor número de investigaciones en el nivel de órganos y células aisladas para detectar efectos EM y la distribución de potencia localizada, en sitios específicos, que puedan alterar las funciones celulares y subcelulares.

La búsqueda de efectos umbrales en sistemas celulares es la tarea de nuestro trabajo de investigación, antes de aprender sobre los efectos en las respuestas complejas de animales u organismos, donde las interacciones sistémicas pueden compensar, aparentemente, influencias disociadoras de la radiación EM en algunos parámetros específicos, es decir, un número de parámetros dinámicos complejos de membrana, como la constante $K_r$ (ecuación de cable H - H,

$K_r = 2Ri\theta^2 C_m/a$) que no es alterada significativamente por la irradiación - x, aun cuando ellos representan la combinación de otros parámetros que si son alterados (es decir, $\theta$, $C_m/a$), o las constantes $m_1$ y $m_3$ de los parámetros mecánicos dinámicos de la contracción isomérica (T, t; T, T) de acuerdo a Hill. En todos estos casos de aparente compensación, es muy interesante determinar si los resultados reflejan la operación (intervención) de mecanismos reguladores en la membrana celular (es decir, células nerviosas o musculares excitables), los cuales intervienen para mantener inalterados los diferentes parámetros ante tales influencias disociadoras como son los rayos X o posiblemente la radiación de RF, como así también el aparato contráctil de estas células musculares.

Se ha propuesto que la concentración de $Ca^{2+}$ en el plasma actúa a través de una retroalimentación negativa para la regulación de la secreción de PTH (hormona paratiroidea).

El estímulo para aumentar la secreción de PTH es una disminución en la concentración de $Ca^{2+}$ en el plasma por debajo de un umbral.

Otra hipótesis fue agregada, la que incluye el papel de la calcitonina (CT) La elevación de la concentración de calcio ($Ca^{2+}$) en plasma es suficiente para provocar la secreción de CT causando una disminución en la concentración de calcio en el plasma. Esta acción es rápida, mientras que la de PTH ocurre más lentamente y persiste por largo tiempo. Esas hormonas regulan las concentraciones de Ca y $PO_4$ en plasma dentro de un ámbito muy angosto. El sistema de control se muestra en el diagrama 1. Las hormonas tiroideas juegan un papel importante en el metabolismo del Ca, pudiendo disminuir la calcemia ($Ca^{2+}$ en el plasma).

El ACTH (adrenocorticotrofina) simultáneamente inhibe la secreción celular de CRH vía un lazo de retroalimentación negativa y estimula sus células efectoras en la corteza adrenal. En los diagramas 2, 3 y 4 sintetizamos el posible mecanismo de regulación de la secreción de ACTH.

El estrés (carga calórica, etcétera) puede provocar una secreción aumentada de ACTH y a la vez una caída de LH y FSH actuando sobre el hipotálamo vía conexiones del sistema nervioso central (SNC). Sabernos que si lo implantamos en el cerebro medio (mesoencéfalo), provoca una reducción en la secreción adrenocortical de corticosterona, que induce descargas en receptores de esteroides presentes en la zona de impulsos eléctricos nerviosos, inhibiendo la liberación hipotalámica de CRH. Demostramos que los extractos conteniendo CRH pueden regular la secreción de ACTH por la hipófisis y que el ACTH implantado en el hipotálamo, reduce el contenido de ACTH de la adenohipófisis, probablemente debido a la inhibición de secreción celular-neurosecretora de CRH.

Los glucocorticoides pueden tener una acción directa sobre la secreción adenohipofisial de ACTH: pueden reducir significativamente el consumo de oxígeno de cultivos hipofisarios, y cuando implantados en la región de la hipófisis, previene la hipertrofia adrenal que ocurre después de provocar la adrenalectomía unilateral.

A pesar de esas indicaciones de la acción directa de los esteroides corticales sobre la hipófisis, el consenso general se inclina a que el sitio primario de acción de retroalimentación es el hipotálamo y quizá otras áreas del SNC. La vasopresina ha mostrado estimular la secreción de ACTH.

La adrenocorticotrofina (ACTH) actúa en tres sitios. Los efectores que primariamente influyen, son las dos zonas más internas de células en la corteza adrenal. Esas capas celulares constituyen el sitio de la síntesis de los glucocorticoides y la secreción. La zona glomerulosa (la capa celular externa de la corteza), que segrega aldosterona, es poco afectada por la ACTH.

También, debemos considerar que afecta los depósitos de grasas, donde ejerce una acción lipolítica en una manera similar a GH, TSH y catecolaminas. Estimula los melanocitos, provocando una hiperpigmentación de la piel, de una manera similar a la MSH.

La corteza adrenal es afectada por la ACTH de varias formas:

1. Causa una reducción en el contenido de ácido ascórbico.
2. Convierte colesterol en glucocorticoides y aumenta sus "rates" de secreción.
3. Aumenta el nivel de la actividad metabólica del tejido adrenal a través de un aumento en el consumo de oxígeno y utilización de la glucosa.
4. Estimula la división celular, de las dos capas interiores y causa que la corteza se hipertrofia.
5. Aumenta la actividad de la adenilciclasa y provoca la síntesis de C-AMP, con aumento de la esteroideogénesis proporcional a la dosaje de ACTH. Los inhibidores de síntesis de proteínas bloquean la respuesta a la C-AMP pero no el efecto de la ACTH sobre la concentración de la C-AMP y glucogenólisis.

La regulación de la secreción de la vasopresina puede iniciarse por vanos caminos o vías convergentes al hipotálamo (referirse al diagrama 5)

Ya habíamos establecido que una alteración de la presión osmótica plasmática es probablemente el mecanismo de regulación primario. Sin embargo, alteraciones del volumen sanguíneo o presión sanguínea, que activan receptores transductores de variaciones de volumen o presión en el atrio derecho o barocentros de las arterias carótidas, también contribuye al control de la secreción de la vasopresina.

Un aumento en el volumen sanguíneo y la consecuente distribución o estiramiento del atrio derecho provoca diuresis, mientras que una hemorragia, acompañada Por una reducción de volumen y presión sanguínea, causa retención de agua. También se aclaró que un *Stress X* que afecte al SNC induce un stress emocional inhibiendo la secreción de vasopresina.

La vasopresina, así como también la occitocina están presentes en la hipófisis posterior.

La liberación de occitocina no es inhibida por la progesterona en la mujer.

Su importancia básica es en la lactancia; en su ausencia no libera leche la glándula mamaria. La eyección de leche ocurre después de la interacción de la occitocina o por la estimulación eléctrica del núcleo paraventricular, el infundibulum o cualquier punto del tracto hipotálamo-hipofisial. La secreción de occitocina puede prevenirse anestesiando el pezón de succión, seccionando la inervación de la glándula, lesionando el núcleo paraventricular, o zonas de la hipófisis (diagrama 6).

La vasopresina y la occitocina pueden causar respuestas similares de diferentes magnitudes. Normalmente, la vasopresina ejerce un efecto antidiurético; en dosis elevadas causa contracción del músculo liso, especialmente en los vasos sanguíneos.

Al presente, la occitocina se considera sólo importante en la preñez y lactancia, donde causa contracción del músculo uterino y eyección de leche.

El mecanismo de su acción en el músculo liso no es conocido; sin embargo la rapidez de su respuesta es considerada dependiente de un fenómeno específico de membrana celular.

La vasopresina manifiesta su acción variando la permeabilidad al agua y urea en los nefrones renales.

La ausencia de vasopresina en mamíferos resulta en la diabetes insípida, una condición que se caracteriza por un consumo elevado de agua y su eliminación en la orina. Una hipótesis que explicaría la acción de la vasopresina (y quizá la occitocina) sugiere que la hormona dispara la actividad del sistema adenilciclasa en las membranas celulares. Se basa esta proposición en la observación de que la vasopresina aumenta la concentración de C-AMP en tejidos sensibles a la misma (C-AMP induce efectos similares a la vasopresina como lo hace la teofilina, que protege C-AMP de la destrucción por la fosfodiesterasa).

Cuando la descarga de hormona tiroidea está disminuida, se induce un aumento en la secreción hipofisaria (adenohipófisis) de TSH, indicando que la secreción y/o liberación de TSH está regulada por niveles de hormona tiroidea (diagrama 7).

Un segundo control está constituido por el hipotálamo, que es modulado por:

a) El nivel de hormona tiroidea;
b) Señales bioeléctricas nerviosas del hipotálamo anterior vía centros de regulación térmica y temperatura central del sistema. interaccionando con el medio externo, etcétera, y
c) Señales bioeléctricas nerviosas vía centros de regulación de ingestión de medios nutrientes (fuentes de energía)

Las acciones a, b o c en el hipotálamo transducen incrementos de frecuencias de impulsos bioeléctricos en correspondientes aumentos de TRH $\rightarrow$ TSH $\rightarrow$ TH.

Señalamos que agentes que producen stress (calor, frío) provocan respuestas hipotalámicas que liberan TRF, estimulando la hipófisis anterior, produciendo un incremento de actividad, traducida en una mayor secreción de TSH y, por consiguiente, también de la tiroides. La síntesis y secreción de tiroxina aumenta y actúa a nivel de distintos tipos de células (musculares, etcétera) aumentando el metabolismo oxidativo celular y, por lo tanto, del biosistema. Sin embargo, una fracción de hormona tiroidea (señal de control hormonal) regulará este sistema (eje Hipotálamo–Hipófisis-Tiroides, H-H-T), tal como se muestra en diagramas 8 y 9 y la interpretación de las interacciones de la tiroxina y TSH. Un estimulador de duración prolongada (LATS) puede actuar sobre la tiroides, pero su mecanismo de acción no es bien conocido.

Considerando la sensibilidad aparente del SNC de los mamíferos a la irradiación de RF-MO se podría suponer que debido a la íntima relación funcional del SNC con el sistema neuroendócrino, este último sistema sería afectado por stress inducido por irradiación.

El sistema neuroendócrino constituye el regulador primario del metabolismo y crecimiento, funcionando también en las defensas del sistema contra el stress endógeno, así como el de carácter exógeno de largo plazo. Un elemento básico del sistema neuroendócrino, el hipotálamo, es también centro del control térmico. La alteración de la temperatura ("set point") del sistema biológico, ya sea por absorción de energía de RF-MO u otros factores, activaría una respuesta hipotalámica conduciendo a la liberación de hormonas hipofisarias y por lo tanto iniciando una secuencia de eventos. Esto trae aparejado la interacción de otras glándulas endocrinas con los cambios fisiológicos concomitantes, incluyendo la alteración de los niveles de hormonas circulantes en el sistema.

La naturaleza del stress de respuesta neuroendócrina, que es en general una respuesta adaptativa, varía de acuerdo al tipo, magnitud y "rate" del stress.

Esto debe ser tomado en cuenta para la interpretación de los resultados de estudios sobre los efectos de RF-MO en la respuesta endocrino, puesto que respuestas distintas cualitativa y cuantitativamente podrían resultar de variaciones en la intensidad del campo EM, duración de exposición o el modo de fraccionamiento de 1 dosis. Ciertamente, los efectos informados neuroendócrinos por la exposición de RF-MO incluyen inconsistencias, las cuales pueden atribuirse a esos factores, dado que la respuesta neuroendócrina está condicionada por la permanencia de la hormona en sangre.

A continuación se resumen los resultados de trabajos seleccionados sobre efectos neuroendócrinos por exposición a radiación EM de varias frecuencias e intensidades.

Los niveles de hormonas gonadotróficas (en rata) inicialmente aumentan, para luego disminuir durante un período de 18-20 horas posterior a la exposición ($\lambda$ = 10 cm, f = 3 GHz) a la radiación con densidad de potencia de 10mW/cm$^2$ o mayores, siguiendo una exposición simple de una hora o repetidamente. Las alteraciones en las funciones hipotalámicas quedan indicadas por

los efectos sobre los niveles de FSH y LH, pudiendo provocar perturbaciones y cambios en los ciclos sexuales.

En condiciones dadas, se observa incremento en la liberación de GH, por irradiación (estimulación), y en otros casos, supresión de la liberación de GH. Paralelamente, la función tiroidea, aparentemente se altera transitoriamente por la exposición a RF-MO correspondiendo a una disminución en el PBI y tiroxina en el suero. Los cambios funcionales de la tiroides son típicos del stress térmico, mostrando mediante la técnica de $I^{131}$, un estado hiperfuncional.

El curso temporal de la respuesta de la glándula tiroidea indica un aumento inicial transitorio en el metabolismo debido al efecto calórico. La significancia de la acción sobre el sistema, del aumento inducido térmicamente en la secreción de hormonas tiroideas se está estudiando en los laboratorios.

Las hormonas tiroideas sabemos que provocan el aumento de la actividad metabólica de la mayoría de los tejidos efectores del sistema, cuando se incremento su concentración en la circulación durante un período largo. Tenemos en claro que una retroalimentación negativa de las hormonas tiroideas a nivel de la hipófisis provocaría una reducción del aumento en la actividad tiroidea durante cualquier exposición crónica. No descartemos la posibilidad de que las otras componentes del eje H-H-T podrían ser afectadas por las condiciones de exposición necesarias para generar operaciones en el metabolismo de los carbohidratos, un posible efecto neuroendócrino indirecto de la exposición de RF-MO.

Está bien definido que el eje H-H -T es el sistema neuroendócrino primario responsable del control del régimen ("rate") metabólico.

El diagrama 8 muestra componentes de este sistema, los productos hormonales que sintetizan y liberan, y las retroalimentaciones y caminos directos que constituyen su organización y control.

Puesto que el eje H-H-T responde a variaciones en la temperatura ambiental y sistema, y al stress no específico, la posibilidad de su perturbación por la exposición a la radiación de RF ha sido sospechada en los últimos años.

Experimentos mostraron que el calentamiento por RF-MO localizado en la tiroides aumenta el "rate" de liberación de tiroxina y triyódotironina. Este aumento es relativamente independiente de la estimulación del hipotálamo y la hipófisis.

La secreción de ADH está regulada por el sistema nervioso y depende de las variaciones en la presión osmótica efectiva del líquido extracelular (LEC), de las modificaciones en el volumen del LEC o el comportamiento plasmático y de estímulos exteroceptivos y psíquicos. Drogas tales como la acetilcolina actúan sobre el sistema hipotálamo - neurohipófisis (SHN) para incrementar la descarga de ADH; en cambio el alcohol inhibe la secreción de ADH; la ingestión de grandes cantidades de agua reduce la presión osniótica (concentración) e inhibe la descarga de ADH.

Aceptamos la existencia de determinados receptores que serían sensibles a las diferencias de presión osmótica entre el LEC y el LIC (líquido intracelular). Estos receptores los localizaríamos en el hipotálamo anterior (núcleo supraóptico), y sus estímulos se transmitirían al lóbulo posterior hipofisario, por las vías nerviosas correspondientes.

El efecto de los reflejos nerviosos se superpone al mecanismo básico por el cual las variaciones en la presión osmótica efectiva del LEC alteran la secreción y liberación de la ADH por el SHN.

Estos efectos pueden deberse a la excitación de SHN por stress (dolor, etcétera). El organismo dispone de un mecanismo de retroalimentación negativa capaz de establecer una relación recíproca entre el riñón, el aparato gastrointestinal, los pulmones y las glándulas sudoríparas, por un lado, y el SHN por el otro, asegurando la relativa constancia del líquido

extracelular (LEC) en cuanto a presión osmótica y volúmenes efectivos. O sea, este sistema depende directamente de su conexión con el sistema nervioso central, SNC.

La ADH regula la eliminación de agua libre, y establece un papel en el mantenimiento del balance hídrico. Un incremento en la presión osmótica del plasma actúa sobre los osmorreceptores del hipotálamo, estimulando la secreción de ADH que, a su vez, actúa sobre los riñones y provoca una retención de agua.

Preocupa el análisis del stress, provocado por una exposición significativa a la radiación de RF-MO. Bajo stress, el SNC puede activar el hipotálamo y, secuencialmente, por la vía nerviosa, mediante impulsos bioeléctricos a la médula adrenal.

