

**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 química 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, 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

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 de radiación
- Figura 6
Datos calculados y medidos para el radar Collins WP-103
 - a) 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 provisionales dadas en el MS-AS 1984 (1990), 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/cm² para la jornada laboral de 8 horas/día que puede ser aumentado a 1 mW/cm² 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/cm² (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/cm² (25.000 microvatios/cm²)

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/cm², 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/cm² 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 *Health 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 ambiente de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencias, en la región de frecuencias comprendidas entre 10^5 Hz (0,1MHz) y $3 \times 10^{11} \text{ Hz}$ ($3 \times 10^{15} \text{ MHz}$).

En términos de longitudes de onda, se extiende desde $3,1 \times 10^4$ 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:

$$\begin{aligned} S &= P_D = E^2/377 && \text{(en W/m}^2\text{)} \\ S &= P_D = H^2 \times 377 \\ S &= P_D = E \times H \end{aligned}$$

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 de 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 N° 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/cm²),

tomando medidas precautorias recomendadas para evitar quemaduras de RF, aconsejándose evitar valores que se aproximen a los 615 V/m (100 mW/cm²)

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 SAR_{prom} 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 SAR_{prom}. CE de 0,04 W/kg. a 0,08 W/kg. (valor promediado sobre cualquier período de 30 minutos -0,5 hora-) o un SAR_{loc}. 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 SAR_{prom}. 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 (SAR_{prom}. 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, VIII, b y c.

5. RESUMEN

Los límites de exposición ocupacional (A) y poblacional (B, C y D) expresados en densidad de potencia equivalente (mW/cm²) 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 $0,4 \text{ W}/\text{kg}$ aparece como una línea sólida (A), que representa el criterio de exposición ocupacional, y en la línea (B), correspondiente al valor $0,08 \text{ W}/\text{kg}$ (SARprom. CE), el criterio de exposición poblacional.

El nivel máximo poblacional quedó así establecido como una función de la frecuencia en el ámbito de $0,3 \text{ MHz}$ hasta 30 MHz , fijando los límites entre $20 \text{ mW}/\text{cm}^2$ (menor 3 MHz) y $0,2 \text{ mW}/\text{cm}^2$ (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 $0,3 - 30 \text{ MHz}$ 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 $0,1 \text{ MHz}$ 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 $0,1 \text{ MHz}$ a 10 MHz , aplicando la ecuación $20/f^2$. Se asegurará un límite máximo de $20 \text{ mW}/\text{cm}^2$ para la región de frecuencias menor a 1 MHz y decreciente en función de la frecuencia hasta $0,2 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 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 $2 \text{ mW}/\text{cm}^2$ en la frecuencia de 1 MHz decreciente en función de la frecuencia hasta $0,2 \text{ mW}/\text{cm}^2$ (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 y 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:

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

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 f_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) de cada fuente emisora de radiación EM de RF, con la condición de que:

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

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 ($0,4 \text{ W}/\text{kg}$ SAR_{prom} CE para la exposición ocupacional; $0,04\text{-}0,08 \text{ W}/\text{kg}$ 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 monitoreo 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 los 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/cm².

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 N° 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/cm², 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/cm² 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/cm².

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/cm²) de exposición está dada por la relación:

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

(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/cm².

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:

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

(f en MHz)

5. A frecuencias entre 2.000 MHz y 300.000 MHz la densidad de potencia límite es de 5 mW/cm².

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 $0,4 \text{ W/kg}$ 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, $\text{SAR}_{\text{prom}} \text{ CE}$ de $0,4 \text{ W/kg}$ 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 ($\vec{E} \parallel L$).

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 ($\vec{E} \parallel L$) 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 ($\vec{E} \parallel L$); 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 absorbentes 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 0,1 MHz 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/cm². 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 1-3 MHz 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/cm²).

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 \approx 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 300 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 ($\cong 100 \text{ mW/cm}^2$) 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 heterogénea 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 $\vec{E} \parallel L$, 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 como surge de nuestro análisis, es la siguiente:

Régimen (rate) de absorción específica (SAR):

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

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 (ρ).

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 σ es la conductividad del tejido.

Esta última magnitud tiene dimensiones W/m^3 (si \vec{E} está expresado en V/m y σ 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 ρ del tejido (región o zona localizada; o promedio total del cuerpo), es decir $(ARD) = \rho (SAR)$; con ρ 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 $\pm 20\%$. 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.

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

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/cm² 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 λ 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 datos 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:

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

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/cm², 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/cm² a 8 mW/cm² 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/cm²) 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/cm² 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/cm² 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/cm²).

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/cm²).

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/cm² ($E = 614$ 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 ($E = 614 \text{ V/m}$; $H = 1,63 \text{ A/m}$) 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 ($< 3 \text{ MHz}$) 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 $0,5 \text{ mW/cm}^2$ (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 como 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,

previando 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 mA.

Los umbrales de percepción crecen sustancialmente con 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 como 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 como 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 maniqués 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 W/kg, 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/cm² 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/cm².

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 N°86 - 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/cm² 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:

$$E_x = E_0 \cdot e^{-x/D}$$

donde E_x es la intensidad del campo en la posición "X" dentro del tejido o medio interno; E_0 , la intensidad del campo en la superficie límite ($X=0$); D, la profundidad de penetración ($E_x = E_0 \cdot e^{-1}$).

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:

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

Donde E (en V/m) es la intensidad efectiva (RMS) del campo dentro del material; σ (S/m) es la conductividad del material y ρ 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/cm². 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 maniqués) 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 ΔT (°C) para el tiempo de exposición Δt (en segundos) se puede calcular el valor del SAR:

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

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

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:

$$dT/dt = Q/c \quad (\text{en } ^\circ\text{C/s}),$$

donde $Q = \text{SAR} + W_m - W_L$.

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

W_L , 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 microgrados 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 interactúan 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 10 mW/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
<i>Australia</i> Laboratorio australiano de radiaciones (Cornelius y Viglione, 1979)	Borrador de propuesta acerca de exposición ocupacional y pública	10-30 MHz 30-130 MHz 130-600 MHz 0,6-3 GHz 3-300 GHz	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 L= 5,4-0,365 f+0,0064 f ² L=0,2 L=0,2+0,00128 (f-130) L=0,8+0,00029(f-600) L=k.5	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
<i>Bulgaria</i> Bulgarian National Standard (1979)	Normas legales nacionales con fuerza de ley; exposición ocupacional	60 kHz-3MHz 3 MHz-30 MHz 30 MHz-50 MHz 50 MHz-300 MHz 60 kHz-1,5MHz 30 MHz-50 MHz 300 MHz-300 GHz 300 MHz-300 GHz 300 MHz-300 GHz 300 MHz-300 GHz 300 MHz-300 GHz	Intensidad de campo eléctrico, V/m; 50 V/m 20 V/m 10 V/m 5 V/m Intensidad de campo magnético, A/m 5 A/m 0,3 A/m Densidad de potencia, W/m ² Hasta 0,1 0,1-1 W/m ² 1,0-10,0 W/m ² Hasta 1,0 W/m ² 1,0-10,0 W/m ²	Día de trabajo Día de trabajo Día de trabajo Día de trabajo Día de trabajo Día de trabajo Día de trabajo No más de 2 h No más de 20 min. Día de trabajo No más de 2 h	ambas ambas ambas ambas ambas ambas	Fija Fija Fija Giratoria Giratoria	Hasta 0,1 durante el resto del día de trabajo: se exige el uso de antiparras protectoras Si la temperatura ambiental supera los 28 °C o se produce simultáneamente exposición a rayos X, no se permiten exposiciones a más de 1,0 W/m ²
<i>Canadá</i> Canadian Standards Association (1966) National Health and Welfare (1979)	Voluntaria; exposición ocupacional Reglamento nacional de higiene y seguridad ocupacional, con fuerza de ley. Exposición ocupacional.	10 MHz -100 GHz 10 MHz -1 GHz 1 GHz-300 GHz	10 mW/cm ² 1 mW/cm ² Densidad de potencia: 1 mW/cm ² ; intensidad eficaz de campo eléctrico: 60 V/m; intensidad eficaz de campo magnético: 0,16 A/m Densidad de potencia: 5 mW/cm ² ; intensidad eficaz de campo eléctrico: 140 V/m; intensidad eficaz de campo magnético: 0,36 A/m	Sin límite 0,1 Sin límite, promediada en 1 h Promediada en 1 h	oc Pulsadas ambas ambas	ambas ambas ambas	Ya no se aplica porque la norma nacional de 1979 es más conservadora

Pais, 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.			
<i>Checoslovaquia</i> 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: $L \times t(h) = 400$, 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. Como en el caso anterior	-	-	Las personas sometidas a exposición ocupacional están bajo vigilancia médica obligatoria (exámenes periódicos según específica 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	$L \times t(h) = 80$, es decir, 10 V/m para 8 h.				
		30MHz-300 GHz	Límite de exposición (L) en $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ para 8 h.	Como en el caso anterior	oc	ambas	
		300 MHz-300 GHz	$L \times t(h) = 80$, es decir 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 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 $L \times t(h) = 120$, 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 $L \times t(h) = 24$, es decir, 1 V/m para 24 h.	Como en el caso anterior	-	-	
		300 MHz-300 GHz	Límite de exposición (L) en $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, calculado según la fórmula $L \times t(h) = 60$, es decir, 2,5 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ para 24h.	Como en el caso anterior	oc	ambas	
		300 MHz-300 GHz	$L \times t(h) = 24$, es decir, 1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ para 24 h	Como en el caso anterior	Pulsadas	ambas	
<i>EUA</i> American National Standards Institute (1966)	Norma para exposición ocupacional, acatamiento voluntario (recomendación)	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 (recomendación)	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, N° 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 N° 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	Pulsadas	ambas	
	Propuesta de norma de acatamiento voluntario (recomendación)	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 periodo 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 periodo 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 periodo de 0,1 h	ambas	ambas	
		0,3 - 1,5 GHz	$\frac{f}{300}$ mW/cm ² $\frac{4000 \times f}{300} \cdot v^2 / m^2 - E^2$ $\frac{0,025 \times f}{300} \cdot A^2 / m^2 - H^2$	Promediado en cualquier periodo 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 periodo de 0,1 h	ambas	ambas	
American Conference of Governmental Industrial Hygienists (1979)	Recomendación	10 MHz-100 GHz	Lo mismo que en American National Standards Institute (1974)	Sin límite	ambas	ambas	Se agregó las recomendaciones del Instituto (1974) una concentración de tope de 25 mW/cm ² <i>Nota:</i> 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/pulsadas	Antena fija/giratoria	Observaciones
Polonia 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. Si bien es una norma para la exposición ocupacional, estableció una zona "segura" en la que no hay restricciones en cuanto a habitabilidad. 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 implícitamente un límite de exposición para la población en general. 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. Véanse la figura 16 y la sección 9.3. Las duraciones 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) 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 (concentración 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	
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.
			Intensidad eficaz de campo eléctrico: 20 V/m-70 V/m (zona intermedia)	Día de Trabajo	ambas	-	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. E= intensidad eficaz de campo eléctrico
			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 (concentración 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)	$\frac{3 \cdot 200}{E^2}$	ambas	Giratoria	
			Intensidad eficaz de campo eléctrico: más de 300 V/m (zona peligrosa)	Está prohibida la ocupación por el hombre (concentración tope)	ambas	Giratoria	
República Democrática Alemana National Committee for Standardization	Normas nacionales de higiene ocupacional con fuerza de ley	60 KHz - 3 MHz 3 MHz - 30 MHz	Intensidad de campo eléctrico: 50 V/m Intensidad de campo eléctrico: 20 V/m	Día de trabajo Día de Trabajo	-- --	-- --	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
Measurements and Products Control (1975)		30 kHz - 50MHz	Intensidad de campo eléctrico: 10 V/m	Día de Trabajo	--	--	
		50MHz-300 MHz	Intensidad de campo eléctrico: 5 V/m	Día de Trabajo	--	--	
		300MHz-300 GHz	Densidad de potencia: 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	Hasta 8 h	ambas	Fija	
		300 MHz-300 GHz	Densidad de potencia: 100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	Hasta 2 h	ambas	Fija	
		300MHz-300 GHz	Densidad de potencia: 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	Hasta 20 min	ambas	Fija	
		300MHz-300 GHz	Densidad de potencia: 100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	Hasta 8 h	ambas	Giratoria	
		300MHz-300 GHz	Densidad de potencia: 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	Hasta 2 h	ambas	Giratoria	

<i>Suecia</i>							
Workers Protection Authority (1976)	Reglamento nacional de seguridad ocupacional	10-300 MHz 0,3 - 300 GHz 0,3 - 300 GHz	5 mW/cm ² 1 mW/cm ² 1-25 mW/cm ²	8 h 8 h $\frac{60}{P}$	ambas ambas ambas	Giratoria Giratoria Giratoria	$P=$ Densidad de en mW/cm ²
		10 MHz-300 GHz	25 mW/cm ²	Promediados	ambas	Giratoria	Concentración tope
<i>URSS</i>							
Comité Nacional de Normas del Consejo de Ministros de la URSS	Norma nacional para exposiciones ocupacionales, 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				
(URSS Standard for Occupational Exposure, 1976)		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	$[4.000(f/300)]^{1/2}$	$3 \cdot f^{1/2}$	$3 \cdot f^{1/2}$	$f/300$	$f/400$	$f/400$
$15 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^5$	$(20.000)^{1/2}$	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	$[400.000(900/f^2)]^{1/2}$	$87 \cdot f^{1/2}$	$87 \cdot f^{1/2}$	$(900/f^2)/5$	$2/f$	$2/f$
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	$[400.000(f/300)]^{1/2}$	$1375 \cdot f^{1/2}$	$1375 \cdot f^2$	$(f/300)/5 = f/1.500$	$f/2000$	$f/2000$
$15 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^5$	$(20.000)^{1/2}$	61,35	61,35	1	1	1

TABLA IV

Standard	Type	Frequency	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 mW/hr/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	X-power density in mW/cm ²
			10-100 mW/cm ²	6000/X ² (min)	both	both	
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. Standards Assoc. 1966	Occupational	10 MHz-100 GHz	10 mW/cm ²	No limit	CW	both	
			1 mW/hr/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	X-power density in mW/cm ²
		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	
		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
			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	
			10 μW/cm ²	Working day	both	Stationary	
			100 μW/cm ²	Working day	both	Rotating	
			100 μW/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 μ 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 μ W/cm ²	Working day	CW	both	
			10 μ W/cm ²	Working day	Pulsed	both	
	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 μ W/cm ²	24 hours	CW	both	
		30-300 MHz	1 μ 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	P-power density in W/m ²
			0.2-10 W/cm ²	32/P ² (hours)	both	stationary	
			1 mW/cm ²	10 hours	both	Rotating	
			1-10 mW/cm ²	800/P ² (hours)	both	Rotating	
	General Public	0.3-300 GHz	10 μ W/cm ²	24 hours	both	Stationary	
Poland Government 1975 proposed	Occupational	10-300 MHz	20 V/m	Working day	both	both	E-electric field intensity in V/m
			20-300 V/m	3200/E ² (hours)	both	both	
	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

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

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/cm²) 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 "Squirrel"	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 °C (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	
<i>Absorción por cuerpo entero</i> (anteriormente: <i>dosis integral</i>). La energía electromagnética (EM) total absorbida por el sujeto irradiado.	joule	J	Milijoule (mJ) (1 mJ=10 ⁻³ J) caloría (1 cal = 4,187J)
<i>Régimen de absorción por cuerpo entero</i> (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
<i>Absorción específica</i> (anteriormente <i>dosis</i>). La energía EM por unidad de masa absorbida por el sujeto irradiada.	joule por kilogramo	J/kg	mJ/g cal/g
<i>Régimen de Absorción específica</i> (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
<i>Densidad de absorción</i> (también <i>densidad de energía absorbida y densidad de energía disipada</i>) 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	0,4	7	
	Mujer	0,3	5	
Umbral de percepción	Hombre	1,1	12	0,12 mJ C = 1.000 pF V = 350 V
	Mujer	0,7	8	
Shock no doloroso	Hombre	1,8	17	0,5 - 1,5 mJ C = 1.000 pF V = 0,7 - 1,2 kV
	Mujer	1,2	11	
Shock doloroso (control muscular)	Hombre	9	55	
	Mujer	6	37	
	Niños	5	27	
Shock doloroso (umbral de descontrol)	Hombre	16	75	
	Mujer	10,5	50	
Shock severo	Hombre	23	94	
	Mujer	15	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

NORMAS DE SEGURIDAD PARA RIESGO POR RADIACION
CON MICROONDAS EXISTENTES AL AÑO 1978

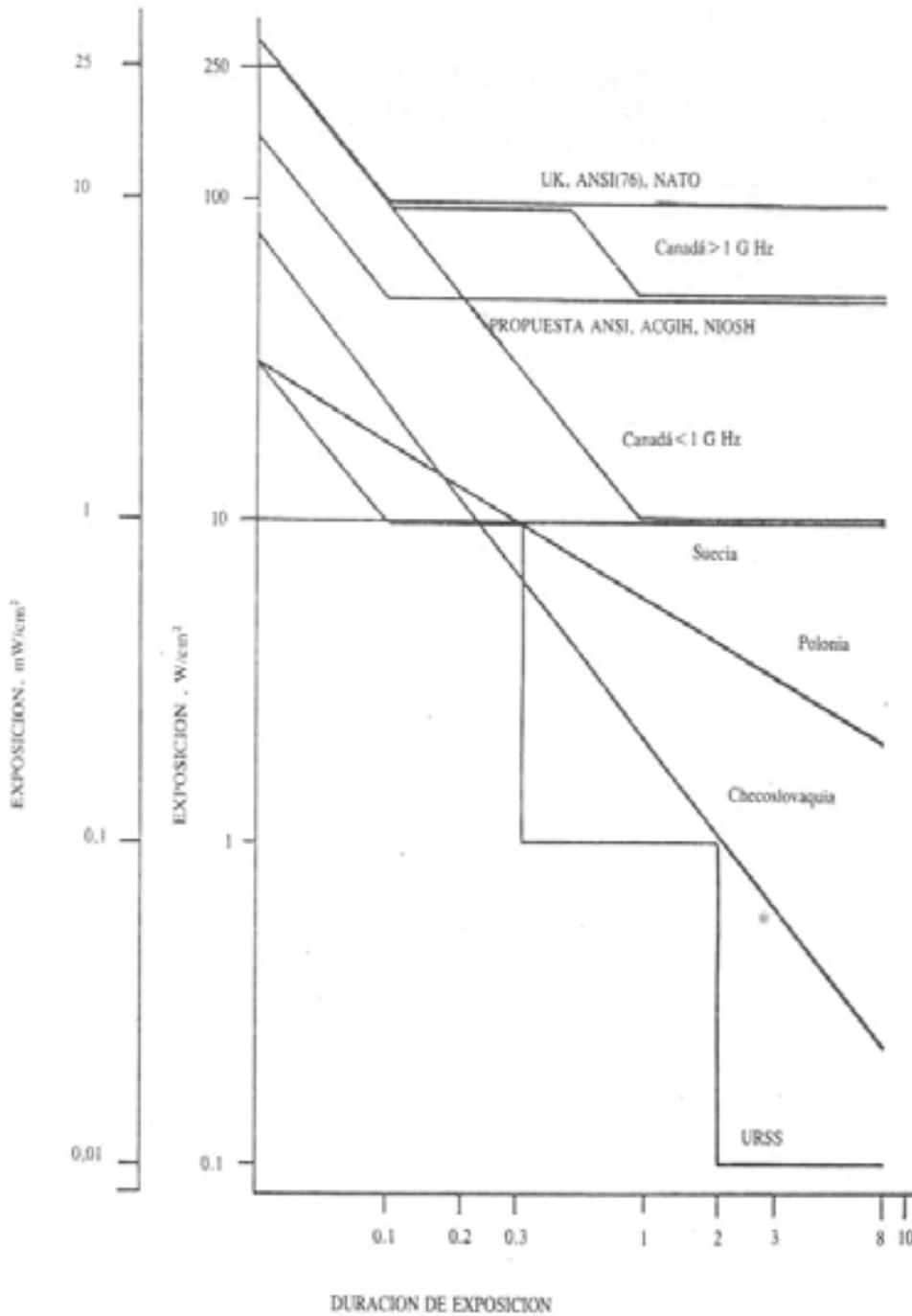


FIGURA 1

Comparación de normas para radiación no ionizante sobre cuerpo entero (De Microwave 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)

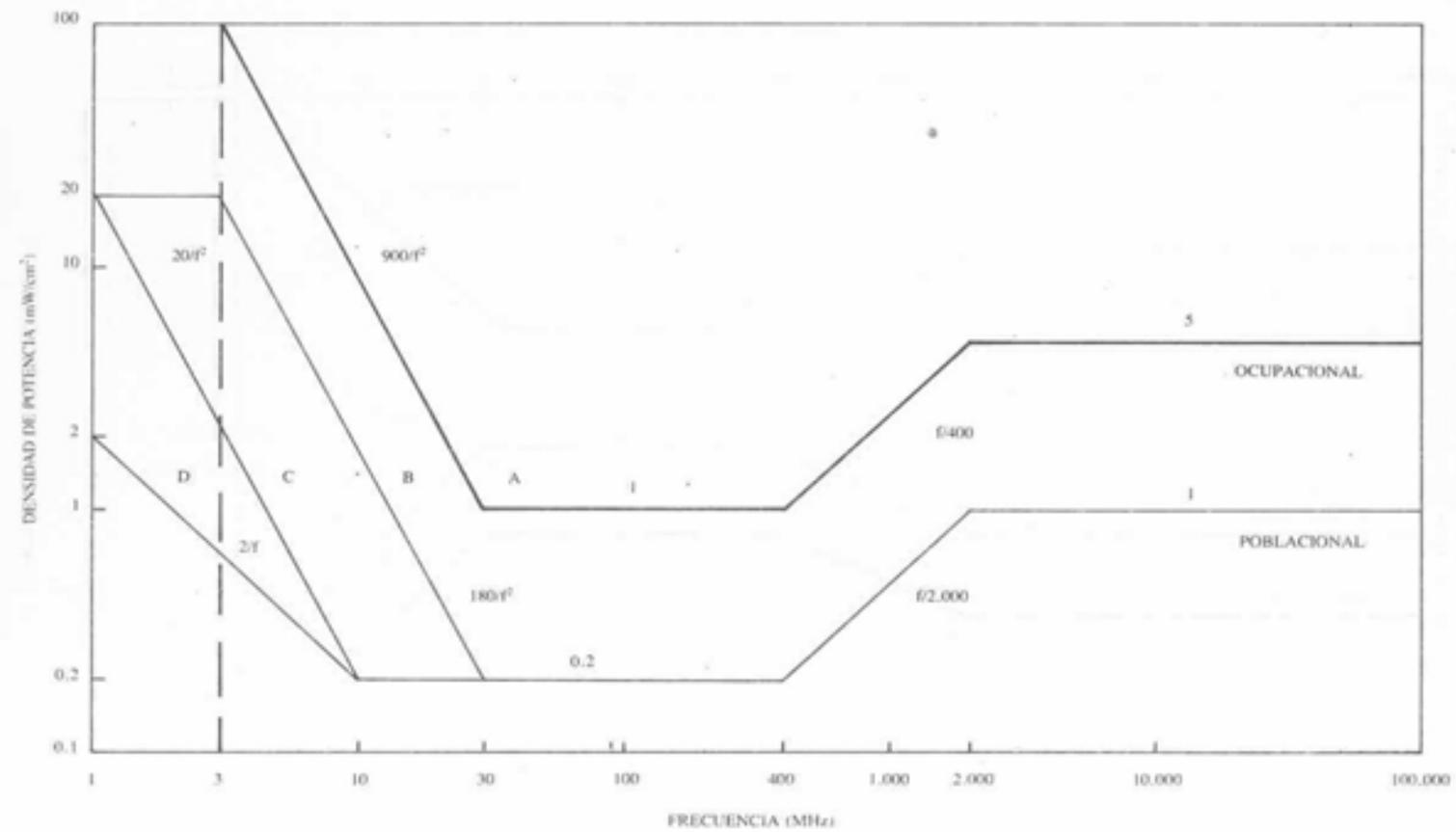


FIGURA 2

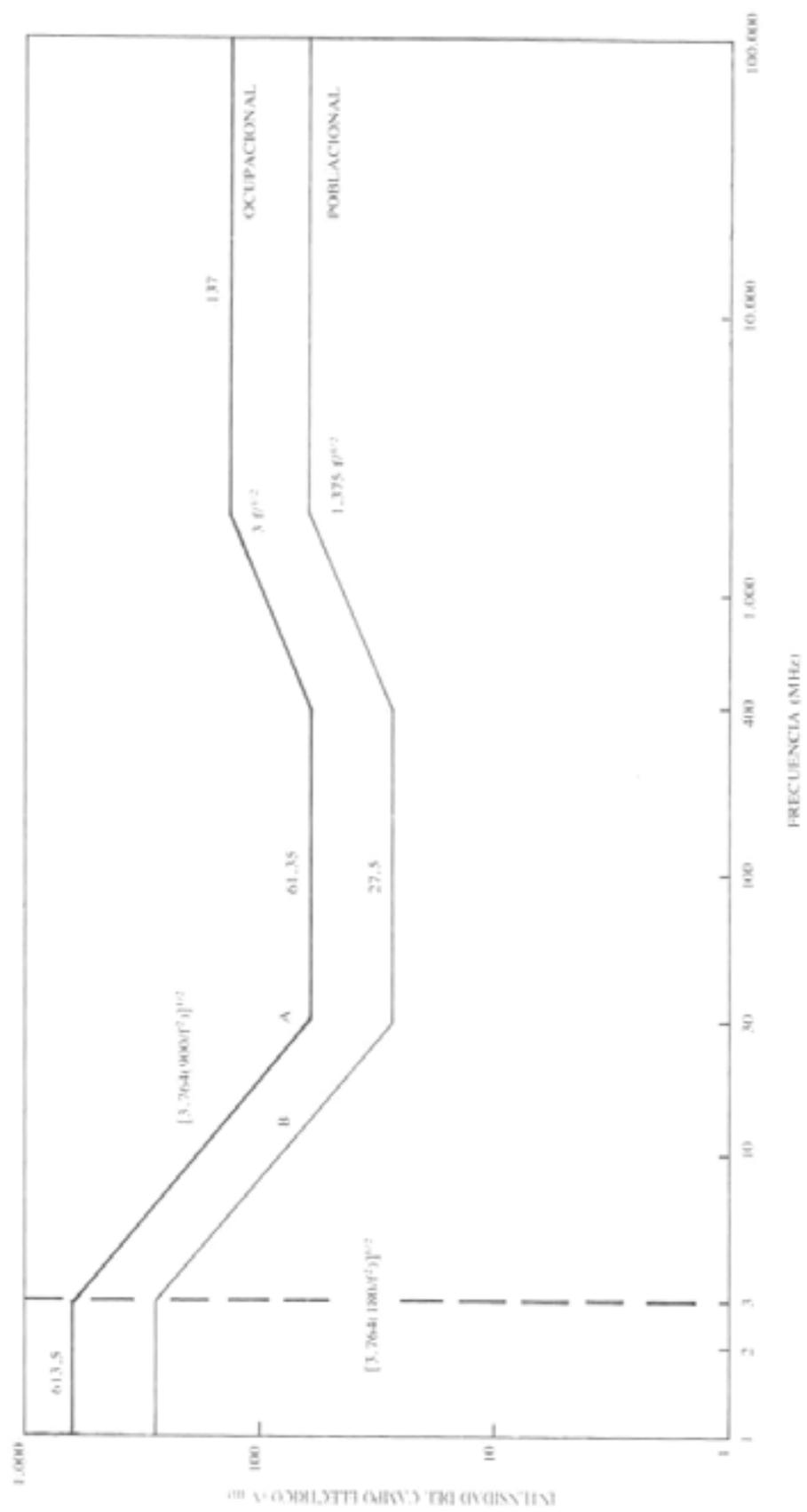
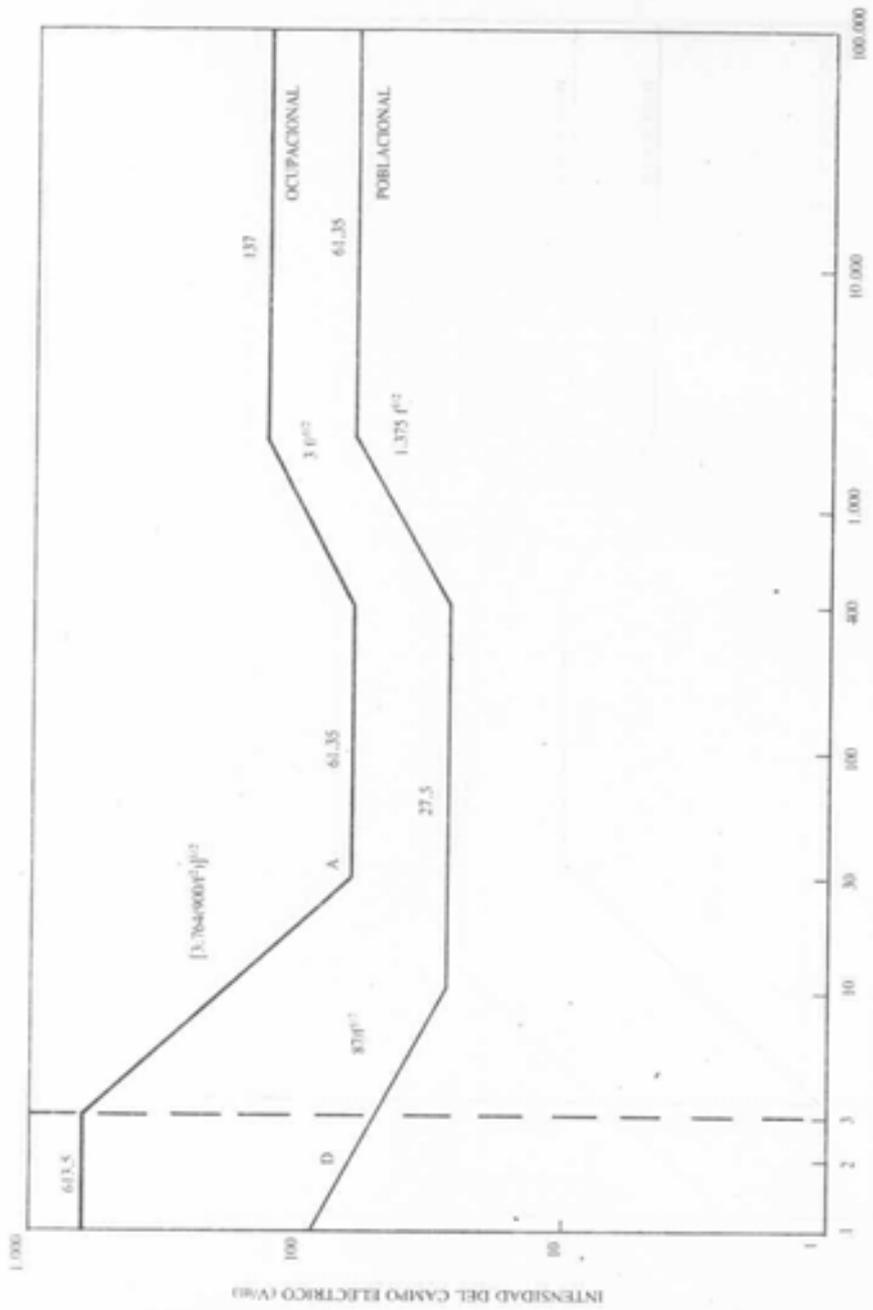
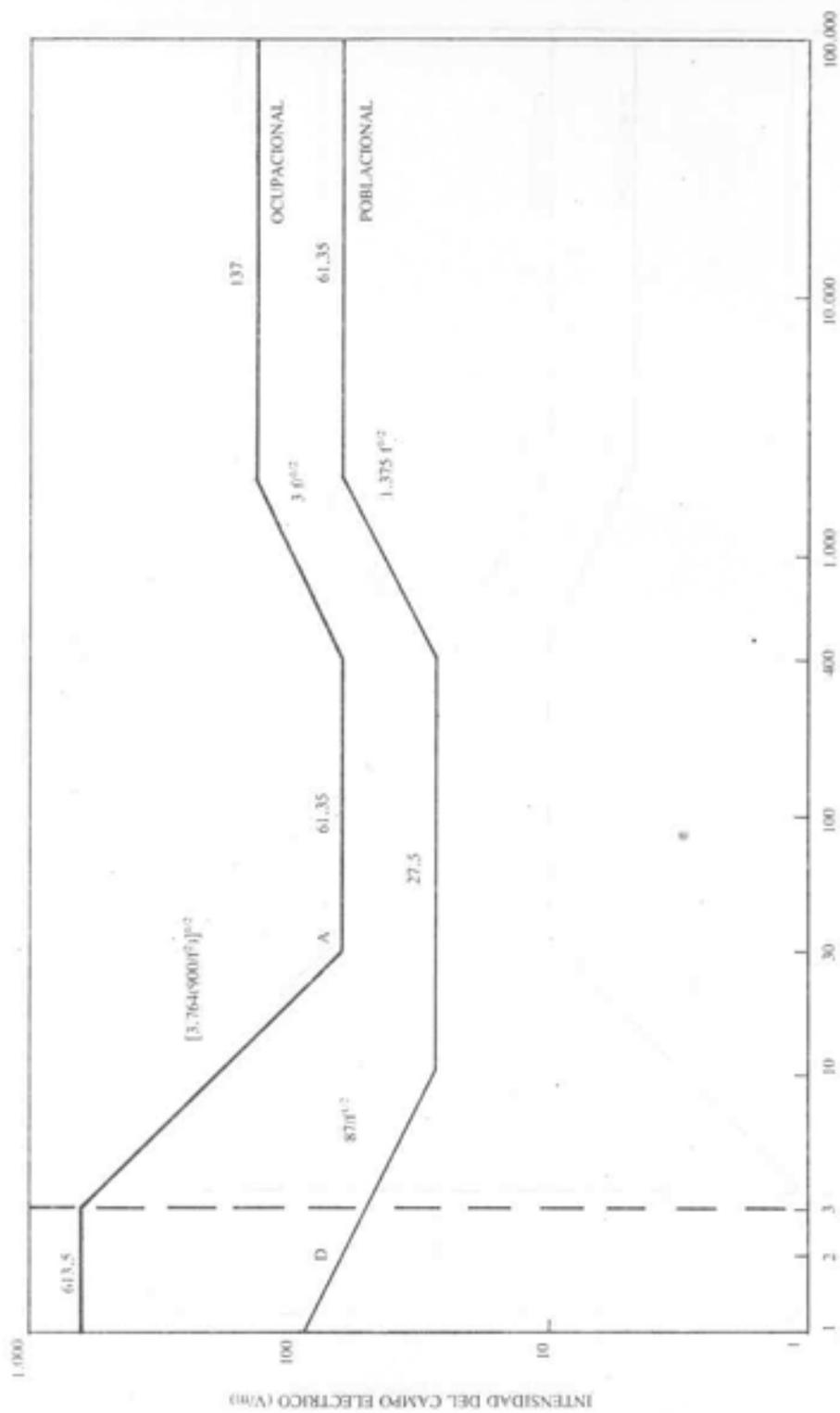


FIGURA 3



FRECUENCIA (MHz)
 FIGURA 3 (Cont.)



