



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ingeniería

División de Ingeniería Eléctrica

Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana: Telefonía
celular y servicio de comunicación personal (PCS)-
límites de exposición máxima para seres humanos a
los campos electromagnéticos de radiofrecuencia

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

PRESENTA:

Aída Lumbreras Castro

Director de Tesis:

M.I. Raúl Topete Corral

Codirector:

Ing. Jesús Reyes García



Ciudad Universitaria

Ciudad de México , Marzo de 2003

Agradecimientos

Llegar a este punto de mi vida profesional nunca hubiera sido posible sin el apoyo de un sin número de personas que, en algún momento *tocaron* mi vida y la cambiaron para siempre. Por esta razón, y esperando no omitir a nadie, es mi deseo darles las mas infinitas gracias por todo su apoyo, comprensión y profesionalismo:

A mis padres por haberme dado la oportunidad de vivir y gozar de una vida llena de experiencias. A mi padre le digo: de “la mesa de la vida”, me sigo tomando las mejores cosas, gracias por haberme enseñado a elegirlas.

A mis hermanos que siempre fueron mi mayor ejemplo a seguir.

A todo el equipo del Área de Ingeniería y Tecnología de la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL), en especial el Ing. Julián Mulia Aguilar quien siempre fomentó y engrandeció mis habilidades profesionales, muchas gracias por su fe y confianza. Asimismo, les expreso mi gratitud al Ing. Enrique Díaz Cerón, a Mauricio Hernández, a Sofía Mendivil, a Rodolfo Galván y a Luz Ma. Pineda, por todos sus consejos y la amistad que me brindaron desde el comienzo.

Mi especial reconocimiento al Ing. Raúl Topete Corral, al Ing. Domingo Ávila Jiménez y al Ing. José Zavala, quienes me brindaron invaluable horas de asesoría, reflexión y enseñanza. La herencia de valores y el compromiso con México que siempre me demostraron, ha dejado en mi una huella trascendente.

Agradezco también a Wieland Große su compañía y apoyo durante todo este proceso. Tus palabras de aliento siempre me impulsaron a seguir adelante y lograr cada una de las metas que me fijado. Nunca olvidaré el cariño y comprensión que me has brindado todo este tiempo. Muchas gracias por todo. TQM.

A mis queridos profesores del Anexo y del Edificio Principal de la Facultad de Ingeniería, les doy gracias por haberse convertido, junto con mis amigos y mi Universidad, en mi segunda familia y casa de conocimiento.

Finalmente les doy gracias a mis grandes amigos de la Facultad, aquellos que permanecieron conmigo durante la carrera y me brindaron siempre su amistad en los buenos y malos momentos. Gracias por todo y espero que nuestra amistad trascienda tiempos y fronteras.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA, OBJETIVO Y METODOLOGÍA I

INTRODUCCIÓN..... III

CAPITULO I. - Antecedentes y características de la telefonía celular 1

1.1. Introducción 1

1.2. Antecedentes de la telefonía móvil 2

1.3. Impacto y relevancia de la telefonía móvil en México 4

1.4. Principio de funcionamiento de una red inalámbrica 5

1.5. Modelo de red para una red de telecomunicaciones 7

1.6. Modelo de red para un sistema inalámbrico 8

1.7. Componentes que conforman una red de telefonía móvil 9

 1.7.1. Elemento de conmutación 9

 1.7.2. El controlador 10

 1.7.3. Equipo de radio comunicación del proveedor de servicio (Radiobase) 10

 1.7.4. Equipo de radio comunicación del usuario 10

 1.7.5. Unidades de Prueba 11

1.8. Distribución y uso de frecuencias para los sistemas de telefonía celular y PCS 12

 1.8.1. El espectro radioeléctrico 12

 1.8.2. Atribución del espectro radioeléctrico en México 12

 1.8.3. Atribución del espectro radioeléctrico en el mundo: Región 1, 2 y 3 15

 1.8.4. Evolución de la telefonía móvil: 1ª, 2ª y 3ª generación 16

 1.8.5. Intervalo de operación para el servicio de celular 18

 1.8.6. Intervalo de operación para el servicio de PCS 18

CAPITULO II - Radiobases empleadas en los sistemas de comunicación móvil (celulares y PCS)..... 19