La secreción resultante de catecolaminas causa una hiperglucemia por un mecanismo similar al evocado por glucagon. La concentración de glucosa en sangre estimula al páncreas, para iniciar la secreción ya sea de la insulina o glucagon, y por los mecanismos conocidos regulan la concentración de glucosa (diagramas 10,11,12). El hipotálamo sintetiza y segrega continuamente PIH, que inhibe la liberación de la prolactina producida en la adenohipófisis (diagramas 12, 13).

La secreción de PIH disminuye en la lactancia. Por lo tanto existiría una relación inversa entre las cantidades de prolactina y PIH segregadas. Esta relación fue observada y correlacionada con la frecuencia de¡ estímulo mecánico de la succión. Cuando se aproxima el período del destete, la frecuencia de succión disminuye y el contenido de prolactina de la hipófisis aumenta, reflejando la secreción disminuida de PIH.

El cuerpo lúteo interrumpe su funcionamiento en la ausencia de prolactina, pero esta acción luteotrópica de la hormona solamente se observa en los roedores. El mantenimiento del cuerpo lúteo funcional en ratas se lo asume como evidencia de secreción de prolactina. Los estrógenos, progesterona y testosterona pueden inducir que el cuerpo lúteo continúe funcionando.

El estrógeno induce secreciones de prolactina por la hipófisis; la testosterona probablemente tiene un efecto dual:

a) Causando secreción de estrógeno por el ovario, y
b) Bloqueando la secreción celular - neurosecretora de PIH. El efecto de la progesterona es un ejemplo de una acción de retroalimentación positiva; la producción hipofisaria de prolactina no es afectada por dosis elevadas de esteroides.

La regulación de la secreción de prolactina se presenta en el diagrama 13. Síntesis de la regulación de la secreción de prolactina (luteotrofina):

El problema del control integral de la lactancia está compuesto por requerimientos concurrentes de numerosas hormonas. La secreción de la prolactina es controlada por las hormonas ováricas que actúan sobre el hipotálamo y la adenohipófisis, y por estímulo neuronal de la glándula mamaria. La prolactina que interacciona en la eminencia media bloquea la formación de prolactina en la hipófisis por el aumento de la formación de PIH, que induce atrofia temporal de las glándulas mamarias y cesación de la lactancia; los estrógenos disminuyen la formación de PIH.

Debemos establecer que en el ser humano la LH (gonadotrofina) es la única hormona hipofisaria capaz de estimular la síntesis de progesterona en el cuerpo lúteo. El crecimiento y la maduración de folículos ováricos en mamíferos dependen de la FSH, pero la LH es necesaria para su maduración final. La LH (gonadotrofina) actúa sobre el folículo formado para promover el crecimiento preovulatorio y la secreción de estrógenos.

Una siguiente liberación corta en el tiempo y muy elevada de LH da lugar a la ovulación y a la transferencia del folículo en el cuerpo lúteo. La FSH y LH son ambas necesarias para la producción de estrógeno por el folículo en maduración. Es probable que el estrógeno circulante,

actuando vía hipotálamo, constituya el mecanismo o factor para suprimir la libe- ración del FSH y facilitar la liberación de LH. La liberación de FRH por parte del hipotálamo - como una función de la frecuencia de los impulsos nerviosos y/o concentración de estrógeno, progesterona, etc., se encuentra íntimamente correlacionada con el estado funcional de la adenohipófisis (FSH en función de FRH) En este modelo se pone de manifiesto que la secreción de LH es efectuada por las células gonadotróficas de la adenohipófisis. Este mecanismo actúa en la misma dirección de control definido por la FSH (es decir: FSH + LH)

Resulta difícil analizar el papel de las gonadotrofinas hipofisarias, FSH o LH, sin considerarlas simultáneamente, ya que la función de una complementa la acción de la otra.

En el hombre, la espermatogénesis sólo es posible si ambas son segregadas simultáneamente, ya que la FSH es necesaria en los estados intermedios del desarrollo del esperma, y la ICSH es necesaria para estimular la secreción de andrógenos imprescindible para la maduración del esperma.

En la mujer la ovulación ocurre solamente si la FSH y la LH son segregadas secuencialmente. La regulación de la liberación de gonadotrofinas en el hombre puede seguir este esquema: los niveles de testosterona en la sangre regularían la actividad de las células neurosecretoras que segregan FRH y LRH. El papel del estrógeno en la fisiología de la reproducción en el hombre no es bien conocido, aunque existan evidencias de que los esteroides sexuales afecten directamente la adenohipófisis. La regulación de la secreción de gonadotrofinas en la mujer es más complicada (ver diagramas 12, 13, 14, 15).

Estímulos tales como los producidos por la ansiedad aumentan la secreción de la aldosterona, pero también pueden elevar la secreción de glucocorticoides. Los factores que regulan y que intervienen Wecen ser la ACTH de la pituitaria, la renina del riñón, un efecto estimulante directo del aumento de $K^+$ plasmático, y posiblemente una disminución del $Na^+$ en el plasma, actuando sobre la corteza adrenal.

No creemos que los cambios en los niveles electrolíticos del plasma constituyan un mecanismo regulador importante. Pero sí la expresión de una alteración provocada por este tipo de stress.

Partiendo de un incremento de la presión sanguínea renal (y volumen) en el aparato yuxtaglomerular del riñón, se provoca una disminución de la secreción y concentración en sangre de la renina. Por el contrario, la constricción de la arteria renal evoca el incremento en la secreción de la renina transitoriamente en sangre, que actúa sobre una proteína en la fracción globulínica $\alpha_2$ (se sintetiza en el hígado) de las proteínas plasmáticas, liberando la angiotensina I, que a su vez aumenta su concentración en sangre, y por otro mecanismo la enzima conversiva, actuando sobre ésta, forma mayor cantidad de angiotensina II. Esta última produce (diagrama 16):

1. Constricción arteriolar y un aumento en la presión sistólica y diastólica de la sangre.
2. Su acción vasoconstrictora es 4-8 veces más activa que la norepinefrina.
3. Incrementa la secreción de glucocorticoides y aldosterona por una acción directa sobre la corteza adrenal.
4. El $K^+$ potencia el aumento de la secreción de la aldosterona y el $Na^+$ provoca efectos opuestos.

La aldosterona en la etapa siguiente actúa en el nivel del nefrón renal, aumentando la retención del $Na^+$ y por lo tanto, también la presión osmótica a nivel renal, dando lugar a la disminución de la secreción de renina.

En nuestras investigaciones con poiquilotermos (ranas) hemos demostrado que la exposición a la radiación de RF-MO induce, en el nivel celular, cambios significativos de los parámetros dinámicos relacionados con el comportamiento del agua celular; así como también de los parámetros bioeléctricos activos. El contenido inicial de agua intracelular no varía pero aumenta transitoriamente la permeabilidad al agua y la fracción de agua osmóticamente activa, disponible para el intercambio libre con el fluido extracelular.

Tales cambios transitorios se correlacionan con los observados en las conductancias iónicas y corrientes iónicas (gNa, gK, INa; IK); esos datos han permitido postular formalmente la existencia de un biorritmo anual de la conducta celular del agua (por ejemplo, durante la estación de verano la fracción de agua celular osmóticamente activa y la permeabilidad al agria es mayor que en invierno), que explicaría las diferencias de los efectos transitorios de la exposición a la radiación de RF-MO (efectos biológicos mayores en invierno que en verano). Las mismas deben estar relacionadas a mecanismos celulares específicos de adaptación fisiológica (y hormonal), dependientes de cambios adaptativos, que afectan las propiedades moleculares específicas transaductoras de control de las complejas - dinámicas estructuras de las membranas celulares y las regulaciones metabólicas celulares de control.

Los procesos biológicos celulares integrados, no pueden accionar normalmente, a menos que una temperatura relativa constante sea mantenida, sea en el medio ambiental o internamente en el sistema biológico; en este sentido, en los poiquilotermos, las propiedades térmicas del agua son de importancia vital.

Los procesos metabólicos en ranas de la estación de verano dan como resultado la generación de calor, pero debido a los tejidos metabólicamente activos (por ejemplo músculo) que contienen 75 a 80 % de agua, el aumento de la temperatura es minimizado por transporte y por consiguiente siguiendo principios termodinámicos conocidos. Los valores observados en la estación de verano en los parámetros celulares del agua son consistentes con mecanismos de protección en las fluctuaciones térmicas. Por lo tanto, del análisis comparativo de datos de animales colectados en ambas estaciones, y asumiendo que los efectos de la exposición a la radiación de RF-MO, principalmente, resultan de la generación de calor, se infiere que la *menor respuesta* observada a la exposición de RF-MO en la estación de verano es una consecuencia de la habilidad del agua intercambiable para disipar el calor, reforzada por los ajustes de control anual (biorritmo), de los parámetros del agua o comportamiento funcional del agua en los sistemas biológicos, y, particularmente en los poiquilotermos.

Desde 1968, Portela y colaboradores estudiaron los mecanismos posibles de interacción y la consecuente respuesta de sistemas biológicos a la exposición de radiación de RF-MO y la generación de calor y las posibles relaciones con la frecuencia, polarización, magnitud de E y H, etcétera. El comportamiento resultante de la integración de los distintos sistemas de control, tanto endocrino, neuroendócrino como nervioso, de un sistema biológico, que llegan a definir un estado de stress, es complejo.

Como punto inicial de partida, en la diferencia de las respuestas detestables, el comportamiento del agua en el sistema es básicamente importante..

Las respuestas hipotalámicas asociadas con el metabolismo celular vs órganos-comportamiento sistémico (oxidativo, etcétera), y adenohipófisis dinámicamente comunicadas e integradas en el complejo endocrino, conducen a respuestas directas o indirectas del SNC que vía información de señales bioeléctricas de control, juegan un papel importante en la información transmitida por sus mensajeros específicos tales como ADH, occitocina, vasopresina, progesterona, prolactina, angiotensinas, endorfinas, $\alpha$ y $\beta$ melatoninas, PIH, variaciones de $K^+$ y $Na^+$, así como también $Ca^{2+}$, en la regulación de la presión osmótica plasmática y por lo tanto, en el comportamiento del agua en los distintos procesos que hacen el estado dinámico del control general del intercambio de energía, en la regulación de la temperatura del sistema.

Debemos puntualizar que el sistema biológico está organizado desde el punto de vista de sus mecanismos naturales de detección (sensores, receptores, transductores) para recibir y transmitir información de control íntimamente relacionados con estímulos externos y del medio interno, presentes en la naturaleza. De esta manera se puntualiza la acción termorreguladora del hipotálamo, que por las vías de información establecidas en el sistema determina variaciones de temperatura y establece las formas de ajuste de control térmico. Sin embargo, esa función específica del hipotálamo, compleja en cuanto al mosaico de actividades que cumple, acusa la carga calórica sobre un órgano, principalmente generada por actividades metabólicas íntimamente

relacionadas con el tráfico de señales hormonales que evidentemente el hipotálamo y la neurohipófisis reciben y comparan con la información de señales bioeléctricas.

Es así que cualquier variación de carga calórica (variación de temperatura en cualquier parte del sistema) será acusada por el centro de regulación térmica a través de distintas vías de información.

Pero, cuando analizamos la generación de una carga calórica en el sistema (quedando perfectamente definido, en cualquier órgano o región del sistema) debida a la transformación de energía electromagnética durante la exposición a RF-MO la misma no será acusada por el centro de regulación térmica, por los mecanismos naturales del sistema, introduciendo una alteración en la eliminación de dicha carga.

Nuestra experiencia señala que no existen en el medio interno sensores programados que detecten información de campos electromagnéticos vs. absorción de energía electromagnética, y por lo tanto, una de las propiedades conservativas del sistema en cuanto a una sobrecarga calórica de este tipo, puede controlarse vía respuestas de variaciones de presión osmótica vs. transporte de agua, modulada por mensajeros hormonales. El sistema nervioso participa de ese control complejo vía respuestas en la permeabilidad celular y de redes vasculares transportadoras de carga calórica. No obstante, debemos diferenciar generación de calor por el metabolismo, controlable por el sistema programado para tal fin, y calor, generado por mecanismos no existentes en el sistema.

Para aclarar conceptos, la energía entra al sistema por nutrientes con un valor caló- rico dependiente de su naturaleza química. La ingestión con respecto al tiempo y cantidad calórica es regulada tal como ya lo detallamos, por el SNC. Esa ingestión y digestión de nutrientes requiere trabajo interno y los mismos se almacenan como carbohidratos, grasas, o como una parte estructuralmente organizada de la masa del sistema (proteínas). (Ver diagrama 17).

El medio nutriente puede ser oxidado para suministrar calor o trabajo como energía de salida del sistema. Pero, todos los procesos de regulación interna son controlados por los sistemas endocrinos y nerviosos y la temperatura del sistema es mantenida, entonces, por una función o funciones de control, donde relaciones de entrada-salida están condicionadas al "set" de estados alcanzables por el sistema (sistema de múltiples variables condicionadas para perturbaciones controlables y no controlables, específicamente por funciones definidas)

Un sistema de múltiples caminos metabólicos, que aparezcan como "shunts", cielos o reacciones en cascada, ligan las interacciones entre sustratos, enzimas, oxígeno, pero son íntimamente regulados por factores endocrinos (hormonas, etc.) que llevan a la movilización del agua y a la regulación de la presión osmótica, transitoriamente relacionadas.

Concluyendo, este tipo específico de carga calórica implica la puesta en marcha de mecanismos adaptativos para estímulos habituales del medio.

En estas condiciones una carga no común, si bien es posible que ponga en marcha los sistemas hormonales, neuroendócrinos y nerviosos, también es cierto que este proceso produciría desajustes en estas áreas de regulación, y que no sean capaces de elaborar reacciones rápidas y adecuadas al mensaje energético.

La falta de adaptación completa al estímulo no convencional conduciría al organismo a una situación de desajuste.

Para el personal cumpliendo tareas en los sistemas de radares y radiocomunicaciones se sugiere que, en sus chequeos clínicos de rutina, se agregue información complementaria de su estado funcional.

7.0. **Información adicional que completaría la historia clínica del personal trabajando en RF - Microondas:**

*Antecedentes adicionales*

Recabar cuidadosamente qué manifestaciones clínicas han aparecido últimamente. El interrogatorio será cuidadoso y deben ser consignadas las manifestaciones en la forma que las expresa el paciente (con eventual aclaración del médico)

Hábitos, sueño, diéresis, apetito, ingestión de líquidos, percepciones auditivas, visuales, térmicas, mecánicas, etcétera.

El examen clínico será completo de rutina, pero se pondrá especial atención al examen ocular (lámpara de hendidura), en especial la córnea, agudeza visual u otra variante encontrada con respecto a exámenes anteriores. Audiometría.

En piel: buscar aparición de manchas y zonas pruriginosas con manchas o sin ellas. Eritemas faciales. Fenómenos de Raynaud. En faneras caída del cabello y distribución de la misma.

Boca: sequedad o sialorrea; glositis.
Digestivo: náuseas, vómitos, dolores, catarsis.
Urinario: diéresis, nicturia, capacidad sexual.
Sistema nervioso: parestesia, hiperalgesias, coordinación, etcétera.
Neuropsiquiátrico: insomnio, memoria, etcétera.
Astralgia.

*Laboratorio*

Rutina completa (hemograma, urea, colesterol, ácido úrico, eritro y otros) Orina: horario de recolección de la muestra (volumen, densidad). En sangre: estudio de enzimas, GOT, GPT, CPK, LDH. Péptidos endógenos que se fijan en los receptores de los opiáceos:

Alfa - MHS
Alfa - endorfina
Beta - lipotrofina, etcétera.

Vasopresina
Occitocina
STH
Prolactina
ACTH
Insulina
Triiodotironina

Pruebas funcionales de reserva hipofisaria, para los operadores de radares o personal sobreexpuesto que en los estudios básales muestre estados anormales o dudosos.