FRECUENCIA (MHz)
 FIGURA 3 (Cont.)

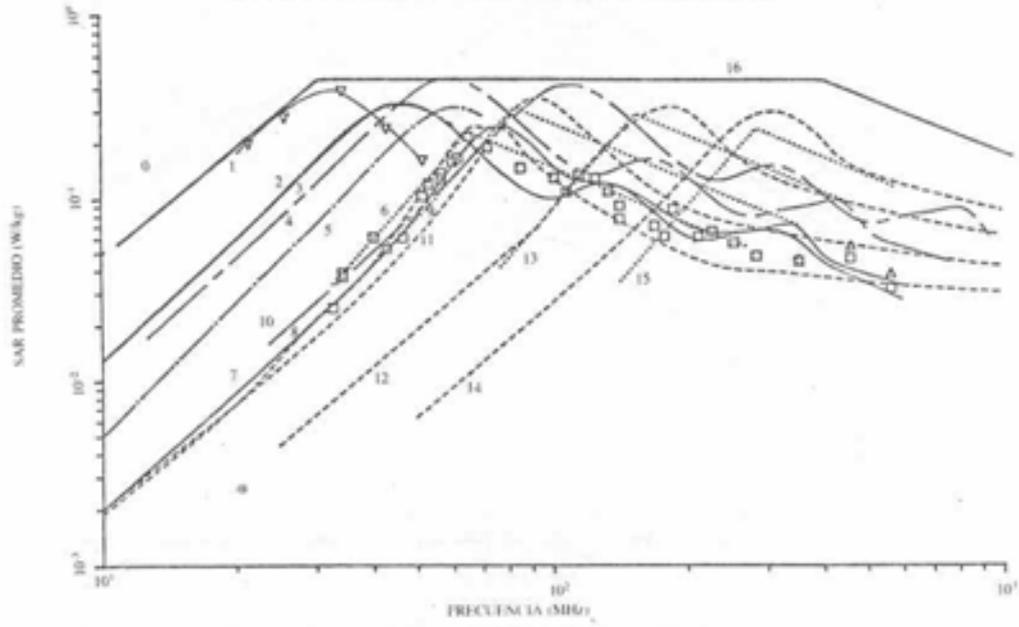


FIGURA 4

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

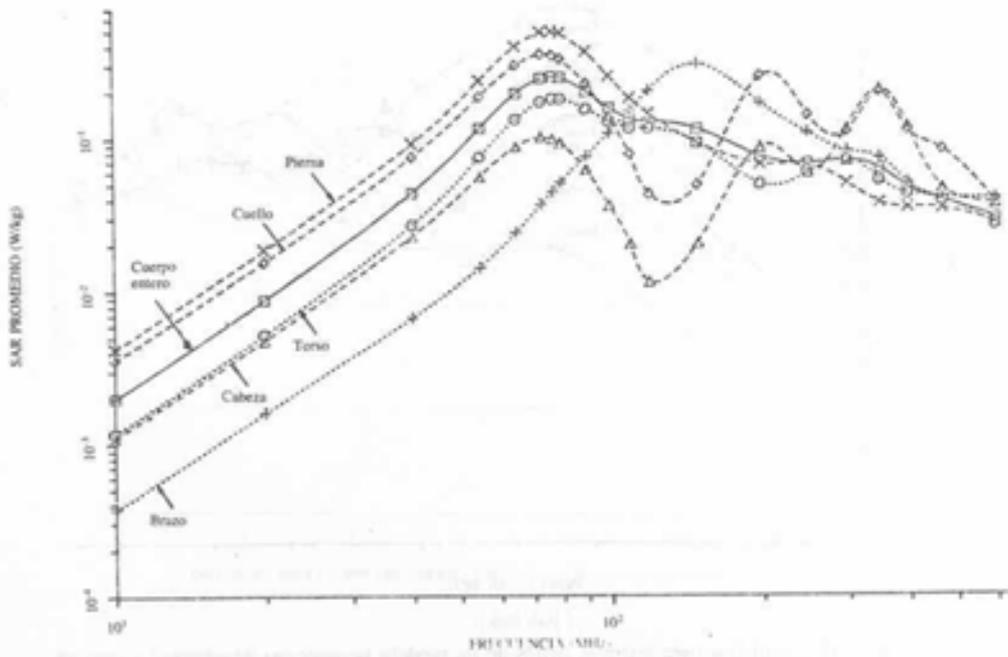


FIGURA 5

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

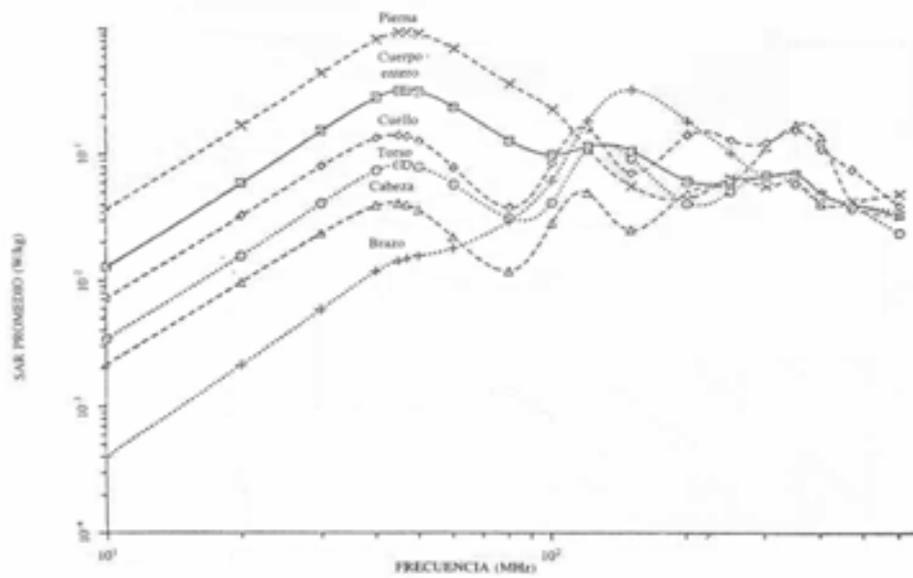


FIGURA 6

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

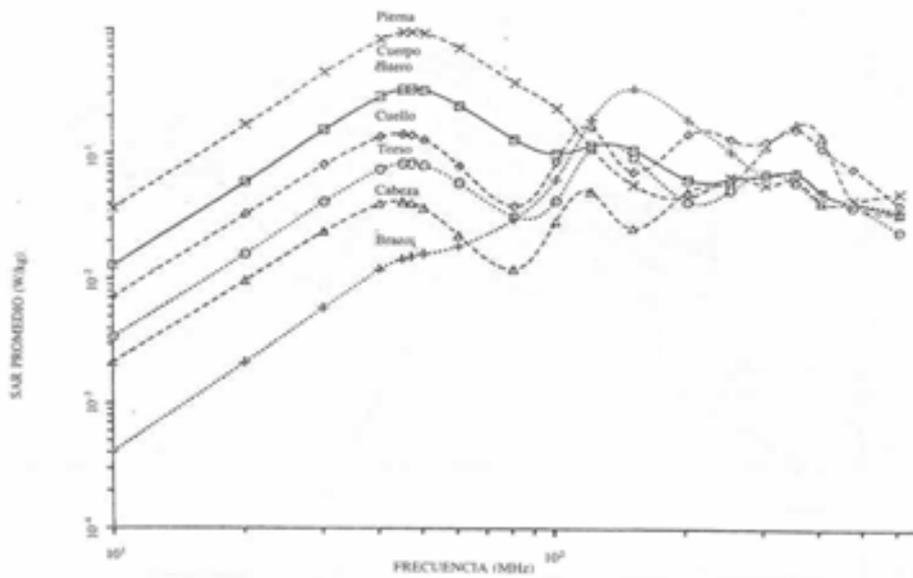


FIGURA 7

Valores de SAR calculados para distintas partes de un modelo homogéneo de cuerpo humano en contacto a tierra (masa), de conductividad infinita, EIL, α dirigida del frente a la cara posterior; densidad de potencia incidente = 1 mW/cm².

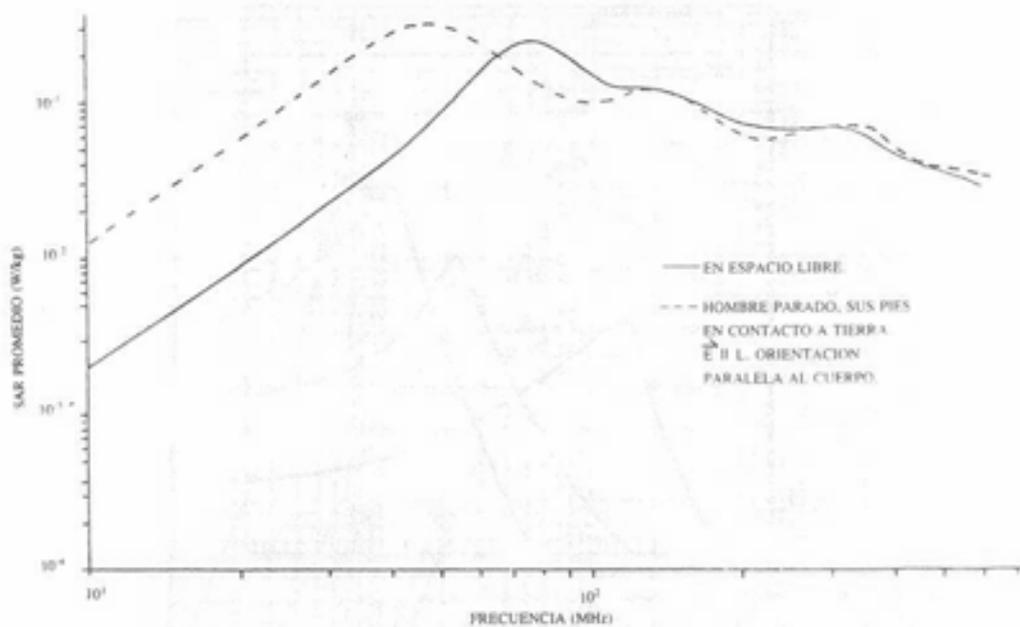


FIGURA 8

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 .

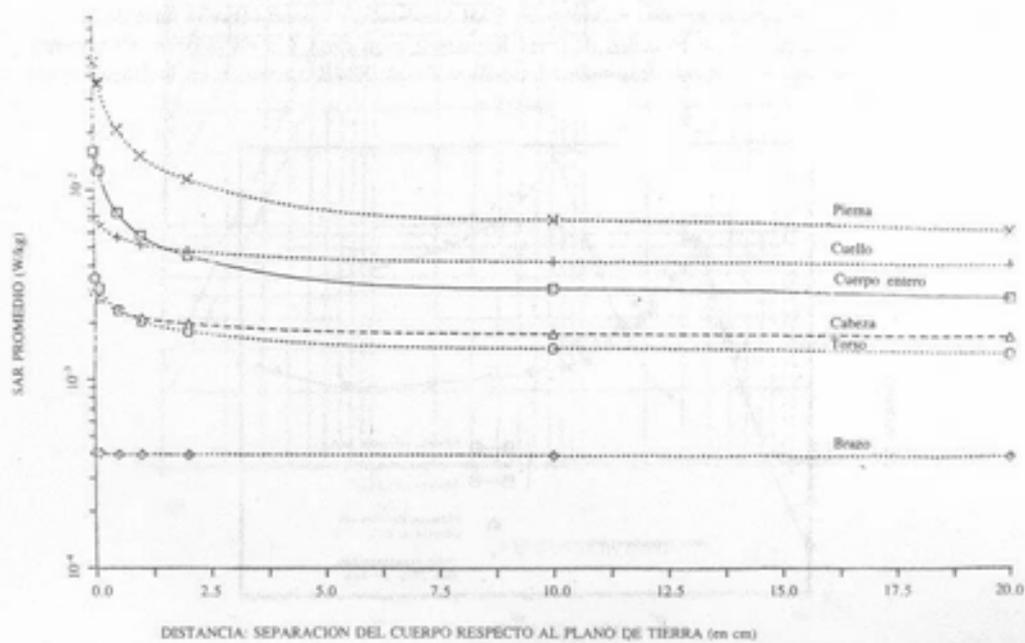


FIGURA 9

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

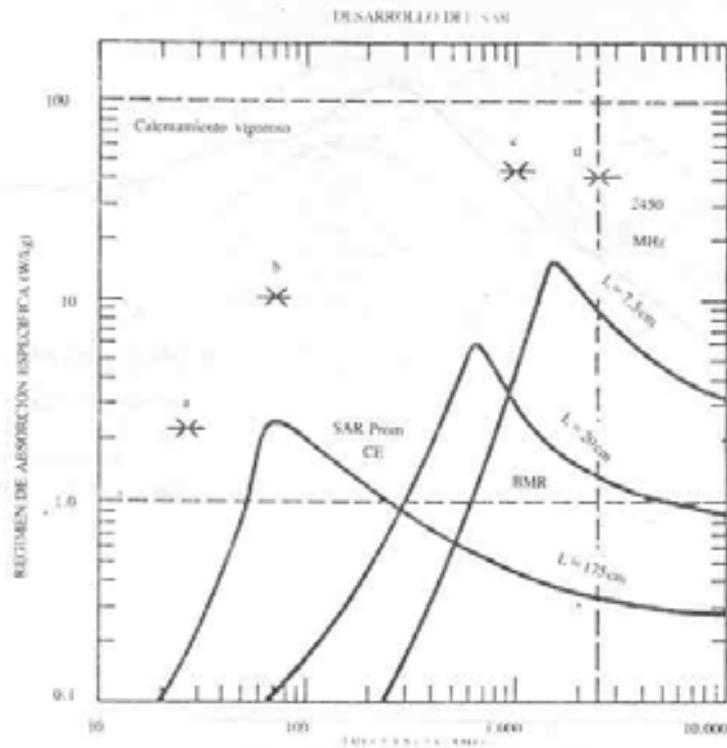


FIGURA 10

El SAR promedio medido en esferoides prolatos de diversas longitudes (L) para exposiciones a densidad de potencia 10 mW/cm² 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.

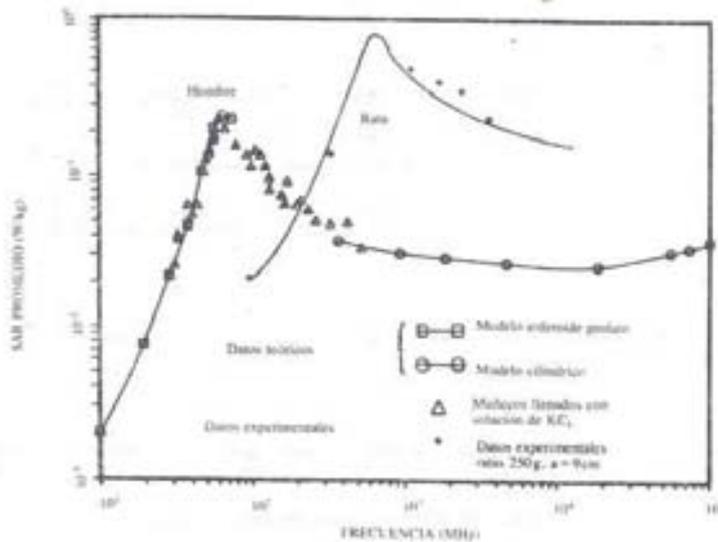


FIGURA 11

Valores vinculados y medidos de SAR promedio para modelos de hombre y rata; plano de polarización E, densidad de potencia incidente, 1 mW/cm².

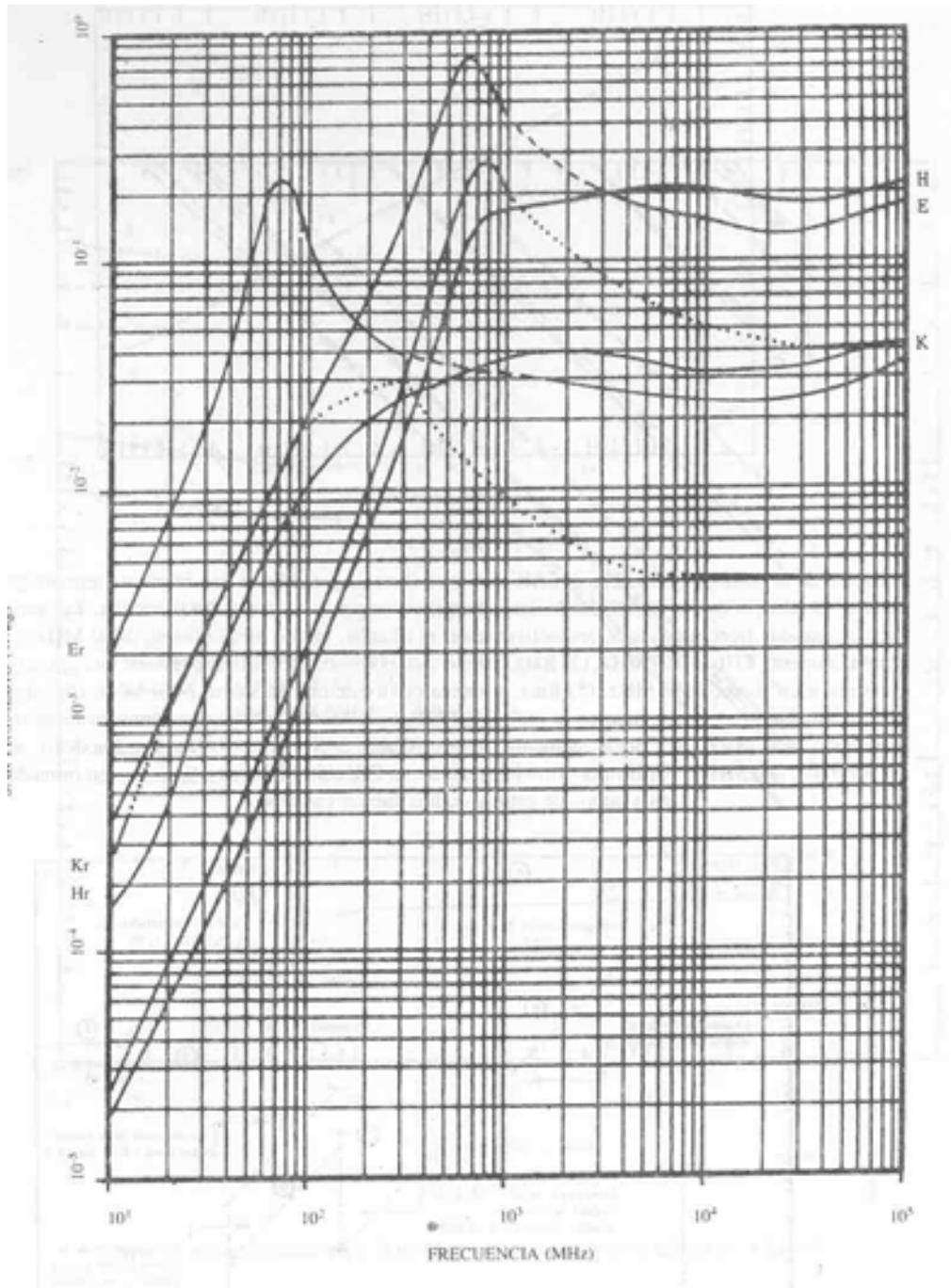


FIGURA 12

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: $a=0,875 \text{ m}$; $b=0,138 \text{ m}$; $V=7 \times 10^{-2} \text{ m}^3$. Rata: $a=0,1 \text{ m}$; $b=0,0276 \text{ m}$; $V=3,2 \times 10^{-4} \text{ m}^3$)

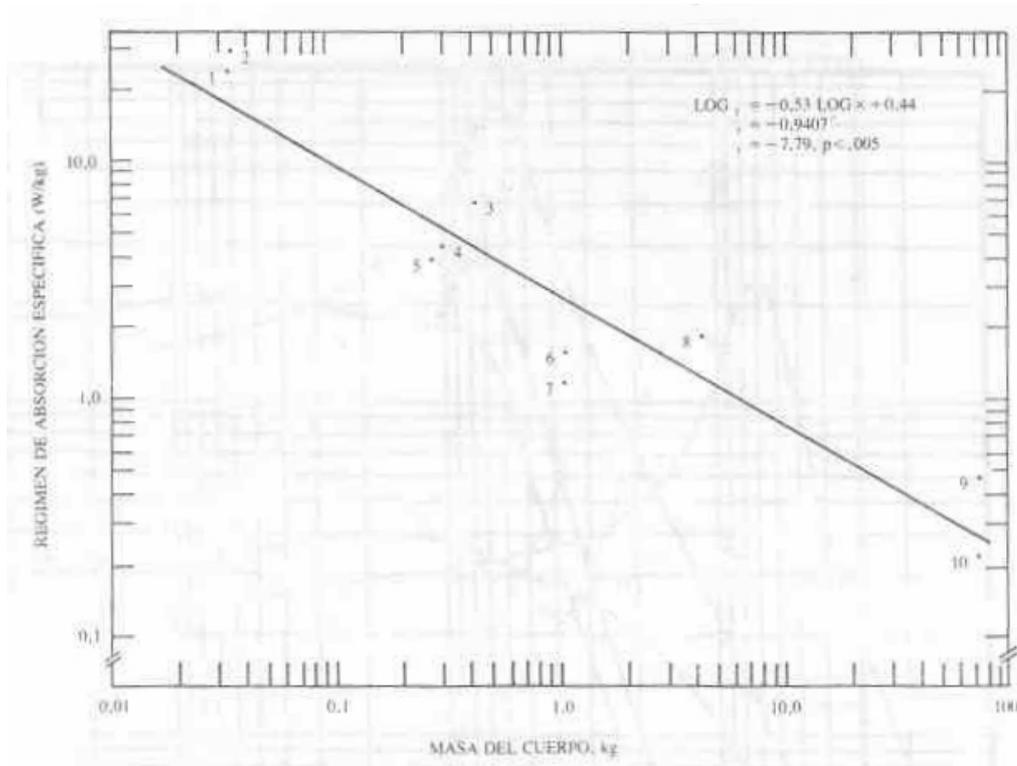
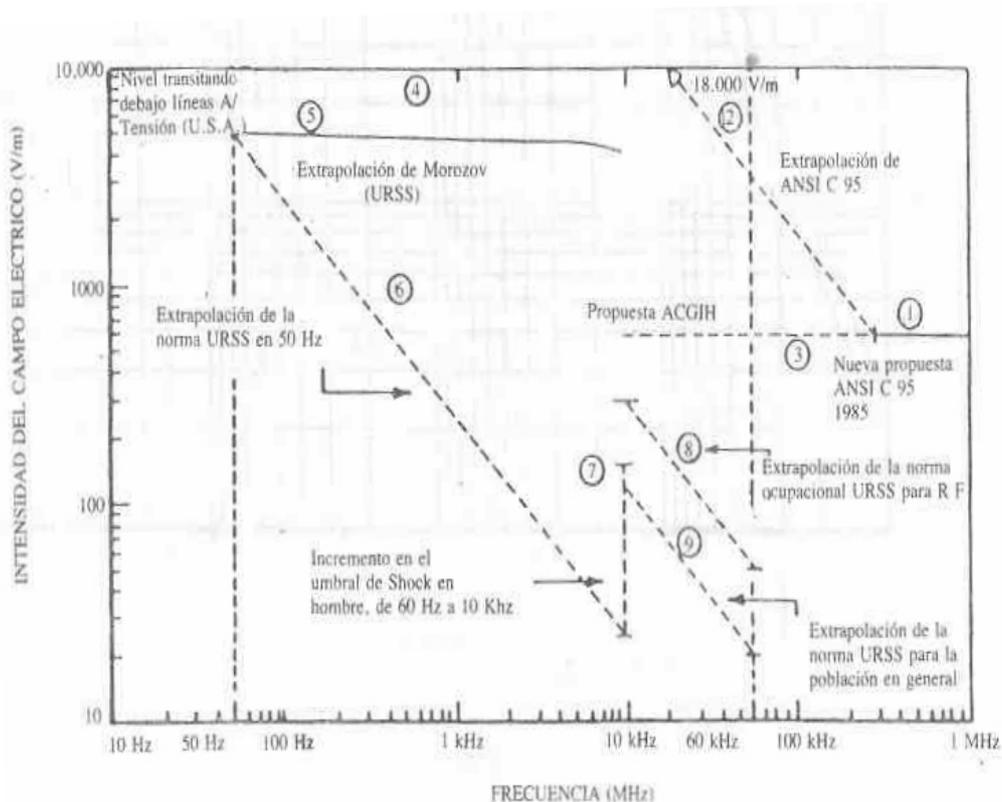


FIGURA 13

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)

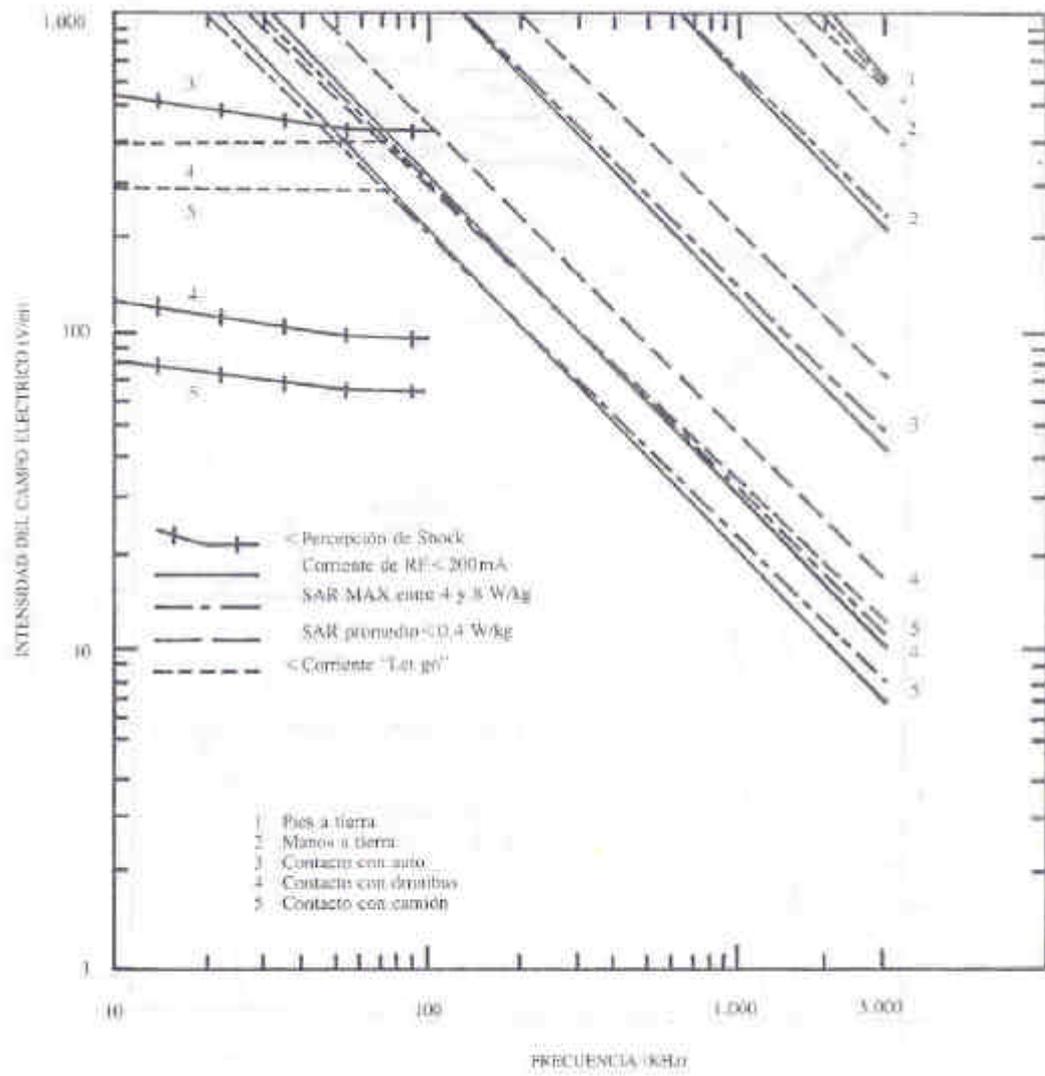


FIGURA 15

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

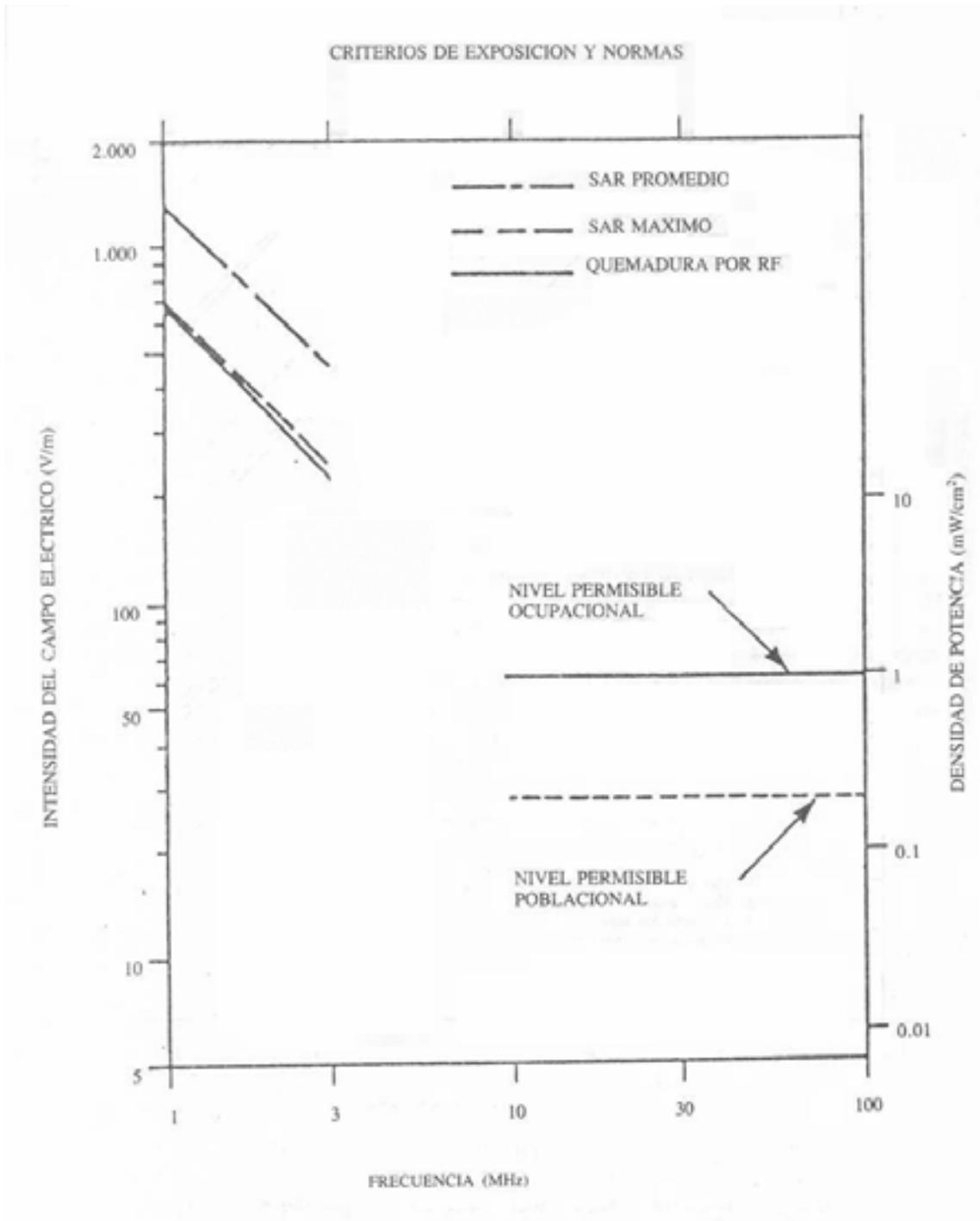


FIGURA 16

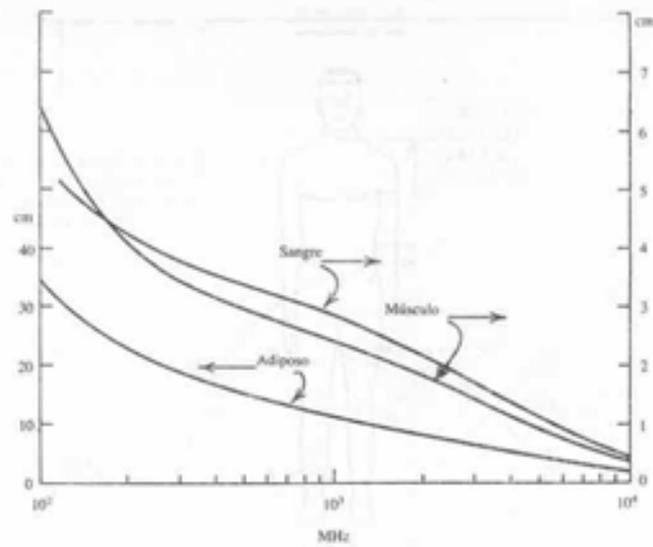


FIGURA 17

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

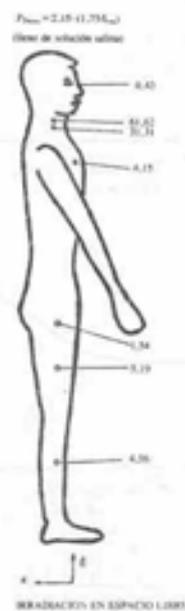


FIGURA 18

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

(a) $\vec{E} \parallel L$, condición de resonancia $L/\lambda = 0.4$.