2.1. Introducción 19

2.2. Conceptos básicos sobre antenas y radiofrecuencia 20

 2.2.1. Campo electromagnético 20

 2.2.2. Propiedades de una onda plana 20

 2.2.3. Definición de antena 22

 2.2.4. Concepto de radiación electromagnética 23

 2.2.5. Condición necesaria para la radiación 23

 2.2.6. Parámetros de las antenas 23

 2.2.6.1. Impedancia 23

 2.2.6.2. Eficiencia de la antena 24

2.2.6.3. Intensidad de radiación.....	24
2.2.6.4. Densidad de potencia.....	26
2.2.6.5. Diagramas de radiación.....	26
2.2.6.6. Directividad y ganancia directiva.....	28
2.2.6.7. Polarización.....	29
2.2.6.8. Ancho de banda.....	30
2.2.6.9. Ganancia de potencia.....	30
2.2.6.10. Potencia Efectiva Radiada (ERP).....	31
2.2.7. Tipos de antenas para radiobases.....	31
2.3. La radiobase.....	33
2.3.1. Concepto de radiobase (o estación base).....	33
2.3.2. Modo de operación de la radiobase.....	34
2.3.3. Elementos que conforman a la radiobase.....	35

CAPITULO III. - Medidas tomadas en el ámbito internacional, regional y nacional en materia de normalización referentes a los límites de exposición máxima para seres humanos a campos electromagnéticos de RF38

3.1. Introducción.....	38
3.2. Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones no Ionizantes (ICNIRP) ...	39
3.2.1. Antecedentes históricos de la ICNIRP.....	39
3.2.2. ICNIRP.- Lineamientos para los límites de exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo (hasta 300 GHz).....	40
3.2.2.1. Propósito e intención.....	40
3.2.2.2. Bases para la exposición limitada.....	43
3.2.2.3. Mecanismos de acoplamiento entre los campos y el cuerpo.....	43
3.2.2.4. Acoplamiento a campos eléctricos de baja frecuencia.....	44
3.2.2.5. Acoplamiento a campos magnéticos de baja frecuencia.....	44
3.2.2.6. Absorción de energía de los campos electromagnéticos (SAR).....	44
3.2.2.7. Mecanismos de acoplamiento indirecto.....	45
3.2.2.8. Efectos indirectos de los campos eléctricos y magnéticos.....	45
3.2.2.9. Limitaciones de la exposición ocupacional y del público en general.....	46
3.2.2.10. Restricciones básicas y niveles de referencia.....	46
3.2.2.11. Declaración general sobre los factores de seguridad.....	47
3.2.2.12. Restricciones básicas.....	47
3.2.2.13. Exposición simultánea a campos de frecuencia múltiples.....	48
3.2.2.14. Límites propuestos por la ICNIRP para el campo eléctrico y magnético.....	48
3.2.2.15. Medidas de Protección.....	50
3.3. Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).....	51
3.3.1. Antecedentes históricos de la UIT.....	51

3.3.2. Recomendación K.52: Recomendación para dar cumplimiento a los límites de exposición para seres humanos a campos electromagnéticos.....	53
3.3.2.1. Introducción.....	53
3.3.2.2. Observaciones	53
3.3.2.3. Fuentes y frecuencias múltiples.....	54
3.3.2.4. Evaluación del equipo de telecomunicaciones	54
3.3.2.5. Procedimiento de evaluación del nivel de exposición.....	54
3.3.2.6. Técnicas de mitigación.....	55
3.3.2.7. Métodos de Cálculo.....	55
3.3.2.8. Procedimientos de Medición	56
3.3.2.9. Procedimiento para determinar el tipo de instalación	57
3.3.2.10. Procedimiento para determinar la EIRP _{th}	58
3.3.2.11. Tipos de instalación.....	60
3.3.2.12. Categorías de accesibilidad	60
3.4. Unión Europea/ Instituto de Estandarización de Telecomunicaciones de la Unión Europea (ETSI)	63
3.4.1. Antecedentes históricos del ETSI.....	63
3.4.2. Recomendación (1999/519/CE) del Consejo de la Unión Europea relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos.....	64
3.4.2.1. Antecedentes	64
3.4.2.2. El Consejo de la Comunidad Europea recomienda:	66
3.4.2.3. El Consejo de la Comunidad Europea invita a la Comisión a:.....	67
3.4.2.4. Anexo I.....	68
3.4.2.5. Anexo II.....	68
3.4.2.6. Anexo III	68
3.4.2.7. Anexo IV	68
3.5. Canadá/ Oficina de Salud de Canadá para la Protección contra la Radiación (Health Canada).....	68
3.5.1 Antecedentes históricos de Health Canada.....	68
3.5.2. Código de seguridad 6 contra la radiación de RF.....	69
3.5.2.1. Objetivo.....	69
3.5.2.2. Introducción.....	70
3.5.2.3. Límites de exposición máximos	70
3.5.2.4. Trabajadores expuestos a RF y microondas (incluyendo personas expuestas en ambiente ocupacional).....	71
3.5.2.5. Límites de la intensidad de campo	71
3.5.2.6. Límites de la corriente inducida y de contacto.....	72
3.5.2.7. Límite máximo de la intensidad de campo para campos pulsantes.....	74
3.5.2.8. Exposición de personas no clasificadas como trabajadores expuestos a RF y microondas (incluyendo el público en general).....	74