# TABLAS Y FIGURAS

TABLA 1

**Características anticipadas de sistemas seleccionados de comunicación vía satélite[10]**

| Sistema | f (GHz) | P(kW) | $W_{max}$(mW/cm$^2$) | Distancia en Km de la antena para densidades de potencia. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 10 mW/cm$^2$ | 1m W/cm$^2$ | 0,1m W/cm$^2$ |
| LET | 8.1 | 2.5 | 30.4 | 0.246 | 0.78 | 2.46 |
| AN/TSC-54 | 8.1 | 8 | 50.8 | 0.46 | 1.45 | 4.58 |
| AN/FSC-9 | 8.1 | 20 | 7.6 | 6.23 | 19.7 | 62.3 |
| Intelsat | 6.25 | 5 | 0.73 | ---- | ---- | 12.3 |
| Goldstone Venus | 2.38 | 450 | 97.3 | 4.16 | 13.2 | 41.6 |
| Goldstone Mars | 2.38 | 450 | 16.8 | 9.68 | 33.4 | 106 |

TABLA 2

**Características previsibles de radares típicos con potencia máxima elevada[10]**

| Sistema | f (GHz) | $P_{av}$(kW) | $W_{max}$(mW/cm$^2$) | Distancia desde la antena, en Km, densidades de potencia. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 10mW/cm$^2$ | 1mW/cm$^2$ | 0,1mW/cm$^2$ |
| Radar de adquisición de datos FPN-40 | 9.0 | 0.18 | 12.8 | 0.028 | 0.111 | 0.351 |
| Radar de adquisición de datos ARSR | 1.335 | 20 | 111 | 0.147 | 0.465 | 1.47 |
| Radar de rastreo Hawk Hi Power | 9.8 | 4.7 | 800 | 0.108 | 0.344 | 1.38 |
| Radar de rastreo n.1 | 2.85 | 12 | 34.2 | 0.392 | 1.24 | 3.93 |
| Radar de rastreon.2 | 1.30 | 150 | 55.7 | 1.75 | 5.52 | 17.5 |

TABLA 3

**Datos experimentales para radares de aviación típicos**

| Sistema de radar | Tipo de maquina | F(GHz) | Potencia promedio (W) | Densidad de potencia máxima (mW/cm$^2$) | Distancia aproximada del radome, en m, para densidades de potencia de: | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 1mW/cm$^2$ | 10 mW/cm$^2$ |
| WP103 | BAC111 | 9.375 | 26 | 20 | 3 | 11 |
| AVQ20 | Convair 580 | 9.375 | 16 | 10 | 2 | 11 |
| AVQ50 | Convair 580 | 9.375 | 16 | 26 | 2 | 11 |
| AVQ20 | DC - 9 | 9.375 | 28 | 15 | 4 | 13 |

TABLA 4

**Densidades de potencia en las cercanías de radares de marina (antenas no rotatorias)** [20]

| Sistema | F(GHz) | Potencia | | Distancia desde la antena | Promedio de densidad de potencia ($mW/cm^2$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Máxima (kW) | Promedio (W) | | calculada | Medida |
| Decca 101 | 9.445 | 3 | 2.25 | 25.9 | 6.8 | 7.5 ± 5.4 |
| Decca 202 | 9.445 | 3 | 1.5 | 45.7 | 3.6 | 5.1 ± 4.6 |
| Decca RM 316 | 9.41 | 10 | 5 | 103.6 | 3.7 | 5.9 ± 5.0 |
| Kelvin – Hughes 17 | 9.445 | 3 | 2.75 | 103.6 | 0.6 | 1.4 |
| Konel KRA 221 | 9.375 | 10 | 4.8 | 54.7 | 9.2 | 6.1 ± 4.5 |

TABLA 5

**Parámetros de emisoras de radio** [23]

| Servicio | Frecuencia (MHz) | Máx. ERP (kW) | Altura de la torre (m) | Intensidad de campo (mV/m) | Densidad de potencia ($\mu W/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | A 1 milla de distancia | |
| FM radio | 88-108 | 100 | 152 | 1023 | 2.78 |
| VHF-TV, ch 2-6 | 54-88 | 100 | 305 | 807 | 1.73 |
| VHF-TV, ch 7-13 | 174-216 | 316 | 305 | 191 | 0.1 |
| UHF-TV | 470-890 | 5000 | 305 | 380 | 0.38 |

TABLA 6

**Conductividad y permitividad relativa de medios biológicos en frecuencias de microondas**[45]

| Frecuencia (MHz) | Longitud de onda (cm) | Medios con gran proporción de agua | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ε' | σ (S/m) | ε' | σ (mS/m) |
| 10 | 3000 | 160 | 0,625 | - | - |
| 100 | 300 | 71,7 | 0,889 | 7,5 | 19,1 - 75,9 |
| 300 | 100 | 54 | 1,37 | 5,7 | 31,6 - 107 |
| 915 | 32,8 | 51 | 1,60 | 5,6 | 55,6 - 147 |
| 2450 | 12,2 | 47 | 2,21 | 5,5 | 96,4 - 213 |
| 3000 | 10 | 46 | 2,26 | 5,5 | 110 - 234 |
| 5000 | 6 | 44 | 3,92 | 5,5 | 162 - 309 |
| 10000 | 3 | 39,9 | 10,3 | 4,5 | 324 - 549 |

TABLA 7

**Profundidad de penetración en función de la frecuencia [44]**

| Frecuencia (MHz) | | 10 | 100 | 300 | 915 | 2450 | 3000 | 5000 | 10000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Profundidad de Penetración | Tejidos con poca cantidad de agua (hueso, adiposo) | - | 60,4 | 32,1 | 17,7 | 11,2 | 9,7 | 6,7 | 3,4 |
| | Tejidos con gran cantidad de agua (músculo, piel) | 21,6 | 6,67 | 3,9 | 3,0 | 1,7 | 1,6 | 0,79 | 0,34 |

Tabla 8

**Datos biológicos para varias especies y las relaciones a/b y b/c para el modelo elipsoidal**

| Especie | Peso medio (kg) | Altura media 2 a (m) | a/b | b/c |
|---|---|---|---|---|
| Hombre | 70,00 | 1,75 | 4,478 | 2,00 |
| Mujer | 61,14 | 1,61 | 4,02 | 2,21 |
| Ectomorfo (delgado) | 47,18 | 1,76 | 5,5 | 2,00 |
| Mesomorfo | 93,26 | 1,76 | 4,0 | 1,91 |
| Endomorfo (obeso) | 141,00 | 1,76 | 3,92 | 1,32 |
| Niño (10 años) | 32,2 | 1,38 | 4,93 | 1,84 |
| Niño (5 años) | 19,5 | 1,12 | 4,67 | 1,73 |
| Mono sentado | 3,5 | 0,4 | 2,53 | 1,5 |
| Perro | 15,00 | 1,12 | 5,92 | 1,4 |
| Conejo | 1,00 | 0,4 | 5,52 | 1,1 |
| Rata | 0,2 | 0,15 | 2,54 | 1,37 |
| Ratón | 0,02 | 0,0536 | 1,73 | 1,35 |

TABLA 9

**Comparación de valores medios y calculados de la potencia total absorbida por monos vivos**

| Propiedades del modelo elipsoidal | Polarización | Potencia total absorbida | | Diferencia relativa % |
|---|---|---|---|---|
| | | Media | Calculada | |
| A=.14 m | EKH | 847 mW | 845 mW | 0,24 |
| B=.094 m | EKH | 832 mW | 819 mW | 16 |
| C= .063 m | KEH | 376 mW | 328 mW | 13 |
| σ= .092 S/m | HEK | 360 mW | 300 mW | 17 |
| | KHE | 166 mW | 138 mW | 17 |
| | HKE | 162 mW | 134 mW | 17 |

Tabla 10

**Proyecciones para absorción electromagnética por cuerpo entero en ser humano de altura $L_m$ en metros** [67]

| | $\overline{E} \parallel L$ Campo eléctrico a lo largo de longitud mayor | | $\overline{K} \parallel L$ Potencia que se propaga desde la cabeza a los pies | | $.\overline{H} \parallel L$ Campo magnético a lo largo de longitud mayor | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Potencia que se propaga de brazo a brazo | Potencia que se propaga desde el frente a la espalda | E de brazo a brazo | E de frente a espalda | E de brazo a brazo | E de frente a espalda |
| Densidad de potencia absorbida promedio (W/kg) en las respectivas frecuencias de resonancia, por campos incidentes de 10 mW/cm$^2$ | 2,18 $\left(\frac{1,75}{L_m}\right)$ | 2,15 $\left(\frac{1,75}{L_m}\right)$ | 0,71 $\left(\frac{1,75}{L_m}\right)$ | 0,47 $\left(\frac{1,75}{L_m}\right)$ | 0,43 $\left(\frac{1,75}{L_m}\right)$ | 0,37 $\left(\frac{1,75}{L_m}\right)$ |
| Frecuencias de absorción máxima (MHz) | $\simeq$ 67,9 $\left(\frac{1,75}{L_m}\right)$ | $\simeq$ 67,9 $\left(\frac{1,75}{L_m}\right)$ | 143-171 $\left(\frac{1,75}{L_m}\right)$ | 143-171 $\left(\frac{1,75}{L_m}\right)$ | 143-171 $\left(\frac{1,75}{L_m}\right)$ | 143-171 $\left(\frac{1,75}{L_m}\right)$ |
| Promedio del cuerpo entero para α = (W/kg)/(mW/cm$^2$) | 0,218 $\left(\frac{1,75}{L_m}\right)$ | 0,215 $\left(\frac{1,75}{L_m}\right)$ | 0,071 $\left(\frac{1,75}{L_m}\right)$ | 0,047 $\left(\frac{1,75}{L_m}\right)$ | 0,043 $\left(\frac{1,75}{L_m}\right)$ | 0,037 $\left(\frac{1,75}{L_m}\right)$ |
| Condición de absorción máxima | L $\simeq$ 0,4 λ | L $\simeq$ 0,4 λ | L $\simeq$ 1,0- 1,1 λ | L $\simeq$ 1,0 - 1,1 λ | L $\simeq$ 1,0 - 1,1 λ | L $\simeq$ 1,0- 1,1 λ |

TABLA 11

**Potencia total absorbida en comparación con el metabolismo basal (Régimen Metabólico Basal, RMB) para hombre promedio cuando es irradiado por una onda plana, de densidad de potencia (1 mW/cm$^2$)**

| Condición | Frecuencia MHz | Régimen de absorción específica SAR (W/kg) | SAR/BMR |
|---|---|---|---|
| Espacio libre, resonancia | 62 - 68 | 0,22 | 0,13 |
| Espacio libre, resonancia con reflector plano | 62 - 68 | 1,01 | 0,61 |
| Espacio libre, resonancia con reflector angular de 90º | 62 - 68 | 5,82 | 3,5 |
| A tierra, resonancia | 31 - 34 | 0,43 | 0,25 |
| A tierra, resonancia con reflector plano | 31 - 34 | 2,03 | 1,22 |
| A tierra, resonancia con reflector angular de 90º | 31 - 34 | 11,65 | 7,0 |

TABLA 12

**Energía de activación de los efectos moleculares en sistemas biológicos [99, 105]**

| Fenómeno | Energía de Activación (eV) | Frecuencia correspondiente (GHz) |
|---|---|---|
| Ionización | 10 | $2,4 \times 10^6$ |
| Ruptura de la unión covalente | 5 | $1,2 \times 10^6$ |
| Cambios conformacionales reversibles en proteínas | 0,4 | $9,7 \times 10^4$ |
| Ruptura de las uniones hidrógeno | 0,08 - 0,2 | $1,9 \times 10^4$ - $4,8 \times 10$ |
| Movimiento térmico | 0,026 | $6,3 \times 10^3$ |
| Radiación | $12,3 \times 10^6$ | $3 \times 10^{12}$ |
| Rayos X | $12,3 \times 10^3$ | $3 \times 10^9$ |
| Luz visible | 1,6 - 3,2 | $3,8 \times 10^5$ - $1,5 \times 10^5$ |
| Microondas | $0,4 \times 10^{-5}$ - $1,2 \times 10^{-3}$ | 1 - 300 |
| Ondas de RF | $0,4 \times 10^{-7}$ - $0,4 \times 10^{-5}$ | 0,01 - 1 |

Tabla 13

**Propiedades de los campos EM en biomateriales**

| Tejido con contenido alto de agua | | | | | | Tejido con contenido bajo de agua | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Frecuencia | Constante diaeléctrica | Conductividad (mho/m) | Tangente de pérdida | Longitud de onda en tejido (cm) | Profundidad de penetración (cm) | Constante diaeléctrica | Conductividad (mho/m) | Tangente de pérdida | Longitud de onda en tejido (cm) | Profundidad de penetración (cm) |
| 1 | 2000 | 0.400 | 3.60 | 436 | 9.13 | - | - | - | - | - |
| 10 | 160 | 0.625 | 7.03 | 118 | 21.6 | - | - | - | - | - |
| 27,12 | 113 | 0.602 | 3.54 | 68.1 | 14.3 | 14.6 | 10.9-43.2 | 0.51 | 241 | 159 |
| 40,68 | 97.3 | 0.680 | 3.09 | 51.3 | 11.2 | 7.45 | 12.6-52.8 | 0.54 | 187 | 118 |
| 100 | 71.7 | 0.885 | 2.22 | 27.0 | 6.66 | 5.95 | 19.1-75.9 | 0.60 | 106 | 60.4 |
| 200 | 56.5 | 1.00 | 1.59 | 16.6 | 4.79 | 5.70 | 25.8-94.2 | 0.51 | 59.7 | 19.2 |
| 300 | 54 | 1.15 | 1.28 | 11.9 | 3.89 | 5.60 | 31.6-107 | 0.42 | 41.0 | 32.1 |
| 433 | 53 | 1.18 | 0.92 | 8.76 | 3.57 | 5.60 | 37.9-118 | 0.36 | 28.8 | 26.2 |
| 750 | 52 | 1.25 | 0.58 | 5.34 | 3.18 | 5.60 | 49.8-138 | 0.24 | 16.8 | 23 |
| 915 | 51 | 1.28 | 0.49 | 4.46 | 3.04 | 5.60 | 55.6-147 | 0.25 | 13.7 | 17.7 |
| 1500 | 49 | 1.56 | 0.38 | 2.81 | 1.42 | 5.60 | 70.8-171 | 0.19 | 8.41 | 13.9 |
| 2450 | 47 | 2.17 | 0.34 | 1.76 | 1.70 | 5.50 | 96.4-213 | 0.15 | 5.21 | 11.2 |
| 3000 | 46.5 | 2.27 | 0.29 | 1.45 | 1.61 | 5.50 | 110-234 | 0.14 | 4.25 | 9.74 |
| 5000 | 44 | 4.55 | 0.37 | 0.890 | 0.788 | 5.20 | 162-309 | 0.13 | 2.63 | 6.67 |
| 5800 | 43.3 | 4.93 | 0.35 | 0.775 | 0.720 | 5.10 | 186-338 | 0.14 | 2.29 | 5.24 |
| 8000 | 40 | 8.33 | 0.47 | 0.578 | 0.413 | 4.70 | 255-431 | 0.12 | 1.73 | 4.61 |
| 10000 | 39.9 | 10 | 0.45 | 0.464 | 0.343 | 4.50 | 324-549 | 0.13 | 1.41 | 3.39 |

FIGURA 1
Nomenclatura de parámetro en una emisora de radio.

FIGURA 2
Esquema de radiación típico de una emisora de radio.

FIGURA 3

Densidad de potencia vs. distancia a varias alturas, para una estación de TV, con ERP = 1 MW.

FIGURA 4

Modelo plano de tres capas para cuerpo humano o animal.

FIGURA 5

Densidad de potencia máxima absorbida en capas planas de piel y músculos en función del espesor de la capa de grasa[44].