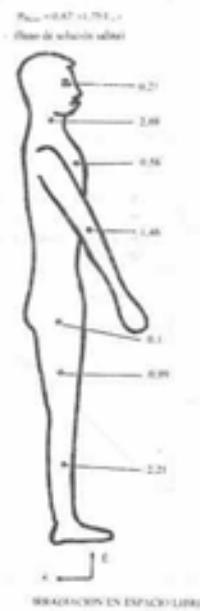


FIGURA 19

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

(b) $\vec{E} \perp L$, por sobre resonancia $L/\lambda = 0.985$.

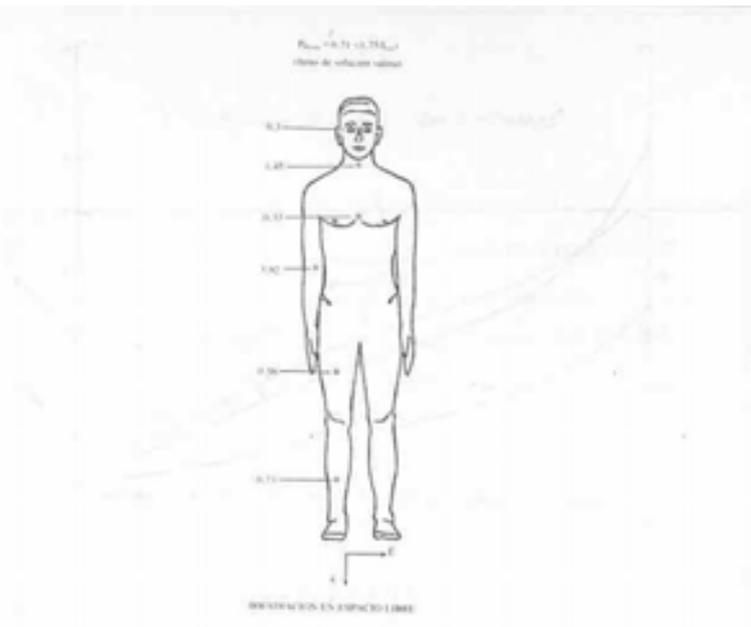


FIGURA 20

Resultados experimentales de la potencia disipada en un fantoma humano irradiado con onda plana de densidad de potencia 10 mW/cm².

(c) $\bar{K} \ll 1$, condición de resonancia $L/\lambda = 1$.

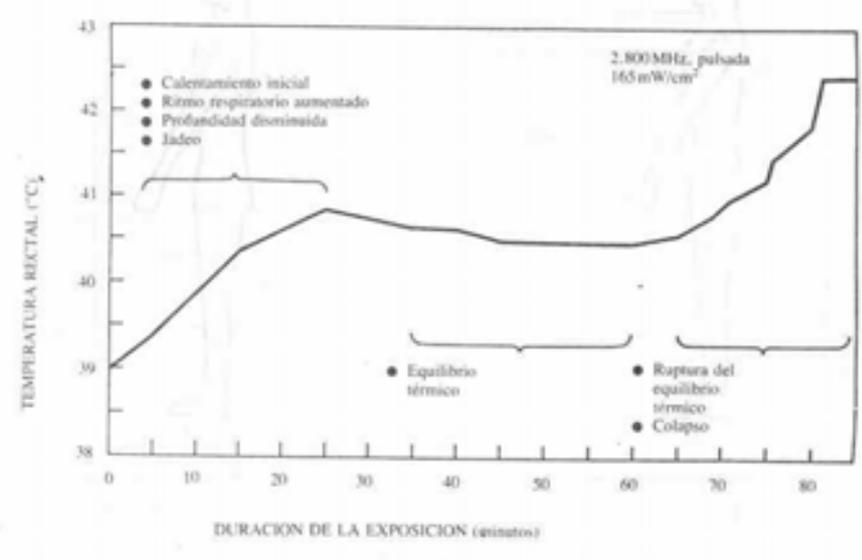
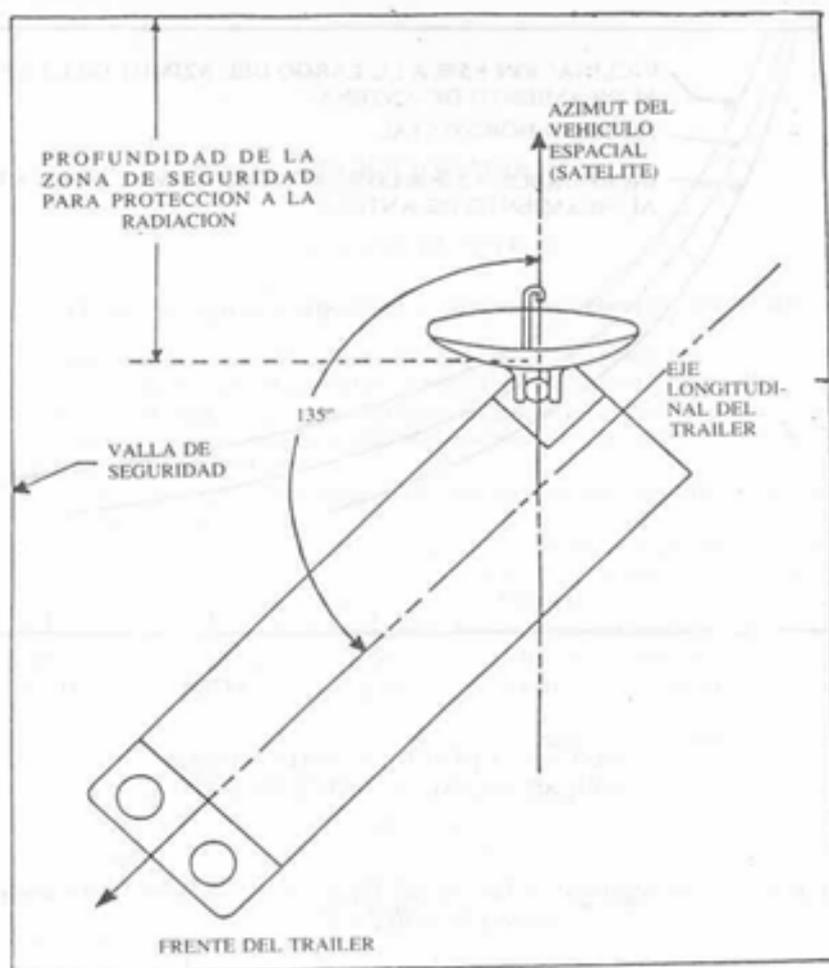


FIGURA 21

Respuesta en tres etapas, de la temperatura rectal de perros expuestos a microondas pulsadas, de frecuencia 2800 MHz, en 165 mW/cm². 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.

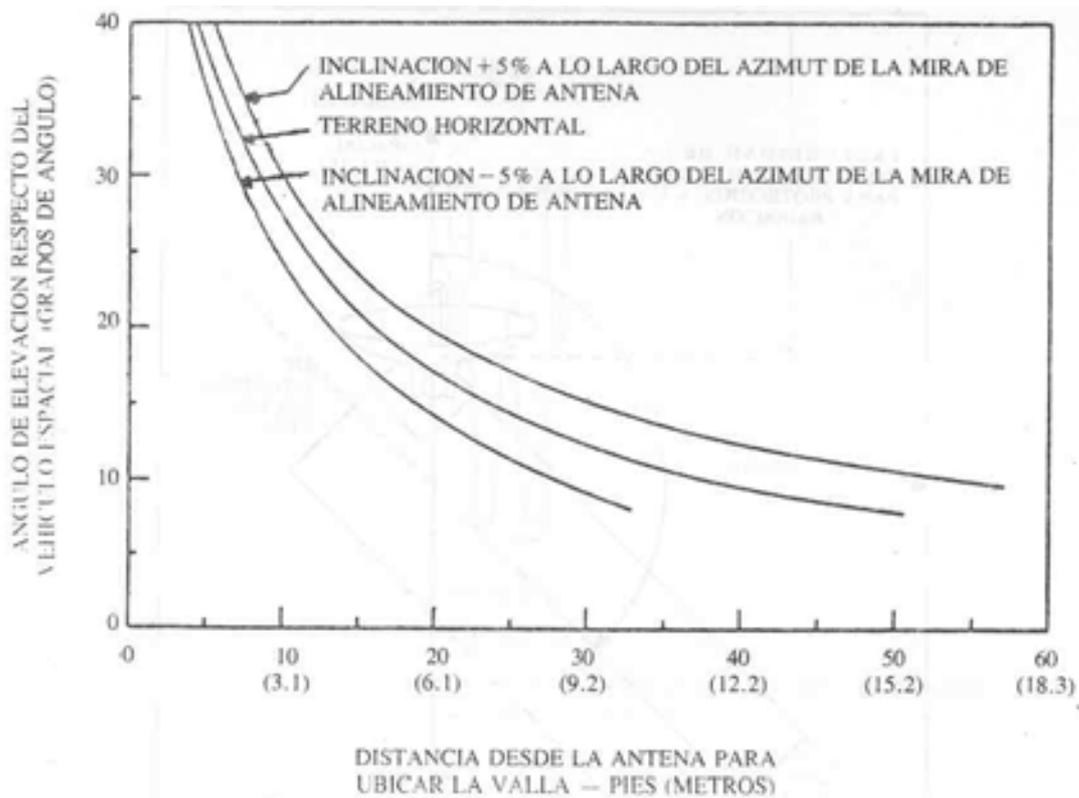


FIGURA 23

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

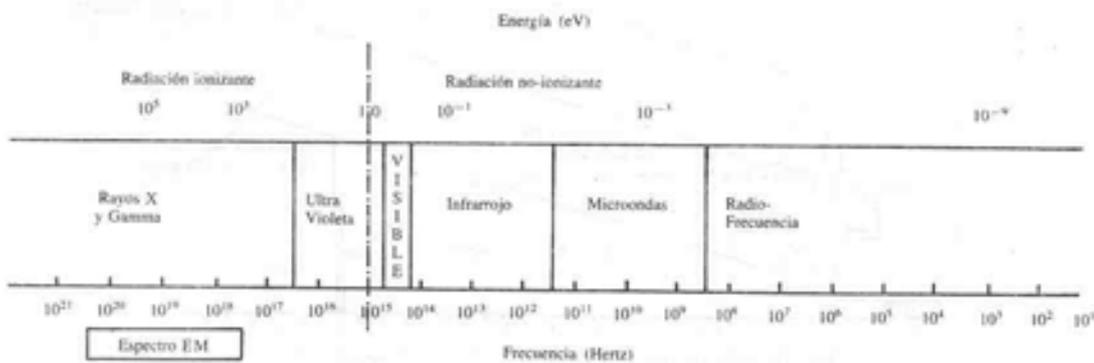


FIGURA 24

Región del espectro EM.

BIBLIOGRAFÍA

BANCO DE DATOS

Efectos biológicos y exposición a campos electromagnéticos de RE

1. ACR (1975) American College of Radiology, *Proceedings 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, Switzerland)
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 (Aerospace 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 environmental 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, New York)
- 13^{bis}. 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) "Ionic nonequilibrium 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 N° 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-Badwaih, 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 electroconvulsive 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 CrI: 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 Körperwärme und zum Fieber," *Pfluegers Arch. Gesamte Physiol. Menschen Tiere* 37, 232-300.
40. Aschoff, J. and Wever, R.(1958). "Modellversuche zum Gegenstrom Wärmeaustausch in der Extremität," *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 Springfield, 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 Czernski, P.(1976). *Biological Effects of Microwaves* (Dowden, Hutchinson and Ross, Inc., Stroudsburg, Pennsylvania)
53. Baranski, S. Czernski, P. and Szmigielski S.(1971) "The Influence of microwaves on mitosis in vitro and in vivo," *Postępy 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 microwave irradiation," *Acta Physiol. Pol.* 23, 1029-1039.
55. Baranski, S., Szmigielski, 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* .Czernski 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. Pharmac.* 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 nonelectrogenic 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," *Bioelectromagnetics* 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., Kaczmarck, 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). "Ionic factors in release of $^{45}\text{Ca}^{2+}$ 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. Birenbaum, L., Grosf, G.M., Rosenthal, S.W. and Zaret, M.M.(1969a). "Effect of microwaves on the eye," *IEEE Trans. EMF-16*, 7-14.
88. Birenbaum, 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 bilaterale 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 N° 68-02-1971 (Environmental 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., Riazzi ,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 exposure 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. Psychol* 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 the 2nd Tri-Service Conference on the Biological Effects of Microwave Energy*. ASTIA Document N°. 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., Lilienfeld, 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,

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 Electromagnetic 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 E₁ 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. Cunningham, D. J., Stolwijk, J.A.J., Murakami, 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 Gzidyński, 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 escape 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 infrared 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". *Crit. 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. Ophthalmol.* 35, 1001-1017.
190. D'Andrea, J.A., Gandhi, O.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, O. 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, O.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., Bernal, E., Stevens, F. and Landeen, K.(1963). "Effect on dogs of chronic exposure to microwave radiation", *J. Occup. Med.* 5, 418-425.
196. Deichmann, W.B., Maile, J. and Landeen, K.(1964). "Effect of microwave radiation on the hematopoietic 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). "Muscle 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 l'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 of 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/cm². *Vognosanit. Pregl.*, 32, 51-53.
220. Dodt, E. and Zotterman, 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. Dumansky, 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 hyperthermia". *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 Mechanisms 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 ²⁴Na 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). "Über die Sensibilisierung röntgenfraetwr Neoplasmen durch Kurzwellen," *Strahlent- herapie* 55, 473-480.
273. Fuchs, G.(1952) "Zur Sensibilisierung maligner 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, O.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 States, 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 *Environmental 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., Lehmann, 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 Ooppel ,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 waehrend' einer Vegetationsperiode". *Theor. Appl. Genet.* 43, 6-12.
335. Harte, C. (1973b). "Genetische Mosaike in der M₂ bei *Oenothera* nach Behandlung mit Meterwellen". *Theor. Appl. Genel.* 43, 54-58.
336. Harte, C. (1975) "Mutagenesis by radiowaves in *Antirrhinum 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). "Über die Beeinflussung bösartiger Geschwulste durch Ultrakerzellen". *Strahlentherapie* 51, 309-311.
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). "Environmental 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*, Herzfeld, 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 short 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 biologischer Körper in Ultrakurzwellen-Strahlungsfeld" pages 232-249 in *Ultrakurzwellen in Ihren Medizinische-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 patients 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 advanced 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 UNSC/URSI*, Boulder, Colorado (National Academy of Sciences, Washington)

374. Huang, A.T. and Mold, N.G. (1980) "Immunologic and hematopoietic 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 couplées considérées 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 from 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 band under microwave irradiation" *Biofizika* 21, 940-942. (Also Abstract /* 4953 in *Biological Effects of Nonionizing Electromagnetic Radiation*, 1, 35, 1977)

390. Ismailov, E. Sh. and Zubkova, S.M.(1977) "Physicochemical mechanisms of the biological of microwaves (Russian)". *Biologicheskiiye 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. Jensch, R.P., Ludlow, J., Weinberg, 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. Jensch, R.P., Ludlow, J., Weinberg, I., Vogel, W.H., Rudder, T., and Brent, R.L.(1978a) "Studies concerning the postnatal effects of protracted low dose prenatal 915 MHz microwave radiation" *Teratology* 17, 21A (Abstract)
396. Jensch, R.P., Ludlow, J., Weinberg, I., Vogel, W.H., Rudder, T., and Brent, R.L. (1978b) "Studies concerning the protracted prenatal exposure to a nonthermal level of 2450 MHz microwave radiation in the pregnant rat", *Teratology* 17, 48A (Abstract)
397. Jensch, 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. Jensch, 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," *Bioelectromagnetics 1*, 271-276.
409. Justesen, D.R. (1975) "Toward a prescriptive grammar for the radiobiology of non-ionising radiations: Quantiles, 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 (Government 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.*, Czernski, 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 $^{45}\text{Ca}^{2+}$ and (^3H) 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. Kalmijn, 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 be 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) "Dynamic 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 radioactive 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 sensitivity 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-frequency 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 Waldskog, 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) N° 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. (1977^a). "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. (1977^b). "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 Annual 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 systems 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 neurons 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 Wirkungsnechismus", *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 periartthritis 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., McMillan, 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 on the level of 17-ketosteroids and 17-hydroxycorticosteroids in the urine of rabbits". *Przegląd 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 on 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 on the hormonal activity of the adrenal cortex". *Byull. Eksp. Biol. Med.* 52, 47-50.
499. Liburdy, R.P. (1977). "Effect of radiofrequency radiation on 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 Cold*, 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). Foreign Service Health Status Study-Evaluation of Health Status foreign 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 hyperthermia-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*, Czernski P. Ostrowski K. Silverman C. Shore M. L. Suess M. J. and Waldeskog B. Eds. (Polish Medical Publishers, 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.* MTT-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. Appl. 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 tunnelling in DNA and its biological implications". *Rev. Mod. Phys.* 35, 724-733.
538. Löwdin, P.O (1964a). "Effect of proton tunnelling 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 protracted 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 corticosterone 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. Physiol: Respirat. Environ. Exercise physiol.* 48, 927-932
547. Lu, S.T., Lebda, N.J., Pettit, S., and Michaelson, S.M. (1981) . "Microwave induced temperature corticosterone and thyrotropin interrelationships". *J.appl. Physiol: Respirat. Environ, Exercise Physiol* 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 mammalian 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 extotony 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. Maryland)
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 Environment" (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* 1 141-146
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," *Annals 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 barrier permeability alter microwave irradiation". *Radiat. Environ. Biophys.* 15, 367-377.
581. Meyer, H.H. (1913). "Theorie des Fiebers und seiner Behandlung". *Verhandl. deut. Ges. 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 Publication 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 Hayraker 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. Mikolajzyk, 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-

601. Millard, 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*, Czernski, P., Ostrowski, K., Silverman, 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. Mittler, 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/cm², 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 Heat 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 review 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) "Hypothalamic 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 estrus cycle 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 Körpertemperatur 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". *Voenn. 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. Occup. 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. (Supplement)* 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 microwave energy exposure" 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 Regulations (Government 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. Overgaard, 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. Overgaard, K. and Overgaard, J. (1972^a) "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 Overgaard, J. (1972^b) "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., Riazzi, 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 N° 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 heating 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 on 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 1981 (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 hyperthermia 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 on red blood cells permeability," page 94 in Abstracts of Proceedings of the UNISC/URSI Annual Meeting, Helsinki (National Academy of Sciences, Washington).
670. Petrov, 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 to 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 Power 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 synthesis 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 on *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 on 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., Girreno, 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 (Electromagnetic 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 contraction 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-brain 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 *Heat 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 tissus in vitro". *Arch. D'electric. 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 stem 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 Energieei-brauchs bei der 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 pituitary 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 Radiation*. 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 biopolymers". *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. Ophthalmol.* 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 ¹³³Xe 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). "Immunological and hematological effects of microwaves at low power densities," page 85 in *Abstracts Of Proceedings of the USNC/URSI Annual Meeting*, Arlie, 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 Jedrzejczak, W. (1974). "Health surveillance of personnel occupationally exposed to microwaves. III. Lens translucency". *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., Brugnotti, 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., Riddle, 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 continuous wave or pulse-modulated 425-MHz 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. Ophthalmol.* 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". *Atherosclerosis* 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* 1. 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 hyperthermia on the reaction of the adrenal cortex of heat-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 sensitivity 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 Hyperthermia*, 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) *Hyperthermia in Cancer Therapy* (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 phosphorylation". *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 by 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*. Czernski 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. (1936^a) "The influence of 3 cm and 10 cm microwave 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 (43°C) 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, polyribonoinosinic-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 *Abstracts of Proceedings of the USNC/URSI Annals 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 model of 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", *Invest. Ophthalmol.* 11, 493-501.
871. Turing, A.M. (1952). "The chemical basis 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.O. 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 Safety, 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 Schwarzenberg, 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 neuroepithelium 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. Tumor 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 10^9 and 10^{12} Hz in active bacterial cells as seen by laser Raman spectroscopy". *Phys. Lett.* 60^a. 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.*

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 elektromagnetischer 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. Immunol.* 118, 1499-1502
913. Wiktor-Jedrzejczak, W., Czerski, P., Leach, W.M. and Sell, K.W. (1980). "Effect of microwaves (2450-MHz) immune system of mice: 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., Kurohara, S., Hiramane, N., Itoh, H. and Umehara, S (1974) "Hazardous effects of microwave radiation on the bone marrow", pages 75-88 in *Biologic Effects and Health Hazard of Microwave Radiation*, Czernski 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 N° 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. Yeager, 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. State 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*, Czernski, 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*, Czernski 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., Kuiuikovskaya, 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 of 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 Biologicheskoi Deystvii Elektromagnitnykh 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, Hygiene Truda i Professional'nyye Zabolevaniya* 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 Ukrainian 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 *Gigiena Truda i 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. Zashchita ot 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. Dalziel, 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. Dalziel, 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. Dalziel, C.F. and W.R. Lee, "Lethal electric currents". *IEEE Spectrum*, February 1969. pp. 44-50
973. Keeseey, 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. "Dielectric 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. Haggmann, 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 Aerospace 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:

P_d = Densidad de potencia en mW/cm^2

P_r = Registro métrico en mW (potencia recibida)

λ = 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 (P_d) es:

$$P_d = \frac{(12,56) \times (10)}{(9) \times (2)} = 6,9 \text{ mW}/\text{cm}^2$$

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 $13,8 \text{ mW}/\text{cm}^2$

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/cm². 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/cm²) 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/cm². 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/cm²). 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 λ , 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):

$$R_1 = \frac{D^2}{5,66\lambda} \quad R_1: \text{ distancia hasta el final del campo cercano}$$

$$R_2 = \frac{D^2}{2,83\lambda} \text{ o } 2R_1 \quad R_2: \text{ distancia hasta el final del campo intermedio}$$

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.
$W_{ff} = W_{if}(R_2/R)^2$	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 λ 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 λ 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 : ($\frac{mW}{cm^2}$) KW (X). 10^{-6}	W/kW : ($\frac{mW}{cm^2}$) 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:

$$R\left(10 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2}\right) = R_2 \cdot \sqrt{0,1 \cdot W_2} \quad \text{para } W_1 > 20 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2}$$

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:

$$R\left(10 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2}\right) = 0,1 \cdot W_1 \cdot R_1 \quad \text{para } 10 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2} < W_1 < 20 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2}$$

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 descrito 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/cm².
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 prerequisite 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.

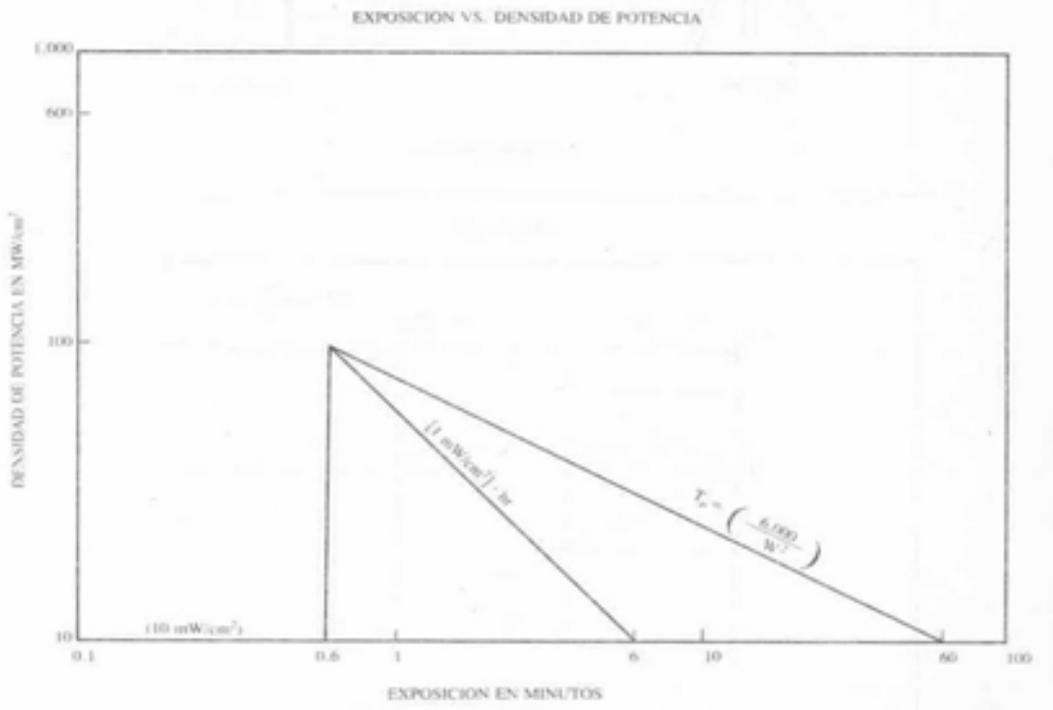


FIGURA 1

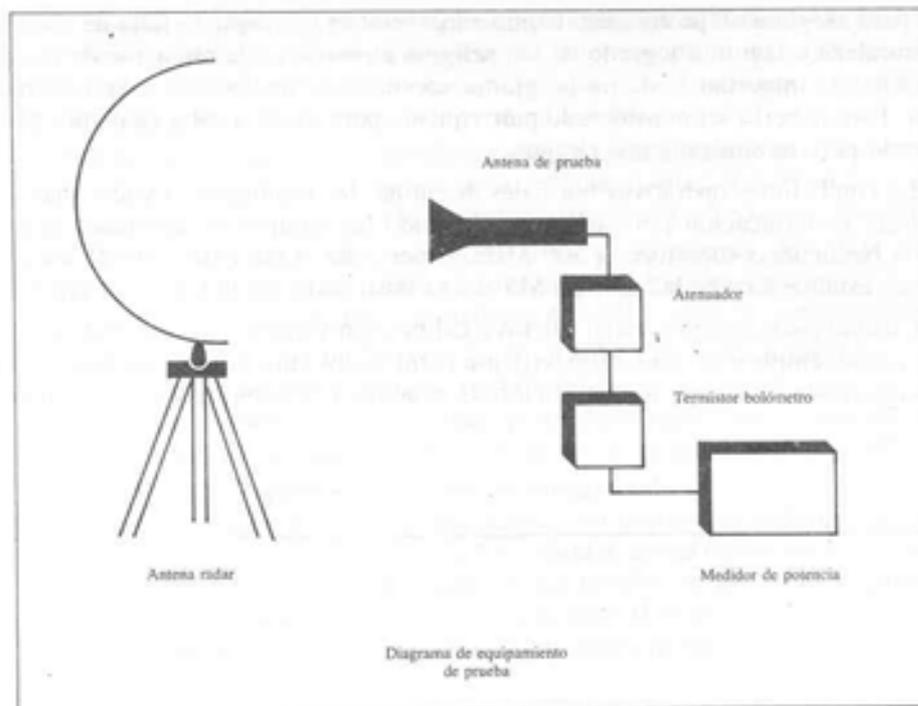


FIGURA 2

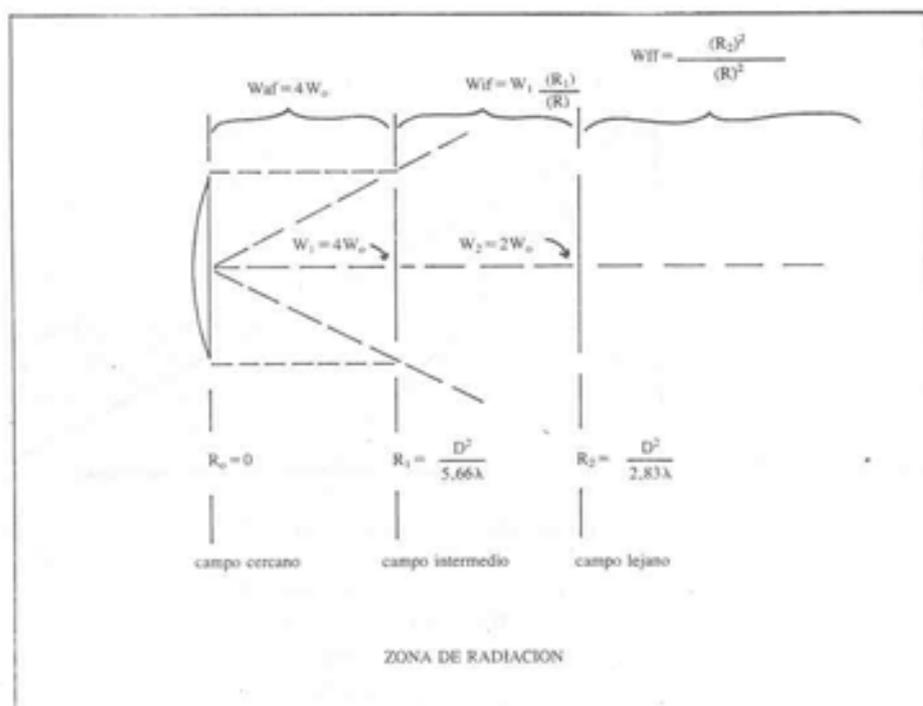


FIGURA 3

Tabla A

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/300)	f/400
2.000-300.000	137	0,36	5

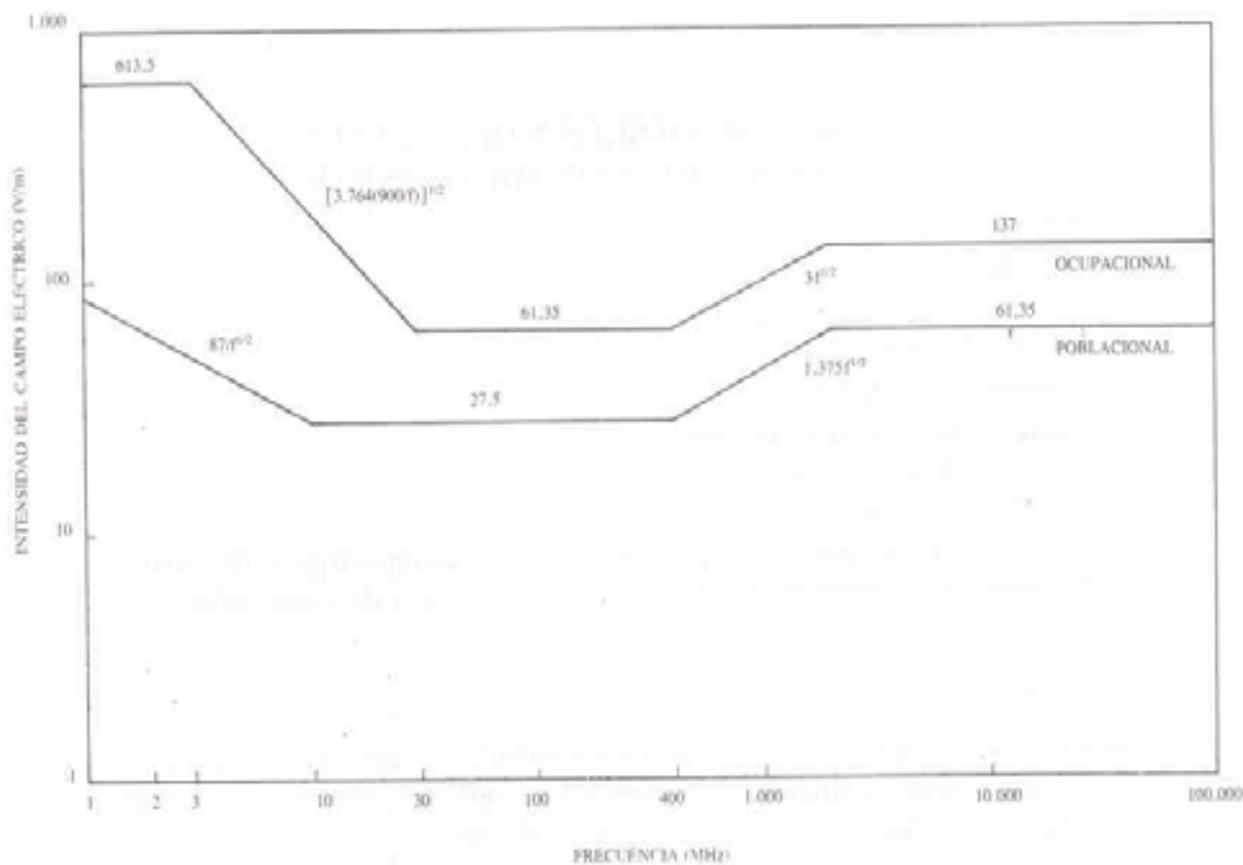
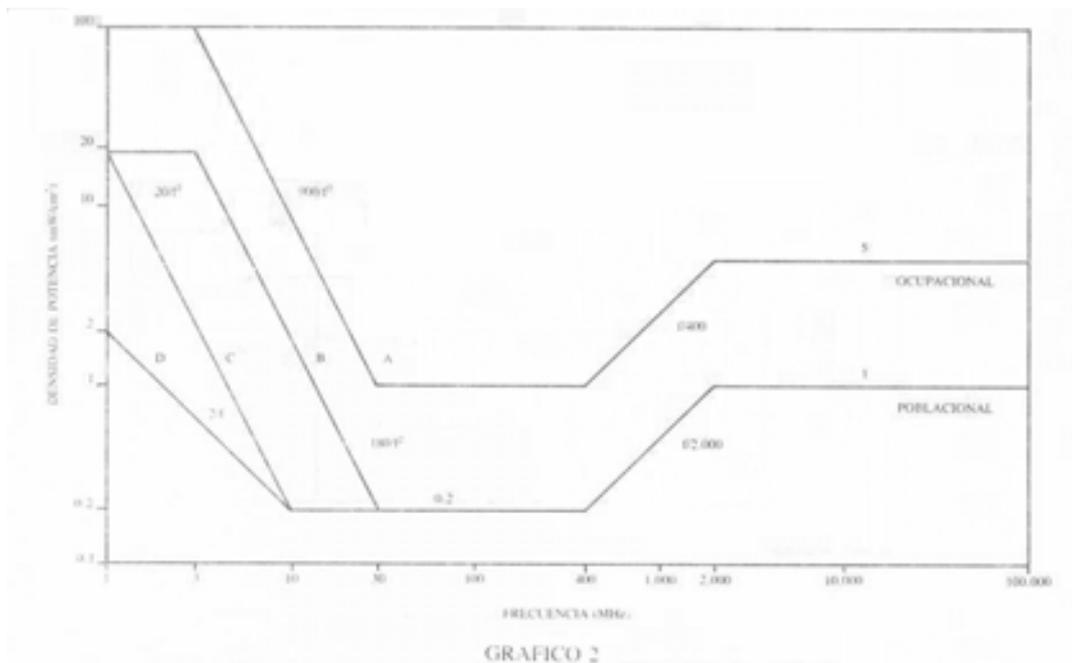


GRAFICO 1



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 *características* de este tipo de *radiación*:

I. Está alejada de las radiaciones ionizantes (rayos X y γ). 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 espermatozoides, 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 8×10^3 Mc/s (8 GHz) y 26×10^3 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 8×10^3 Mc/s (8 GHz) y 12×10^3 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 revisión 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 revisión 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. Revisiones periódicas de vigilancia, con intervalos anuales, incluyen una revisión cuidadosa de la sintomatología general y ocular, así como examen físico, revisión completa de ojos o análisis de laboratorio, como lo indique la historia clínica. Las revisiones 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 (azimut, 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 10 mW/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. Cuando 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/cm² (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)

W₀: 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) Áreas 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/cm²)

Esta ecuación es aplicable solamente a densidades de potencia entre 10 y 100 mW/cm² (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/cm².