3.5.2.9. Límites de la corriente inducida y de contacto para personas no clasificadas como trabajadores expuestos a RF y microondas (incluyendo el público en general).....	75
3.5.2.10. Procedimientos de investigación para RF	76
3.5.2.11. Procedimientos de medición y evaluación	76
3.6. Estados Unidos de Norteamérica/ Comisión Federal de Comunicaciones (FCC)	77
3.6.1. Antecedentes históricos de la FCC	77
3.6.2. Boletín 65. Evaluación de la complacencia con los lineamientos de la FCC para exposición de seres humanos a campos electromagnéticos de radiofrecuencia	81
3.6.2.1. Antecedentes	81
3.6.2.2. Métodos de predicción.- Ecuaciones para predecir los campos de RF.....	82
3.6.2.3. Región de campo cercano.....	83
3.6.2.4. Región de campo lejano	83
3.6.2.5. Modelos especiales de antenas	84
3.6.2.6. Múltiples transmisores	84
3.6.2.7. Mediciones de campo	86
3.6.2.8. Límites para Exposición Máxima Permisible (MPE).....	87
3.7. México/ Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL)	88
3.7.1. Antecedentes Históricos de la COFETEL	88
3.7.2. NOM-126-SCTI-1995 referente a los límites de exposición máxima de seres humanos a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (100KHz a 300 GHz).....	90
3.7.2.1. Objetivo	90
3.7.2.2. Límites de exposición máxima (LEM) para exposición ocupacional	90
3.7.2.3. LEM para exposición No-ocupacional	91
3.7.2.4. Métodos de prueba	91
3.8. Comentarios Finales.....	93

CAPITULO IV - Desarrollo del Anteproyecto de norma oficial mexicana sobre límites de exposición máxima para seres humanos a campos electromagnéticos de RF94

4.1. Introducción	94
4.2. Norma Mexicana NMX	95
4.3. Norma Oficial Mexicana NOM	95
4.4. Estructura de una NOM haciendo referencia a la "Guía para la Redacción, Estructuración y Presentación de las Normas Oficiales Mexicanas " (NOM-Z-13).....	95
4.4.1. Descripción de los elementos generales de la norma.....	97
4.4.2. Descripción de los elementos que constituyen el contenido técnico de la norma	97
4.4.3. Descripción de los elementos complementarios	99
4.4.4. Propuesta de Anteproyecto de NOM sobre los límites de exposición máxima para seres humanos a campos electromagnéticos de RF.	100

CONCLUSIONES.....143

BIBLIOGRAFÍA.....147

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA, OBJETIVO Y METODOLOGÍA

La Problemática

Al aumentar el empleo de equipos o sistemas de RF y el de los niveles de la radiación en el ambiente, aumentan también los riesgos de los efectos nocivos sobre personas expuestas a la radiación en circunstancias particulares. La difusión de efectos nocivos o accidentes aislados pueden generar temor justificado de la población, por lo que se pretende que este trabajo brinde las bases para iniciar la investigación y el desarrollo de técnicas normativas referentes al tema de la radiación electromagnética proveniente de las estaciones base de telefonía celular y PCS, a fin de garantizar la seguridad del ser humano.