FIGURA 6

Potencia absorbida vs. espesor de las capas de piel y grasa en tres frecuencias.

FIGURA 7

Regiones de calentamiento máximo para una esfera homogénea que posee propiedades dieléctricas de cerebros humanos[48].

FIGURA 8

Modelo multicapas de la cabeza. *a)* Plano; *b)* Esférico.

FIGURA 9

Sección eficaz de absorción diferencial normalizada para varios modelos[52].

FIGURA 10

Densidad de potencia absorbida normalizada en una cabeza de 6,6 cm de radio; *a)* 433 MHz, *b)* 915 MHz, *c)* 2,45 GHz, *d)* 5,8 GHz[54].

FIGURA 11

Densidad de potencia absorbida normalizada en una cabeza, en una frecuencia de 3 GHz; *a)* r = 1,1cm, $r_b$ = 0,89cm, *b)* r = 1,65cm, $r_b$ = 1,34cm, *c)* r = 3,3cm, $r_b$ = 2,68cm, *d)* r = 6,6cm, $r_b$ = 5,4 cm. r simboliza el radio de la cabeza, rb simboliza el radio de la parte central del cerebro[54].

FIGURA 12
Configuraciones de los campos electromagnéticos y del modelo esferoidal prolato.

FIGURA 13
Curvas típicas de absorción de ondas electromagnéticas
para cuerpos con forma de esferoide prolato.

FIGURA 14

Régimen de absorción específica vs. longitud del esferoide, normalizada respecto de la longitud de onda de la radiación; el eje esferoidal longitudinal paralelo al vector campo eléctrico (E||L).

FIGURA 15

Régimen de absorción específica vs. longitud del esferoide, normalizada respecto de la longitud de onda de la radiación; el eje esferoidal longitudinal paralelo al vector campo magnético y a la dirección de propagación de la onda.

FIGURA 16
Nomenclatura de la polarización para un elipsoide irradiado por onda plana.

1. Ectomórfico (persona delgada)
2. Mujer normal
3. Hombre normal
4. Mesomórfico
5. 10 años de edad
6. Endomórfico (persona gruesa)
7. Niño de 5 años

FIGURA 17

Potencia absorbida específica media en modelos elipsoidales del hombre y de animales de experimentación: densidad de potencia incidente de 1 mW/cm$^2$.

FIGURA 18

Resultados experimentales de la potencia disipada en un fantoma humano irradiado con onda plana de densidad de potencia 10 mW/cm$^2$ [67]. *(a)* $\vec{E}\|L$, condición de resonancia $L/\lambda = 0{,}4$.

FIGURA 19

Resultados experimentales de la potencia disipada en un fantoma humano irradiado con onda plana de densidad de potencia 10 mW cm$^2$ [66]. *(b)* $\vec{E}\|L$, por sobre resonancia $L/\lambda = 0{,}985$.

FIGURA 20

Resultados experimentales de la potencia disipada en un fantoma humano irradiado con onda plana de densidad de potencia 10 mW/cm$^2$ [66]. *(c)* $\vec{E}\|L$, condición de resonancia $L/\lambda = 1$.

FIGURA 21

Régimen de absorción específica (SAR) en un modelo esferoidal prolato de hombre en contacto con tierra[68].

FIGURA 22

Regímenes de absorción específica en el hombre y en ratas de dos tamaños, sometidos a exposición de RF, ondas planas con una densidad de potencia de 10 mW/cm$^2$, en diversas condiciones[68].

FIGURA 23

Interacciones esperadas entre radiaciones no-ionizantes y biopolímeros[106].

FIGURA 24

Efectos causados por fuerzas inducidas por el campo.

FIGURA 25

FIGURA 26

FIGURA 27

Control of $[Ca^{2+}]$ homeostasis by the negative feedback of the $[Ca^{2+}]$ on the parathyroid gland, causing the secretion of parathyroid hormone (PTH), and on the parafollicular cell, regulating the secretion of calcitonin (CT).

DIAGRAMA 1

Feedback mechanism regulating the secretion of cortisol. DBM = distribution, binding, and metabolism elements.

DIAGRAMA 2

Control of melanocyte-stimulating hormone (MSH) secretion. No feedback from the periphery is seen. Concentration of pigment by melanocyte cells is also possible by the direct action of catecholamines on these cells. MSH-release-inhibiting hormone (MIH) is the major regulator of MSH secretion. The pineal gland probably plays an important role in melanocyte function in amphibians; in higher vertebrates, the pineal gland exerts control on the secretion of gonadotrophin.

DIAGRAMA 3

The regulation of adenohypophyseal secretion of adrenocorticotrophin by neural and hormonal stimuli. Particular note should be made of the dual neural control of the hypothalamus. The short negative-feedback loop between the adenohypophysis and hypothalamus is a novel control not often seen, but one which contributes an additional level of regulatory sensitivity, + or − indicates simulation or inhibition, respectively.

DIAGRAMA 4

Control of water reabsorption by vasopressin acting as the antidiuretic hormone (ADH). Although plasma osmolality is probably the primary regulator, other factors may contribute to the regulation of the excretion of water.

DIAGRAMA 5

Control of oxytocin secretion in the pregnant and lactating animal. In some mammals, the decline in the secretion of progesterone with aging of the placenta causes a secretion of oxytocin, which induces parturition. Once initiated, the process becomes a positive-feedback system, since distention of the cervix induces further secretion of oxytocin. The relationship of suckling to oxytocin is that of a positive-feedback system.

DIAGRAMA 6

The regulation of thyroid-stimulating hormone (TSH) secretion occurs on two levels; one involves the direct interaction of thyroid hormones with the adenohypophysis and the second involves the hypothalamic control which is modulated by environmental and core temperatures, by food intake, and perhaps by the action of thyroid hormones on the hypothalamus. (TRH, thyroid-stimulating-hormone-releasing hormone.)

DIAGRAMA 7

Feedback mechanism regulating the secretion of thyroid hormone. (LATS) long-acting thyroid-stimulating hormone.

A: Power of negative feedback system for thyroxin; B: hypothetical linear effect on thyroxin level of raising the blood TSH.

DIAGRAMA 8

The neurosecretory regulation of hormone secretion. The relationship between the periphery and the central nervous system is schematized to emphasize that these operate under feedback control regulation. Short loops may exist between the adenohypophysis and the hypothalamus, imposing additional regulation.

DIAGRAMA 9

Pancreas, β cell
Glucose
Insulin
Glucose
Insulin (1)
Liver
Glucose uptake
Glucose
Insulin
Liver
Glucose secreted
Glucose
Hormone
Glucagon (2)
Epinephrine (3)
Norepinephrine
Blood glucose
Pancreas, α cell
Glucagon
Glucose
Glucose
Hypothalamus
Higher nerve centers (CNS)
Nerve impulse
CNS nerve impulse
Spinal nerve impulse
Adrenal medulla
Catecholamine
Nerve impulse

DIAGRAMA 10

The regulation of blood sugar is mediated principally by insulin and glucagon in the liver. The action of insulin in muscle and adipose tissue as well as in other tissue is omitted. The liver is the only source of glucose in response to the action of glucagon and potentially almost all tissues, including liver, serve as sinks in response to the action of insulin. The catecholamines inhibit β-cell secretion of insulin but stimulate increased release of glucose by the liver. The increase in the concentrations of circulating gastrointestinal-tract hormones provide additional control on the regulation of β-cell secretion.

DIAGRAMA 11

Control of GH secretion. Insulin and growth hormone are present in inverse concentrations in the plasma, and each can indirectly induce secretion of the other; this relationship may result in a positive-feedback control. The negative feedback may be due to the resulting concentration of plasma glucose. A further control may be a short negative-feedback loop created by GH inhibition of hypothalamic secretion of GRH. It is postulated that the control of secretion of GRH from the ventromedial nucleus is by release of catecholamines (norepinephrine and epinephrine L-dopamine), since drugs that inhibit α receptors or deplete cws catacholamine reserves reduce the response to hypoglycemia and insulin.

DIAGRAMA 12

The regulation of the secretion of prolactin (mammotrophin or luteotrophin). The problem of integrating control of lactation is compounded by the concurrent requirements for many other hormones. The secretion of prolactin is controlled by ovarian hormones that act on the hypothalamus and adenohypophysis, and by neural stimuli from the mammary gland. Prolactin editing into the median eminence blocks prolactin formation in the adenohypophysis by increasing PIH formation, which induces atrophy of mammary glands and cessation of lactation: estrogen depresses PIH formation.

DIAGRAMA 13

A generalized version of the regulation of the secretion of gonadotrophin in the female mammal (this scheme does not include an action of prolactin on the corpus luteum since this is specific to rodents). *(a)* FSH secretion by the pituitary gonadotrophic cells is determined by the hypothalamic secretion of FRH. It is assumed that all regulation of gonadotrophic-cell function is mediated via the hypothalamus. The control of hypothalamic function is dual; neural stimuli create a minimal level of function and hormones act as positive-feedback control at low concentrations. In higher concentrations these hormones become negative-feedback controls. Positive-feedback control intensifies the response and persists for a longer period than neural stimuli. *(b)* LH secretion is controlled by the adenohypophyseal gonadotrophic cells. This mechanism at present appears to be directly superimposable on the pattern for control of FSH secretion.

DIAGRAMA 14

The regulation of gonadotrophin secretion in male mammals. The pathways in the upper part of the diagram *(a)* describe the regulation of LH secretion and the regulation of spermatogenesis by the resulting secretion of testosterone. *(b)* describes the regulation of FSH secretion and its action on the seminiferous tubule to contribute to spermatogenesis and perhaps to estrogen secretion. The dotted line indicates that it is not clear whether endogenous estrogens act in this manner.

DIAGRAMA 15

Regulation of the secretion of aldosterone is achieved by the action of angiotensin II on the adrenal cortex. Aldosterone causes an increase in sodium retention. The sodium ion concentration determines the secretion of renin by the juxtaglomerular apparatus and may affect the conversion of corticosterone to aldosterone by increasing the activity of the 18-hydroxy-dehydrogenase when present in low concentrations. The amount of sodium retained also regulates the blood pressure and volume.

DIAGRAMA 16

The caloric model showing the principal paths from energy intake ($E_{in}$) to energy output ($E_{out}$

DIAGRAMA 17

Monitor de RF-MO basado en elementos de termocuplas

DIAGRAMA 18

ORTHOGONAL DETECTOR ARRAY

Geometric configuration of a three axis probe.

Details of an individual probe substrate.

Detector de distribución ortogonal. Constituido por diodos.

DIAGRAMA 19

Sensor de RF-MO del tipo cristal líquido.

DIAGRAMA 20

# Bibliografía


1. J. Frey, "The Growth of Microwave Systems and Applications", Amer. Plublic Health Assoc., Atlantic City, New York, Nov. 1972, 79-95.

2. Office of Telecommunication Policy. "Program for Control of Electromagnetic Pollution of the Environment', The Assessment of Biological Hazards of Nonionizing Electromagnetic Radiation, March 1973.

3. Office of Telecommunication Policy. "Program for Control of Electromagnetic Pollution of the Environment", The Assessment of Biological Hazards of Nonionizing Electromagnetic Radiation, May 1974, 2nd Report.

4. Office of Telecommunication Policy. "Program for Control of Electromagnetic Pollution of the Environment", The Assessment of Biological Hazards of Nonionizing Electromagnetic Radiation, April 1975, 3rd Report.

5. Office of Telecommunication Policy. "Program for Control of Electromagnetic Pollution of the Environment", The Assessment of Biological Hazards of Nonionizing Electromagnetic Radiation, June 1976, 4th Report.

6. Tell, R. A. and Janes, D. E., "Broadcast Radiation: A Second Look", Annual Meeting of the U.S. National Committee, Int. Union of Radio Science Boulder, CO. October 1975.

7. Tell, R. A., "Environment Nonionizing Exposure. A Preliminary Analysis of the Problem and Continuing Work within EPA". EPA/ORP 73-2 Environmental Exposure to Nonionizing Radiation, 1973, 47-68.

8. Tell, R. A., et al. "An Automated Measurement System for Determining Environmental Radiofrequency Field Intensities II", N.B.S. 75th Symposium, Gaithesburg, MD. March 1976.

9. Rowe, W. R., et al. "An Assessment of Adverse Health Effects of Telecommunications Technology", Nat. Telecom. Conference of Technology Forecasting and Assessment Session, Atlanta, GA. November 1973.

10. Hankin, N. N., et al. "High Power Radiofrequency and Microwave Radiation Sources: A Study of Relative Environmental Significance", 9th Midyear Topical Symposium of the Health Physics Society, February 1976.

11. Jasik, H. (ed.). "Antenna Engineering Handbook." Mc. Graw Hill Book Co., 1961

12. Wacker, P- F., and Bowinan. R. R., "Quantifying Hazardous Electromagnetic Fields: Scientific Basis and Practical Considerations"; IEEE Trans Microwave Theory an Teq. M7T-19. Nº 2. 178-187 - February 1971.

13. Hankin, N. N., "An Evaluation of Selected Satellite Communication Systems as Sources of Environmental Microwave Radiation", Techn. Report Environ. Protection Agency, EPA-52012 74 - 008, December 1974.

14. Tell, R. A., et al. "Aircraft Radar Measurements in the Near Field", Ninth Midyear Topical Symposium of the Health Physics Soc., February 1976.

15. Shinn. D. H., "Avoidance of Radiation Hazards from Microwave Antennas", Marconi Review (GB) 39, 61-80, 1976.

16. Mumford, W. W., "Some Technical Aspects of Microwave Radiation Hazards", Proe. IRE 49, 427-447, 1961.

17. Tell, R. A., and Neison, J. C., "Microwave Hazard Measurements Near Various Aircraft Radars", Radiation Data of Reports 15, 161-179, 1974.

18. Cain, F. L., et al. "Electromagnetic Effectiveness Investigations of Near Field Obstacle Effects, Antenna Coupling and Phased Arrays", Report ASTIA Doc. AD911 724L, Georgia Institute of Techn. 1973.

19. Palsamino W. A., and Sliney, D. H., "Instrumentation and Methods Used in Microwave Hazard Analysis", Am. Ind. Hygiene Assoc. Meeting, 1967.

20. Peak D. W., et al. "Measurement of Power Density from Marine Radar", DHEW Publication, (FDA) 76-8004, July 1975.

21. Hankin, N. N., "Radiation Characteristics of Traffic Radar Systems", U.S. Environmental Protection Agency, Techn. Note ORPIEAD-76-1, March 1976.

22. Tell, R. A., "A Measurement of RF Field Intensities in the Immediate Vicinity of an FM Broadcast Station Antenna, Techn. Note ORPIEAD 76-21 Environ. Protection Agency, 1976.

23. Tell, R. A., "Broadcast Radiation: How Safe is Safe?" IEEE Spectrum, 43-51, August 1972.

24. Janes, D. E., et al. "Radio Frequency Radiation Levels in Urban Areas", IEEE/AP-S Symp. USNC/URIS Meeting, October 10 - 15, 1976.,

25. Tell, R. A., et al. "An Automate Measurement System for Determining Environmetal Radiofrequency Field Intensities". Paper presented at NBS 75th Symposium "Measurements for the Safe Use of Radiation" NBS, Gaithersburg, D., 1976.

26. Tell, R. A., Nelson, J. C. and Hankin, N. N., "HF Spectral Activity in the Washington, D.C. Area. " Radiation Data and Reports 15, 549 - 558, 1974.

27. Dept. N. H. W., Canada, "Radiation Emitting Devices Regulations, SOR/74-601, 23 October 1974, Part 111 Microwave Ovens". Canada Cazette Part. 11, 108, 2822-2825.

28. U.S. Dept. of HEW. "Regulations for Admin. and Enforcement of the Radiation Control for Health and Safety Act of 1968, paragraph 1030. 10 Microwave Ovens", 36 - 37, DHEW Publ. No. (FDA) 75 - 8003, July 1974.

29. Anon. "Safety from Microwave Hazards in Using Microwave Power Equipment - An IMPI Policy Statement", J. Microwave Power, 10, 333-341, 1975.