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/cm², 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/cm².

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 $+2,0^\circ$ 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 $38,4\text{ mW/cm}^2$ (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).

$$W = W_0 \cdot \frac{D}{2\pi \cdot R} = 38,4 \cdot \frac{15,8}{2\pi \cdot 25} \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2}$$

$$W = 3,86 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2}$$

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 ($10\text{ mW/cm}^2 < W < 55\text{ mW/cm}^2$) 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 $-2,26^\circ$ 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 $15,4\text{ mW/cm}^2$ (figura 32, apéndice II). En la figura 1 (sección 1) el tiempo permisible de exposición que corresponde a la densidad de potencia $15,4\text{ mW/cm}^2$, 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 $-11,50^\circ$ 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, magnetron, 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/cm²: La mínima distancia a la que se puede permanecer, durante 6 minutos, sin riesgo de daño biológico.

< 55 mW/cm²: 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 microprocesador 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/cm²) y se basan en la variación de corriente en elementos perpendiculares entre sí cuya respuesta es proporcional a E² 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/cm² y 100 mW/cm².

Existen otros monitores que cubren el rango de densidad de potencia desde 60 mW/cm² hasta 300 mW/cm².

Monitores de pérdidas electromagnéticas desde 0,2 mW/cm² a 100 mW/cm² 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 Fraunhofer). 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:

$$A. \text{ para } R < \frac{D^2}{4\lambda}$$

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

λ : 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

$$S = \frac{16 \cdot P}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot P}{A} \quad \text{y,} \quad (1)$$

$$S = \frac{3 \cdot P}{A}$$

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:

$$S = \frac{4 \cdot P}{\left(\frac{G\lambda^2}{4\pi}\right)} = \frac{16\pi P}{G\lambda^2} \quad (2)$$

$$B: \text{para } \frac{D^2}{4\lambda} < R < \frac{D^2}{\lambda}$$

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

$$C. \text{ Para } \frac{D^2}{\lambda} < R < \frac{2D^2}{\lambda}$$

Se define la región de Fraunhofer (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:

$$S = \frac{P}{7,7 \cdot R^2} \left(\frac{W}{m^2} \right) \text{ y,}$$

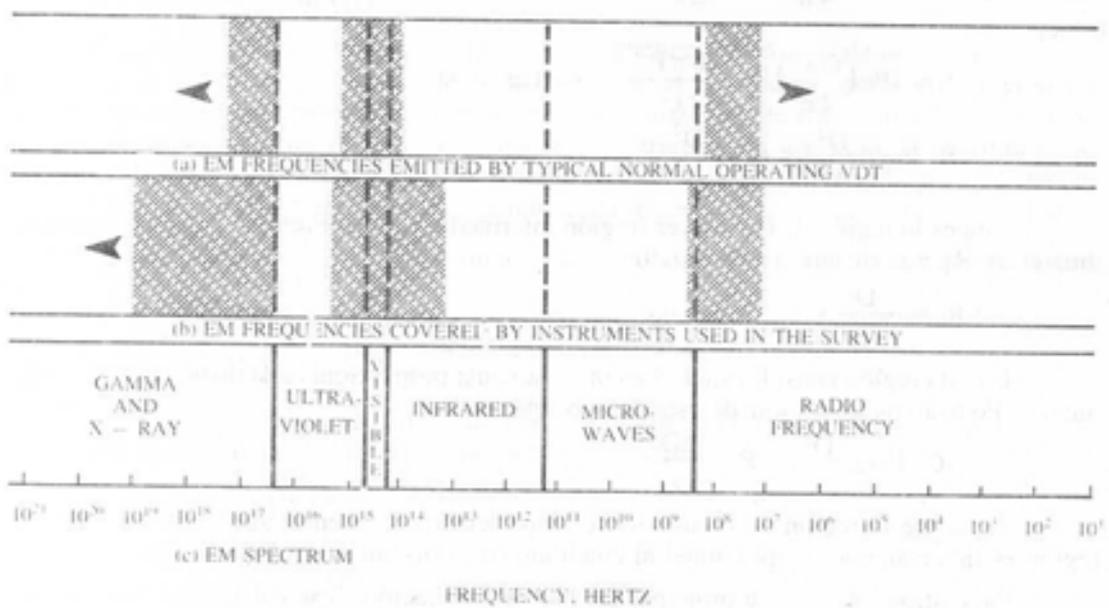
intensidad del campo,

$$E = \frac{7\sqrt{P}}{R}$$

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

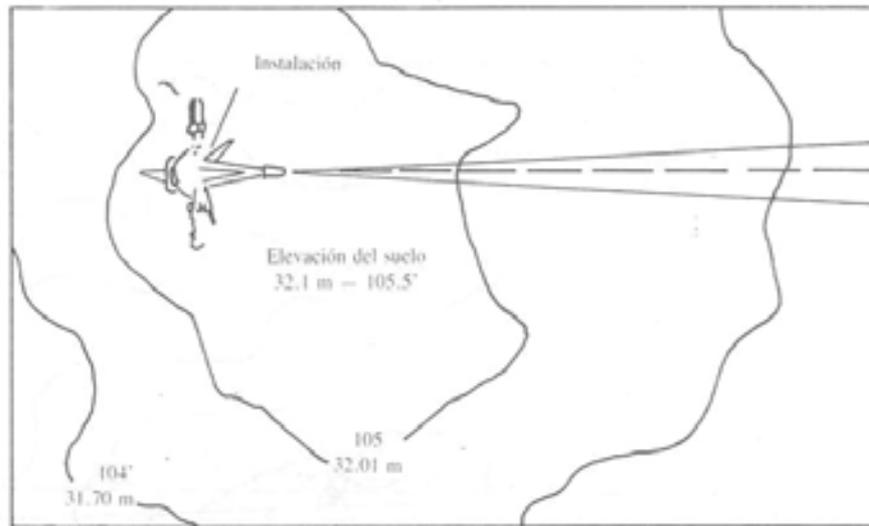


FIGURA 8

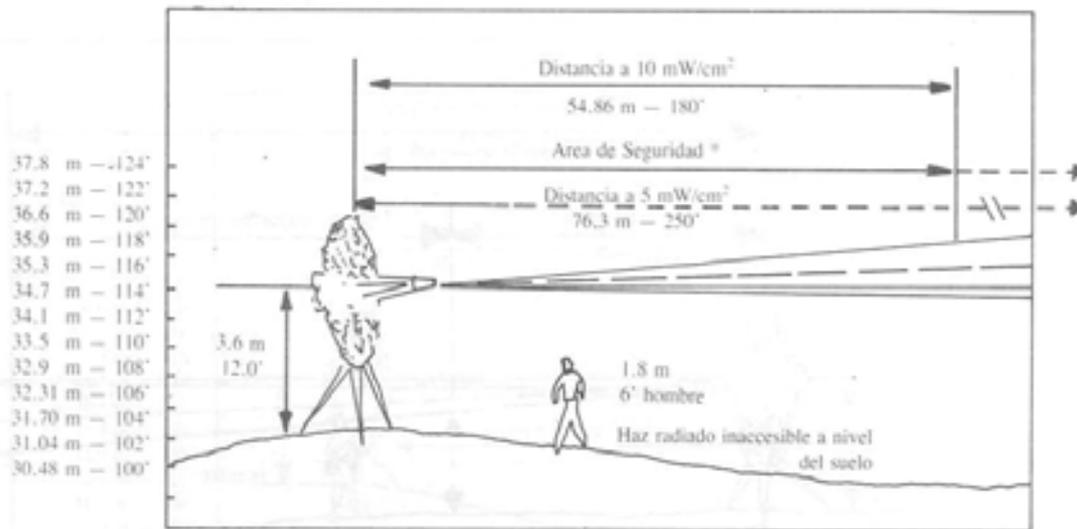


FIGURA 9

Condiciones de seguridad.
Ejemplo: Nike-Ajax acquisition radar



VISTA DE PLANTA

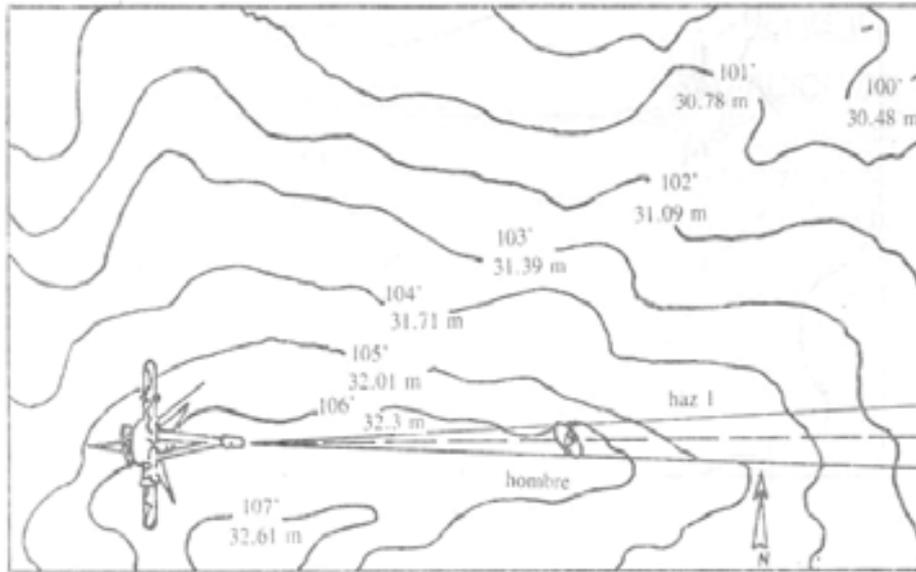


VISTA EN ELEVACION

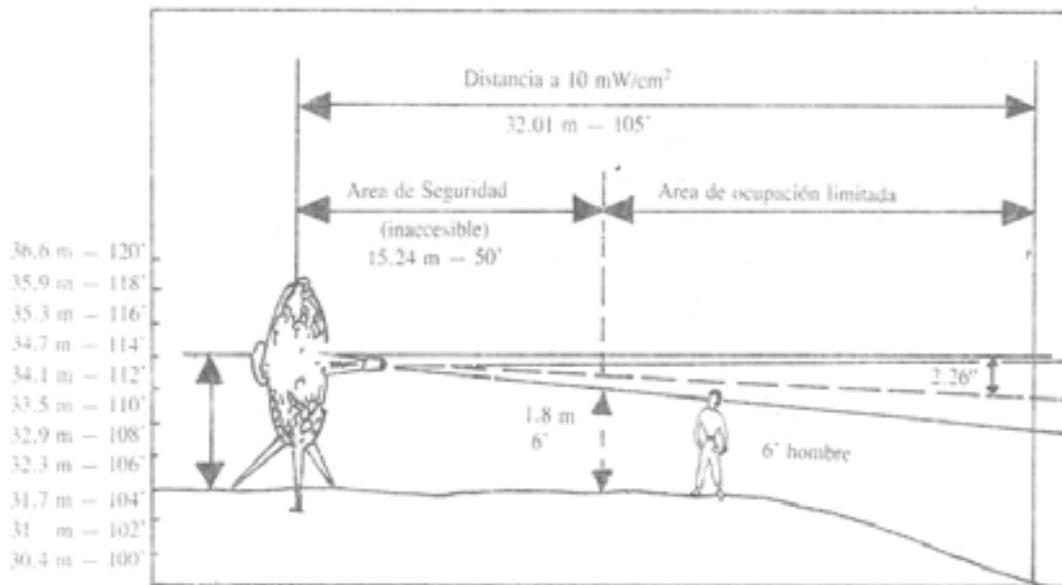
* No se observa personal expuesto, ni sitios elevados irradiados por la antena.

FIGURA 10

Condiciones de exposición potencialmente riesgosas
Ejemplo: Hawk low power illuminator



VISTA DE PLANTA

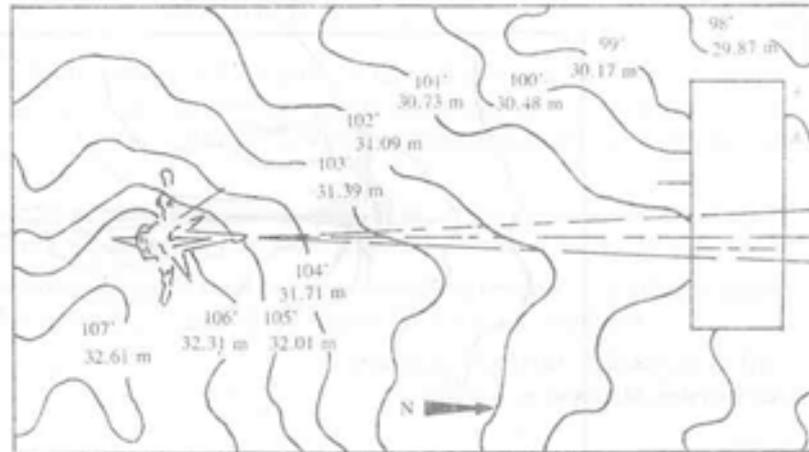


VISTA EN ELEVACION: HAZ 1

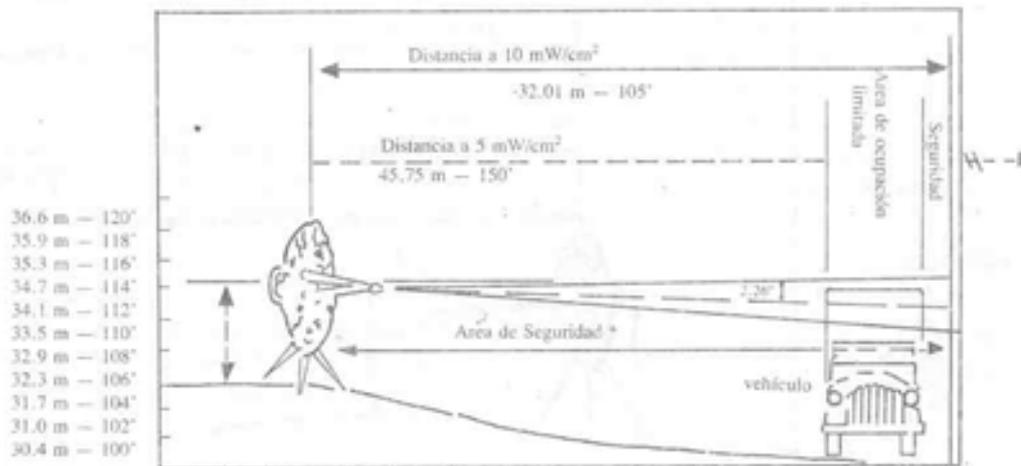
Haz radiado accesible al personal a un nivel del suelo de 50' (15.24 m) de la antena.

FIGURA 11

Condiciones de exposición potencialmente riesgosas
Ejemplo: Hawk low power iluminato



VISTA DE PLANTA



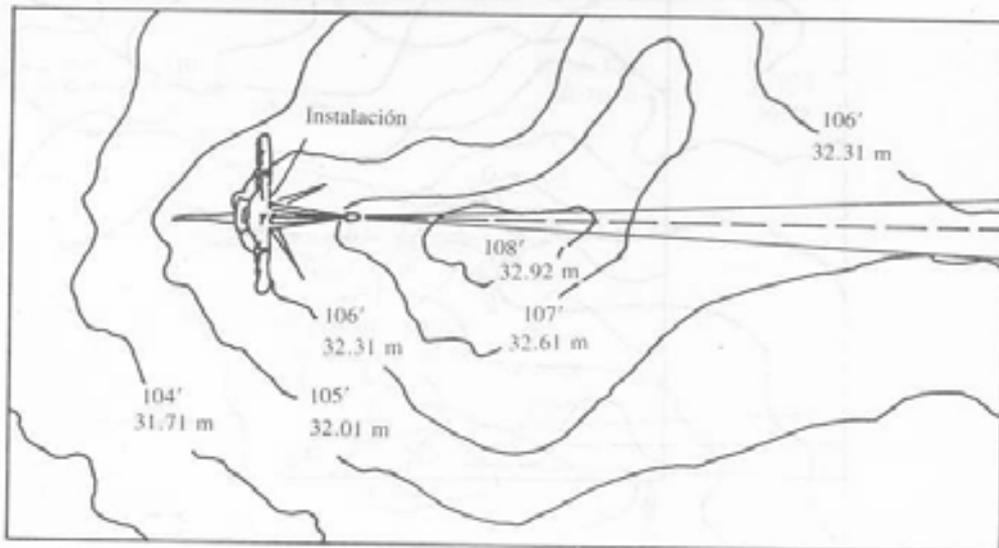
VISTA EN ELEVACION: HAZ 2

El haz radiado es accesible al personal ubicado en sitios elevados como por ejemplo, la parte superior del vehículo.

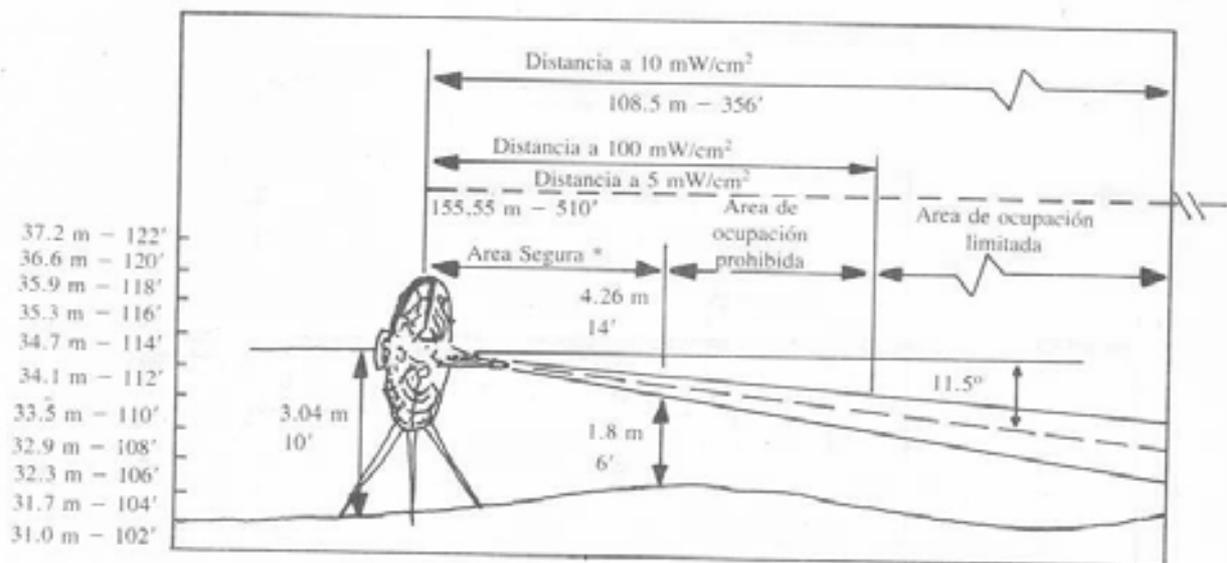
* Haz radiado inaccesible al personal que se encuentra al nivel del suelo.

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 (milvatios 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 $150 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 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: $150 \text{ mW}/\text{cm}^2$. La densidad de potencia resultante en la cercanía de la ventana es $0,45 \text{ mW}/\text{cm}^2$. 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 $75 \text{ mW}/\text{cm}^2$.

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 $200 \text{ mW}/\text{cm}^2$. 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: $200 \text{ mW}/\text{cm}^2$ (correspondiente a 0db) por 0,631 se obtiene el valor $126,2 \text{ mW}/\text{cm}^2$

Tabla A
Factores de atenuación (blindaje)

Material	1 x 10 ³ – 1.5 x10 ³	Rango de frecuencia (Unidad: MHz)		
		2.5x10 ³ -3.5x10 ³	4.5x10 ³ -6x10 ³	8x10 ³ -12x10 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 x10 ⁻⁴	40.0	1 x10 ⁴
.398	4.0	2.512	.032	15.0	31.62	1 x10 ⁻⁵	50.0	1 x10 ⁵
.355	4.5	2.818	.028	15.5	35.48	1 x10 ⁻⁶	60.0	1 x10 ⁶
.316	5.0	3.162	.025	16.0	39.81	1 x10 ⁻⁷	70.0	1 x10 ⁷
.282	5.5	3.548	.022	16.5	44.67	1 x10 ⁻⁸	80.0	1 x10 ⁸
.251	6.0	3.981	.020	17.0	50.12	1 x10 ⁻⁹	90.0	1 x10 ⁹
.224	6.5	4.467	.018	17.5	56.23	1x10 ⁻¹⁰	100.0	1 x10 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