En la última década, el uso de teléfonos móviles creció en forma exponencial lo que dio lugar a la instalación de una gran cantidad de estaciones bases que permitieran cubrir y abastecer la creciente demanda de este servicio. Las tecnologías venideras de telefonía móvil (3G o tercera generación del estándar IMT2000 para telefonía celular) supone un incremento a mediano y largo plazo de radiobases, que a su vez derivará en un considerable aumento de radiación en el ambiente. Para tener una visión más amplia y concreta de lo que representa “un incremento” en la telefonía móvil, habrán de tenerse en cuenta los siguientes datos estadísticos:

- § Casi 25 millones de usuarios móviles actualmente en México (COFETEL, Junio del 2002. México).
- § Se esperan mas 40 millones de usuarios para el 2006 en nuestro país (Ericsson Co., Enero del 2002).
- § Se estima que para el año 2005 habrá cerca de 1800 millones de abonados de este sistema en todo el mundo (CarmelGroup.com).

Debe quedar claro y reconocerse que el problema no es el avance tecnológico de la telefonía móvil y tampoco es objetivo de esta tesis tratar de frenarlo o empañarlo. La única idea que debe quedar bien definida es que conforme avance la tecnología, de telefonía celular o cualquiera otra, deberá siempre tomarse previsiones que puedan garantizar su existencia en armonía con la vida humana, asegurando así, el bienestar de todas las personas.

El objetivo

El presente trabajo surge de la necesidad e inquietud de contar con una norma técnica, que reúna los elementos necesarios que, permitan el establecimiento de límites de exposición máximos, a fin de garantizar la seguridad de todo ser humano que se encuentre en contacto con campos electromagnéticos de radiofrecuencia provenientes de las estaciones base de la telefonía celular y PCS. A través del seguimiento que se ha dado a otros desarrollos similares tanto de México como de otros países del mundo, este trabajo ha buscado analizar todos los puntos necesarios (técnicos, normativos, estadísticos, teóricos, etc.) que permitan brindar una base o un punto de partida hacia la normalización de límites de exposición.

La Metodología

La metodología seguida en el desarrollo de esta tesis fue la siguiente:

- 1) Identificar y analizar el problema.
- 2) Ubicar a México dentro del desarrollo de la telefonía móvil, brindando estadísticas actuales de su crecimiento y especificando los datos más relevantes de su evolución y funcionamiento en general.
- 3) Investigar todos aquellos elementos de carácter técnico-operativo que intervienen en el uso de las tecnologías PCS y Celular, distinguiendo aquellos de mayor importancia o indispensables para llevar a cabo el establecimiento de una llamada.
- 4) Se realizó una amplia investigación, tanto en el ámbito nacional como internacional, de todos aquellos documentos referentes a la radiación electromagnética. Como primer paso, se localizaron los organismos nacionales que podían ser competentes en la materia, así como las instituciones internacionales que podían haber producido informes al respecto, en segundo lugar, se identificaron las disposiciones normativas de los diferentes países sobre protección de las personas frente a las radiaciones electromagnéticas, en tercer lugar se recopilaron las normas existentes sin carácter legislativo y finalmente se reunieron también los documentos de carácter técnico existentes en el momento de llevar a cabo este trabajo.
- 5) Con base en toda la información reunida y analizada brindar las conclusiones pertinentes.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis reconoce la importancia de estar siempre a la vanguardia en cuanto a nueva tecnología, hablando específicamente de los avances de la telefonía móvil, sin embargo también reconoce que cada nueva tecnología que se ponga en funcionamiento habrá de conllevar un análisis preciso de riesgos e impactos sobre la vida y desarrollo del ser humano. Es por eso que al mirar un poco al futuro, podemos darnos cuenta que es una prioridad establecer ahora una norma técnica que se ocupe del establecimiento de límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia provenientes de las estaciones base de telefonía celular y PCS; a fin de garantizar el bienestar de todos los individuos.

Puede entenderse como Normalización aquel proceso mediante el cual se regulan las actividades desempeñadas por los sectores tanto privado como público, en materia de salud, medio ambiente en general, seguridad al usuario, información comercial, prácticas de comercio, industrial y laboral a través del cual se establecen la terminología, la clasificación, las directrices, las especificaciones, los atributos las características, los métodos de prueba o las prescripciones aplicables a un producto, proceso o servicio.

Además de los puntos mencionados anteriormente, esta tesis cuenta con otros elementos, que aunque puedan parecer no tan relevantes, sí son de suma importancia ya que ellos nos permitirán lograr un mejor entendimiento y seguimiento de los temas a tratar en el anteproyecto de Norma Oficial Mexicana sobre límites de exposición, que se desarrolla en esta tesis.