30. Conover, D. L.,, et e¡¡. "Measurement of Electric and Magnetic Field Strengths from Industrial Radiofrequency (1 5 - 40. 68 MHz) Power Sources". USNC/URSI - 1975 Annual Meeting, Boulder, October 20 - 23, 1975.

31. Stanley, J. L., et al. "Radiation Exposure Considerations When Employing Microwave Excited Spectroscopic Sources". App. Spectroscopy 27, 265-267, 1973.

32. Cook, H. F., "The Dielectric Behavior of Some Types of Human Tissues at Microwave Frequencies", Brit. J. Appi. Phys. 2,.295, 1951.

33. Cook, H. F., "Dielectric Behaviour of Human Blood at Microwave Frecuencies", Nature, 168, 247 - 248, 1951.

34. Cook, H. F., "A Comparison of the Dielectric Behaviour of Pure Water and Human Blood at Microwave 1 Frecuencies", British J. Applied Physica 2, 249-255, 1952.

35. Schwan, H. P., and L¡, K., "Capacity and Conductivity of Body Tissues at Ultrahigh Frecuencies", Proc. IRE. 41, 1735-1740, Dec. 1953.

36. Schwan, H. P. and Piersol, G. M., "The Absorption of Electromagnetic Energy in Body Tissue, Part. 1", Amer. J. Phys. Med. 33, 371-404, 1954.

37. Schwan, H. P. and Piersol, G. M., "The Absorption of Electromagnetic Energy in Body Tissue, Part. 11", Amer. J. Phys. Med. 34, 425-448, 1955.

38. Schwan, H.P. "Electrical Properties of Tissue and Cell Suspensions" In Adv. In Biological and Medical. Physics. 5 Acad. Press, New York, 1957.

39. Schwan, H. P., "Survey of Microwave Absorption Characteristics of Body Tissues", Techn. Rep. 25, Moore School of Electrical Eng., University of Pennsylvania, Philadelphia, 1958.

40. Schwan, H. P., Biophysics of Diathermy in Therapeutic Heat and Cold, Ed. S. Licht, New Haven, Conn. 63-125, 1965.

41. Schwan, H. P. and L¡, K., "The Mechanism of Absorption of Ultrahigh Frequency Electromagnetic Energy in Tissue as Related to the Problem of Tolerance Dosage", IRE Trans Med Electron, PG-ME-4, 1956.

42. Baranski, S. and Czerski, P., Biological Effects of Microwave Radiation, Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. Stroudsburg, Pa., 1976.

43. Johnson, C. C. and Guy, A. W., "Nonionizing Electromagnetic Wave Effects in Biological Materials and Systems", Proc. IEEE 60, 692-718, 1972.

44. Tell, R. A., "Microwave Energy Absorption in Tissue", Techn. Rep. PB, Environmental Protection Agency, February 1972.

45. Anne, A., et al. "Relative Microwave Absorption Cross Sections of Biological Significance" in Tri-Service Conf. on Biological Effects of Microwave Radiation, M. F. Peyton, ed. 1961.

46.Kritikos, H. N. and Schwan, H. P., "Hot Spots Generated in Conducting Spheres by Electromagnetic Waves and Biological Implications", IEEE Transactions on Biomedical Engineering BME-19, 53-58, 1972.

47. Kritikos, H. N. and Schwan, H. P., "The Distribution of Heating Potential Inside Lossy Spheres", IEEE Transactions on Biomedical EngineeringRME-22, 457-463, 1975.

48. Ho, H. S. and Guy, A. W., "Development of Dosimetry for RF and Microwave Radiation. Part 11: Calculations of Absorbed Dose Distribution in Two Sizes of Muscle Equivalent Spheres", Health Physics 29, 317-324, 1975.

49. Shapiro, A. R., "Induced Fields and Heating Within the Cranial Structure Irradiated by an EM Plane Wave", IEEE Trans. MIT-19, 187-197, 1971.

50. Weil, C. M., "Absorption Characteristics of Multilayered Sphere Models Exposed to VHF/Microwave Radiation", IEEE Trans. Biomed. Enging. BME 22, 468-476, 1975.

51. Kritikos, H. N. and Schwan, H. P., "Formation of Hot Spots in Multilayer Spheres", IEEE Trans. Biomed. Eng. 22, 168-172, 1976.

52. Joines, W. T. and Spiegel, R. J., "Resonance Absorption of Microwaves by Human Skull", IEEE Trans. Biomed. Eng. BME-21, 46-48, 1974.

53. Neuder, S. M., et al. "Microwave Power Density Absorption in a Spherical Mu tilayered Model of the Head", HEW Publ. (F.D.A.) 77-8011, 199-210, 1976.

54. Johnson, C: C., et al. "Long-Wavelength Electromagnetic Power Absorption in Prolate Spherical Model of Man and Animals", IEEE Trans. on Microwave Theory and Technique MIT-23, 739-747, 1975.

55. Alien, S. J., et al. "Comparison of Theoretical and Experimental Absorption of Radiofrequency Power", Report SAM-75-52, University of Utab, December 1975.

56. Durney, C. H., et al. "Long-Wavelength Analysis of Wave Irradiation of a Prolate Spheroid Model of Man", IEEE Trans. M77-23, 246-253, 1975.

57. Massoudi, H., et al. "Theoretical Calculations of Power Absorbed by Monkey and Hurian Prolate Spharoidal Phantoms in an Irradiation Chamber", HEW Publ. (FDA) 77-8011, 135-157, 1976.

58. Barber, P. W., "Numerical Study of Electromagnetic Power Deposition in Biological Tissue .Bodies", HEW Publ. (FDA) 77-8011, 119-134, 1976.

59. Barber, P. W., "Resonance Electromagnetic Absorption by Nonspherical Dielectric Objects", IEEE Trans. Microwave Theory, Techn. MTT-25, 373-381, 1977.

60. Massoudi, H., et al. "Long-Wave Analysis of Plane Irradiation of an Ellipsoidal Model of Man", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techn. MTT-25, 41-46, 1977.

61. Massoudi, H., et al. "Long Wavelength Electromagnetic Power Absorption in Ellipsoidal Models of Man and Animals", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techn. MTT-25, 47-52, 1977.

62. Johnson, C. C., et al. "Radiofrequency Radiation Dosimetry handbook", USAF School of Aerospace Medicine, Brooks Air Force Base, Report SAM-TR-76-35, September 1976.

63. Gandhi, 0. P., "Polarization and Effects on Whole Animal Absorption of R.F. Energy", Proc. IEEE 62, 1171-1175, 1974.

64. Gandhi, 0. P., "Strong Dependence of Whole Animal Absorption on Polarization and Frequency of Radiofrequency Energy", Annals of N.Y. Acad. pf Sciencej,247, 532-538, 1975.

65. Gandhi, 0. P., "Conditions of Strongest Electromagnetic Power Deposition in Man and Animals", IEEE Trans. Microwave Theory and Techn. MTT-23, 1021-1029, 1975.

66. Gandhi, 0. P., et al. "Distribution of-Electromagnetic Energy Deposition in Models on Man with Frequencies Near Resonance", HEW Publ. (FDA) 77-8011, 44-67, 1976.

67. Gandhi, 0. P. et al. "Deposition of Electromagnetic Energy in Animals and Models of Man". Presented at 1976 USNC/URSI Meeting, Amherst, Mass., October 1976.

68. Gandhi, 0. P. et al. "Electromagnetic Power Deposition in Man and Animals With and Without Ground and Reflector Effects". Presented at 1976 USNC/URSI Meeting, Amherst, Mass., October 1976.

69. Allen, S. J., et al. "Measurements of Radiofrequency Power Absorption in Monkeys, Monkey Phantoms and Human Phantoms Exposed to 10-50 MHz Fields", HEW Publ. (FDA) 77-8011, 83-95, 1976.

70. Allen, S. J., "Measurement of Power Absorption by Human Phantoms Immersed in Radiofrequency Fields", Ann., N.Y. Acad. Se¡. 247, 494-498, 1975.

71. Guru, B. S. and Chen, K. M., "Experimental and Theoretical Studies on Electromagnetic fields induced inside finite biological bodies", IEEE Trans. on Microwave Theory and Technique MTT-24, 433-440, 1976.

72. Chen, K., et al. "Quantification and Measurement of Induced Fields Inside Finite Biological Bodies", HEW Publ. (FDA) 77-8011, 19-43, 1976.

73. Bussey, H. E. and Richmond, J. H., "Scattering by a Lossy Dielectric Circular Cylindrical Multilayer, Numerical Values", IEEE Trans. of Vol. AP. -23, 723-725, 1975.

74. Ho, H.S. "Dose Rate Distribution in Triple Layered Dielectric Cylinder with irregular Cross Section Irradiated by Plane Wave Sources". J. Microwave Power 10, 423-432, 1975.

75. Ho, H. S., "Energy Absorption Patterns in Circular triple Layered Tissoe Cylinders Exposed to Plane Wave Sources", Health Physics 31, 97-108, 1976.

76. Guy, A. W., “Electromagnetic Fields and Relative Heating Patterns Due to a Rectangular Aperture Source in Direct Contact with Bilayered Biological Tissoe IEEE Trans. MTT-19, 214-220, 1971.

77. Ho H.S. et al "Microwave Heating of Simulated Human Limbs by Aperture Sources”, IEEE Trans. MTT-19, 724-231, 1971.

78. Lin, J. C., "Interaction of Electromagnetic Transient Radiation with Biological Materials", IEEE Trans. EC-17, 93-97, 1975.

79. Lin, J.C. and Lan, C.K., "Coupling of Gaussian Electromagnetic Pulse into a Muscle bone Model of Biological structure", J. Microwave Power 11, 67-75, 1976.

80. Bowman, R. R., "Some Recent Developments in the Characterization and Measurement of Hazardous Electromagnetic Fields", Proc. International Symposium, Warsaw, 217-227, October 1973.

81- Guy, A. W., "Engineering Considerations and Measurements", AGARD Lecture Series N- 78 on Radiation Hazards, 9:1 - 9:36, 1975.

82. Ruggera, P. S. "E and H Field Instrumentation and Calibration Below 500 MHz” HEW publ. (FDA) 77-8011, 281-286, 1976.

83. Hopfer, S., "The Design of Broad-Band Resistive Radiation Probes", IEEE Trans. IM-21, N- 4, 416- 421, November 1972.

84. Aslan, E., "Broad-Band Isotropic Electromagnetic Radiation Monitor” IEEE Trans. Ins. Measurement IM-21, 421-424, 1972.

85. Bassen, H. and Peterson, R., "complete measurement of electromagnetic Fields with Electro-Optical Crystals", HEW Publ. (FDA) 77-8011, 310-323, 1976.

86. Bassen, H., Herman, W. and Hoss, R., "EM probe with Fiber Optic Telemetry System", Microwave Journal2O, 35-39, 1977.

87. Rozzell, T. C., et al. "A Non-perturbing Temperature Sensor for Measurements in Electromagnetic Fields, J. Microwave Power 9, 241-249, 1974.

88. Johnson, C. C., Rozzell, T. C. and Gandhi, 0. P., "Liquid Crystal Fiberoptic RF Probes" Microwave Journal 18, Nº 8, 55-60, 1975.

89. Johnson, C. C., et al. "Fiberoptic Liquid Crystal Probe for Absorbed Radiofrequency Power Temperature Measurement in Tissue During Irradiation", Annals of New York Acad. of Sciences 247, 527-531, 1975.

90. Livingston, G. K. et al. "Performance of the LCOF Probe in Calorimetric and Tissue Temperature Monitoring Application", HEW Publ. (FDA) 77-8011, 239-248, 1976.

91. Cetas, T. C., "A Birefringent Crystal Optical Thermometer for Measurement of Electromagnetically Induced Testing", HEW pub¡. (FDA) 77-8011, 338-355, 1976.

92. Brodwin, M. E., Taflove, A. and Matz J. E., "A passive Electrodeless Method of Determining the Interior Field of Biological Materials", IEEE Trans. Ins. AIYT-24, N- 8, 514-521, 1976.

93. Guy, A. W., "Analyses Of Electromagnetic Fields Induced in Biological Tissues by Thermographic Studies on Equivalent Phantom Models", IEEE Trans. MIT-19, 205-214, 1971.

94. Guy, A. W., "Quantipation of Induced Electromagnetic Field Patterns In Tissue and Associated Biologic Effects", Proc. International Symposium, Warsaw, October 1973, 203-216.

95. Bertreau, A. J. and Dardalhou, M., "Biological Effect of Microwaves". Presented at 7th European Miero- wave Conference, Copenhagen, September 1977.

96. Cicary, S. F., "Considerations in the Evaluati0n Of the Biological Effects of Exposure to Microwave Radiation", Am. Industrial Hygiene Assoc. J. 31, 52-59, 1970.

97. Cleary, S. F., "Biological Effects of Microwave and RF Radiation", CRC Critical Reviews in Environmental Control 2, 257-306, 1970.

98. Cicary, S. F., "Uncertainties in the Evaluation of the Biological Effects of Microwave and Radiofrequency Radiation", Health Physics 25, 387-404, 1973.

99. Emery, A. F., et al. "The Numerical Therinal Simulation of the Human Body When Absorbing Nonionizing Microwave Irradiation with Emphasis on the Effect of Different Sweat Models", HEW Publ. (FDA) 77-8011, 96-118, 1976.

100. Schwan, H. P., "Effects of Microwave Radiation on Tissue; A Survey of Basic Mechanisms", Nonionizing Radiation 1, 23-31, 1969.

101. Schwan, H. P. and Sher, L. D., "Alternating Current Field- Induced Forces and Their Biological Implications", J. Electrochem. Society 116, 22C-26C, 1969,

102. Schwan, H. P., "Nonionizing Radiation Hazards", Journal of the Franklin Institute- 296, 485-497, 1973.

103. Lebovitz, R. M., "Caloric Vestibular Stimulation via UHF - Microwave Radiation", IEEE Trans. biomedical Eng. BME-20, 114-126, 1973.

104. Biological Effects of Electromagnetic Field, Swedish Academy of Engineering Sciences, Stockholm,1976.

105. Illinger K. H., "Molecular Mechanisms for Microwave Absorption in Biological Systems" Symp. Proc. BRH/DBE 70.2,Richmond, Virginia, 112-116, September 1969.

106. Schwan, H - P., "Principles of Interaction of Microwave at Cellular and Molecular Lever' Porc. Int. Symp. Warsaw, October 1973, 152-159.

107. Hill, N. E.; Vaughan, W. E.; Price, A.H. and Davies, M., Dielectric Properties and Molecular Behaviour, Van Nostrand, London, 1969.

108. Rabinowitz, J. R., "Possible Mechanisms for the Biomolecular Absorption of Microwave Radiation with functional Implications", IEEE Trans. Microwave Theory and Techn. M77-21, 850-851, 1973.

109. Vogelhut, P.Q. "Interaction of Microwave and Radio Frequency Radiation with Molecular Systems", Symposium Proceedings, BRH/DBE 70-2, 98-100, Richmond, Virginia, September 1969.

110. Illinger K. H., "Interaction between Microwave and Millimeter Wave Electromagnetic Fields and Biological Systems Molecular Mechanisms", Proc. Int. Symp. Warsaw, 160-172, October 1973.

111. Frohlich, H., "Evidence for Bose Condensation-like Excitation of Coherent Modes in Biological Systems", Physics Letters 51A, 21-22, 1975.

112. Schwan, H. P., "Microwave Radiation: Biophysical Consideration and Standard Criteria", IEEE BME-19, 302-312, 1972.

113. Schwan, H. P., "Alternating Current Spectroscopy of Biological Substances", Proc. IRE 47, 1841-1855, 1959.

114. Schwan H. P., "Interaction of Microwave and Radio Frequency Radiation with Biological Systems", IEEE Trans. MTT-19, 146-152, 1971.