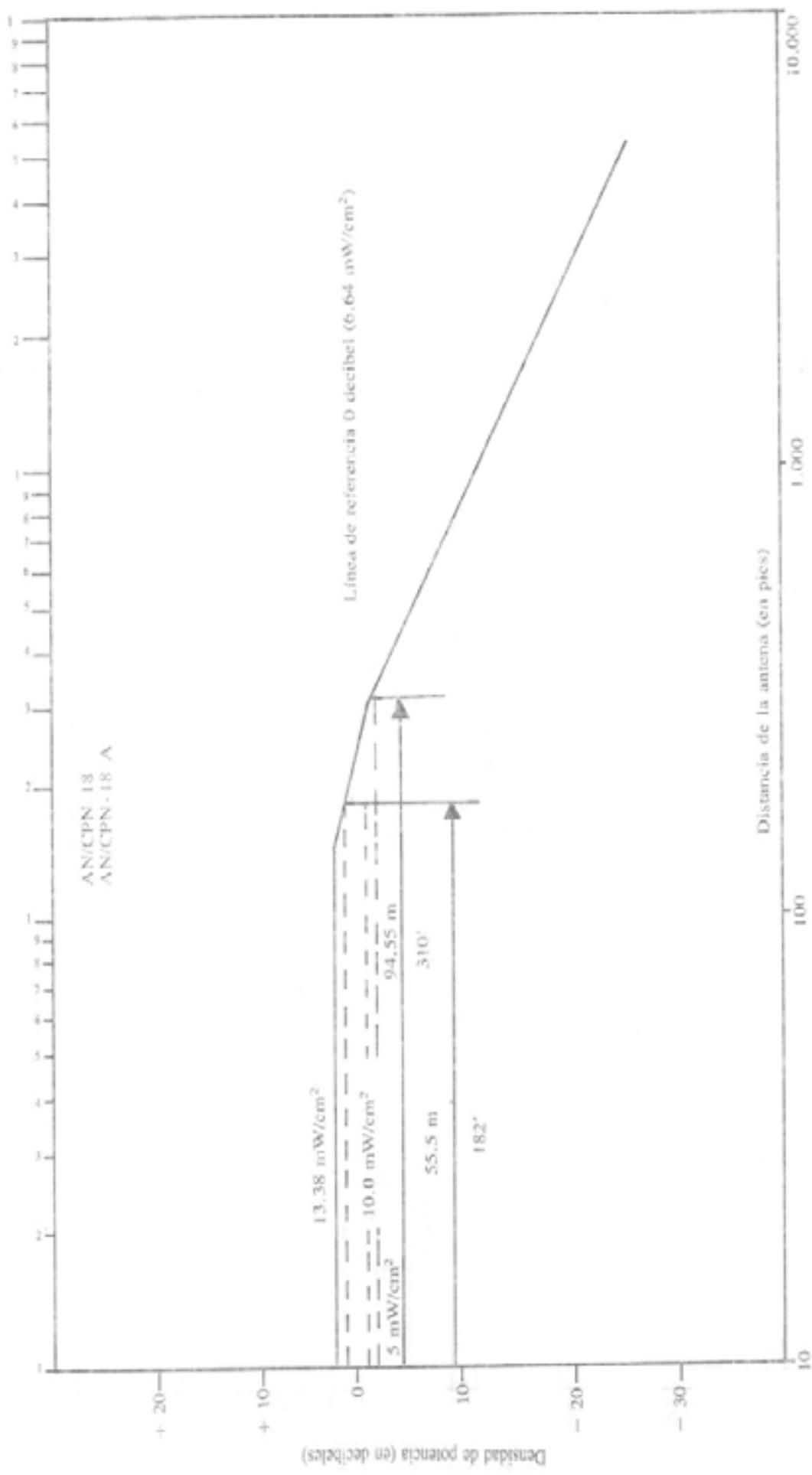


FIGURA 13

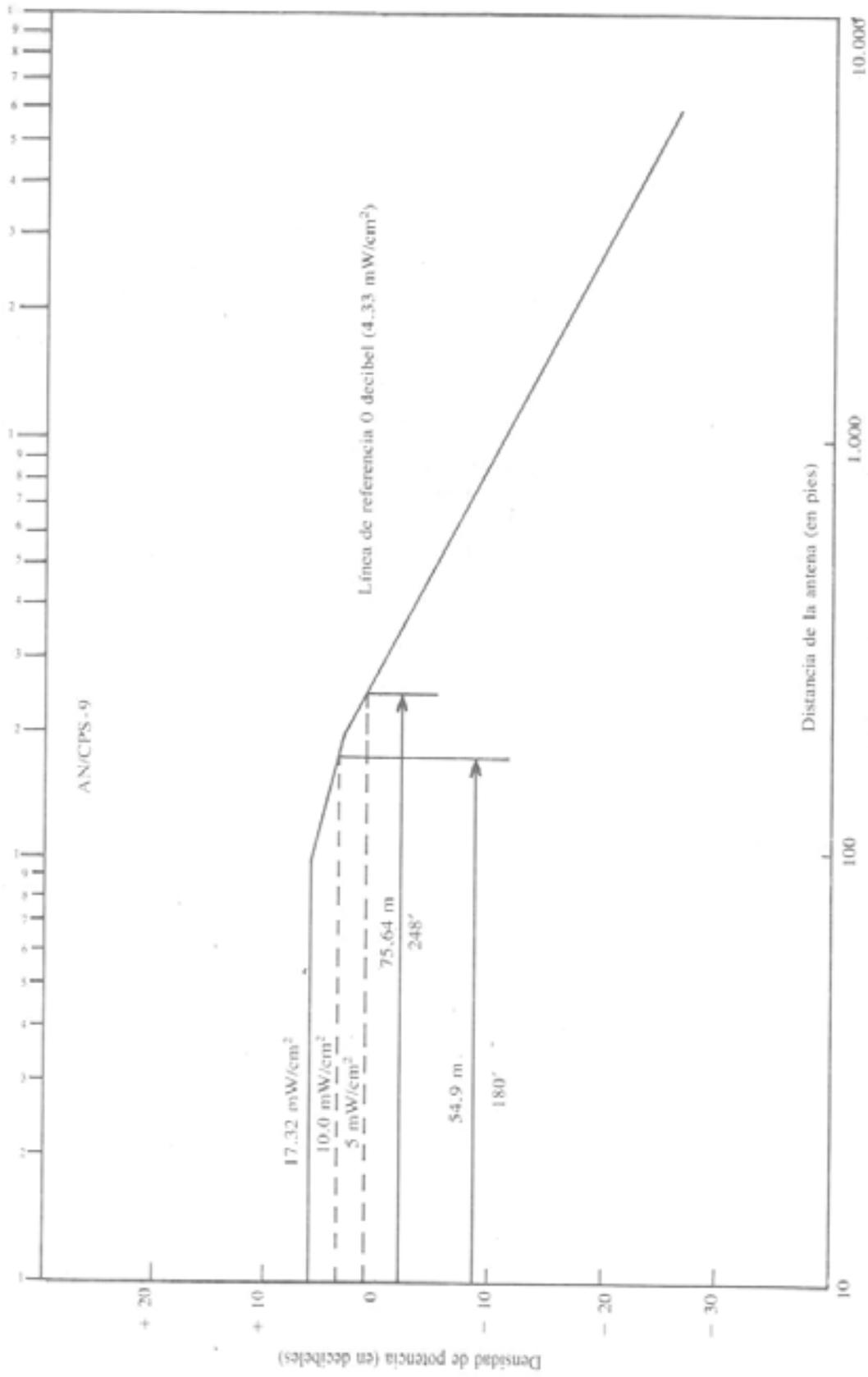


FIGURA 14

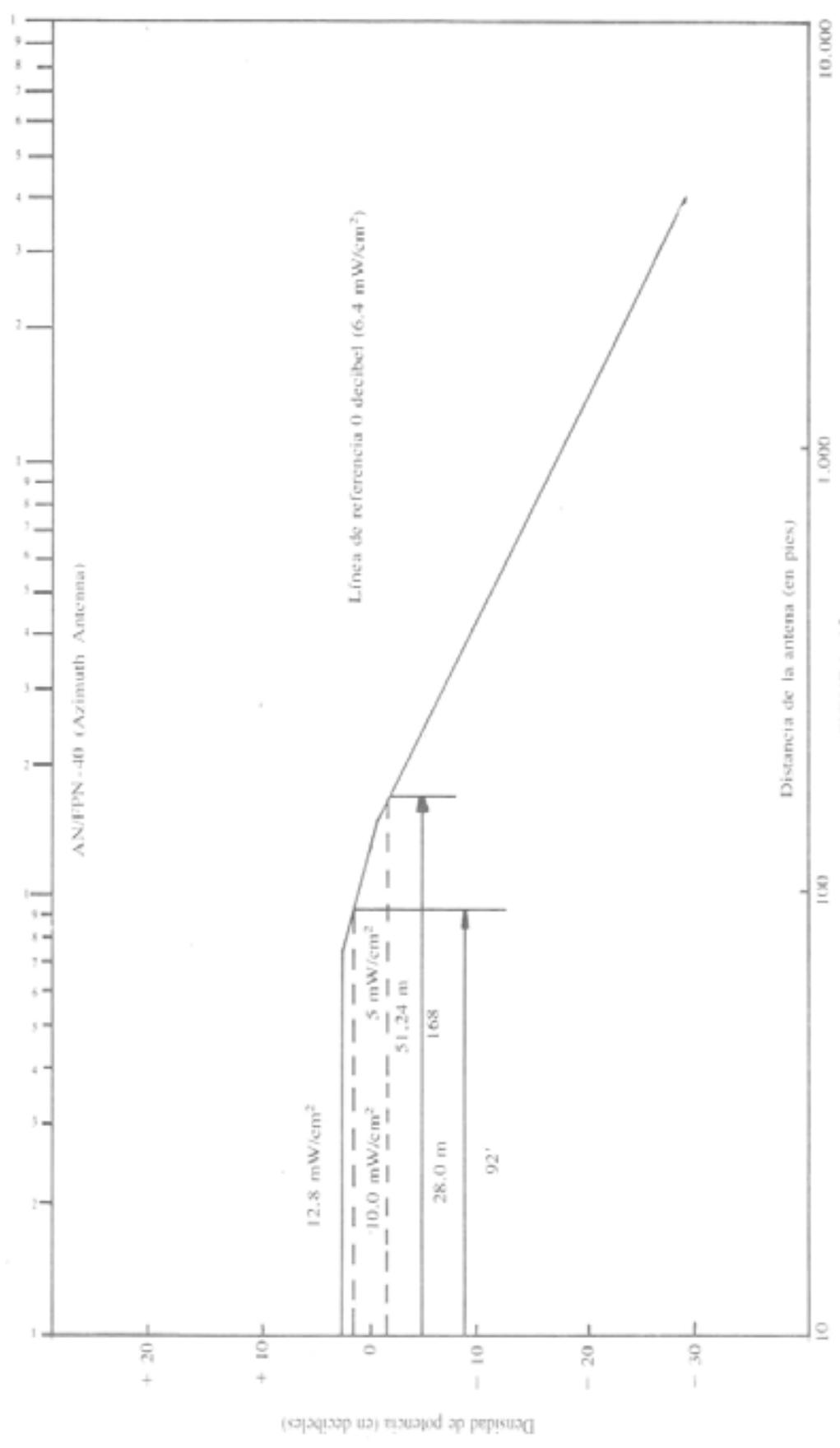


FIGURA 15

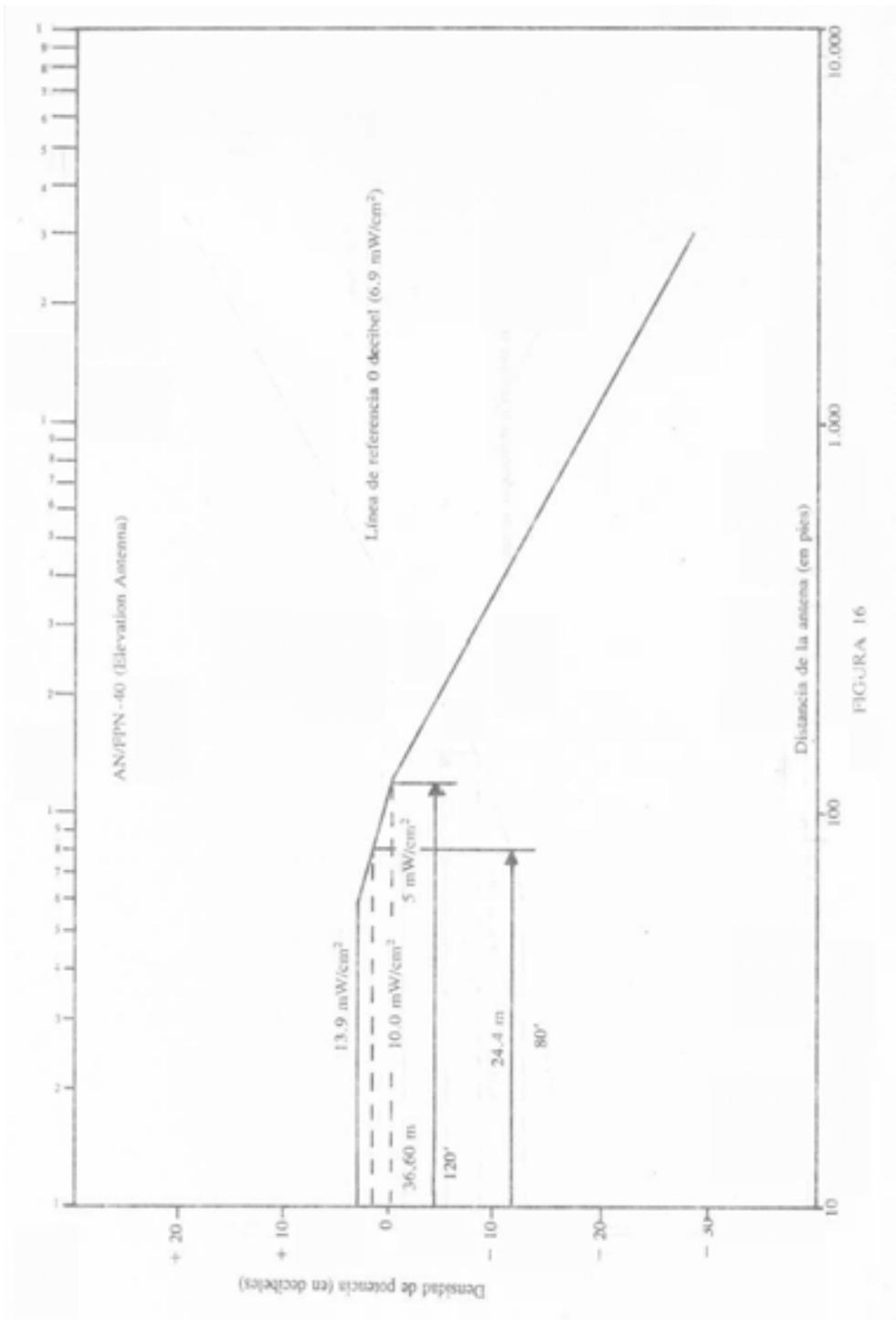


FIGURA 16

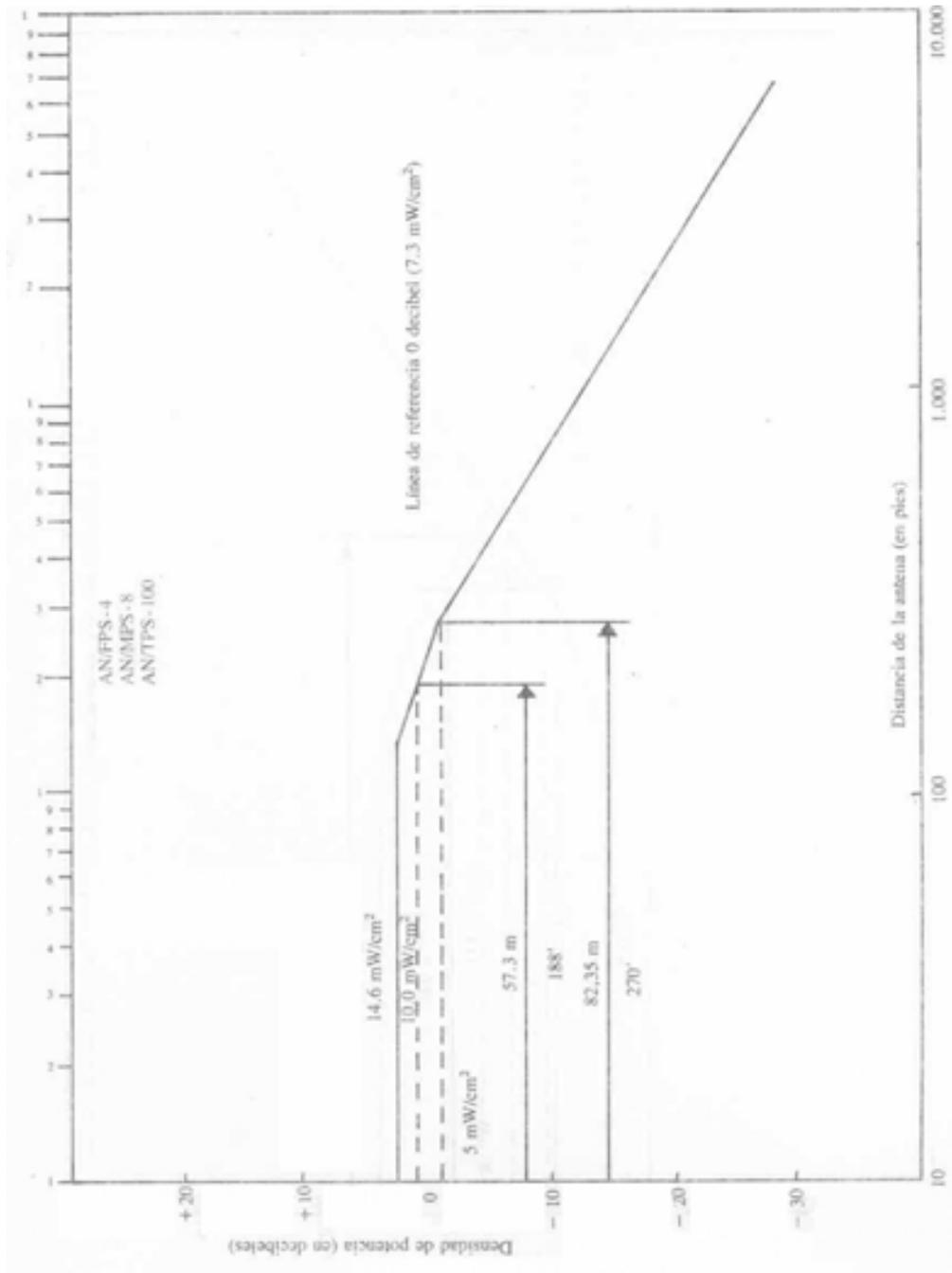


FIGURA - 17

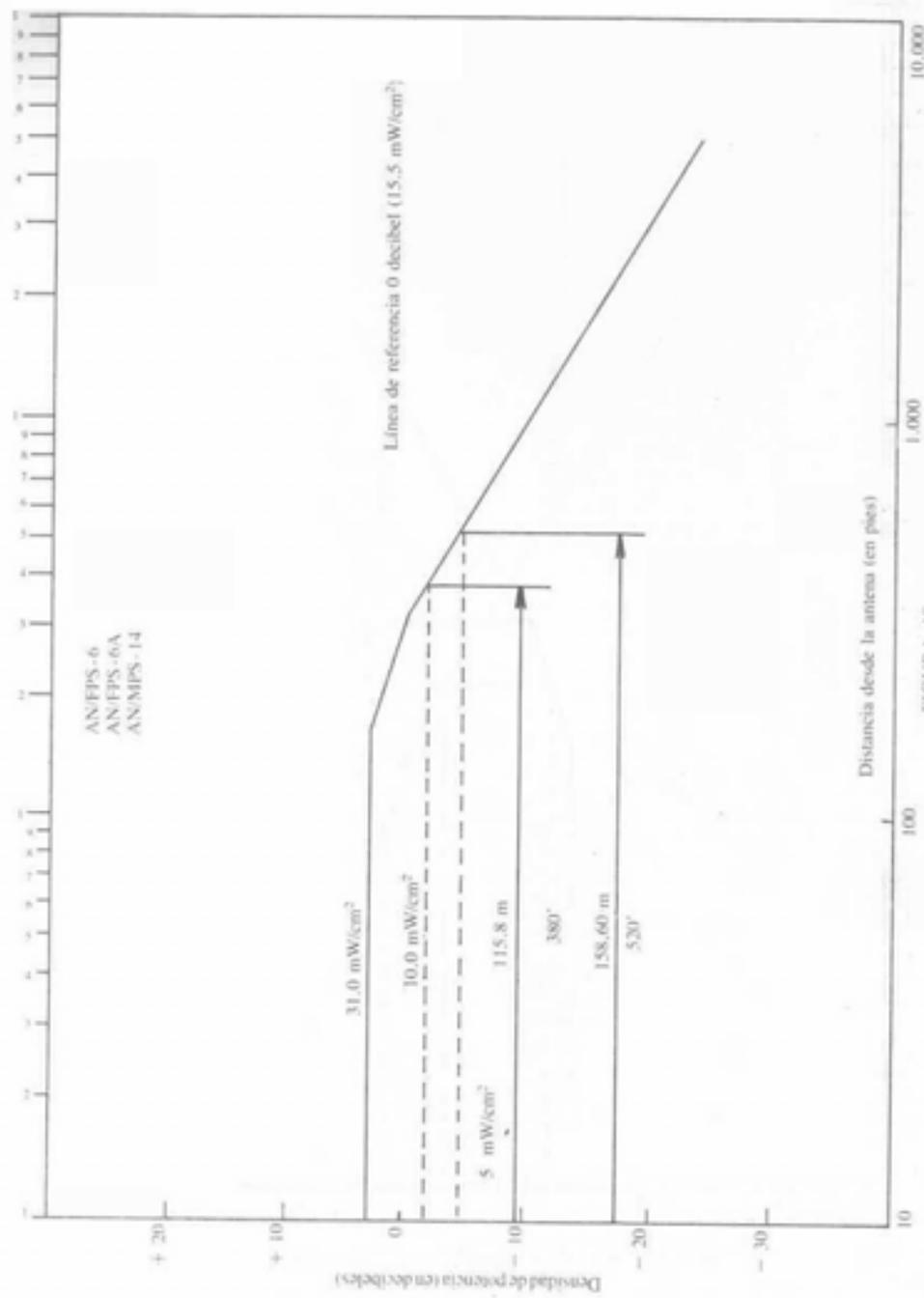


FIGURA 18

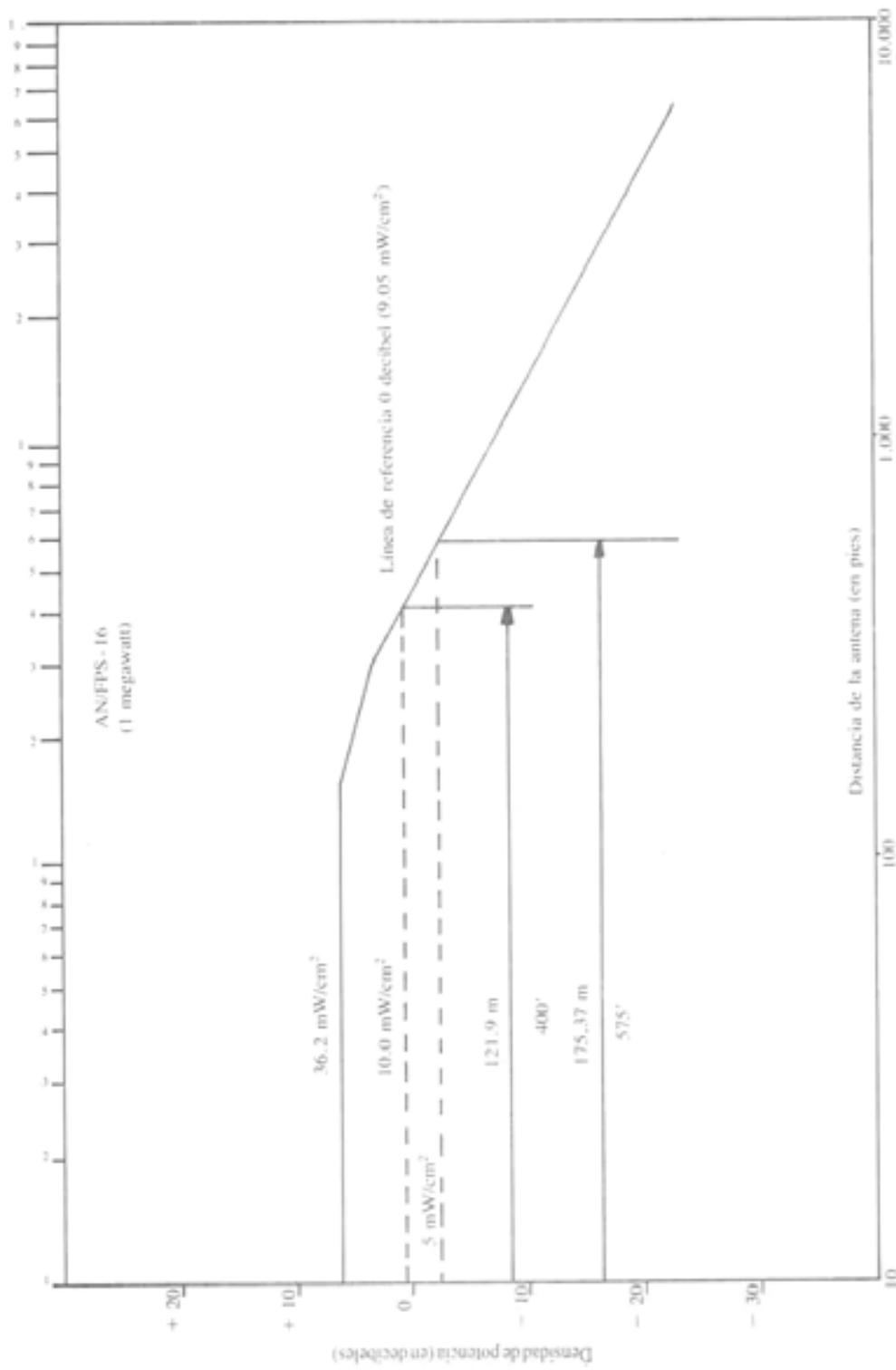


FIGURA 19

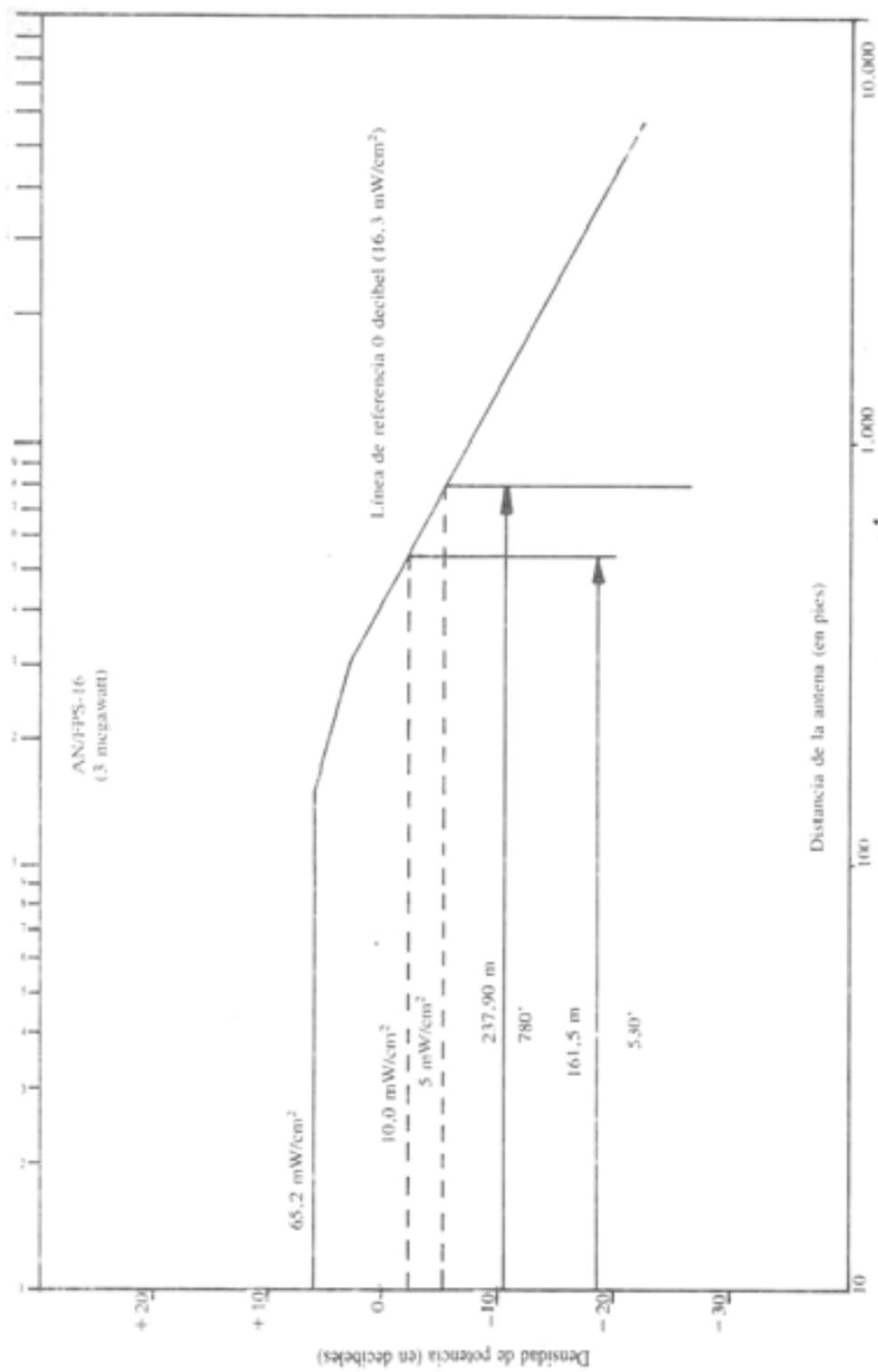


FIGURA 20

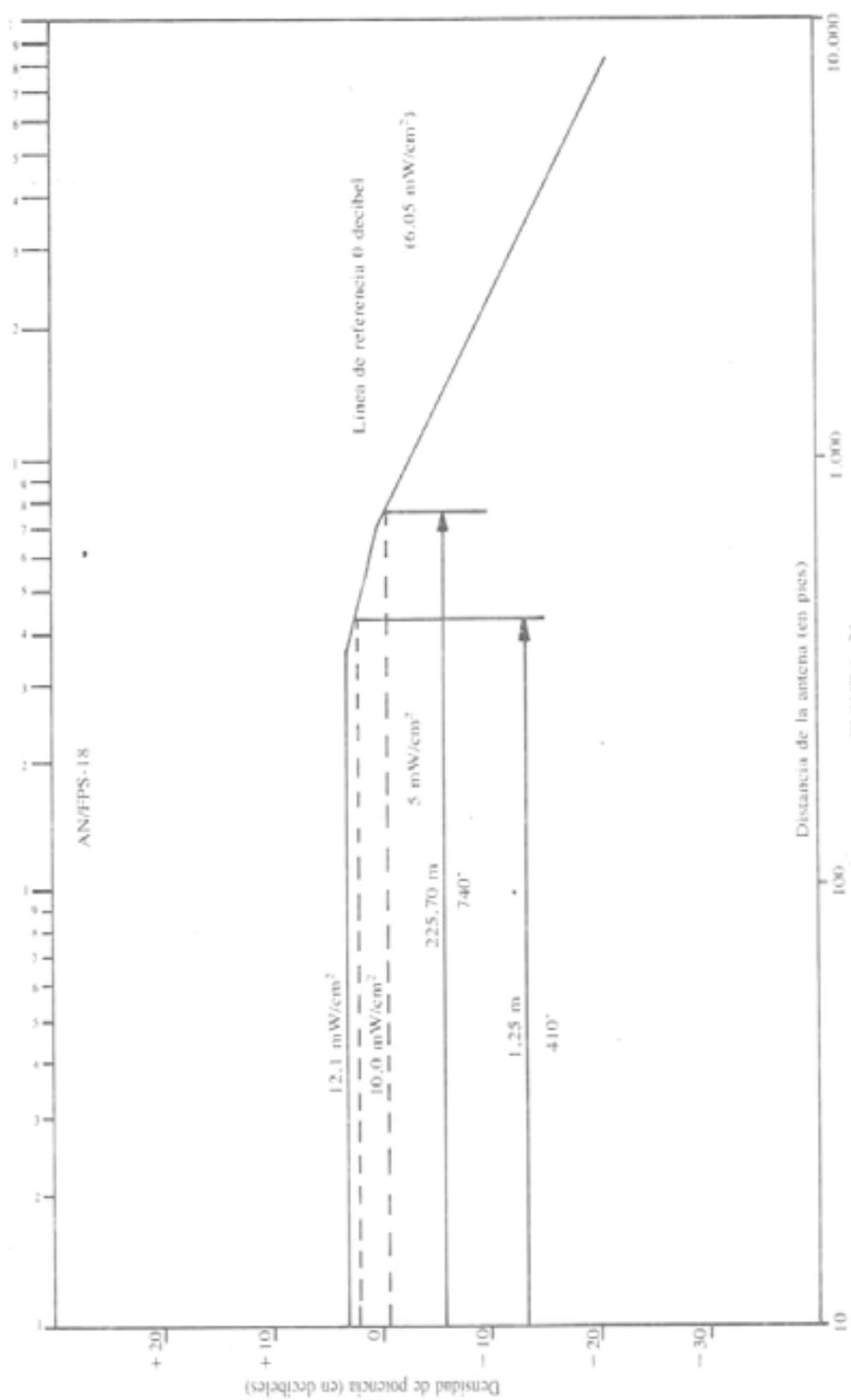


FIGURA- 21

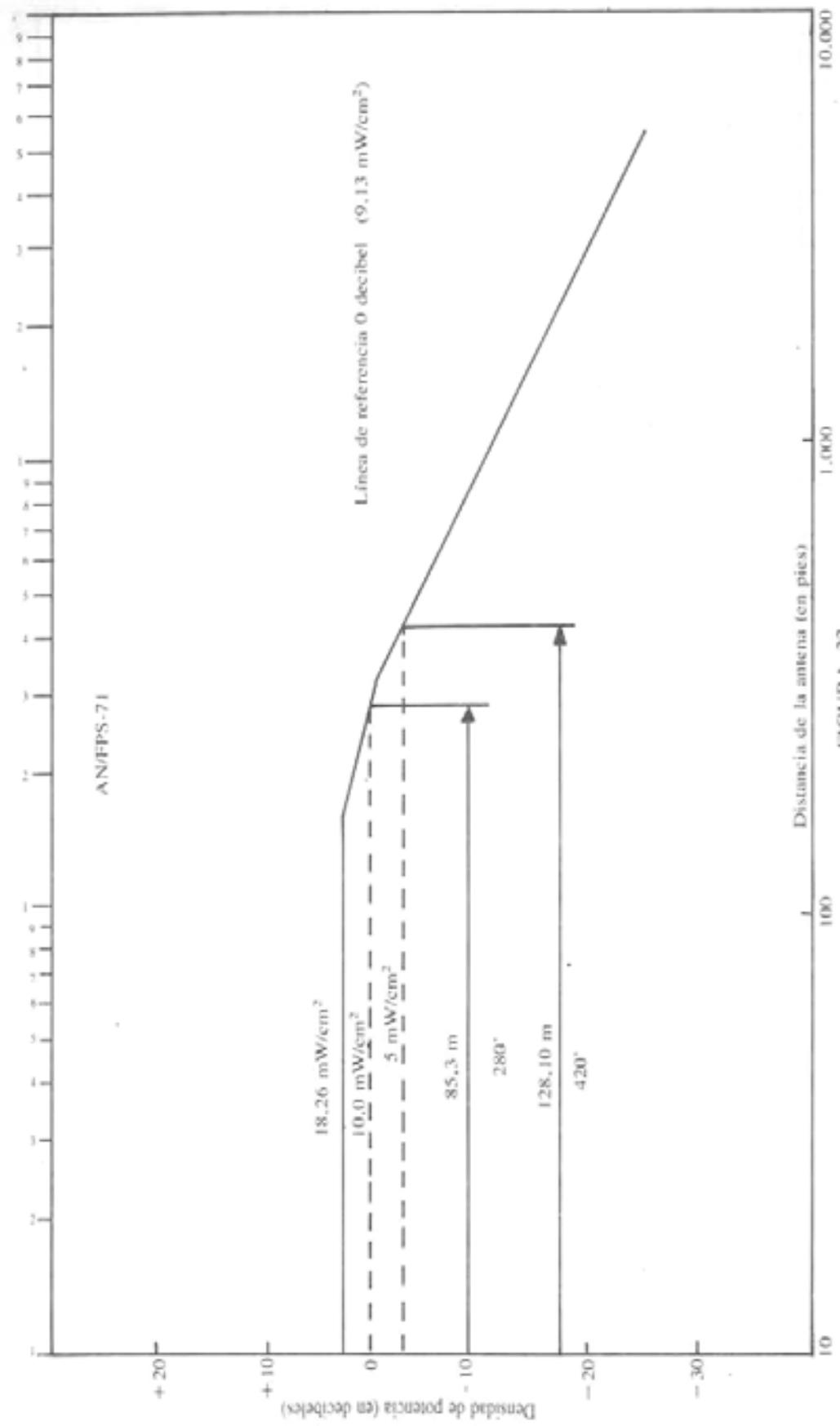


FIGURA 2.2

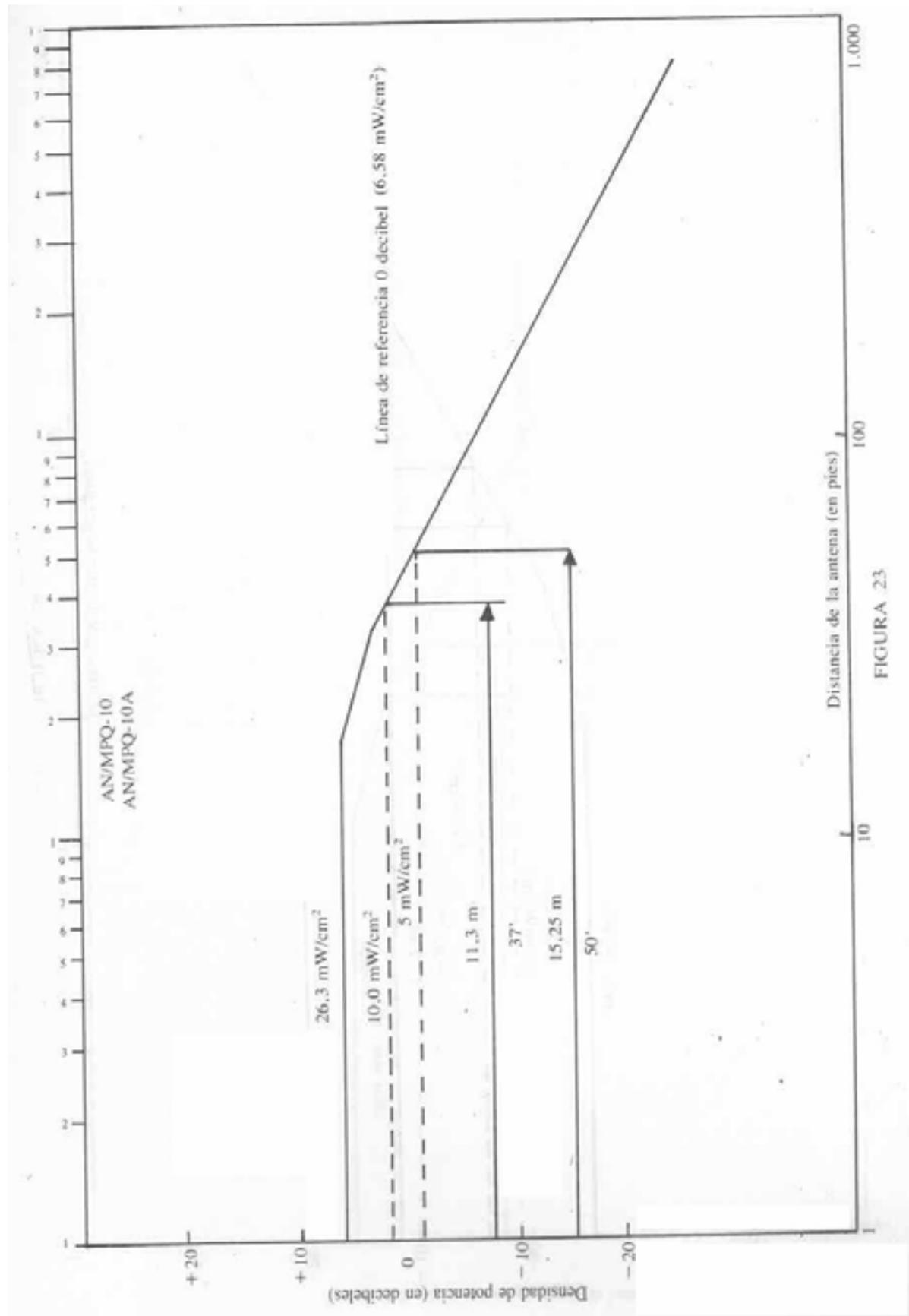


FIGURA 23

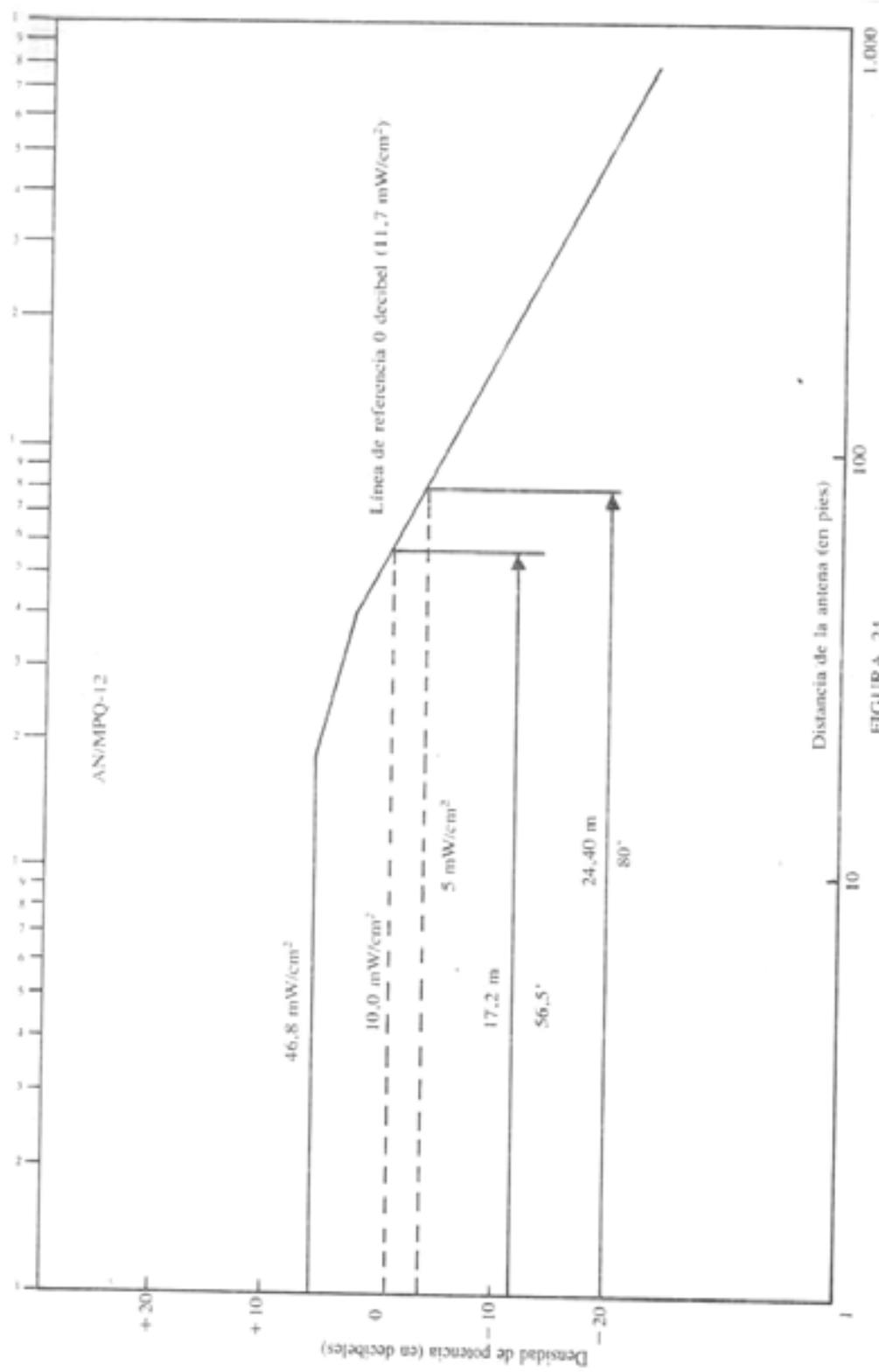


FIGURA 24

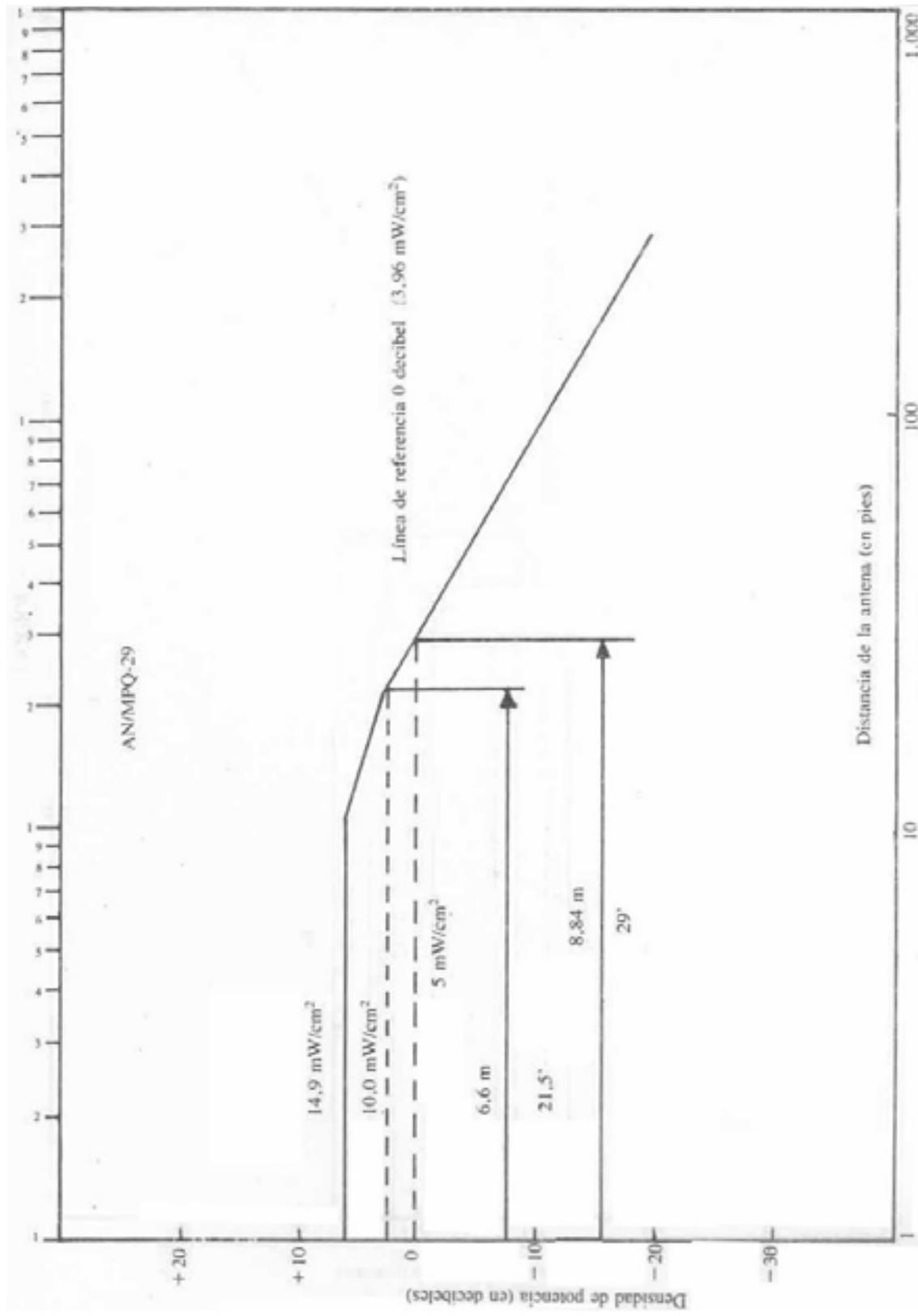


FIGURA 25

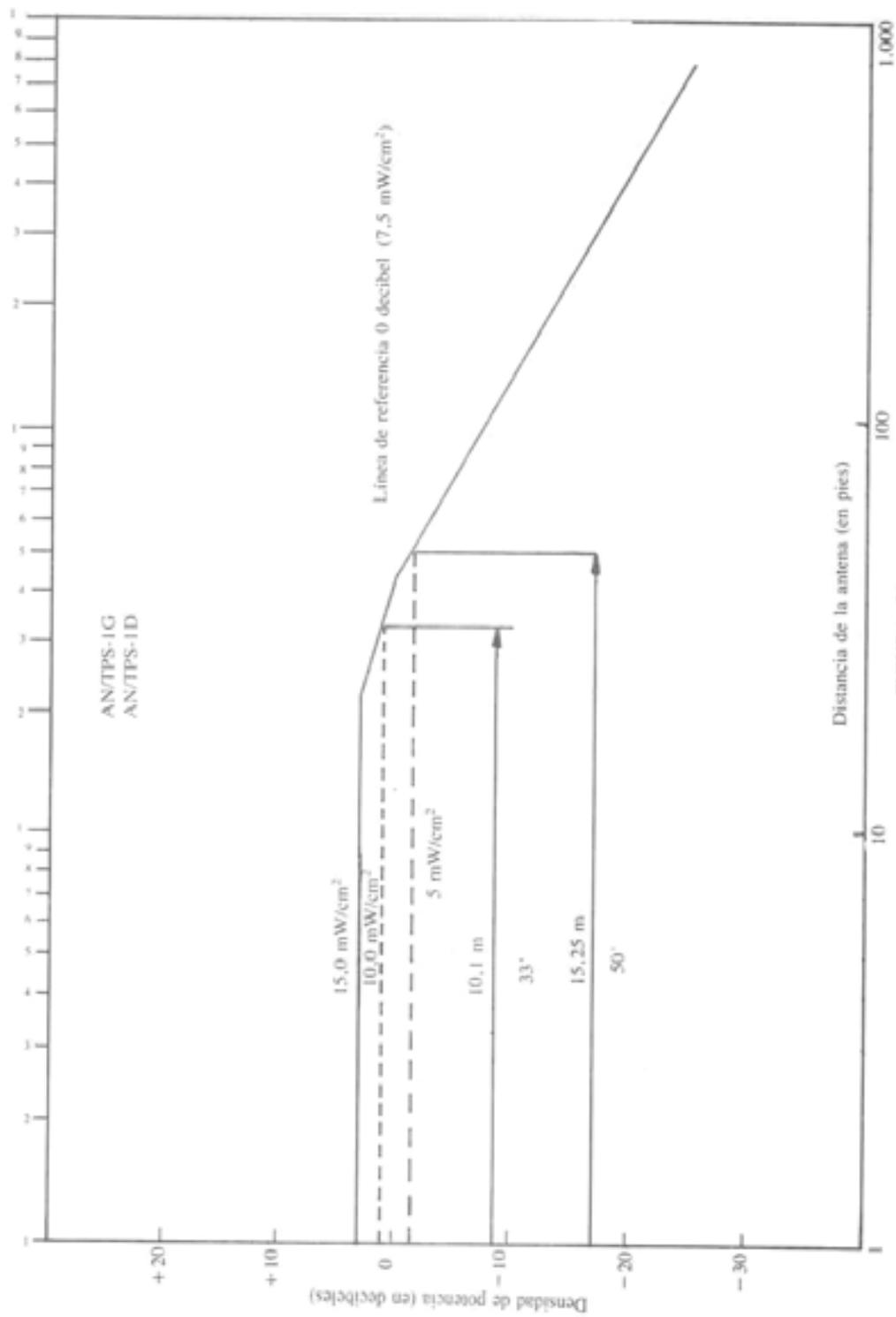


FIGURA 26

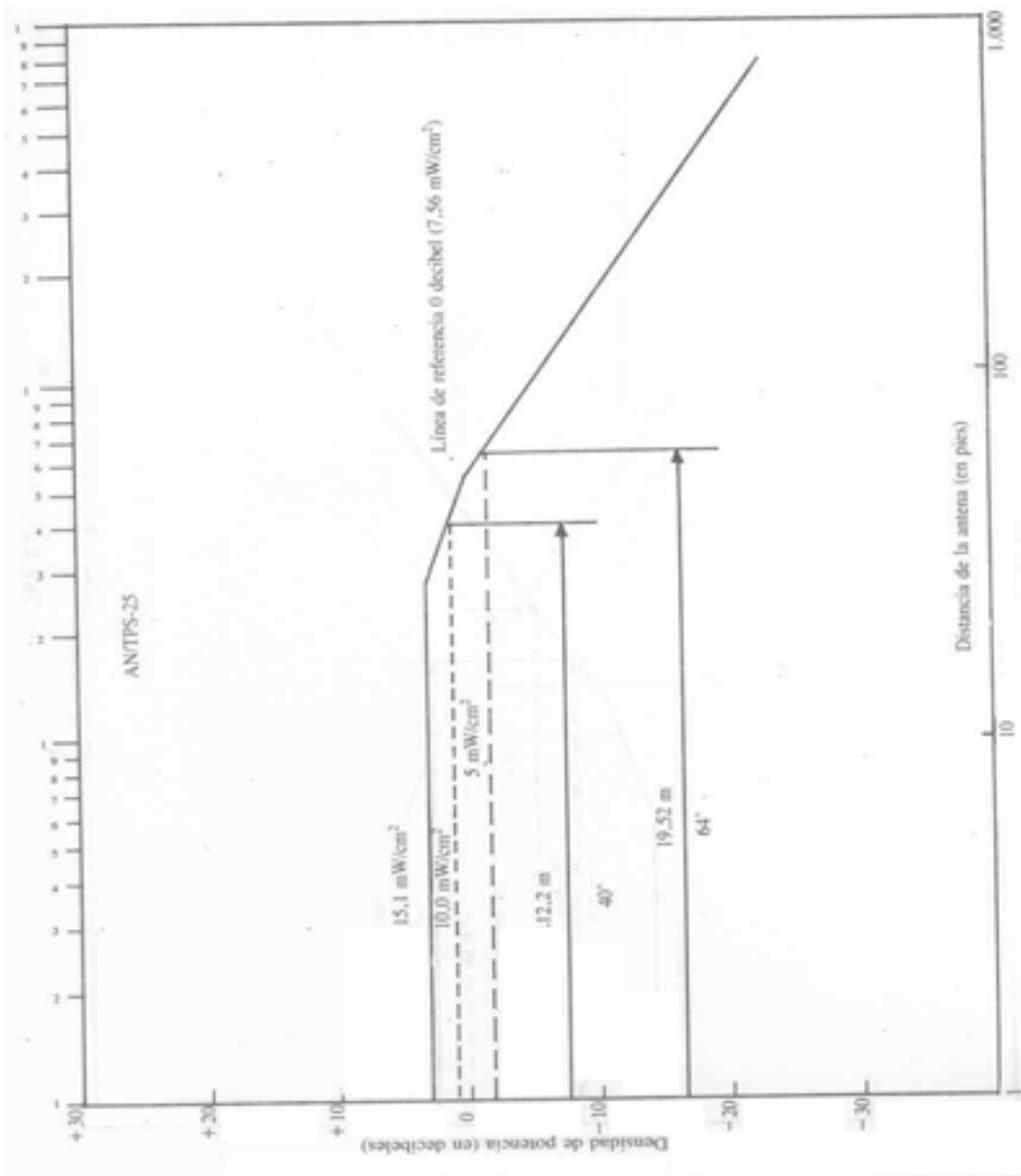


FIGURA 27

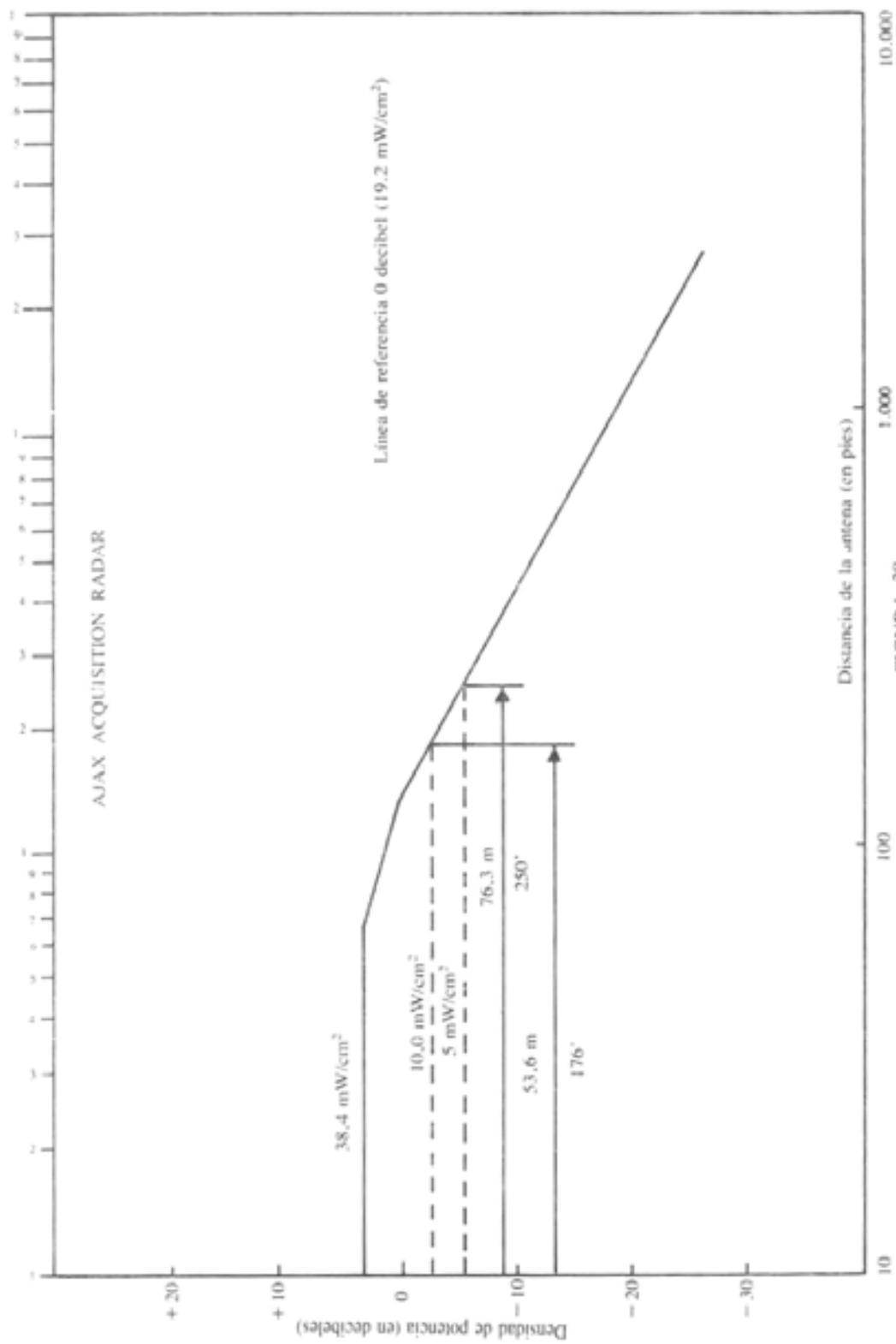


FIGURA 28

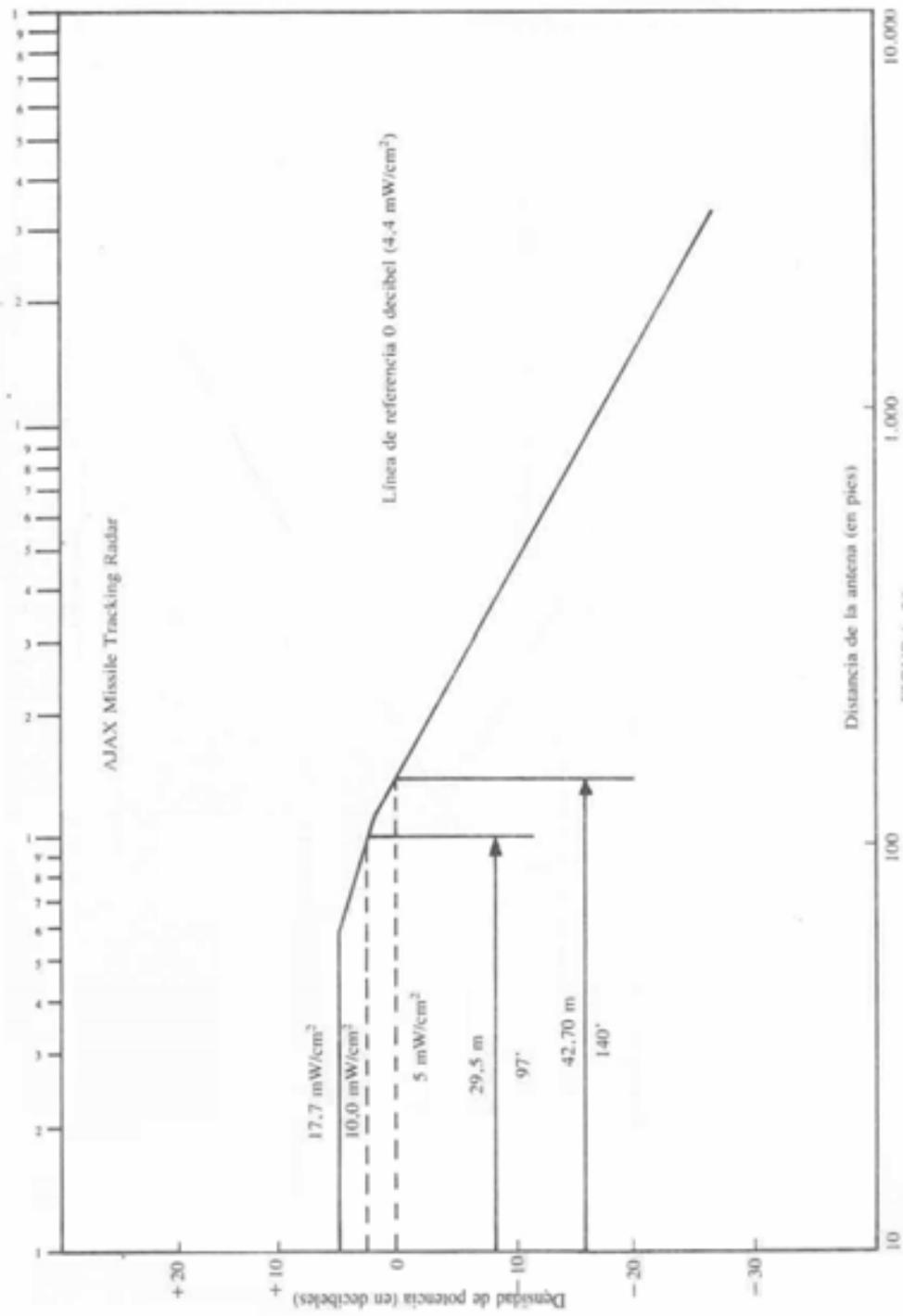


FIGURA 29

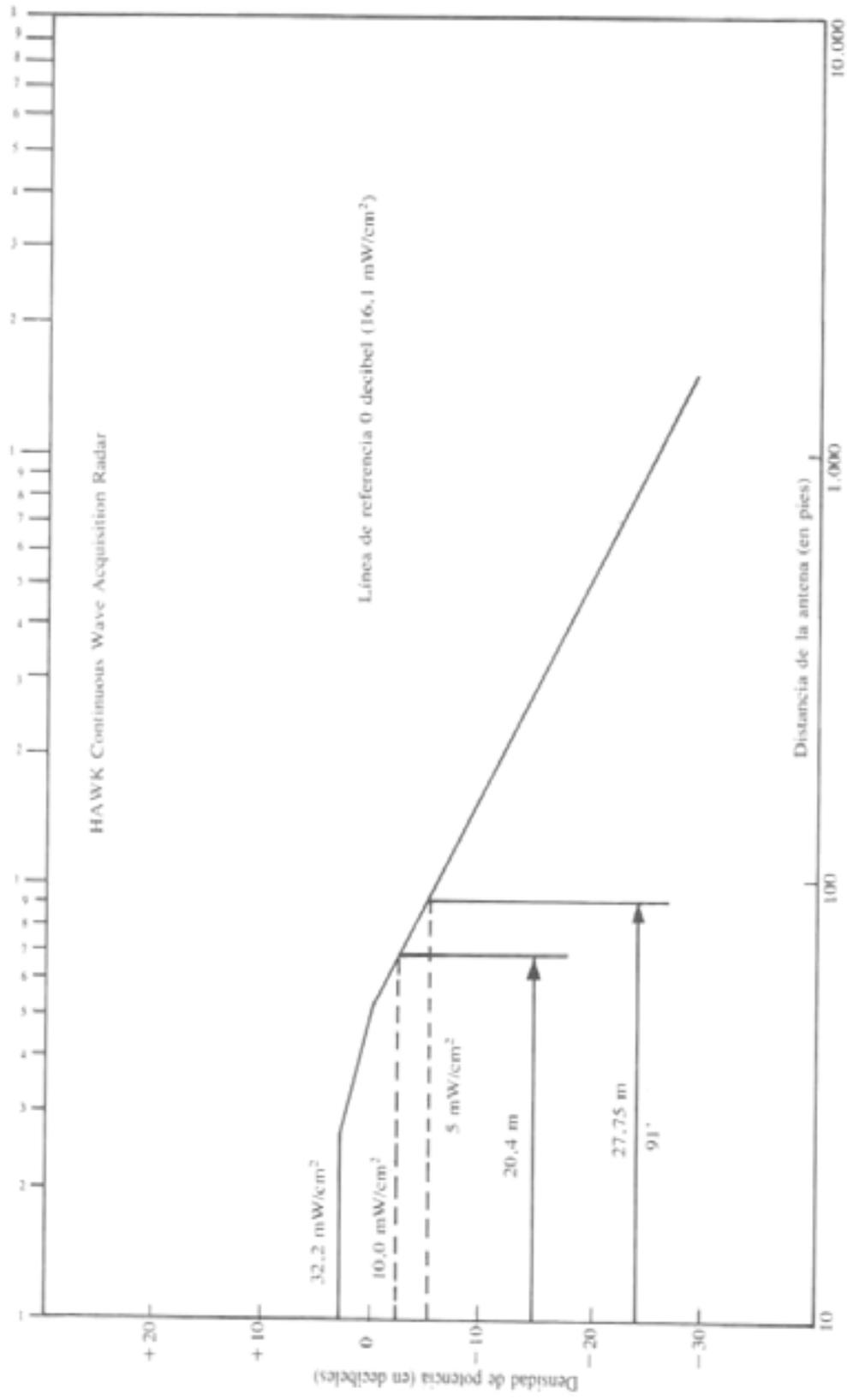


FIGURA 30

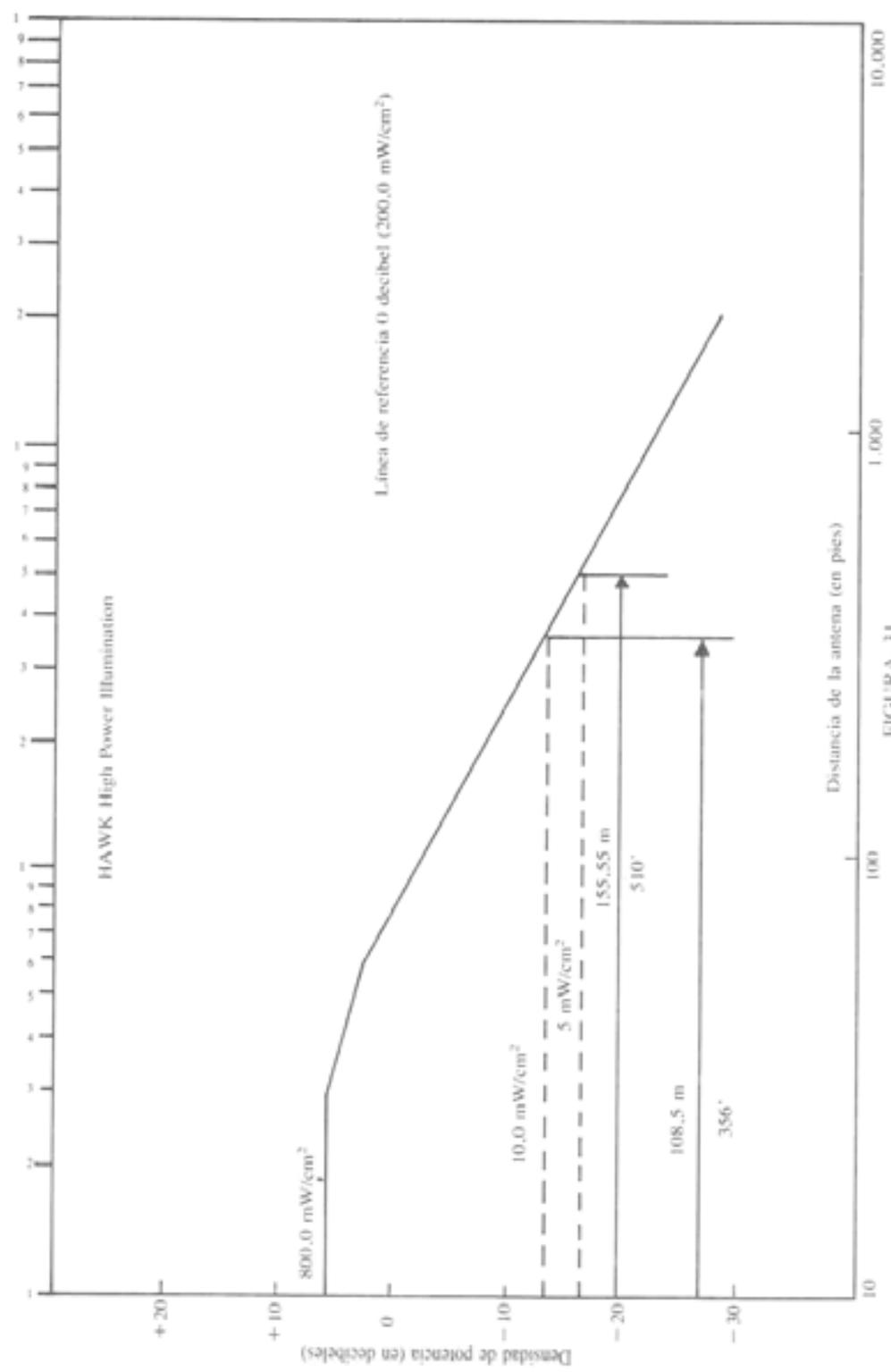


FIGURA 31

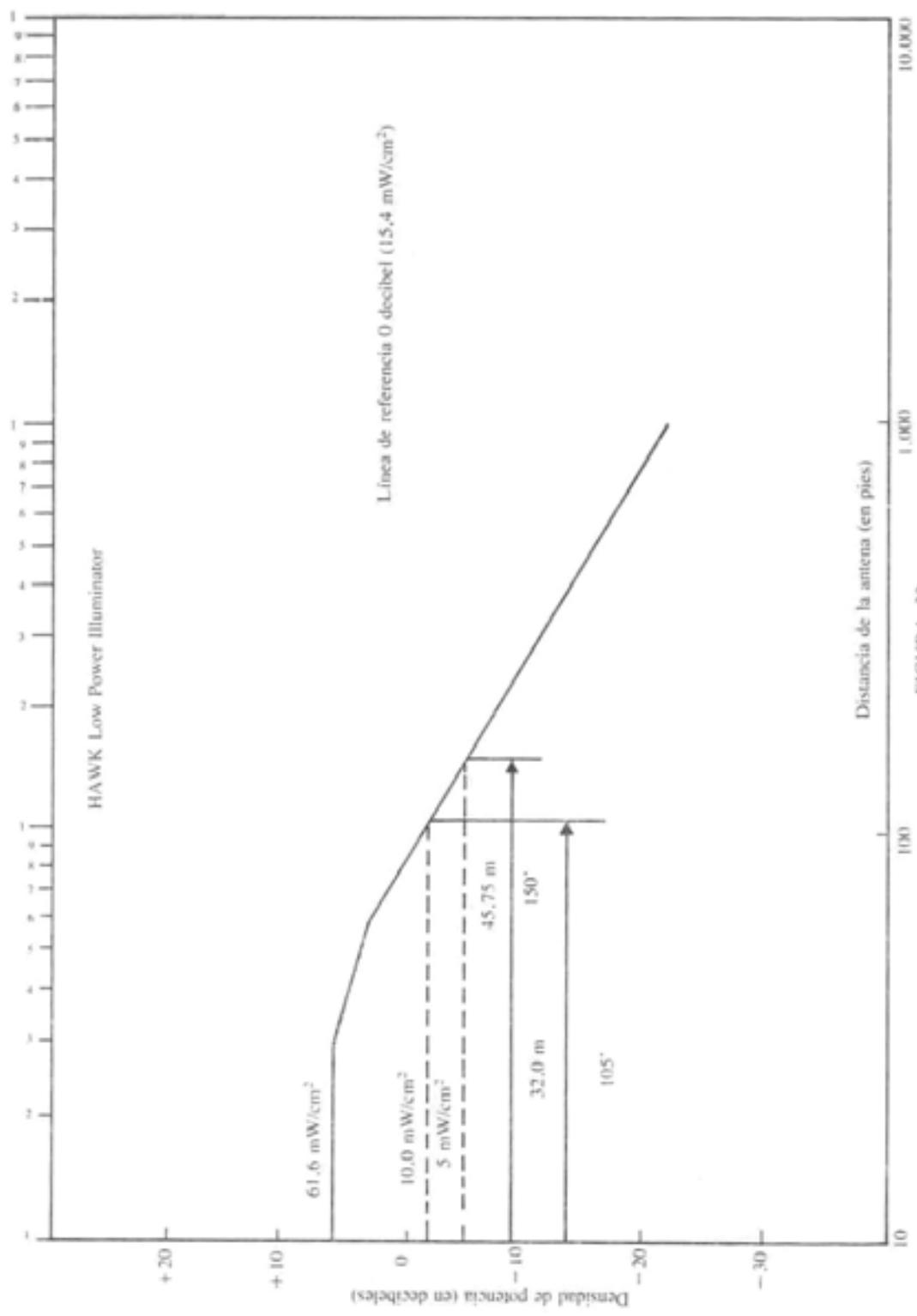


FIGURA. 32

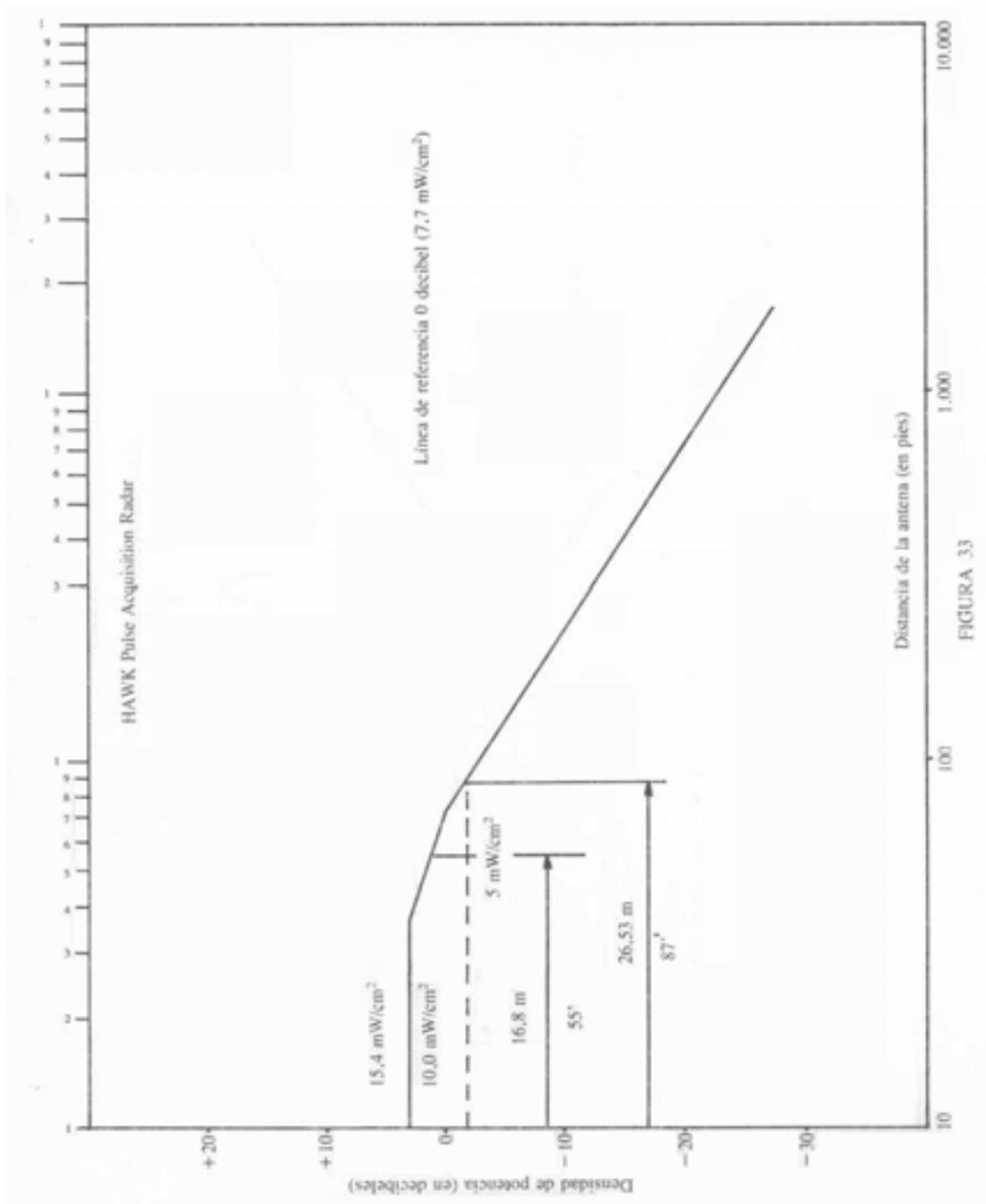


FIGURA 33

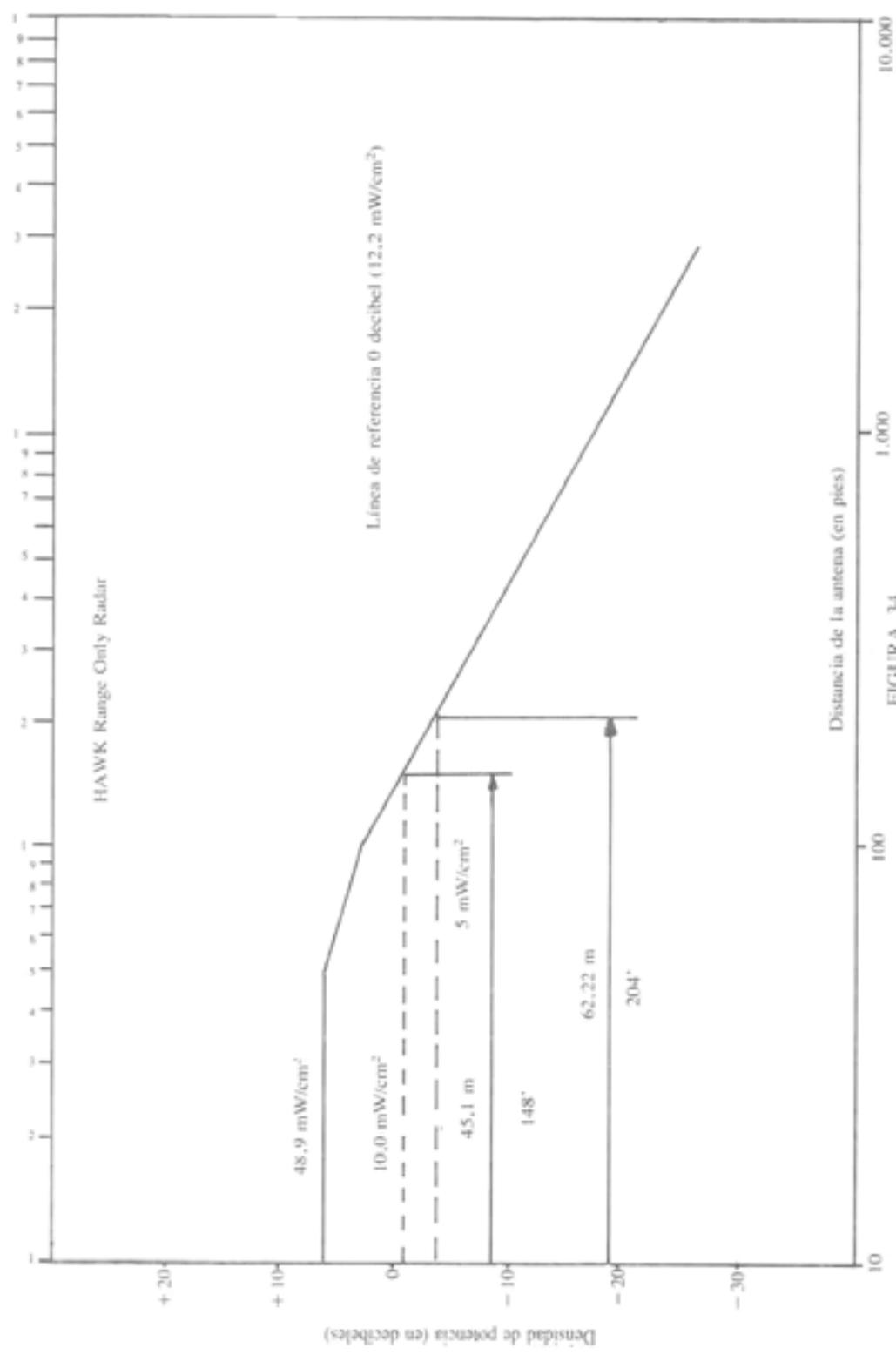


FIGURA 34

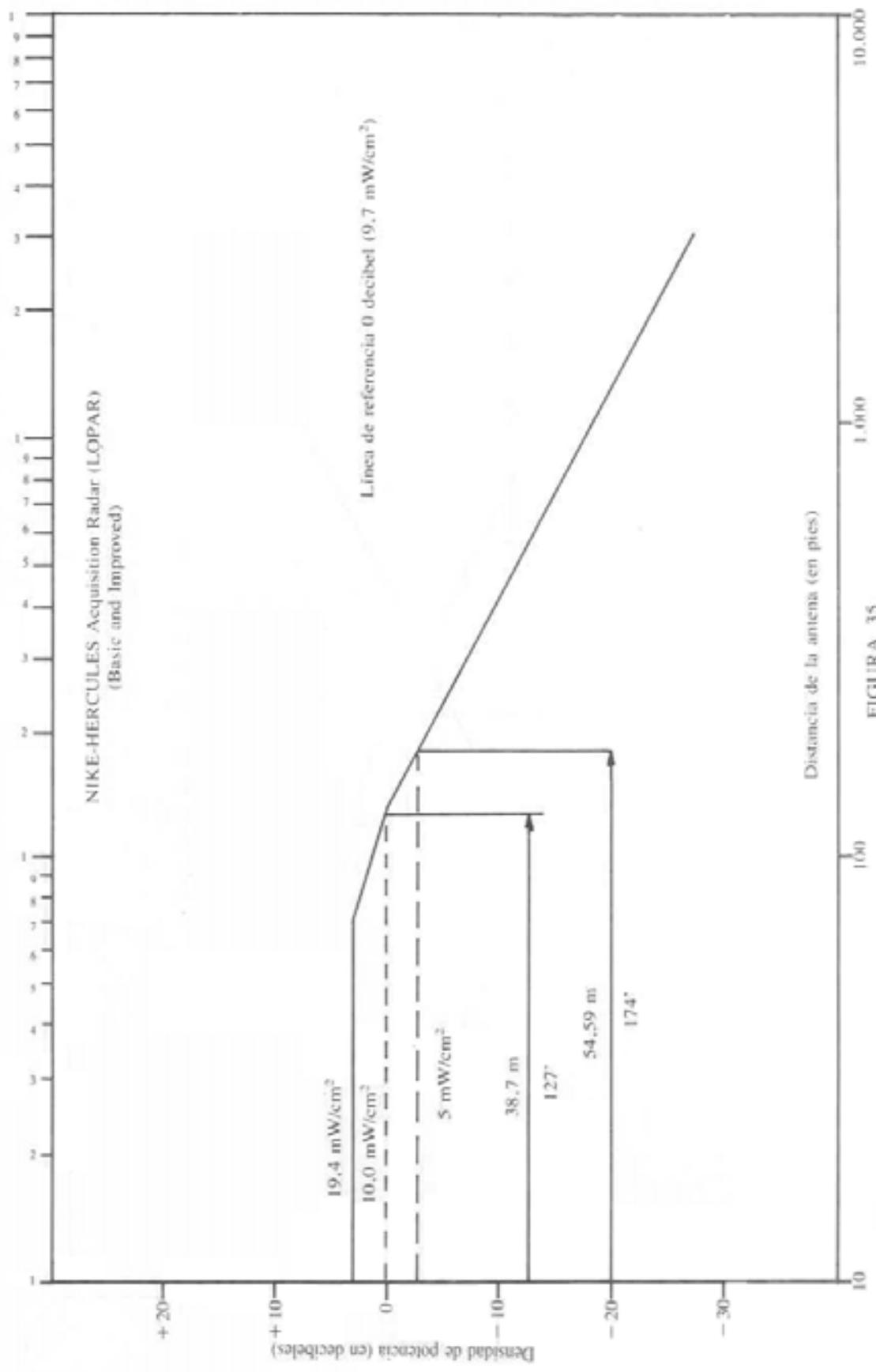


FIGURA 35

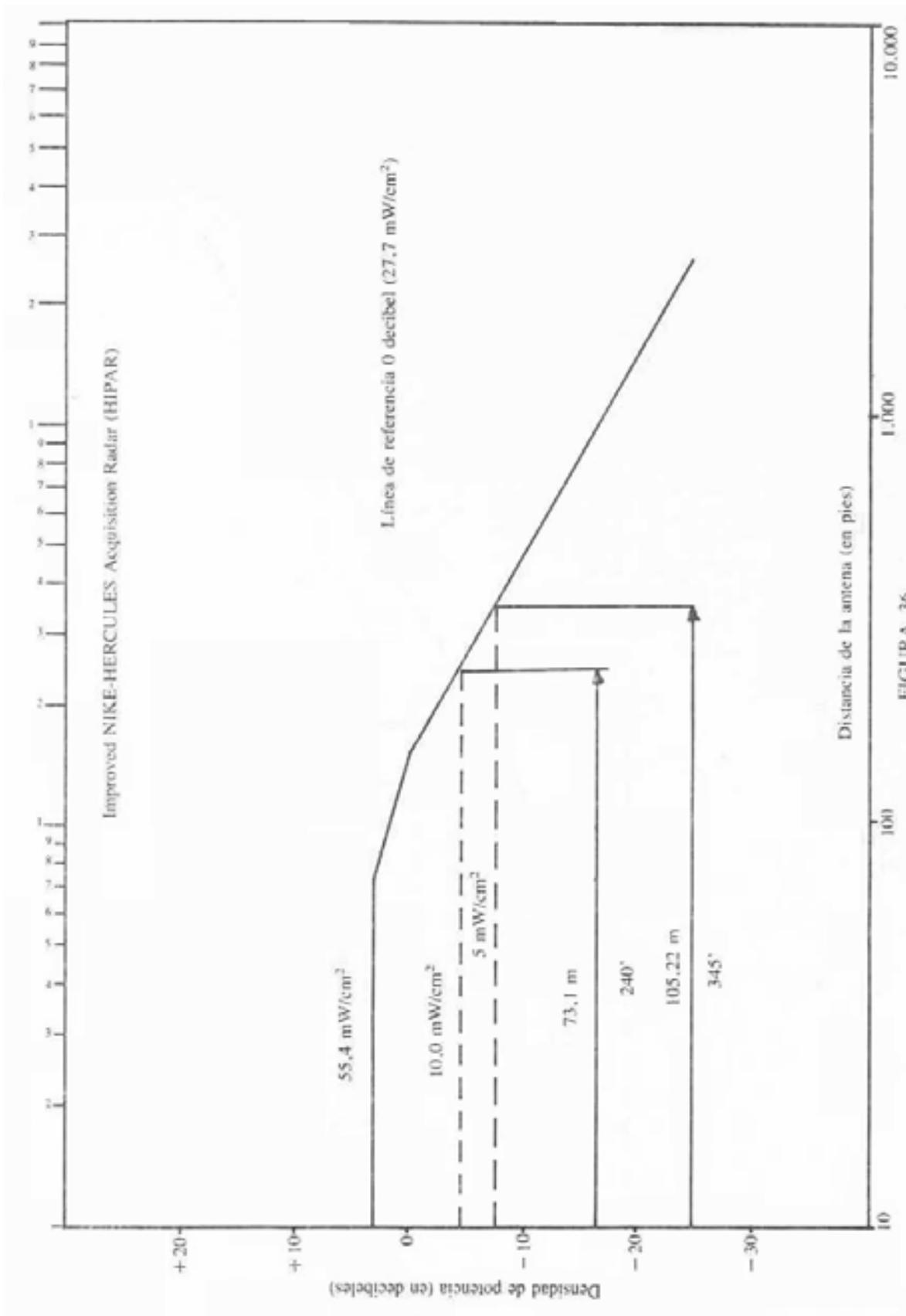


FIGURA 36

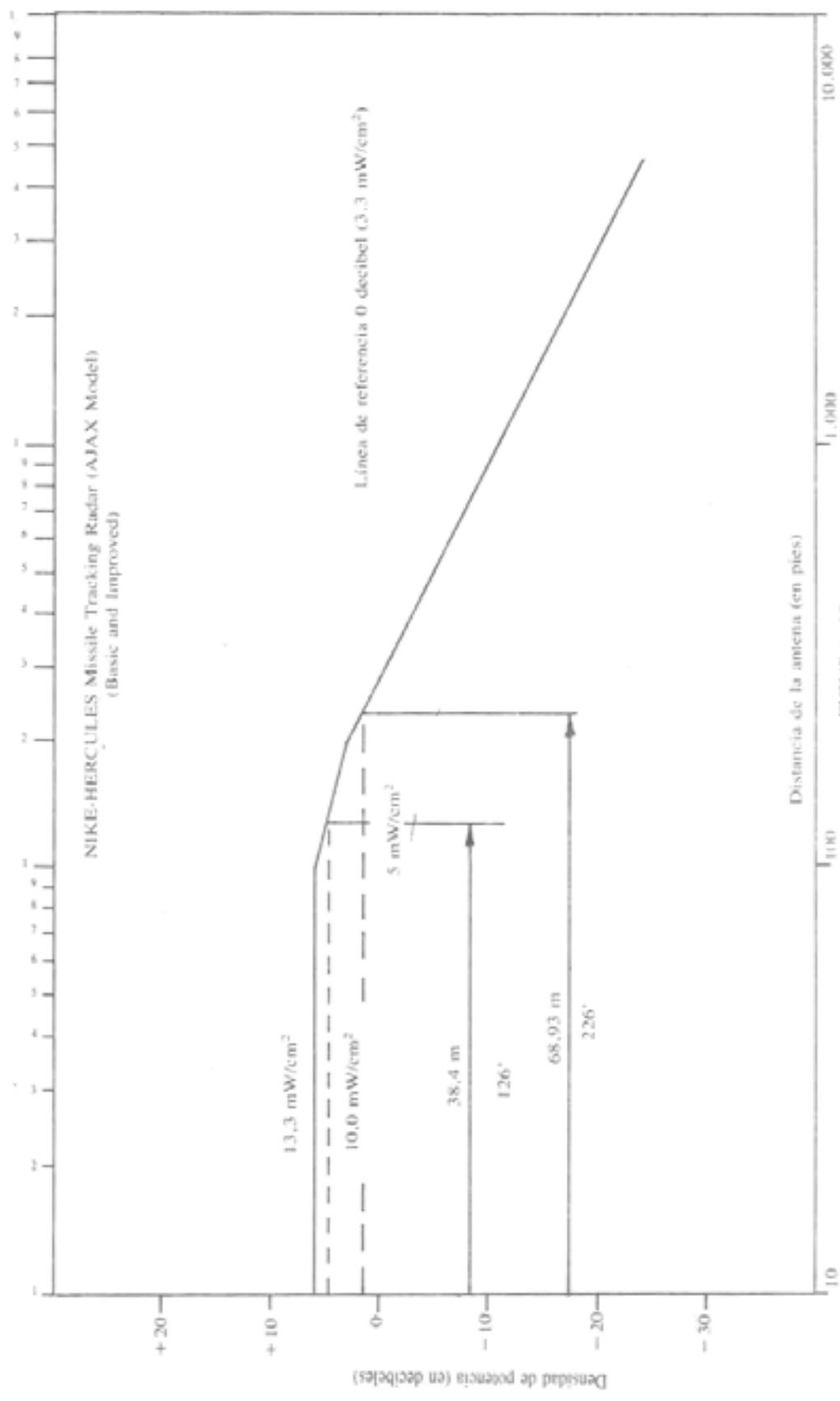


FIGURA 37

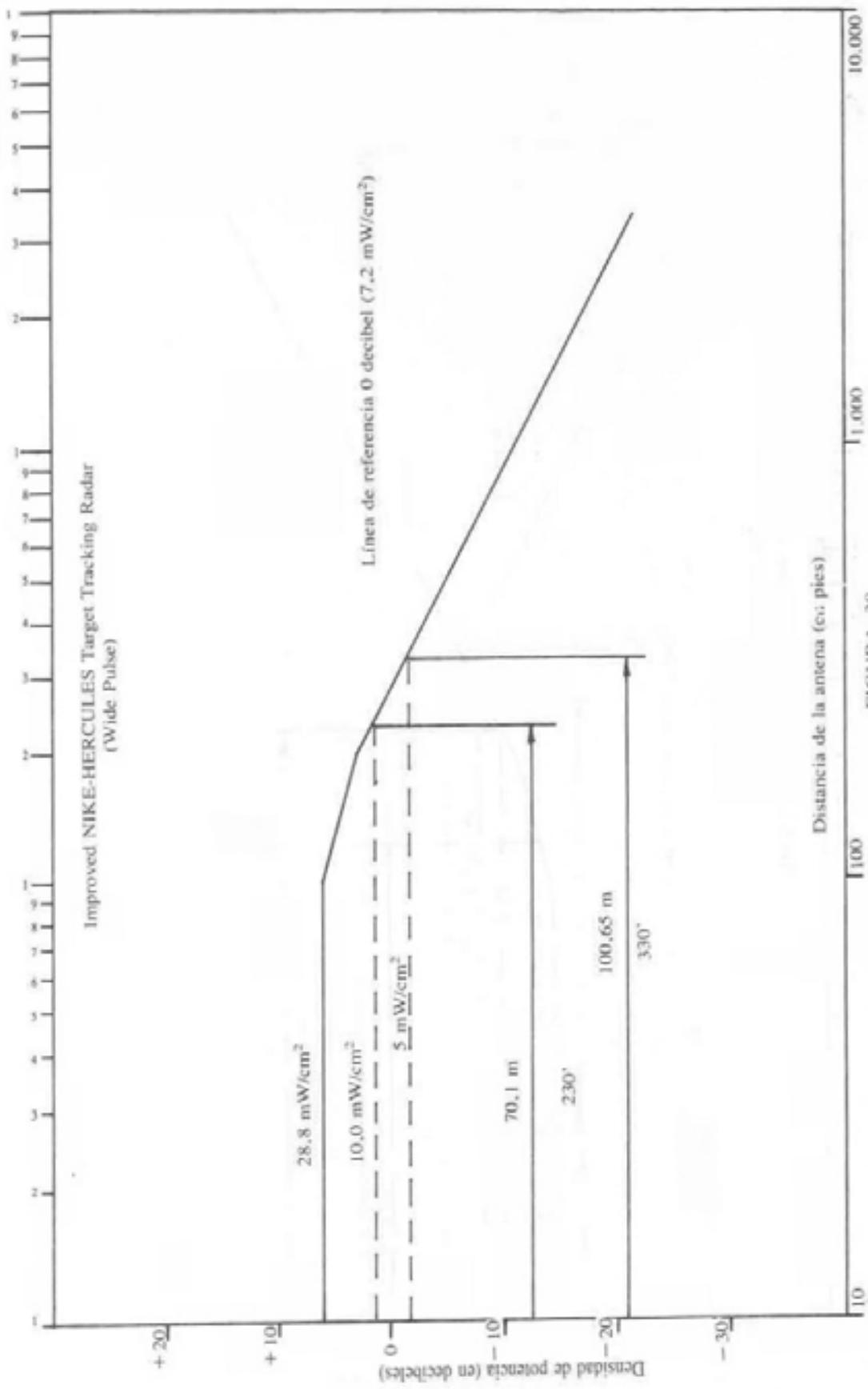


FIGURA 38

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'	0.9 m	0° to +25°	12.0'	3.7 m	2.7						
	W-9.0'	2.7 m										
Elevation Antenna	H-10.0'	3.0 m	-1° to +30°	10.0'	3.0 m	2.9						
	W-2.5'	0.8 m										
AN/FPN-40 Azimuth Antenna	H-3.0'	0.9 m	0° to +25°	12.0'	3.7 m	12.8		92'	28.0 m	51.24	168'	Ver Fig. N°15
	W-9.0'	2.7 m										
Elevation Antenna	H-10.0'	3.0 m	-1° to +30°	10.0'	3.0 m	13.9		80'	24.4 m	36.6	120'	Ver Fig. N°16
	W-2.5'	0.8 m										
AN/FPS-3	H-16.0'	4.9 m	-5° to +6.5°	36'	11.0 m	2.4						
AN/FPS-3a	W-40.0'	12.2 m										
AN/MPS-7 AN/FPS-4	H-10.0'	3 m	-2° to +23°	35'	10.7 m	14.6		188'	57.3 m	82.35	270'	Ver Fig. N°17
AN/MPS-8												
AN/TPS-100 AN/FPS-5	H-1.5'	4.6 m	-2° to +20°	34.5'	10.5 m	5.1						
	W-3.0'	0.9 m										
AN/FPS-6	H-30.0'	9.1 m	-2° to +32°	44.0'	13.4 m	31.0		380'	115.8 m	158.60	520'	Ver Fig. N°18
AN/FPS-6a												
AN/MPS-14 AN/FPS-8	H-14.0'	4.3 m	-2° to +5°	37.5'	11.4 m	6.0						
	W-25.0'	7.6 m										
AN/MPS-11A HAWK High Power Illuminator	D-4.0	1.2 m	-11.5°	10'	3.0 m	800.0	115.0	356'	105.5 m	155.55	510'	Ver Fig. N°31
HAWK Low Power Illuminator	D-4.0'	1.2 m	-2.26° to +	8'	2.4 m	61.6		105'	32.0 m	45.75	150'	Ver Fig. N°32
HAWK Pulse Acquisition Radar	H-5.17' W-22.0'	1.6 m 6.7 m	+1° to +45.5°	12'	3.7m	15.4		55'	16.8 m	26.53	87'	Ver Fig. N°33

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	-2.26° to +	8'	2.4 m	48.9		148'	45.1 m	62.22	204'	Ver Fig. N° 34
NIKE-HERCULES Acquisition Radar (LOPAR)	H-4.4' W-15.8	1.3 m 4.8 m	+2° to +22°	12'	3.7 m	19.4		127'	38.7 m	54.59	174'	Ver Fig. N° 35
Improved NIKE-HERCULES Acquisition Radar (HIPAR)	H-20.8' W-43.0'	6.3 m 13.1 m	0° to	50'	15.2 m	55.4'		240'	73.2 m	105.22	345'	Ver Fig.N°36
NIKE-HERCULES Missile Tracking Radar (Ajax Mode) (Basic & Improved)	D-7.7'	2.3 m	-10.3° to +91°	8'	2.4 m	13.3'		126'	38.4 m	68.93	226'	Ver Fig.N°37
Improved NIKE-HERCULES Target Tracking Radar (Wide Pulse)	D-7.7'	2.3 m	-1.75° to +183°	8'	2.4 m	28.8'		230'	70.1m	100.65	330'	Ver Fig.N°38
AN/CPN-18 AN/CPN-18A	W-7' H-9'	2.1 m 2.7 m	0° to +10° +1° to +4°	30 9	max max	13.4'		182.0' 55.5'		94.55	310'	Ver Fig.N°13
AN/CPS-1 Upper Beam	W-25' H-5'	7.6 m 1.5 m	+1° to +4°	32'	9.75 m	4.1						
Lower Beam	W-25' H-8'	7.6 m 2.4 m	-1° to +2°	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 AN/GPA-11 AN/CPS-4	H-21' W-5'	6,4 m 1,5 m	-2° to 32°	40'	12,2 m	9.0						
AN/CPS-5 AN/CPS-5B AN/CPS-5C AN/CPS-5D	H-14' W-25'	4,3 m 7,6 m	+5	43'	13,1 m	4,3						
AN/CPS-6 Vertical Sail Slant Sail	10' x 25' 10' x 32'	3,1 x 7,6m 3,1 x 9,8m	+2° to 7°	35' 45'	10,7m 13,7m	2,7 2,1						
AN/CPS-6B AN/FPS-10 Vertical Sail Horizontal Sail Slant Sail	10' x 25' 10' x 32' 10' x 25'	3,1 x 7,6m 3,1 x 9,8m 3,1 x 7,6m	-1° to 30° +5° max +5° to +11°	35' 35' 45'	10,7m 10,7m 13,7m	9.3 7.3 9.3						
AN/CPS-9 AN/MPS-7	D-7-3/4'	2,36m	+5° to +90°	15.0'	4,6m	17,32	180.0' 54.9 m	75.64	248'			Ver Fig.N° 14
AN/MPS-8												Ver AN/FPA-3
AN/MPS-11 AN/MPS-11A												Ver AN/FPA-4
AN/MPS-14												Ver AN/FPS-8