El capítulo primero nos brinda un punto de partida en cuanto a la situación actual de México, es decir, cómo se encuentra actualmente el mercado de las telecomunicaciones y específicamente el relacionado con la telefonía celular. Además, se mencionan algunos antecedentes sobre las primeras redes inalámbricas, su evolución y su forma de ser actual. Finalmente, a partir de todo esto, se definen conceptos generales sobre los componentes de una red de telefonía móvil, así como también las especificaciones de las tecnologías propias que se utilizan sobre ellas (celular y PCS).

Como ya es bien sabido, los campos electromagnéticos (CEM) de todas las frecuencias constituyen una de las influencias del entorno más comunes y de crecimiento más rápido sobre las que existe una creciente ansiedad y especulación. Hoy en día, todas las poblaciones del mundo están expuestas a CEM's en mayor o menor grado, y conforme avance la tecnología el grado de exposición continuará creciendo. Ante todo esto, el capítulo dos envuelve conceptos referentes a los CEM's y la forma en cómo estos se propagan. Se establece la importancia entre la frecuencia y la longitud de onda que poseen dichos campos, es decir, una de las principales magnitudes que caracterizan un campo electromagnético es su frecuencia, o la correspondiente longitud de onda. El efecto sobre el organismo de los diferentes campos electromagnéticos es función de su frecuencia. Podemos imaginar las ondas electromagnéticas como series de ondas muy uniformes que se desplazan a una velocidad enorme: la velocidad de la luz. La frecuencia simplemente describe el número de oscilaciones o ciclos por segundo, mientras que la expresión "longitud de onda" se refiere a la distancia entre una onda y la siguiente. Por consiguiente, la longitud de onda y la frecuencia están inseparablemente ligadas: cuanto mayor es la

frecuencia, más corta es la longitud de onda. Estos y otros temas referentes a la teoría de antenas y condiciones para la radiación serán explicados con más detalle en el capítulo segundo de esta tesis.

El capítulo tercero pretende ser uno de los más interesantes y relevantes en la elaboración de esta tesis. En él se plantean algunos de los estudios más importantes realizados en el ámbito internacional referentes al establecimiento de límites de exposición seguros para seres humanos. Los documentos analizados para la elaboración de este capítulo fueron publicados por las siguientes organizaciones internacionales y nacionales: la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones no Ionizantes (ICNIRP, por sus siglas en inglés), la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos de Norteamérica, la Oficina de Salud de Canadá (Health Canada) y la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL) de México. El objetivo de condensar las directrices más importantes tratadas en estos documentos oficiales es el de facilitar a las autoridades nacionales y de otros ámbitos, información sobre la gestión de los programas de evaluación y protección de los CEM, y en particular facilitar el desarrollo de normas nacionales aceptables sobre la exposición a los CEM.

Finalmente, en el capítulo cuarto se realiza el desarrollo del anteproyecto de NOM referente a límites de exposición. Es importante señalar que este anteproyecto fue realizado con base en la NOM-Z-13, que establece las directrices para la redacción y estructuración de un anteproyecto de NOM. El formato y numeración habrán de ser como lo estipula dicha norma. Básicamente este anteproyecto cuenta de siete partes o capítulos. En el primero se establece el objetivo y campo de aplicación del anteproyecto de NOM; el capítulo segundo contiene todas aquellas referencias que hayan sido utilizadas para la elaboración del anteproyecto, es decir, Normas Oficiales Mexicanas que sea indispensable consultar para la aplicación del anteproyecto; en la tercera parte se describe la simbología, definiciones y abreviaturas cuyo objetivo es brindar las definiciones necesarias para el entendimiento del anteproyecto; en el capítulo de especificaciones se describen los límites de exposición máxima (LEM) para ambientes ocupacional y no-ocupacional. Dichos límites fueron establecidos con base en las directrices establecidas por la ICNIRP en su publicación de 1998. En el capítulo quinto, referente a los métodos de prueba, se determina el procedimiento de medición que habrá de brindar las instrucciones relativas al procedimiento normalizado que debe seguirse para determinar los valores de las especificaciones o para comprobar el cumplimiento de los requisitos establecidos, de tal forma que garantice la reproducibilidad de los resultados. Finalmente, se cuenta con un capítulo que hace referencia a la normativa internacional, es decir todas aquellas normas internacionales que concuerden con la norma que se está desarrollando; y un capítulo más para detallar la bibliografía empleada para la realización del anteproyecto.

Por último, esta tesis reserva un apartado para brindar las conclusiones generales, dicho apartado reúne las ideas y elementos más importantes que habrán de ser destacados de toda la investigación que conllevó este trabajo.