115. Presman, A. S., Electromagnetic Fields and Life, Tzdatelstvo Nauka, Moscow, 1968. Trans. Plenum Press, New York, 1970.

116. Michaelson, S. M., "The Tri-Service Program - A Tribute to George M. Knauf, USAF (MC)", IEEE Trans. ÁITT-19, 131-146, 1971.

117. Tyler' P. E., "Overview of the Biological Effects of Electromagnetic Radiation", IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems AES-9, No 21 Mar. 1973, 225-228.

118. Michaelson, S. M., "Biologic and Pathophysiologic Effects of Exposure to Microwave and Ultrasonic Energy - An Overview", AGARD Lecture Series, N' 78, Radiation Hazards, 1975.

119. Marha, K.; Musil,J. and Tuha, H., Electromagnetic Fields and the Living Environment State Health Publishing House, Prague Czechoslovakia, Trans. SBN 91130;-13-7, San Francisco Press inc., 1971.

120. Dodge, C. H. and Glaser, Z. -R., "Trends in Electromagnetic Radiation Bioeffects Research and Related Occupational Safety Aspects", J. Microwave Power 12, N' 4, 1977.

121. Olaser, Z. R.; Brown, P. F. and Brown, M. S., "Bibliography of Reported Biological Phenomena and Clinical Manifestations Attributed to Microwave and Radio-Frequency Radiation: Compilation and Integration Of Report and Seven Supplements", Naval Medical Research institute Report, 1976.

122. Glaser, Z. R. and Brown, P. F., "Eighth Supplement to Bibliography of Reported Biological Phenomena and Clinical Manifestations Attributed to Microwave and Radio-Frequency Radiation", Naval Medical Research Institute Report (AD A029-430), 1976.

123. Rendler, E., "Cutaneuos Receptor Response to Microwave Irradiation', Thermal Problems in Aerospace Medicine, ed. Y.D. Hardy, Surrey, England, 149-161.

124. Michaelson, S. M., "Cutaneous Perception of Microwaves", J. Microwave Power 7, 67-73, 1972.

125. Michaelson, "Human Exposure to nonionizing Radiant Energy - Potential Hazards and Safety Standards", Proc. IEEE, 60, 1972, 589-421.

126. McLees, B. D., and Finch, E. D. "Analysis of Reported Physiologic Effects of Microwave Radiation", Advances in Biological and Medical Physics, ed. J. H. Lawrence and J. W. Gofman, Acad. Press, 14, 163-223, 1973.

127. Michaelson, S. M., "Thermal Effects of Single and Repeated Exposures to Microwaves - A. Review", Proc. Intern. Symp. Warsaw, October 1973, 1-14.

128. Gordon, Z. V., Biological Effect of Microwaves in Occupational Hygiene, lzdatelstvo Medicina, Lenin- grad, 1966; trans. TT 70-50087, NASA TT F-663, 1970.

129. Phillips, R. D., King, N. W., and Hunt, E. L., "thermoregulatory, Cardiovascular and Metabolic Response of Rats to Single and Repeated Exposure to 2450 MHz Microwaves". Presented at 8 th Annual Microwave Power Symp., Loughborough, England, 1973.

130. Addington, C. H., Oshorn, C., Swam, G., Fisher, F. P., Neubauer, R. A. and Sarkees, Y. T., "Biological Effects of Microwave Energy at 200 me", proc. IV Annual Tri-Service Conference. Biological Effects of Microwave Radiation, 1, 177-186,.Pienuin Press, 1961

131. Baranski, S., Czekalinski, L, Czerski, P, and Haduch, S., "Recherches experimentales sur 1,effet mortel de l'irradiation des ondes Inicroffletriques", Rev. Med. Aeron, 2, 108, 1963.

132. Ely, T. S., Goldman, D. E, and Hearon, J. F., "Heating Characteristics of Laboratory animals Exposed to Ten-centimeter Microwave", IEEE Trans. Rio-Med. Eng. li, 123, 1964.

133. Austin, G. M., Horwath, S. M., "Production of Convolutions in Ratsby Exposure to ultrahigh Currents", Am. J. Phys. Med., 33, 141, 1954.

134. Searle, O. W., Imig, C. J., and Dahlen, R. W., "Studies with 2430 me CW Exposure to the Heads of Dogs", Proc. 11 Tri-Service Conf. on Biological Effects of Microwave Energy, July 1958, ASTIA doe AD 131477.

135. Daily, L., Wallin, K. G., Herrick, Y. F. and Par"¡¡¡, E. M., "Effects of Microwave Diathermy on the Eye", Amer. J. Physiol, 155, 482, 1948.

136. Richardson, A. W., Duane, T. D. and Hines, H. M., "Experimental Lenticular Opacities Produced by Microwave Irradiation", Arch. Phys. Med., 29, 765-769, 1948.

137. Oshome, S. 'L., and Frederick, J. N., "Microwave Radiation: Heating of Human and Animal Tissue by Means of High Frequency Current with Wavelength of Twelve Centimeters", J. Amer. Med. Assco., 137, 1030-1040, 1948.

138. Carpenter, R. L., Ferri, E. S., and Hagan, G. J., "Assessing Microwaves as a Hazards to the Eye Progress and Problems", Proc., Intern. symp. Warsaw, Poland, Oct. 1973, 178-185.

139. Carpenter, R. L., Biddle, D. K., and Van Ummersen, C. A., "Opacities in the lens of the Eye Experimentally Induced by Exposure to Microwave Radiation", IRE Trans. on Medical Electronics, ME-7, 152-157, 1960.

140. Carpenter, R. L., Biddle, D. K., and Van Umñiersen, C. A., "Biological Effects of Microwave Radiation with Particular Reference to the Eye", Proc. 3rd intern. Conf. on Medical Electronics, London, England, 1960, 401-408.

141. Carpenter, R. L., and Van Ummersen, C. A., "The Action of Microwave Radiation of the Eye", J. Microwave Power, 3, 3-19, 1968.

142. Carpenter, R. L., "Experimental Microwave Cataract: A Review". Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation, ed. S.F. Cleary, Symp. Proc., Richmond, Virginia, 1969, 76-81.

143. MeRee, D. I., "Thresholds for Lenticular Damage in the Rabbit Eye Due to Single Exposure to CW Microwave Radiation", Health Physics, 21, 763-769, 1971.

144. Miroy, W. C., and Michaelson, S. M., "Microwave Cataractogenesis: A Critical Review of the Literature". Aerospace Medicine, 43, 67-75,,1972.

145. Mitchel, J. C., "Electromagnetic Radiation: Effects on the Eye". AGARD Lecture Series N' 78, 1975.

146. Guy, W., Lin, J. C., Kramar, P. 0. and Emery, A. F., "Effect of 2450-MHz Radiation of the Rabbit Eye". IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques. MIT-23, N' 6, 492-498, June 1975.

147. Kremar, P. O., Emery, A. F., Guy, A. W. and Lin, J. C., "The Ocular Effects of Microwaves on Hypothermic Rabbits: A Study of Microwave Cataractogenic Mechanisms", Annals of N.Y. Academy of Sciences, 47, 155-165, 1975.

148. Kremar, P., Harris C., Guy, A. W. and Emery, A., "Mechanism of Microwave Cataractagenesis in Rabbits", HEW Publ. (FDA) 77-8010, 49-60, 1976.

149. Birenbaum, L., Kaplan, I. T., Metiay, W., Rosenthal, S. W., Schrnidt, H. and Zaret, M. M., "Effects of Microwaves on the Rabbit Eye", J. Microwave Power, 4, 232-243, 1969.

150. Carpenter, R. L., Hagan, G. J. and Ferri, E. S., "Use of a Dielectric Lens for Experimental Microwave Irradiation of the Eye"' Annals N. Y. Acad. Sciences, 47 142-154, 1975.

151. Hagan, G. J. and Carpenter, R. L., "Relative Cataractogenic Potencies of Two Microwave Frequencies (2.45 and 10 GHz)", HEW Publ. (FDA) 77-8010, 143-155, 1976.

152. Appleton, B., Hirsch, S. E. and Brown, P. V. K., 'Investigation of Single Exposure Microwave Ocular Effects at 3000 MHz", Annals N. Y. Acad. Sciences, 47, 125-134, 1975.

153. Cogan, D. G., Fricker, S. J., Lubin, M., Donaldson, D. D. and Hardy M., "Cataracts and Ultra-High Frequency Radiation". A.M.A. Indusi. Health, 18, 299-302, 1958.

154. Ferri, E. S. and Hagan, G. J., "Chronic Low - Level Exposure of Rabbits to Microwaves", HEW Publ. (FDA) 77-8010, 129-142, 1976.

155. Rosenthal, S. W., et al. "Effects of 35 and 107 GHz CW Microwaves on the Rabbit Eye", HEW Publ. (FDA) 77-8010, 110-128, 1976.

156. Taflove, A. and Brodwin, M. E., "Computations of the Electromagnetic Fields and Induced Temperatures Whitin a Model of the Microwave Irradiated Human Eye", IEEE Trans. Microwave Theory Techn., MTT-23, 888-896, 1975.

157. Baillic, H. D., Heaton, A. G. and Pal, D. K., "The Dissipation of Microwaves as Heat in the Eye", Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation, ed. S.F. Cleary Symp. Proc. Richmond, Virginia, 85-89, 1969.

158. Pauisson, L. E., "Measurements of 0,915, 2.45 and 9,0 GHz Absorption in the Human Eye". Presented al 1976 European Microwave Conf.

159. Williams, R. J. and Finch, E. D., "Examination of the Cornea Following Exposure to Microwave Radiation", Aerospace Medicine 45, 393-396, 1974.

160. Weiter, J. J., Finch, E. D., Schultz. W. and Frattali, V., "Ascorbic Acid Changed in Cultured Rabbit Lenses after Microwave Irradiation", Annal N. Y. Acad. Sciences 47, 175-181, 1975.

161. Baillie. H. D., "Thermal and Nonthermal Cataractogenesis by Microwaves", Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation, ed. S.F. Cleary. Symp. Proc. Richmond" Virginia, 1969, 59-65.

162. Hetier, H. and Texeira,Pinto, A., "A new Physical Method of Creating Chromosomal Aberrations", Nature, 183, 905-906, 1959.

163. Heller, J. H., "Cellular Effects of Microwave Radiation", Symp. Proceedings, Richmond, Virginia, 1969. US. DHEW, BRH/DBE 70-2, 116-121.

164. Michaelson, S. M., "Microwave and Radiofrequency Radiation", World Health Organization, Document ICP/CEP 803, 1907.

165. Yao, K. T. S. and Jiles, M. M., "Effects of 2450 MHz Microwave Radiation on Cultivated Rat Kangaroo Cells", Symp. Proceeding, Richmond, Virginia. 1969. US. DHEW, BRH/DBE 70-2, 123-133.

166. Baranska, W., "Symphoblastoid Transformation of Lymphocytes in Vitro after Microwave Irradiation", Nature, 214, 102. 1967.

167. Baranska, W. S., "The Effects of Microwaves on Human Lymphocyte Cultures". Proc. Intern. Symp. Warsaw, Polnd, October 1973, 189-195.

168. Baranski, S., Czerski, P. and Szmigieiski, S., "Microwave Effects on Mitosis, in Vivo and in Vitro", Genetica Polonica, 10, Nº 3-4, 1969.

169. Baranski, S., "Effects of Microwaves on the Reactions of the White Blood Cells System", Acta Physiol. 23, 685-692, 1972.

170. Smialowiez, R. J., "The Effects of Microwaves (2450 MHz) on Lymphocyte Blast Transformation on Vitro", HEW Publication (FDA) 77-8010, Vol. 1. 472-483, 1976.

171.Elder J.A. and Ali, J. S., "The effect of Microwaves (2450MHz) on Isolated Rat Liver Mitochondria", Annals of New York Acad. of Sciences, 247, 251-262, 1975.

172. Bawin, S. M.; Sheppard, A. R. and Adey, W. R., "Models of Long - Range Order in Cerebral Macromolecules: Effects of ELF, VHF and UHF Fields in Calcium Binding". presents at 1977 International Symposium on Biological Effects of Electromagnetic Waves, Airlie, Virginia, October 30-November 4, 1977.

173. Blackman, C. F.; Elder, J. A.; Weil, C. M.; Benane S. G. and Eichenger, D. C., "Two Parameters Affecting Radiation Induced Calcium Efflux from Brain Tissue". Presented at 1977 Intern. Symp. on Biological Effects of Electromagnetic Waves, Airlie, Virginia, October 30-November 4, 1977.

174. Janiak, M. and Szmigieiski, S., "Injury of Cell Membranes in Normal and SV40-Virus Transformed Fibroblasts Exposed in Vitro to Microwave (2450MHz) or Water-Bath Hyperthermia (43ºC)". Presented at 1977 Intem. Symp. on Biological Effects of Electromagnetic Waves, Airlie, Virginia, October 30-November 4, 1977.

175. Lin, L. M. and Cleary, S. F., "Effects of Microwave Radiation on Erytrocyte Membranes". Presented at 1977 Intern. Symp. on Biological Effects of Electromagnetic Waves, Airlie, Virginia, October 30-November 4, 1977.

176. Livingston, G. K., Johnson, C. C. and Dethlefsen, L. A., "Comparative Effects of Water Bath - and Microwave Induced Hyperthermia on Cell Survival and Sister Chromatid Exchange (SCE) in Chinese Hamster Ovary (CHO) Cells". Presented at 1977 Intern. Symp. on Biological Effects of Electromagnetic Waves, Airlie, Virginia, October 30-November 4, 1977.

177. Allis, J. W. and Fronme, M. L., "Activity of Membrane- Bound Enzymes Exposed to Amplitude Modulated 2450MHz Radiation". presented at 1977 intern. Symp. On Biological Effects of Electromagnetic Waves. Airlie, Virginia, October 30-November 4, 1977.

178. Blaekman, C. F.; Benane, S. G., Weil, C. M. and Ali, J. S., "Effects of Nonionizing Electromagnetic Radiation on Single Cell Biologic Systems", Annals of N. Y. Acad. Sciences 247, 352-366, 1975.

179. Webb, S. J. and Dodds. D. D., "Inhibitions of Bacterial Cell Growth by 136GHz Microwaves", Nature 218, 374-375. 1968.

180. Corelli, J. C.; Gutmann, R. J.; Kohazi, S. and Levy, J., "Effects of 2.6-4.0 GHz Microwave Radiation on E. Coli B". J. Microwave Power 12, Nº 3, 1977.

181. Blackman, C. F., Surtes, M. C. and Benane, S. G., "The Effect of Microwave Exposure on Bacteria: Mutation Induction", HEW Publication (FDA) 77-8010, vol. 1, 406-413, 1976.

182. Cleary, S. F., "Biological Effects of Microwave and Radio-frequency Radiation". CRC Crit. Rev. in Environmental Control, vol.2, 121-166, 1977.

183. Allis, J. W., "Irradiation of Bovine Serum Albium with a Crossed-Beam Exposure-Detection System", Annals N.Y. Acad. Sciences, 247, 312-322, 1975.

184. Klainer, S. M., Frazer. J. W., "Raman Spectroscopy of Molecular Species During Exposure to 100MHz Radiofrequency Fields". Annals N. Y. Acad. Sciences, 247, 323-326, 1975.

185. Deichmann, N. B.; Miale, J. and Landeen, K., "Effects of Microwave Radiation of the Hemopoietic System of the Rat", Toxicology and Applied Pharmacology, vol. 6, 71-77, 1964.

186. Kitsouskaya, 1. A., "The Effect of Centimeter Waves of Different Intensities on the Blood and Hemo- poictie Organs of White Rats", Gig. Tr. Prof. Zabal., 8, N' 14, 1964.

187. Djordjevie, Z.; Lazarevie, N. and Djokvic, V., "Studies on the Hemotologic Effects of Long - Term, Low- Dose Microwave Exposure", Aviation, Space and Environ. Medicine, 48, 516-518, 1977.