AN/SPN-5	H 1.54 W 5.16	0.5 1.6				5.4		158.60	520'			Ver AN/FPS-6
AN/SPS-35												
AN/TPS-16 AN/TPS-1D	H 4.0 W 15.0	1.2 4.6		10	3.0	15		33.0	10.1	15.25	50'	Ver Fig.N° 26

AN/TPS-10D										82.35	270'	Ver AN/FPS-4
AN/TPS-25	H 1.67 W 3.34	0.5 1.0	-15° a 15°	3 a 25	0.9 a 7.6	15.1		40.0	12.2	19.52	64'	Ver Fig.N° 27
AN/TPS-33	H 0.63 W 2.25	0.2 0.7				6.2						
AJAX Acquisition Radar	H 4.4 W 15.8	1.3 4.8	+2° a + 22°	12	3.7	38.4		176.0	53.6	76.3	250'	Ver Fig.N° 28
AJAX Missile Tracking Radar	D 5.9	1.8	-10.2° a +91°	8.0	2.4	17.7		97.0	29.6	42.70	140'	Ver Fig. N° 29
HAWK Continuous Acquisition Radar	H 1.58 W 7.58	0.5 2.3	+2.82°	8.0	2.4	32.2		67.0	20.4	27.75	91'	Ver Fig.N° 30
AN/FPS-10			-6° a + 5°									Ver AN/CPS
AN/FPS-14 AN/FPS-14A	H-11' W-17'	3,4 m 5,3 m		80'	24,4 m	4,3						
AN/FPS-16 (1MW)	D-12'	3,7 m	-10° to + 190°	45'	13,7 m	36,2		400'	122m	175.37	575'	Ver Fig.N° 19
AN/FPS-16 (3M/W)						65.2		530'	162m	237,90	780'	Ver Fig.N° 20
AN/FPS-18	H-11' W-17'	3,4 m 5,3 m	-6° to + 6°	80'	24,4 m	12,1		410'	125m	225.70	740'	Ver Fig.N° 21
AN/FPS-20	H-16' W-40'	4,9 m 12,2 m	+2° to +8°	15'	4,6 m	2,0						
AN/FPS-36	H-16' W-40'	4,9 m 12,2 m	+2,5°	20'	6,1m	1.2						
AN/FPS-71	H-11' W-40'	3,4 m 12,2 m	+2,5°	20'	6,1m	18,26		280'	85,3m	128.10	420'	Ver Fig. N° 22
AN/MPQ-4A	H-5.5' W-7.5'	1,7 m 2,3 m				5.02						
AN/MPQ-10 AN/MPQ-10A	D-5.73'	1,75 m	-7,1° to '87.5°			26,3		37'	11,3m	13.25'	50'	Ver Fig. N° 23

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)

$$\vec{D} = \epsilon \cdot \vec{E}$$

Susceptibilidad eléctrica X_e (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:

$$X_e = \frac{P}{D} = \frac{P}{\epsilon_0 \vec{E}} = (\epsilon_r - 1)$$

Energía electromagnética: La energía de una onda electromagnética o 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 ω_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/metro³

$$\omega_e: 1/2 \epsilon \cdot |\vec{E}|^2$$

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 λ la longitud de onda.

Nota 2- Para una antena enfocada al infinito, la región de campo lejano es llamada región de Fraunhofer 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 Fraunhofer: 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 $1/r$ 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 Fraunhofer 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:

$$f \text{ (frec.)} = 1 / T \text{ (período)} = \omega / 2\pi$$

ω = 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 $\lambda < rD < kD^2/\lambda$.

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 ciclo de portadora, en la máxima amplitud que pueda tener con cualquier combinación 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 I 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 $\eta = |\vec{E}| / |\vec{H}| = \omega/\epsilon$

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 isotrópica: Es una antena ideal que emite o recibe igualmente en cualquier dirección.

Nota: En el caso de ondas electromagnéticas las antenas isotrópicas no existen físicamente 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

$$J = W \cdot s$$

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 de 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 o 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/m², donde

$$\vec{P} = \vec{D} - \epsilon_0 \vec{E}$$

\vec{P} = polarización (del dieléctrico)

\vec{D} = densidad de flujo eléctrico

ϵ_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/m²

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/cm², pero puede no estar relacionado al flujo de potencia. Este valor es llamado entonces densidad de *potencia aparente*, donde cada mW/cm² equivale a 377 volt²/m². 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 4π 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 $S = \vec{E} \times \vec{H}$, donde \vec{E} es el vector campo eléctrico en Volt/m, y \vec{H} es el vector campo magnético en Ampere/m; \times = 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" descrito 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 Fraunhofer o zona de campo lejano. La distinción entre región de Fresnel y lejano, 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 λ es la longitud de onda.

Coefficiente 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.

$$SAR = \frac{\sigma}{\rho} E_t^2 \times 10^{-3} \text{ W/KG}$$

donde

σ = la conductividad del tejido en la frecuencia de radiación; en mho/m