CAPITULO I. - Antecedentes y características de la telefonía celular

1.1. Introducción

La radiocomunicación pública requiere técnicas sofisticadas y, por tanto, su evolución ha estado siempre ligada al progreso de la electrónica. La idea de comunicación instantánea independientemente de la distancia es parte de los sueños más antiguos del hombre, y su sueño se hizo realidad tan pronto como se lo permitió la tecnología. La primera utilización de las ondas de radio para comunicarse se efectuó a finales del siglo diecinueve para radiotelegrafía (en 1880, Hertz realiza una demostración práctica de radiocomunicaciones; en 1897, Marconi realiza una transmisión de radio a más de 18 millas de distancia). Desde entonces, la radio se convirtió en una técnica ampliamente utilizada en comunicaciones militares. Las primeras aplicaciones públicas de la radio fueron de difusión (primero sonido, luego imágenes): esto es mucho más sencillo que la radiotelefonía, dado que el terminal móvil es sólo un receptor. El auge real de los sistemas públicos bidireccionales de radiocomunicaciones móviles tuvo lugar justo después de la segunda guerra mundial, cuando el uso de la modulación de frecuencia y de la tecnología electrónica, como la válvula de vacío, permitieron el desarrollo de un servicio de telefonía a escala real para vehículos. El primer servicio telefónico móvil real nació oficialmente en St. Louis (Missouri, EE.UU.) en 1946. Europa, que se estaba recuperando de la guerra, le siguió algunos años después.

Las primeras redes móviles de telefonía se operaban manualmente; es decir, era necesaria la intervención de un operador para conectar cada llamada a la red fija. Además, las terminales eran muy voluminosas, pesadas y caras. El área de servicio estaba limitada a la cobertura de un único emplazamiento de transmisión y recepción (sistemas uniceulares). Había muy poco espectro de radio disponible para este tipo de servicios, dado que éste se asignaba fundamentalmente a propósitos militares y a radiodifusión, en particular, televisión. En consecuencia, la capacidad de los primeros sistemas era pequeña y la saturación de los mismos fue muy rápida, a pesar del alto costo de las terminales. La calidad del servicio empeoró rápidamente debido a la congestión y la capacidad de procesar llamadas caía algunas veces hasta paralizar la red.

Entre 1950 y 1980 los sistemas evolucionaron hasta automatizarse y los costos disminuyeron gracias a la introducción de los semiconductores. La capacidad se incrementó un poco, aunque aún era demasiado escasa para la demanda existente: la radiotelefonía pública seguía siendo un lujo para unos pocos.

Durante los años 70's, la integración a gran escala de dispositivos electrónicos y el desarrollo de los microprocesadores abrió las puertas a la implementación de sistemas más complejos. Dado que el área de cobertura de una antena está fundamentalmente limitada por la potencia de transmisión de las estaciones móviles, los sistemas se plantearon con varias estaciones receptoras para una única estación transmisora. Se permitía así la cobertura de un área mayor a costa de una mayor complejidad en la infraestructura. Pero la verdadera revolución se produjo con los sistemas celulares, donde hay numerosos

emplazamientos que tanto transmiten como reciben y sus respectivas áreas de cobertura se solapan parcialmente.

A continuación se describe con mas detalle el nacimiento y funcionamiento de estas redes celulares.

1.2. Antecedentes de la telefonía móvil

La radiotelefonía celular surgió como un avance importante de la radiotelefonía tradicional. En esta última, los conceptos de la red son muy similares a los de la red telefónica pública, con la excepción de que el acceso a la red por parte del usuario es por medio de un canal de radio, con sus equipos terminales correspondientes. En el servicio tradicional de radiotelefonía se cuenta con una sola estación base, es decir, una estación que realiza funciones de transmisión y de repetición. En las transmisiones se utilizan potencias extremadamente grandes, logrando así una gran zona de cobertura. Sin embargo, si durante una conversación un usuario se sale de la zona de cobertura, la conversación se interrumpe ya que este sistema no tiene capacidad de conmutación. Cada usuario tiene asignado un canal de radio con una frecuencia fija para acceder a la red, lo cual hace ineficiente el uso del espectro radioeléctrico, ya que, si uno de los usuarios con canales asignados en algún momento no lo utiliza, ese o esos canales estarían desocupados.