188. Smialowiez, R. J.; Kinn, J. B.; Weil, C. M. and Ward, T. R., "Chronic Exposure of Rats at 425 or 2450MHz: Effects on Lymphocynes". Presented at 1977 Intern Symp. on the Biological Effects of Electromagnetic Waves, Airlie, Virginia, Nov. 1977.

189. Czerski, P., "Microwave Effects on the Blood-Forming System with Particular Reference to the Lymphocyte", Annals N. Y. Acad. Sci. 247, 232-242, 1975.

190. Rotkovska, D., and Vacek, A., "Effect of High Frequency Electromagnetic Field upon Hemopoietic Stem Cells in Mice", Folia Biologice (Plagoe), 18, 292-297, 1972.

191. Rotkovska, D., and Vacek, A., "The Effect of Electromagnetic Radiation on the Hematopoictic Stem Cells of Mice", Annals N. Y. Acad Sciences, 247, 243-250, 1975.

192. Lin, J. C., Neison, J. C., Ekstrom, M. E., and Nam, S. H., "Effects of Radio Waves on Growth, Hemotology and Histology of Mice". Presented at 1977 International Symposium on the Biological Effects- of Electromagnetic Fields, Airlie, Virginia, 1977.

193. Krupp, J. H., "The Relationship of Thermal Stress to Immune System Response in Mice Exposed to 2.6 GHz Radio-Frequency Radiation". Presented at 1977 International Symposium on the Biological Effects of Electromagnetic Fields, Airlie, Virginia, 1977.

194. Baranski, S., "Effect of Chronic Microwave Irradiation on the Blood Forming System of Guinea Pigs and Rabbits", Aerospace Medicine, 42, 1196-1199, 1971.

195. Czerski, P., Sionka, E. P., Sickierzynsky' M., and Stolarski, A., "Influence of Microwave Radiation of the Hemotopoietic System", Proc. International Symp., Warsaw, Poland, October 1973, 67-74.

196. Michaelson, S. M., Thompson, R. A. E., Tamani, M. Y. E., Seth, H. S and Howland, J. W., "The Hematologic Effects of Microwave Exposure", Aerospace Medicine, 35, Si4-829, J964.

197. Michacison, S. M., Howianci, J. W., and Deichmann, W. B., "Response of the dog to 24.000 and 1285 MHz Microwave Exposure", Industrial Medicine, 40, 18-23, 1971.

198. Krupp. J. H., "Long -Term Follow-up Macaca Mulatta Exposed to High Power Levels of 15, 20 and 26 MHz Radiofrequency Radiation". Presented at 1977 International Symp. on the Biological Effects of Electromagnetic Waves, Airlie, Virginia, November 1977.

199. Lovely, R. H., Sparks, T. J., and Guy, A. W., "Response to Lymphocytes in Vitro to 30 MHz Radio-Frequency Fields". Presented al 1977 International Symp. on the Biological Effects of Electromagnetic Waves, Airlie, Virginia, November 1977.

200. Wangemann, R. T., and Cicary, S. F., "The in Vivo Effects of 2.45 GHz Microwave Radiation of Rabbit Serum Components and Sleeping Times", Radiat. Environ. Biophysica, 13, 89-103, 1976.

201. Ely, T. S., Goldman, D. E., and Hearon, j. Z., "Heating Characteristics of Laboratory Animals Exposed to Ten-Centimeter Microwaves, IEEE Trans. Biomed. Eng., BE-11, 123, 1964.

202. Muraca Jr., G. J., Ferri, E. S., and Buchta, F. L., "A Study of the Effects of Microwave Irradiation of the Rat Testis", HEW Publication (FDA) 77-8010, 1, 484-494, 1976.

203. Varma, M. M., and Traboulay, E. A., "Biological Effects of Microwave Radiation on the Testes of Mice" Experientia, 31, 301, 1975.

204. Berezintskaya, A. N., "Some Indicies of Fertility of Female Mice Irradiated with 10 cm Microwaves", Gigiena Truda i Professionalnye Zebolevanije, 9, 33, 1968.

205. Pobzhitkov, Y. A., Tyagin, N. V., and Grebeschechmikova, A. M., "The Influence of Pulsed Super-High Frequency Fields on Conception and the Course of Gestation in White Mice", Bulí. Exper. Biol. and Med., 51, 105, 1961.

206. Deichmann, W. B., Bernal, E., Stephens, E. H. and Landeen, K., "Effects on Dogs of Chronic Exposure to Microwave Radiation", J. Occup. Med. 5, 418, 1963.

207. Michaelson, S.' M., Howiand, J. W., and Deichmann, W. B., "Response of the Dog to 24.000 and 1284 MHz Microwave Exposure", Indust. Med. Surg., 40, 18, 1971.

208. Miro, L., Lonbiere, R., and Pfister, A., "Recherches des lésions viscérales observées hez des souris et des rats exposés aux ondes ultra-courtes, Etude particuliére des effets de ces ondes sur la reproduction du ces animaux", Rev. Med. Aeronaut. (Paris), 4, 37, 1965.

209. Dietzel, F., "Effects of Nonionizing Electromagnetic Radiation on the Development and Intrauterine Implantation of the Rat", Ann. N. Y. Acad. Science, 247, 367-376, 1975.

210. Shore, M. L., Feiton, R. D., and, Lamanna, A., "The Effect of Repetitive Prenatal Low - Level Microwave Exposure on Development in the Rat". HEW Publication (FDA) 77-8026, 280-289, 1977.

211. Michaelson S. M., Guillet, R. and Heggene ss, F. W., "The Influence of Microwaves on Development of the Rat" Presented at the 1977 Intern. Symp. on Biological Effects of Electromagnetic Waves, Airlie, Virginia, Nov. 1977.

212. Johnson, R. B., Mizumari, S., Myers, D. E., Guy, A. W. and Lovely, R. H., "Effects of Pre- and Post- Natal Exposures to 918 MHz Microwave Radiation on Development and Behavior in Rats". Presented at the 1977 Intern. Symp. on Biological Effects of Electromagnetic Waves, Airlie, Virginia, November 1977.

213. Rugh, R., Ginns, E. I., Ho, H. S. and Leach, W. M., "Are Microwaves Teratogenic'?", Proc. Intern. Svmp., Warsavt,, Poland, October 1973, 98-107.

214. Chernovetz, M. E., Justesen, D. R., King, N. W. and Wagner, J. E., "Teratology, Survival and Reversal Learning after Fetal Irradiation of Mice by 2450 MHz Microwave Energy", J. Microwave Power 10, 391, 1975.

215. Van Ummersen, C., "The Effect of 2450 me Radiation on the Development of the Chick Embryo", Biological Effects of Microwave Radiation 1, 201, N.Y. Press Plemun, 1961.

216. Fisber, P., Lauber, J. K. and Voss, W. A. G., "Effects of Chronic Exposure to Microwaves at Low Power ze of Developing Chicken Embryos". Presented at the 1977 Intern. Densities on the Mass and Cranial Si. Symp. on Biological Effects of Electrornagnetic Waves, Airlie, Virginia, November 1977.

217. McRee, D. I., Hamrick, P. E. and Tinki, J., "Sonic Effects of Exposure of the Japanese Qua¡¡ Embryo to 2.45 GHz Microwave Radiation", Ann. N.Y. Acad. Science 247, 377, 1975.

218. Carpenter, R. L. and Livstone, E. M., "Evidence for Non-Thermal Effects of Microwave Radiation: Ah- normal Development of Irradiated Insect Pupae", IEEE Trans. Microwave Theory Techniques M7T-19, 173_ 178, 1971.

219. Lindaucr, G. A., Liu, L. M., Skewes, G. W. and Rosenbaum, F. J., "Further Experiments Seeking Evidence of Non-Thermal Biological Effects of Microwave Radiation", IEEE Trans. Microwave Theory Techniques M77-22, 790-793, 1974.

220. Liu, M. L., Rosenhaurn, F. J. and Pickard, W. F., "The Relation of Teratogenesis in Tenebrio Molitor to the incidence of Low - Level Microwaves", IEEE Trans. Microwave Theory Techniques MTT-23, 929- 931, 1975.

221. Green, Jr., D. R., Rosenbaum, F. J. and Pickard, W. F., "Biological Effects of Microwaves on the Pupae of Tenebrio Molitor", HEW Publication (FDA) 77-8026, 253-262, 1977.

222. Pickard, W. F. and Olsen, R. G., "Development Effects of Microwaves in Tenebrio Molitor: Experiments to Detect Possible Influences of Radiation Frequency and of Culturing Protocols". Presented at the 1977 Intern. Symp. on the Biological Effects of Electromagnetic Waves, Airlies, Virginia, November 1977.

223. Cooper, T., Pinakatt, T., Jellinek, M. and Richardson, M., “Effects on Adrenalectomy Vagotomy and Ganglionic Blockade on the Circulatory Response to Microwave Hyperthermia” Aerospace Med. 23, 794, 1962.

224. Presman, A. S. and Levitina,.N. A., "Non-Thermal Action of Microwaves on Cardiac Rhythm - Part 1 Action Of Continuous Microwaves", Bull. Exp. Biol. med., _53, 36-39, AD 288404, 1963.

225. Presman, A. S. and Levitina, N. A., "Non-Thermal Action of Microwaves on Cardiac Rhythm - Part II Action of Pulsed Microwaves", Bull. EXP. Biol. Med., 53, 15488, AD 283882, 1963.

226. Kaplan, I.T. Mellay, W., Zaret, M. M., Birenhaum, L. and Rosenthal, S. W., "Absence of Heart-Rate Effect in Rabbits During Low - Level Microwave Irradiation", IEEE Trans- Microwave Theory Techniques MTT-19, 168-173, 1971.

227. McAfec, R. D., "Neurophysiological Effects of 3 cm Microwave Radiation", Amer. J. Physiol. 200, 192, 1961.

228. Subbota, A. G., "Respiratory System, Cardiovascular System and Blood", Influence of Microwave Radiation in the Organism of Man and Animals, ed. I R. Petrov NASA TT-F-708, 1972.

229. Michaelson, S. M Houk, W. M., Lebda, N. J. A. Lu, S. T. and Magin, R. L., "Biochemical and Neuroendocrine Aspects of Exposure to Microwaves", inn. N.Y. Acad. Sci. 247, 21-45, 1975.

230. Dumanskij, J.D. and Sandala, M.G.I "The Biologic Action and Hygienic Significance of Electromagnetic Fields of Superhigh and Ultrahigh Frequencies in Densely Populated Areas", Proc. International Symposium, Warsaw, Poland, October 1973, 289-293.

231. Petrov, I.R. and Syngayevskaya, Y. A., "Endocrine Glands", Influence of Microwave Radiation on the Organism of Man and Animals, ed. I.R. Petrov. Leningrad, Meditsina Press, 31, 1970 (NASA TT-F-708)

232. Mikoiajczyk, H. J., "Microwave Irradiation and Endocrine Functions", Proc. International Symp. Warsan,, Poland, 1973, 46-51.

233. Michaelson S. M.; Guillet, R., Lotz, W. G.; Lu, S. T. and Magin, R. L., "Neuroendocrine Responses in the Rat and Dog Exposed to 2450 MHz (CW) Microwaves", HEW Publication (FDA) 77-8026, 263-279, 1977.

234. Milroy, W. C. and Michaelson, S. M., "Thyroid Pathophysiology of Microwave Radiation", Aerospace Med. 43, 1126-1131, 1972.

235. Baranski, S.; Ostrowski, K. and Stodoinik - Baranska W., "Badania czynnosciowe i morfoiogiczne gruczoly tarczycowe u zwierzat napromienlowanych mikrofalami", Acta Physiol. Polon. 23, 997, 1972.

236. Parker, L. W., "Thyroid Suppression and Adrenomodullory Activation by Law Intensity Microwave Radiation", Am. J. of Physiology 224, 1388-1390, 1973.

237. Mikoiajczyk, H., "Microwave Induced Shifts of Gonadotropie Activity in anterior Pituitary Gland of Rats", HEW Publication (FDA), 77-8010, 377-383, 1977.

238. Marha, K., "Maximum Admissible Values of VHF and VHF Electromagnetic Radiation at Work Places in Czechoslovakia in Biological Effects and health Implications of Microwave Radiation", Symposium Proceedings, ed. S. (Clearly, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 188-196, 1970.

239. de Lorge, J., "Operant Behavior and Colonic Temperature of Squirrel Monkeys during Microwave Irradiation". Presented at 1977 International Symposium on the Biological Effects Of Electromagnetic Waves, Airlie, Virginia, November 1977.

240. Merce, D. E. and Wachtel, H., "Microwave Effects on Nerve Vitality". Presented at 1977 International Symposium on the Biological Effects of Electromagnetic Waves, Airlie, Virginia, November 1977.

241. Bawin, S. M.; Kaczmarck, L. K. and Adey, W. R., "Effects of Modulated VHF Fields on the Central Nervous System", Ann. N. Y. Acad. Sci. 247, 74-80, 1975.

242. Bawin, S. M.; Cabalas-Medici, R. J. and Adey, W. R., "Effects of Modulated Very High Frequency Fields on Specific Brain Rhythms in Cats", Brain Research 58, 365-384, 1973.

243. Bawin, S. M. and Adey, W. R., "Calcium Binding in Cerebral Tissue", HEW Publication (FDA) 7'7- 8026, 305-313, 1977.

244. Bawin, S. M. and Adey, W. R., "Interactions Between Nervous Tissues and Weak Environmental Electric .Fields", HEW Publication (FDA), 77-8010, 323-330, 1977.

245. Adey, W. R., "Introduction: Effects of Electromagnetic Radiation on the Nervous System", Ann. N.Y. Acad. Sci. 247, 15-20, 1975.

246. Wachtel, H.; Seaman, R. and Joines W "Effects of Low - Intensity Microwaves on Isolated Neurons", Ann. N.Y. Acad. Se¡. 247, 46-62, 1975.

247. Taylor, E. M. and Ashleman, B. T., "Some Effects of Electromagnetic Radiation on the Brain and Spinal Cord of Cats", Ann. N. Y. Acad. Sci. 247, 63-73, 1975.

248. Frey, A. H., "Brain Stem Evoked Responses Associated with low Intensity Pulsed VHF Energy", J. Applied Physiol. 23, 984-988, 1967.

249. Tyazheiov, Y. Y.; Tigranian, R. E. and Khizhniak, E. P., "New Artifact-Free Electrodes for Recording of Biological Potentials in Strong Electromagnetic Fields", Radio Science 12 (65), 121-123, 1977.

250. Frey, A. F.; Feid, S. -R. and Frey, B., "Neural Function and Behavior: Defining the Relationship", Ann. N.Y. Acad. Sci. 247, 433-439, 1975.

251. Oscar, K. J. and Hawkins, T. D., "Microwave Alterations of the Blood - Brain Barrier System of Rats", Brain Research 126, 281-293, 1977.

252. Albert, E. N., "Light and Electron Microscopic Observations on the Blood – Brain Barrier after Microwave Irradiation", HEW Publication (FDA), 77-8026, 294-304, 1977.

253. Justesen, D. R., "The Central Nervous System and Behavior". IEEE Reprint Volume, 1978

254. Frey, A. H., "Auditory System Response to Radiofrequency Energy", Aerospace Medicine 32, 1140- 1142, 1961.

255. Frey, A. H. and Messenger, Jr. R, "Human Perception of Illumination with Pulsed Ultra High Frequency Electromagnetic Energy", Science 181, 356-358, 1973.

256. Frey A. fi., "Biological Function as Influenced by Low-Power Modulated Energy", IEEE Trans. Micro- wave Theory Techniques 19, 153-164, 1971.

257. Foster, K. R. and Finch, E. D., "Microwave Hearing: Evidence for Thermo -Acoustic Auditory Stimulation by Pulsed Microwaves", Science 185, 256-258, 1974

258. Guy, A. W., Chou, C. K., Lin, J. C. and Christensen, D., "Microwave-Induced Acoustic Effects in Mammalion Auditory Systems and Physical Materials", Ann. N. Y. Acad. Sci. 247, 194-218, 1975.