ρ = 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:

$$n(\text{dB}) = 10 \log \left(\frac{P1}{P2} \right) = 10 (\log P1 - \log P2)$$

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:

$$n(\text{dB}) = 10 \log \left(\frac{100}{10} \right) = 10$$

o P1 es 10 dB mas que P2, sí solo se conocen los potenciales, entonces:

$$n(\text{dB}) = 10 \log \left(\frac{E1^2}{E2^2} \right)$$

Ya que $\log E^2 = 2 \log E$ entonces es:

$$n(\text{dB}) = 20 \log \left(\frac{E1}{E2} \right)$$

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.

$$W = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} W(t) dt$$

Para cálculos de radar la potencia promedio es: $W = \text{potencia pico} \times \text{ancho de pulso} \times \text{PRF}$

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 (Ω)
Area	A	$(\text{longitud})^2$	Metro ² (m ²)
Capacidad	C	Carga/potencial	Farad (F)
Carga	Q,q	Corriente x tiempo	Coulomb (C)
Densidad de carga (volumen)	ρ	$\frac{\text{Carga}}{\text{Volumen}} = \nabla \cdot D$	$\frac{\text{Coulomb}}{\text{metro}^3}$ (C·m ³)
Conductancia	G	$\frac{1}{\text{resistencia}}$	mho (Ω)
Conductividad	υ	$\frac{1}{\text{resistividad}}$	$\frac{\text{mho}}{\text{metro}}$ (u·m ⁻¹)
Corriente	I	Carga/tiempo	Ampere (A)
Densidad de corriente	J	Corriente/área	$\frac{\text{ampere}}{\text{metro}^2}$ (A·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= torque = $\frac{\text{torque}}{\text{densidad de flujo magnético}}$	ampere - 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·m ⁻³)
Intensidad del campo eléctrico	E	$\frac{\text{potencial}}{\text{longitud}} = \frac{\text{fuerza}}{\text{carga}}$	volt/metro (V·m ⁻¹)
Flujo eléctrico	Ψ_e	carga = $\iint D \cdot ds$	Coulomb (C)
Flujo magnético	Ψ_m	$\iint B \cdot ds$	Weber (Wb)
Densidad de flujo eléctrico (vector desplazamiento D)	D	Carga/aérea	$\frac{\text{coulomb}}{\text{metro}^2}$ (C·m ⁻²)
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·m ⁻¹)
Impedancia	Z	potencial/corriente	ohm (Ω)
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·m)
Masa	M,m		Kilogramo (kg)
Período	T	$\frac{1}{\text{frecuencia}}$	segundo (s)
Permeabilidad magnética (para vacío $\mu_0 = 400\pi nHm^{-1}$)	μ	$\frac{\text{inductancia}}{\text{longitud}}$	$\frac{\text{henry}}{\text{metro}}$ (F·m ⁻²)
Permitividad (constante dieléctrica para el vacío) $\epsilon_0 = 8,85 \text{ pF/m}$ $\cong 10^{-9}/36\pi \text{ F}\cdot\text{m}^{-1}$	ϵ	$\frac{\text{capacidad}}{\text{longitud}}$	$\frac{\text{farad}}{\text{metro}}$ (F·m ⁻²)
Polarización	P	$\frac{\text{momento dipolar}}{\text{volumen}}$	$\frac{\text{coulomb}}{\text{metro}^2}$ (Cm ⁻²)
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	$\frac{\text{Watt}}{\text{metro}^2} \left(\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \right)$
Intensidad de radiación	P	$\frac{\text{potencia}}{\text{unidad de ángulo sólido}}$	$\frac{\text{Watt}}{\text{steradian}} \left(\text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \right)$
Reactancia	X	Potencial/corriente	ohm (Ω)
Permeabilidad Relativa	μ_r	razón $\frac{\mu}{\mu_0}$	
Permitividad Relativa	r	razón $\frac{\epsilon}{\epsilon_0}$	
Resistividad	S	resistencia x longitud = 1/conductividad	ohm-metro ($\Omega \cdot \text{m}$)
Resistencia	R	potencial/corriente	ohm (Ω)
Susceptancia	B	1/reactancia	mho (μ)
Tiempo	T, t		segundo (s)
Velocidad (de la luz en vacío= 300 Mms ⁻¹)	v	longitud/tiempo	$\frac{\text{metro}}{\text{segundo}} \left(\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \right)$
Volumen	v	longitud ³	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 Fraunhofer.

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 Fraunhofer, donde la densidad de potencia W decrece con $1/R^2$ de acuerdo a la simple ecuación para el espacio libre:

$$W = P \cdot G / 4 \cdot \pi \cdot R^2 \quad (1)$$

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 λ la longitud de onda de la energía radiada. D y λ 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:

$$r = R / (2D^2/\lambda) \quad (2)$$

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 λ 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:

$$G = 10^{g/10} \quad \text{o bien}$$

$$G = \text{Antilog}(g/10) \quad (3)$$

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 (G_{cc}) difiere del valor de ganancia en el campo lejano (G_{cl}) en aproximadamente 1 dB para $r = 0,25$ y es esencialmente idéntico al del valor de ganancia en el campo lejano.