La radiotelefonía tradicional fue evolucionando hacia el concepto de "telefonía celular", con base en dos objetivos: aumentar la calidad de los servicios ofrecidos, y aumentar, compartiendo las frecuencias, la utilización del espectro radioeléctrico, lo cual dio como resultado el aumento del número de usuarios de la red. Los primeros teléfonos móviles fueron introducidos en 1946, pero la primera red de telefonía celular fue puesta en operación en Japón en 1979 y en ese mismo año se inició la operación experimental de una red con 2000 usuarios en Chicago. La primera red comercial de telefonía celular en Estados Unidos fue puesta en operación en 1983, y para 1987 existían en ese país 312 redes celulares operando en 205 ciudades.

Por otra parte, como complemento de la telefonía celular, utilizando nuevos avances tecnológicos en diversas áreas, surgieron hace aproximadamente una década los servicios personales de comunicación (PCS). Con este novedoso concepto la tendencia es que la comunicación se origine en una persona y termine en otra, independientemente de los lugares en los que se encuentren dichas personas. Tradicionalmente las comunicaciones han sido de equipo terminal a equipo terminal, estando los equipos terminales fijos (por ejemplo, en la cocina, en la recámara, en el escritorio, etc.). En otras palabras, estas ideas tienden a independizar las telecomunicaciones no únicamente de tiempo y distancia, sino también de la ubicación de los usuarios. Se podría concebir una gran variedad de servicios de valor agregado que podrían ser ofrecidos por medio de sistemas PCS, tales como enlaces de datos para uso personal, opciones para seleccionar recepción de llamadas dependiendo del lugar donde se encuentre el usuario, servicios de localización, despertador, etcétera.

Las redes de comunicación personal tienen sus orígenes en el sistema telefónico tradicional y en los teléfonos inalámbricos (se estima que en los hogares de Estados Unidos existen

cerca de 30 millones de unidades), los cuales están equipados con su propia estación base, y lo único que requieren para funcionar es la compatibilidad entre el equipo y la estación base. Estos equipos se conocen con el nombre de primera generación de equipos inalámbricos.

Los equipos pertenecientes a la segunda generación tienen acceso a una red pública a través de estaciones base radioeléctricas, y a estaciones base que a su vez están conectadas a conmutadores telefónicos privados. Tienen mayor privacidad y seguridad que los equipos de la primera generación, porque usan protocolos más complejos.

Las redes de comunicación personal también capitalizaron las experiencias adquiridas a través de la telefonía celular referentes al aumento en la capacidad de manejo de usuarios de los sistemas tradicionales de radiotelefonía. Las soluciones propuestas para la telefonía celular permitieron aumentarla precisamente por medio de la partición de células y la reutilización de frecuencias. Sin embargo, al disminuir el tamaño de las células, principalmente en zonas urbanas con una alta densidad de población, creció también la necesidad de seleccionar con más cuidado las ubicaciones de las estaciones base correspondientes.

Pero a pesar de que difieren en muchos aspectos, tanto la telefonía celular como la inalámbrica tienen entre sus objetivos proveer a sus usuarios con accesos inalámbricos a la red pública de telefonía y a las redes de telecomunicaciones en general.

Los PCS pueden ser caracterizados por lo siguiente:

- a) utilizan una red de radio basada en microcélulas,
- b) están basados en transmisiones digitales,
- c) utilizan una banda de alta frecuencia (típicamente en 1.8-2 Ghz),
- d) su mayor fortaleza no está en aplicaciones vehiculares, y
- e) son el primer paso hacia el objetivo de comunicación entre personas, más que entre equipos terminales.

El concepto de PCS puede ser detallado aún más, si se toman en consideración algunos servicios que en la actualidad se ofrecen por medio de los sistemas que han sido instalados y operados en plan piloto; esto se presenta en la Tabla 1.

Característica	
Llamadas entrantes	Sí
Llamadas salientes	Sí
Servicios fax	Sí

Voz/datos simultáneos	Sí
Asistencia por operadora	Sí
Llamadas por cobrar	Sí
Llamadas a tarjeta	Sí
Llamadas en conferencia	Sí
Indicador fuera del área	Sí
Usuarios por km2	100 000

Tabla 1. Servicios del Sistema de Comunicación Personal

1.3. Impacto y relevancia de la telefonía móvil en México

El caso de México es también muy interesante, debido a que cuando se inició el servicio, las tecnologías ya habían sido ampliamente probadas en otros países y se tenía un buen estimador de la demanda que podría ser esperada. En 1989 se convocó a las empresas del ramo a presentar solicitudes para ofrecer este servicio en las nueve diferentes regiones en que fue dividido el país. Cada región recibiría servicio de dos operadores en competencia. Comercialmente los servicios se iniciaron en 1990. En los pocos años que han transcurrido desde entonces, la aceptación ha sido extraordinaria.