259. Chou, C. K. and Guy, A. W., "Quantitation of Microwave Biological Effects", HEW Publication (FDA) 77-8026, 81-103, 1977.

260. Chou, C. K., Guy, A. W. and Galambos, R., "Characteristics of Cochlear Microphonics", Radio Science 12 (65), 221-227, 1977.

261.King, N. W., Justesen, D. R. and Ciarke, R. L., "Behavioral Sensitivity to Microwave Radiation", Science 172, 398-401, 1971.

262. Justesen, D. R. and King, N. W., "Behavioral Effects of Low - Level Microwave Irradiation in the Closed Space Situation", in Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation- Symposium Procedings, ed. S. F. Cleary, Washington, D. C., U. S. Govern. Printing Office, 1970.

263. Lin, J. C., Guy, A. W. and Caidweil, L. R., "Thermographic and Behavioral Studies of Rats in the Near Field of 918 MHz Radiation's", IEEE Trans. Microwave Theory Techniques, MIT-25, 833-836, 1977.

264. Frey A.H. and Feid, S.R. "Avoidance by Rats of Illumination with Lower Power nonionizing Electromagnetic Energy", J. Comp. Physiol. Psychol. 89, 183-188, 1975.

265. Monahan, J. C. and Ho, H. S., "Microwave Induced Avoidance Behavior in the Mouse", HEW Publication (FDA) 77-8010, 274-283, 1977.

266. Monahan, J. C. and Ho, H. S., "The Effect of Ambient Temperature or the Reduction of Microwave Energy Absorption by Mice", Radio Science 12 (65), 257-262, 1977.

267. Monahan, I. C. and Henton, W. W., "Free-Operant Avoidance and Escape from Microwave Radiation", HEW Publication (FDA) 77-8026, 23-33, 1977.

268. D'Andrea, J. A., Gandhi, 0. P. and Lords, J. L., "Behavioral and Thermal Effects of Microwave Radiation at Resonant and Non-resonant Wavelengths", Radio Science 12 (65), 251-256, 1977.

269. Hunt, E. L., King, N. W. and Philips, R. D., "Behavioral Effects of Pulsed Microwave Radiation", Ann. N. Y. Acad. Sci. 247, 440-453, 1975.

270. Galloway, W. D. "Microwave Dose Response Relationships on Two Behavioral Tasks", Ann. N. Y. Acad. Sci, 247, 410-416, 1975

271. De Lorge, J. O., "The Effects of Microwave Radiation on Behavior and Temperature in Rhesus Monkeys", HEW Publications (FDA) 77-8010, 158-174, 1977.

272. Scholl, D. Nf. and Allen, S. J., Skilled Performance in RFR Environments". Presented at the 1977 International Symposium on the Biological Effects of Electromagnetic Waves, Airlie, Virginia, November 1977.

273. Moe, K. E., et al. "Physiological and Behavioral Effects of Chronic Low - Level Microwave Radiation in Rats", HEW Publications (FDA) 77-8010, 248-255, 1977.

274. Roberti B. Et al “Preliminary Investigations af the Effects of Low -Level Microwave Radiation on Spontaneous Motor Activity in Rats", Annals N. Y. Acad. Sci. 247, 427-424.

275. Thomas, J. R., et al. “Effects of low - level Microwave Radiation on Behavioral Basellines", Annals N. Y. Acad. Sci. 247, 425-432, 1975

276. Glaser, Z. R. and Dodge, C. H., "Biomedical Aspects of Radio Frequency and Microwave Radiation: A Review of Selected Soviet, East European, and Western References", HEW Publication (FDA) 77-8010, 2-34, 1077.

277. Dodge, C. H. and Glaser, Z. H., "Trends in Electromagnetic Radiation Bioeffects Research and Related Occupational Safety Aspects", J. Microwave Power 12, numero 4, 1977.

278. Barron, C. I., Love, A. A., and Baraff, A. A., "Physical Evaluation of Personnel Exposed to Microwave Emanations", J. Aviation Med., 26, 442-459, 1955.

279. Barron, C. 1, and Baraff, A. A., "Medical Considerations of Exposure to Microwaves (Radar)", J.A.M.A., 168, 1194-1199, 1958.

280. Robinette, C. D., and Silverinan, C., "Causes of Death Following Occupational Exposure to Microwave Radiation (Radar) 1950-1974". HEW Publication (FDA), 77-8026, 338-344, 1977.

281. Sadcikova, M.N., "Clinical Manifestations of Reactions to Microwave Irradiation in Various Occupational Groups", in Biologic Effects and Health Hazards of Microwave Radiation, Proc. Inter. Symp., Warsaw, Poland, pp. 261-267, 1973.

282. Siekierzynski, M., "A study of the Health Status of Microwave Workers", in Biologic Effects and Health Hazards of Microwave, Radiation, Proc. Intern. Symp., Warsaw, Poland, pp. 273-280, 1973.

283.Czerski, P., Siekierzynski, M., and Gidynski, A., "Health Surveillance of Personnel Occupationally Exposed to Microwaves. 1. Theoretical Considerations and Practical Aspects", Aerospace Med. 45, 1137- 1142, 1974.

284.Sickierzynski, M., et al. "Health Surveillance of Personnel Occupationally Exposed to Microwaves. II Functional Disturbances", Aerospace Med. 45, 1143-1148, 1974.

285.Cleary, S. F., and Pastemack, B. S., "Lenticular Changes in Microwave Workers", Arch. Environ. Health 12, 23-29,1966.

286. Appleton, B., and Mc Crossan, G. C., "Microwave Lens Effects in Humans", Arch. Opthal. 88, 259-262, 1972.

287. Aurcil, E., and Tengroth, B., "Lenticular and Retinal Changes Secondary to Microwave Exposure", Acta Opthal. 51, 764-771, 1973.

288. Zydecki, S., "Assessment of Lens Translucency in Juveniles, Microwave Workers and Age Matched Groups", Biologic Effects and Health Hazards of Microwave Radiation, Proc. Intern . Symp., Warsaw, Poland, pp. 306-308, 197

289. Odiand, L. T.. "Radio-Frequency Energy a Hazard to Workers?" Ind. Med. Surg. 42, 23-26, 1973.

290. Sickierzynski, M., et al. "Health Surveillance of Personnel Occupationally Exposed to Microwaves III Lens Translucency", Aerospace Med. 45, 1146-1148, 1974.

291. Shacklett, D. E., Tredici, T. J., and Epstein, D. L., "Evaluation of Possible Microwave-Induced Lens Changes in the United States Air Force", Aviation, Space and Environ. Medicine, 1403-1406, November 1975

292. Michaelson, S. M., "Effects of Exposure to Microwaves Problems and Perspectives", Environ. Health Perspectives 8, 133-156, 1974.

293. Zaret, M. M., Kaplan, 1. T., and Kay, A. M., "Clinical Microwave Cataracts", in Biological Effects and Health Implications of Microwave Radiation, Fd. S. F. Cleary, Symp. Proc., Richmond, Virginia, 1969, p. 82.

294.Lancracjan, I., "Conadic Function In Workman with Long -Term Exposure to Microwaves", Health Physics 29, 381-385, 1975.

295.McRec, D.I., "Environmental Aspects of Microwave Radiation", Environ. Health Perspectives, 41-53, 1972

296. Ranzen-Yevdokimov, I. G., and Sorokin, V. A., "Diagnosis and Treatment of Neuropsychic Disturbances", in "Influence of Microwave Radiation on the Organisms of Man and Animal". Ed. I. R. Petrov, NASA-Techn. Transf. F 708, 1972.

297. Silverman, C., "Nervous and Behavioral Effects of Microwave Radiation in Humans", Am. J. Epidemiology 97, 219-224, 1973.

298. Rozzeli, T. C., "Therinal or Nonthermal: West versus East", Proc. Health Physics Symp., Puerto Rico, 1973.

299. GOST Standard 12.1.006-76. "Occupational Safety Standards System, Electromagnetic fields of Radiofrequency General Safety Requirements". Nat. Research Council of Canada, Trans

300. Intern. Rad. Prot. Assoe. "Overview on Nonionizing Radiation", U. S. Dept. HEW Publication, 4-29, April 1977.

301. Repacholi, M. H., "Proposed Exposure Limits for Microwave and Radiofrequency Radiations in Canada", J. Microwave Power 13(2), 199-211, 1978.

302. Webb, M. D. et al. "Assessment of the EM Field Coupling of 915 MHz Oven Leakage to Human Subjects by Thermographic Studies on Phantom Models", J. Microwave Power 11, 162-164, 1976.

303. Michaelson, S. M. and Suess, M. J., "An International Program for Microwave Exposure Protection", IEEE Trans. Microwave Theory and Techn. MTT-22, 1301-1302, 1974

304. Marha, K., "Microwave Radiation Safety Standards in Eastern Europe", IEEE Trans. Microwave Theory and Techn. MIT-19, 165-168, 1971

305. ANSI C 95.1-1974. "Safety Level of Electromagnetic Radiation with Respect to Personnel".

306. "Threshold Limit Values of Physical Factors with Intended Changes Adopted by ACGIH for 1971". Am. Conf. of Government Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio, 197 1.

307. CSA Standard 265-1966. "Radiation Hazards from Electronic Equipment". September 1966.

308. "Swedish Nonionizing Radiation Standards". Worker Protection Authority, 1976.

309. Johnson, C. C. et al. Radio-Frequency Dosimetry Handbook Second Edition, University of Utab, Salt Lake City, Utah, 1978.

310. Stuchly, M. A., Repacholi, M. H. and Lecuyer, D., "The Impact of Regulations on Microwave Ovens in Canada", Health Physics, 1978.

311. Hagmann, M. J., Gandhi, 0. P. and Durney, C. H., "Numerical Calculations of Electromagnetic Energy Deposition for a Realistic Model of Man". Presented at Intern. Symp. on Biological Effects of Electromagnetic Waves, Airlie, Virginia, Novemher 1977.

312. Tell, R. A., "An Analysis of Radio-Frequency and Microwave Absorption Data with Consideration of Thermal Safety Standards". EPA Techn. Note, ORP/EAD 73-2, April 1978.

313. "Installation and Safety Procedures fir Radio-Frequency and Microwave Devices in the Frequency Range 10 MHz - 300 GHz". Environmental Health Series - Safety Code, Health and Welfare Canada, 1978.

314. Portela, A.; Guardado, M. I.; de Xammar Oro, J. R.; Brennan, M.; Trainotti, Y.; Stewart, P. A.; Pérez, R. J.; Rodríguez, C.; Guerrero, A. and Rozzell, T. C., "Quantitation of Chronic Microwave Radiation Effects on Muscle Cell Osmotic State and its Membrane Perm selectivity" ONS, U.S., Sci. Report NOOO]4- 76-C-0704, April 15, 1976 (OOOIAA, ACR: AA) Presented at Intern. Symp. on the "Biological Effects of Electromagnetic Waves" Airlie, Virginia, October 30, November 4, 1977.

315. Portela, A.; Guardado, M. I.; Jenerick, H.; Stewart, P. A.; Pérez, R. J.; Rodríguez, C.; de Xamrnar Oro, J. R.; Zothner, E.-, Rozzeli, T. C. and Ginieno, A., "Quantitation of Chronic Microwave Effects on Muscle Cell Bioelectrical Responses: Arrhenius Temperature Dependence Analysis":
Part I: "Temperature Dependence on the Passive and Dynamic Electrical Parameters of Muscle Cells."
Part II: "Quantitation of Chronic Microwave Effects on Muscle Cell Electrical Excitable Properties: A Temperature Dependence Analysis of the H-H Cable and Membrane Current Parameters of Irradiated Cell". ONR U. S. Navy Progress Report Nº 2 0001 AA, ACA: AA (June 1978). Presented at URSI (Inter- national Union of Radio Sciences); Open Symposium on the "Biological Effects of Electromagnetic Waves", Helsinki, August 1-8, 1978. Acta Physiol. Latinoam. 28, October, 1978@

316. Portela, A. y Skvarca, J. J., Manual para estándares de seguridad: Límites de exposición ocupacional y población en general a campos electromagnéticos (EM) de radio frecuencia, comprendidas entre 100 KHz y 300 GHz. Dirección Nacional de Calidad Ambiental, Secretaría de Salud, Ministerio de Salud y Acción Social, Centro de Estudios Comparados (CEC), Fuerza Aérea Argentina, Septiembre, 1987.

317. Portela, A. y Skvarca, J. J., Manual provisorio de seguridad. Para la exposición ocupacional de personal de estaciones de radar y telecomunicaciones. Dirección Nacional de Calidad Ambiental, Secretaría de Salud, Ministerio de Salud y Acción Social, Centro de Estudios Comparados (CEC), Fuerza Aérea Argentina, Septiembre, 1987.

318. Portela, A. y Skvarca, J. J., Filosofía del establecimiento de estándares de emisión y estándares de exposición; protección para frecuencias. Dirección Nacional de Calidad Ambiental, Secretaría de Salud, Ministerio de Salud y Acción Social, Centro de Estudios Comparados (CEC), Fuerza Aérea Argentina, Septiembre, 1987.

319. Environmental Health Criteria 35 (Manual): Extremely Low Frequency (ELF) Fields. WHO/IRP Task Group of ELF Fields. Co -Author Adolfo Portela. WHO, Geneva 1984.

320. Portela, A. et al., Interacciones, efectos biológicos y dosimetría, Avances para el establecimiento de estándares de seguridad de RF- Microondas para el ser humano, 1-40. Presentado por el Servicio Naval de Investigación y Desarrollo (SENID), Armada Argentina; J-III Operaciones EMGE; Office of Naval Re- search (ONR), US Navy Department; e Instituto de Investigaciones Biofísicas (INDEBIO), CONICET; al Primer Congreso Mundial de Ingeniería y Medio Ambiente, Nov. 198 1. El estudio fue encomendado por el Ministerio de Salud y Acción Social.

321. Prospección electromagnética. Sistemas de monitores para la determinación de niveles, en la exposición ambiental a RF- Microondas: Portela, A., et al.; Primer Congreso Mundial de Ingeniería y Medio Ambiente, Nov. 1981, 1-42 (estudio encomendado por el Ministerio de Salud y Acción Social).

322. Prospección electromagnética Pacheco, González, S.; Campastro, 0. y Portela, A., et al. Informe Tecnológico Ministerio de Salud y Acción Social presentado por INDEBIO, CONICET, 1982.

323. Portela, A., Prospección electromagnética estación terrena Balcarce, Informe tecnológico, de INDEBIO, CONICET a ENTEL - ENCOTEL. Secretaría de Comunicaciones, Ministerio de Obras y Servicios Plúblicos, año 198 1.

324. Criterios de salud ambiental 16: Radiofrecuencias y microondas. Publicado por Organización Panamericana de la Salud; Organización Mundial de la Salud, Publicación Científica N' 468, WASH DC. 1-120.

325. NCRP Report N' 6; Biological Effects and Exposure Criteria for Radiofrequency Electromagnetic Fields. Issued, April 2, 1986. National Council on Radiation Protection and Measurements. Bethesda, MD 20814, USA.

326. Grandolfo, M., Michaelson, S. M. (eds). Biological Effects and Dosimetry of Nonionizing Radiation: Static and ELF EM Fields, New York, Plenuro Press, 1985.

327. Frieden, E. and Lipner, H., Biochemical Endocrinology of Vertebrates -Foundations of Modern Biochemistry Series, Prentice-14ali, 1978.

328. Control of Energy Exchange. Carson, L. D. and Hsieh, A. C.; McMillan, London, 1980. 329. Stuchly, M. et al. Health Aspects of RF and Microwave Radiation Exposure. Pws 1 and 11 (1977), 77- EHD- 13 -, published by Authority of the Minister of National Health and Welfare of Canada

**Texto digitalizado y revisado de acuerdo al original, por el personal del Centro de Información Técnica de la Comisión Nacional de Comunicaciones.**