($G_{cc} \approx G_{cl}$) 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/λ , 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:

θ = Es el ángulo entre el eje de la antena y el punto donde se requiere calcular (en grados)

D = Diámetro de la antena circular

λ = 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
$W_0=P/A$	P= Potencia promedio del transmisor A= Area del reflector
$W_{nf}= 4.W_0=W_1$	W_{nf} = Dens. pot.máx.campo cercano
$W_1= 4.W_0$ $W_{if}= 4.W_0 (R_1/R)$ $W_{if}= W_1 (R_1/R)$ $W_{ff}= 2.W_0 (R_2/R)^2$ $W_{ff}= W_2 (R_2^2/R^2)$	W_{if} =Dens. pot. camp. intermedio a una distancia R W_{ff} =Dens. pot. camp. lejano a una distancia R

La densidad de potencia máxima $W_{nf}=4W_0$ 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 λ 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 W_0 .

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 $4W_0$, en todo el campo cercano.

La densidad de potencia máxima para el reflector de antena circular puede calcularse de la siguiente manera:

$$W=4W_0$$

$$W_0=P/A$$

donde:

$$W = \text{densidad de potencia máxima en el eje del haz (mW/cm}^2\text{)}$$

Wo = densidad de potencia promedio a través de la antena
P = potencia de salida promedio del transmisor en milivatios
A = área del reflector en cm²

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/cm², 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/cm². Este procedimiento está resumido en el párrafo siguiente:

Si la densidad de potencia en R₂ excede los 10 mW/cm² (asimismo si excede los 20 mW/cm² en el campo cercano), entonces el punto de 10 mW/cm² estará en el campo lejano, y se puede calcular de la siguiente manera:

$$R_{(\text{punto } 10 \text{ mW/cm}^2)} = R_2 \sqrt{0,1 \cdot W_2} \quad \text{para } w_1 > 20 \text{ mW/cm}^2$$

Si la densidad de potencia en R₂, es menor que 10 mW/cm² y la densidad de potencia (ó 4Wo) en R₁, es mayor que 10 mW/cm², entonces el punto de 10 mW/cm² estará en el campo intermedio y puede calcularse así:

$$R_{(\text{Punto } 10 \text{ mW/cm}^2)} = 0,1W_1R_1 \quad \text{para } 10 \text{ mW/cm}^2 < W_1 < 20 \text{ mW/cm}^2$$

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 (λ 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 $W_1 = 4W_0$ (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:

$$W_1 \text{ (mW/cm}^2\text{)} = W[(\text{mW/cm}^2)/k W]P_t \text{ (kW)}$$

$$W_1 = 1,53 \times 10^{-6} \times 10 \text{ kW} = 15,3 \text{ mW/cm}^2$$

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 $W_2 = 2W_0$) 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 $W_1 = 4W_0$) 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:

$$R_{(10 \text{ mW/cm}^2)} = 0,1 W_1 R_1$$

$$\text{Para } 10 \text{ mW/cm}^2 < W_1 < 20 \text{ mW/cm}^2$$

para el ejemplo aquí presentado:

$$R_{(10 \text{ mW/cm}^2)} = 0,1 \times 15,3 \text{ mW/cm}^2 \times 462,3 \text{ m} = 707,32 \text{ m}$$

Ejemplo 2

Considerando los datos de potencia de transmisión, frecuencia y diámetro de antena anteriores, calcularemos ahora la distancia a 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 $W_1=4W_0$, donde W_0 era la densidad de potencia promedio a través de la antena. De aquí obtenemos el valor de W_0 como:

$$W_0 = \frac{W_1}{4} = \frac{15,3 \text{ mW/cm}^2}{4}$$

$$W_0 = 3,825 \text{ mW/cm}^2$$

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 :

$$W_2 = 2 \times W_0 = 2 \times 3,825 \text{ mW/cm}^2 = 7,65 \text{ mW/cm}^2$$

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:

$$R = \sqrt{\frac{W_2 \cdot R_2}{W_{ff}}} = \sqrt{\frac{7,65(\text{mW/cm}^2) \cdot (924,6 \text{ cm})^2}{5(\text{mW/cm}^2)}}$$

$$R = 114.366,7038 \text{ cm} = 1.143,667 \text{ m}$$

por lo tanto,

$$R_{(5\text{mW/cm}^2)} = 1.143,667\text{m}$$

Ejemplo 3

Determinar las medidas de seguridad de un sistema de radar que transmite en una frecuencia de $2,88 \text{ GHz}$ (aproximadamente 10 cm de longitud de onda), con una potencia de salida de $0,1 \text{ kW}$, a través de una antena circular (reflector) de 92 cm de radio.

Para calcular $R_{(10\text{mW/cm}^2)}$ 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:

$$W_1 = [W(\text{mW/cm}^2)/\text{kW}] \times P_t(\text{kW})$$

$$W_1 = 152 \cdot 10^{-6} \times 0,1 \text{ kW} = 15,2 \text{ mW/cm}^2$$

2. Partiendo de la información ya presentada:

$$R_1 = \frac{D^2}{5,66\lambda} = \frac{(92\text{cm})^2}{5,66 \cdot 10\text{cm}} = \frac{8.464 \text{ cm}^2}{56,5 \text{ cm}} = 14,95 \text{ m}$$

$$R_2 = \frac{D^2}{2,83 \cdot \lambda} = 29,9 \text{ m}$$

$$W_1 = 4 \cdot W_0 = 15,2 \text{ mW/cm}^2 \quad \text{en } R_1$$

$$W_2 = 2 \cdot W_0 = 7,6 \text{ mW/cm}^2 \quad \text{en } R_2$$

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:

$$R_{(10\text{mW/cm}^2)} = 0,1 \cdot W_1 \cdot R_1$$

$$R_{(10\text{mW/cm}^2)} = 0,1 \times 15,2 \times 14,95 = 22,72 \text{ m}$$

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:

$$W_0 = \frac{W_1}{4} = \frac{15,2 \text{ mW/cm}^2}{4} = 3,8 \text{ mW/cm}^2$$

$$W_2 = 2 \cdot W_0 = 2 \times 3,8 \text{ mW/cm}^2 = 7,6 \text{ mW/cm}^2$$

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:

$$W_{ff} = \frac{W_2 \cdot R_2^2}{R^2}$$

Luego:

$$R_{(5\text{mW/cm}^2)} = \sqrt{\frac{W_2 \cdot R_2^2}{W_{ff}}}$$

$$R_{(5\text{mW/cm}^2)} = \sqrt{\frac{7,6(\text{mW/cm}^2) \cdot (29,9 \text{ cm})^2}{5(\text{mW/cm}^2)}}$$

$$R_{(5\text{mW/cm}^2)} = 36,8632 \text{ m}$$

Es decir el punto en el cual se localizan los 5mW/cm^2 , está a $36,8632 \text{ m}$.

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; $10 \text{ Log. } 1/2 = 3\text{dB}$).

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 ($4,9/120^\circ$) para el WP-103 hasta 0,062 ($5/80^\circ$) 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

Θ = 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 θ 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 $13,52 \text{ mW/cm}^2$ (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 esta 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 = 1 mW-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:

$$W. t = 1 \text{ mW-h/cm}^2$$

$$t = (1 \text{ mW-h/cm}^2)/(13 \text{ mW/cm}^2)$$

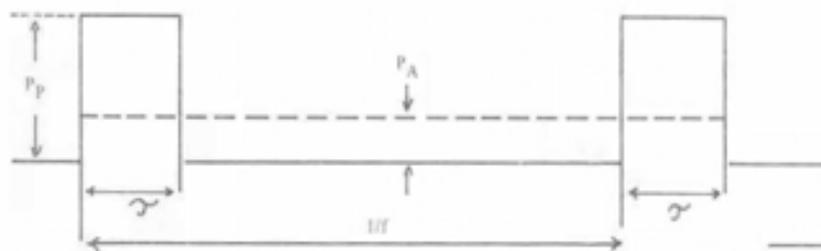
$$t = 0,077 \text{ h} = 4,6 \text{ minutos}$$

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 " τ " (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 " $\tau \times f$ " se define como régimen de trabajo (es decir, ancho del pulso por la frecuencia de repetición de pulsos f) o factor de rendimiento.

$$P_A = P_P \times [\text{Régimen de trabajo}]$$

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

	R A D A R			
	Collins Wp-103	RCA AVQ-20	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")	4.9°	5°	-	5°
Haz CSC ² (antena de 24")	-	-	3,8°	-
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 x 10 ⁴	85,47	341
6'	2,63 x 10 ⁴	38,02	152
8'	4,67 x 10 ⁴	21,41	85,64
10'	7.31 x 10 ⁴	13,67	54,7
12'	1,05 x 10 ⁵	9,174	36,7
15'	1,64 X 10 ⁵	6,097	24,4
30'	6,55 x 10 ⁵	1,525	6,1
40'	11,6 x 10 ⁵	0,8625	3,45
60'	26,2 x 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)	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/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/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
400-2.000	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

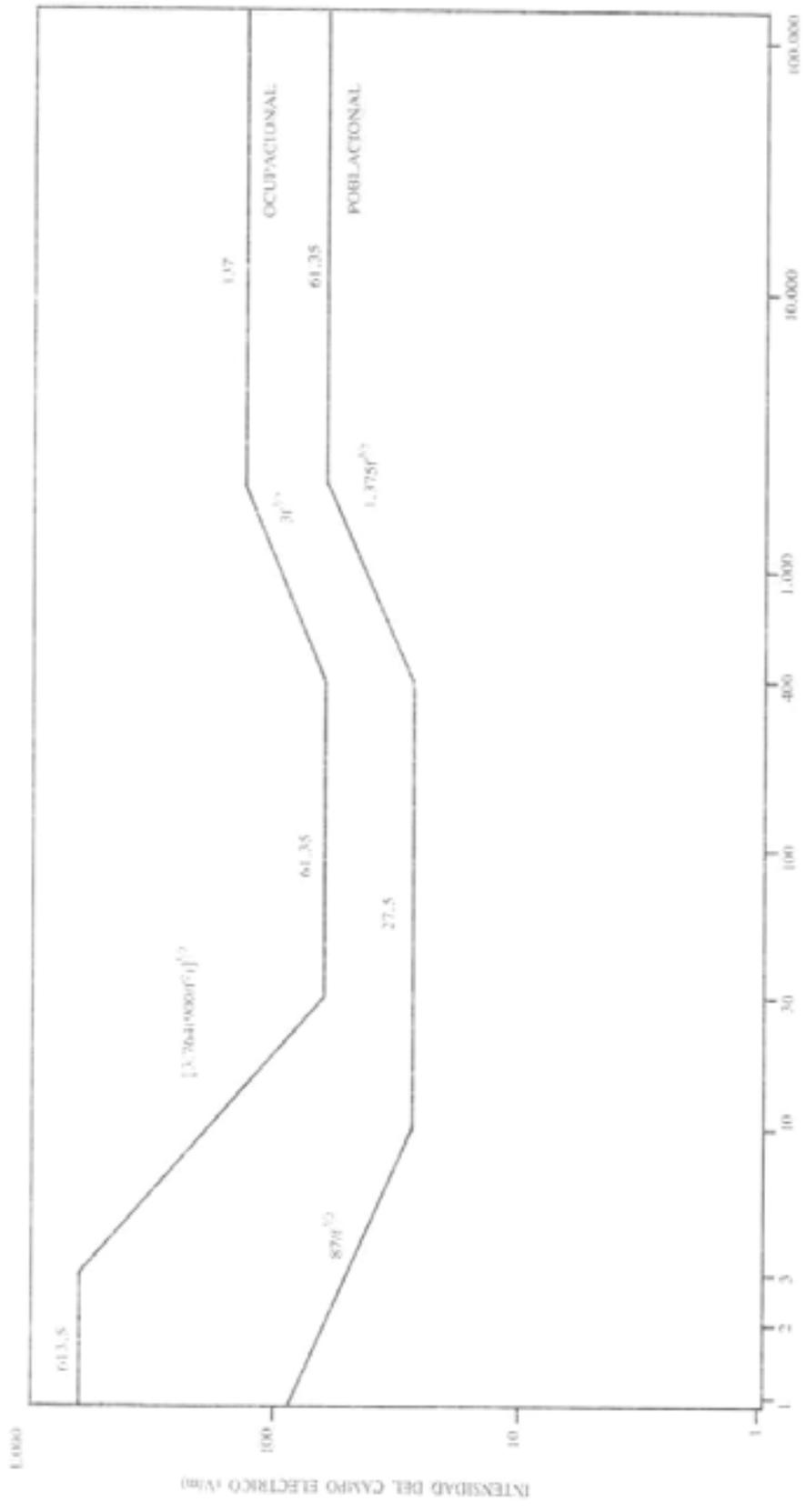
RCA AVQ-30X, 3W' antena

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

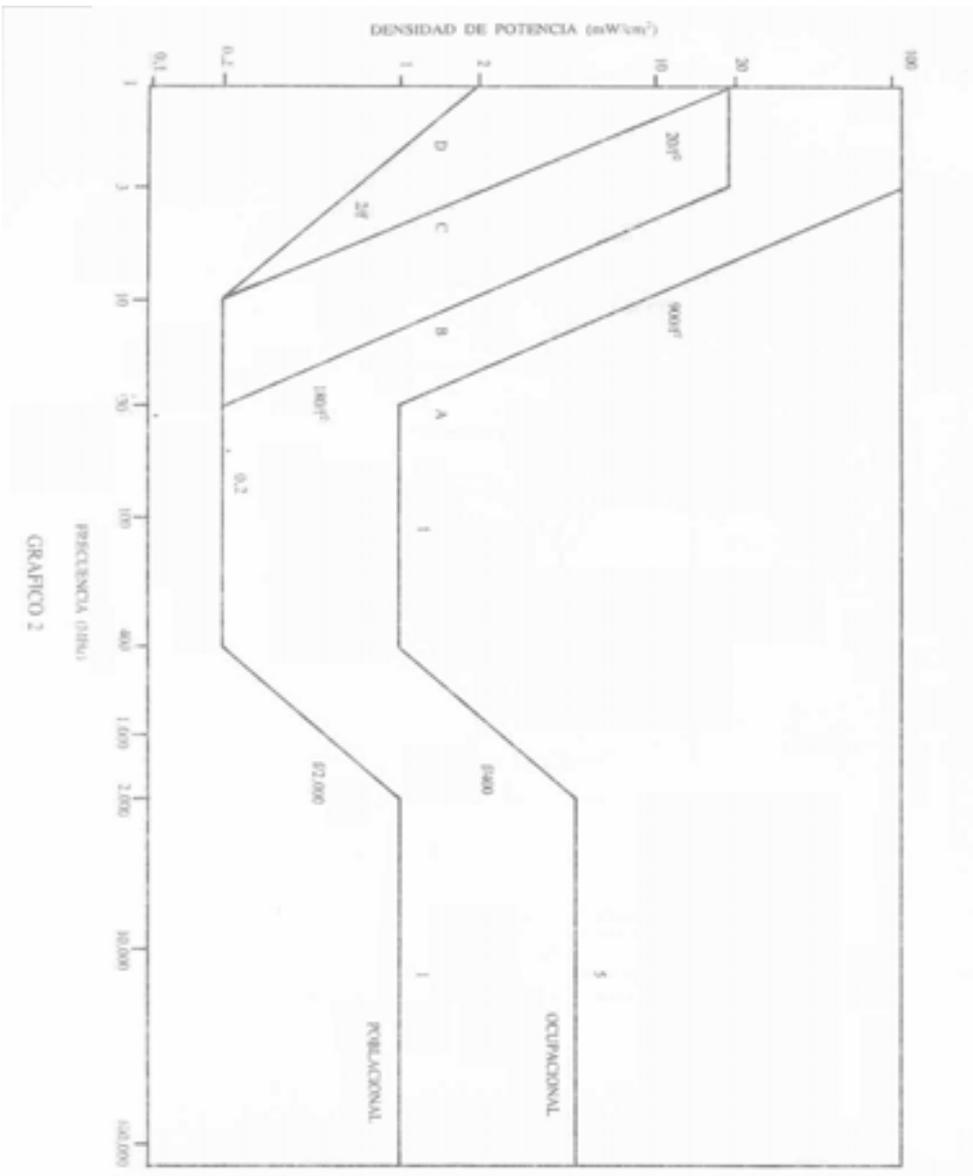
Especificaciones técnicas para el radar RCA AVQ.30X

Diámetro de antena	30 pulgadas
Ganancia de antena	34 dB
Ancho del haz	2.9°
Ancho del pulso	5,75 seg.
Frecuencia de repetición del pulso	200Hz
Exploración del sector	180°
Potencia pico	65kW
Frecuencia	9375MHz
Angulo de inclinación	± 40°



FRECUENCIA (Hz)

GRAFICO 1



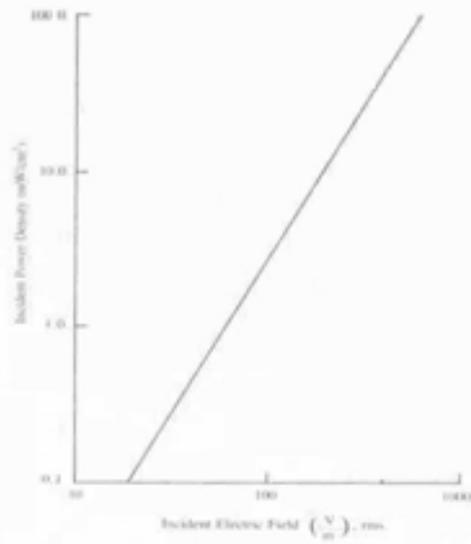
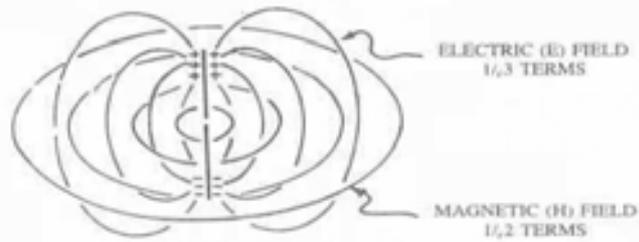


FIGURA 1



Electric and magnetic fields very near to a dipole.

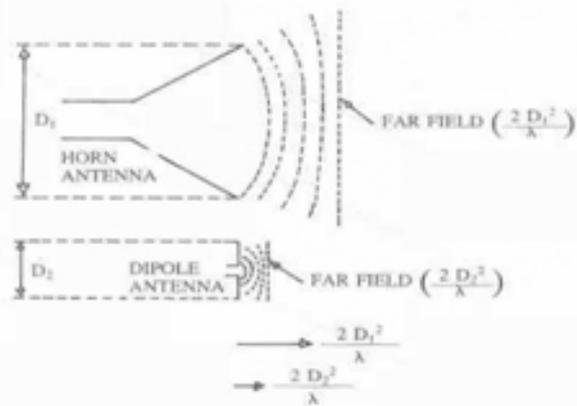


FIGURA 2

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.

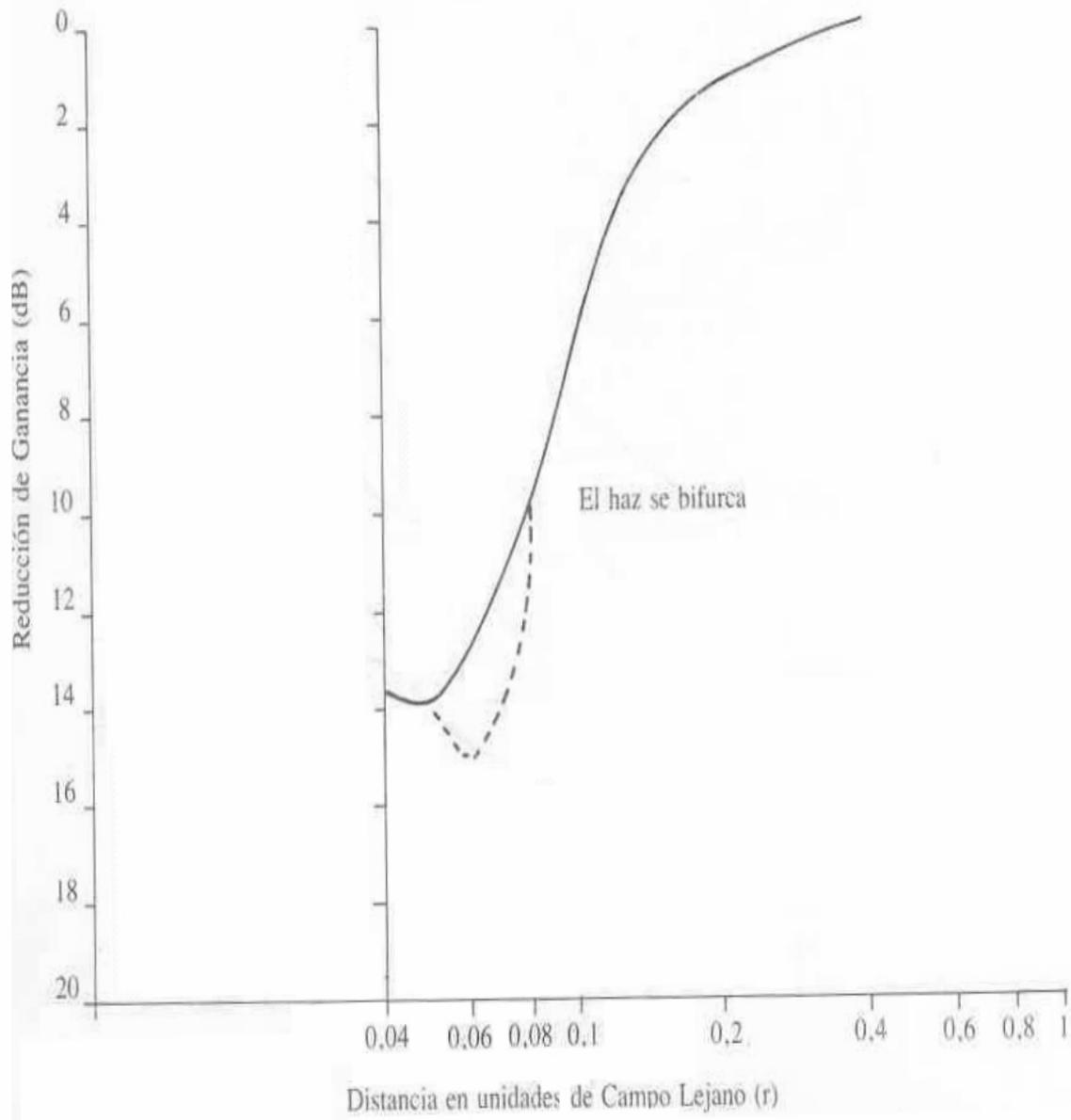


FIGURA 3

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.

$$F = \theta D/\lambda$$

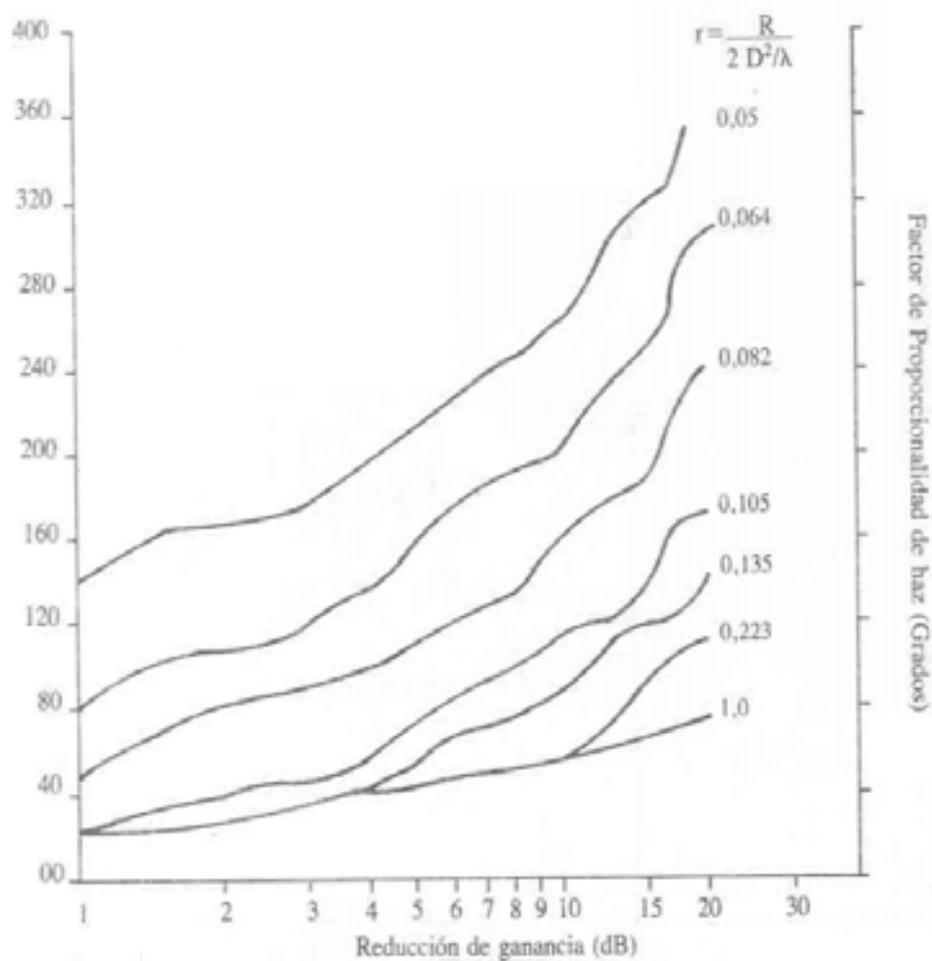


FIGURA 4

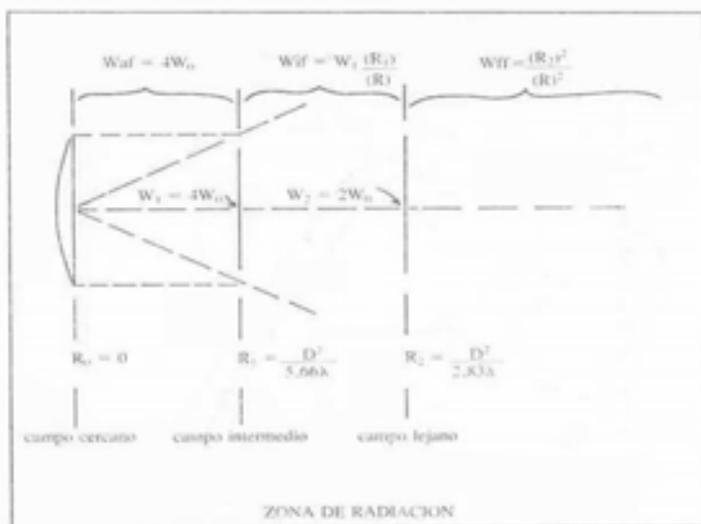
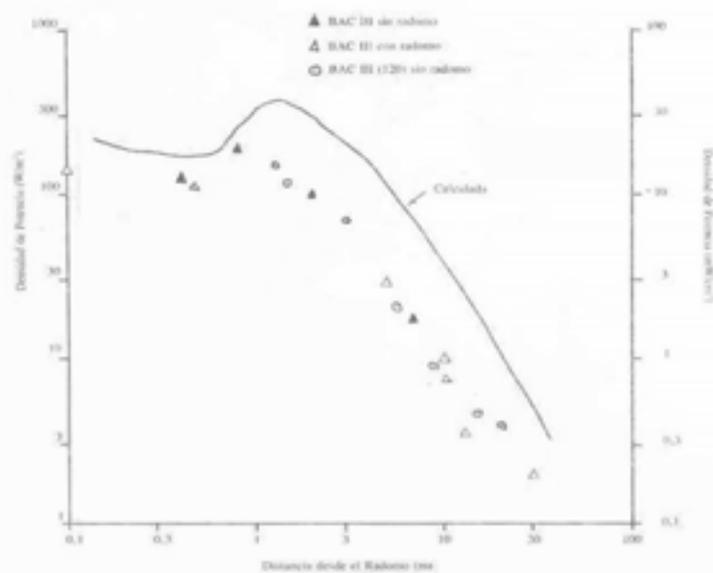
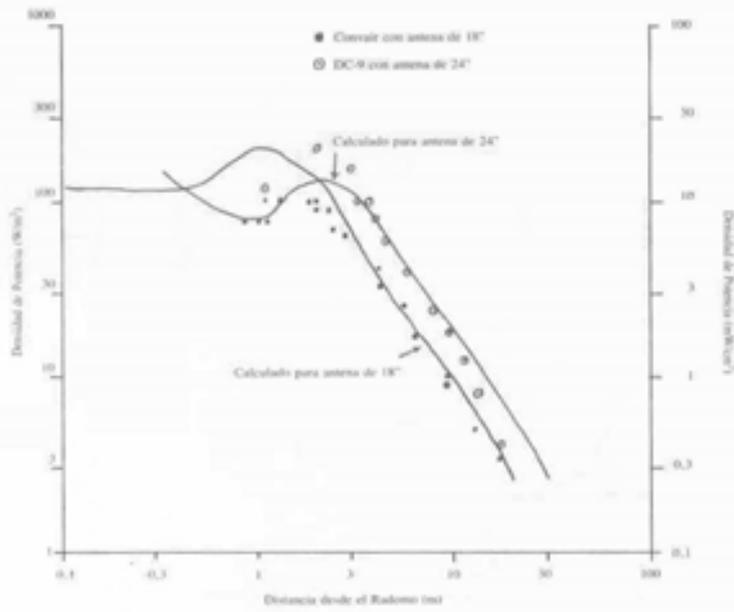


FIGURA 5

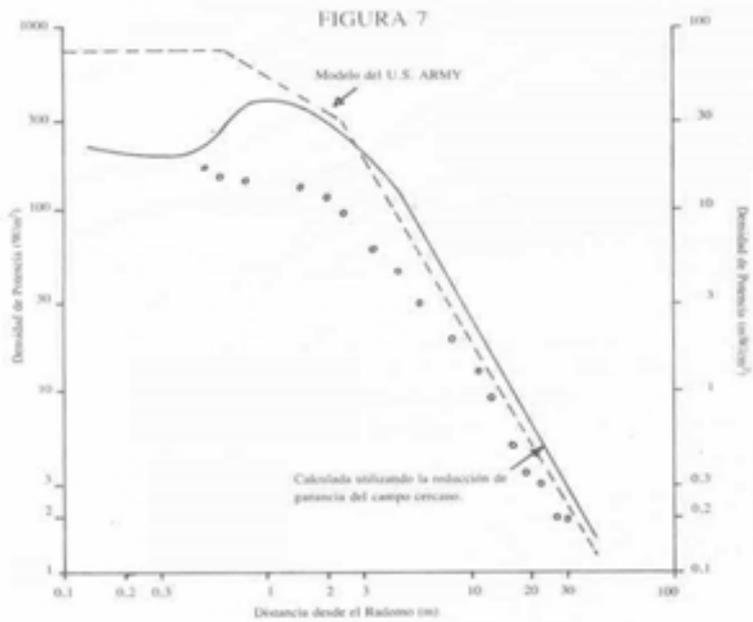


Datos calculados y medidos para el radiador Collins/WP-103

FIGURA 6

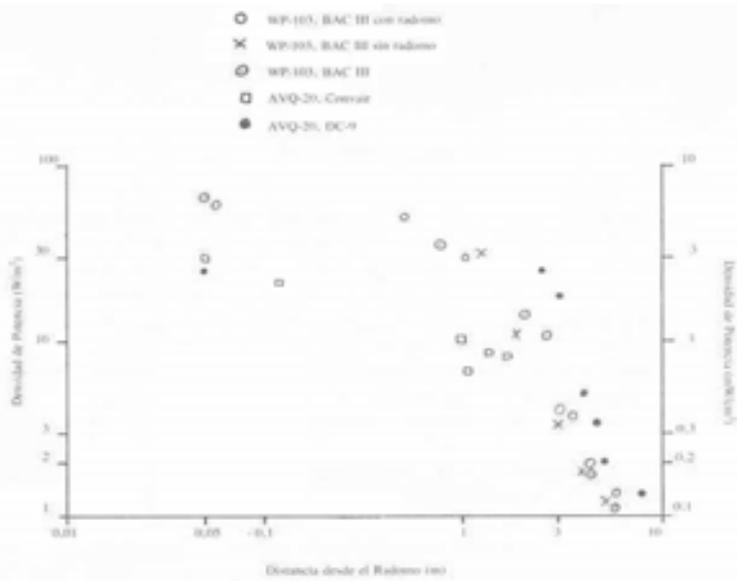


Datos calculados y medidos para el radar RCA AVO-20.



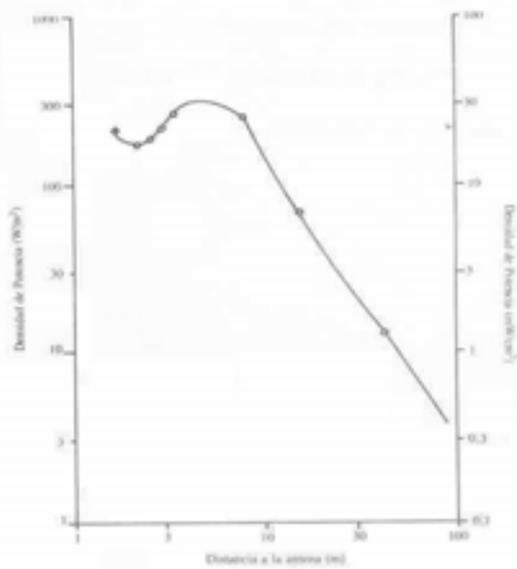
Datos calculados y medidos para el radar RCA AVO-30

FIGURA 8



Datos medidos para todos los sistemas, corregidos de Antenas Rotativas.

FIGURA 9



Densidad de Potencia calculada para el radar RCA AVQ-805

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 Arsenal, 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.