Actualmente en nuestro país se ha observado un gran crecimiento en el uso de las radiocomunicaciones particularmente hablando de las comunicaciones móviles que involucran los servicios de telefonía celular y PCS. Si se toman en cuenta las estadísticas publicadas por la Comisión Federal de Telecomunicaciones hasta diciembre del 2001, existen más teléfonos celulares que líneas telefónicas fijas en uso. Esto es, 14.1 millones de líneas telefónicas fijas contra más de 24.8 millones de usuarios móviles y se estima que para el año 2006 en México habrá mas de 40 millones de usuarios celulares (véase Figs. 1 y 2).



Fig. 1 Densidad telefónica fija

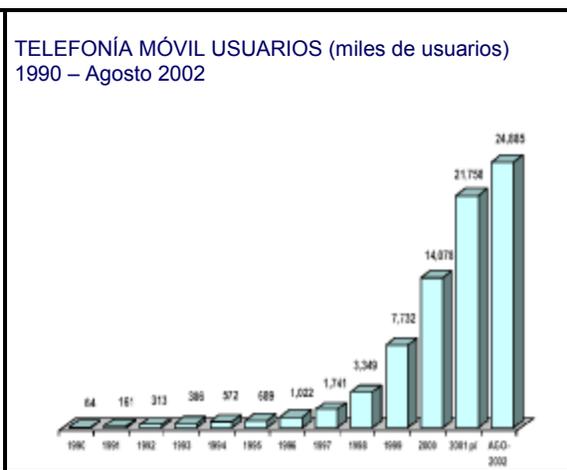


Fig 2 Miles de usuarios de telefonía móvil

1.4. Principio de funcionamiento de una red inalámbrica

Como ya se mencionó anteriormente, el concepto de una red de radio celular, fue inventado por los laboratorios Bell en EEUU en 1947. Este concepto de red celular viene básicamente de la forma de dividir el área de cobertura en celdas o células. La genialidad del teléfono celular reside en que una ciudad puede ser dividida en pequeñas "celulas", que permiten extender la frecuencia por toda una ciudad.

El teléfono celular estándar llamado AMPS (Advanced Mobile Phone System, o sistema de telefonía móvil avanzada) fue aprobado y usado por primera vez en Chicago en 1983. El estándar estableció un rango de frecuencias entre los 824 MHz y los 894 MHz para teléfonos análogos. Para enfrentar la competencia y mantener los precios bajos, este estándar estableció el concepto de dos portadoras en cada mercado, conocidos como portadoras A y B.

Cada uno de los dos operadores regionales tiene asignadas las portadoras A y B en la región que le corresponde: una para la comunicación del equipo móvil hacia las bases y otra para la comunicación de las bases hacia las unidades móviles. La asignación se muestra en la Tabla 2:

Banda	Móvil (MHz)	Base (MHz)
A	824-835, 845-846.5	869-880, 890-891.5
B	835-845, 846.5-849	880-890, 891.5-894

Tabla 2. Portadoras A y B

Cada una de las bandas, está dividida en canales que ocupan 30 kHz cada uno, por lo cual, en cada banda caben 333 canales (o conversaciones simultáneas). Vale la pena resaltar que en cada región puede haber cualquier cantidad de células, usando cada una de ellas un determinado conjunto de estos 333 canales, siempre y cuando no sean utilizados los mismos canales en células adyacentes. Estos canales funcionan como acceso a la red para los usuarios, por medio de equipos terminales que son teléfonos portátiles, consistentes en una unidad de control, un radio receptor, un radio transmisor y su antena. Por otra parte, las oficinas de conmutación contienen todos los elementos necesarios para control de llamadas, interconexión con la red telefónica, contabilidad y facturación.

El servicio para el que inicialmente fue concebida la radiotelefonía celular fue similar al de la telefonía por medio de la red telefónica pública, es decir, comunicaciones de voz, pero con esquemas de acceso similares a los de la radiotelefonía tradicional, por medio de canales de radio. Las ventajas que se esperaba que la telefonía celular tendría sobre la red telefónica tradicional son:

- a) los equipos terminales (es decir, los aparatos telefónicos) son portátiles y no requieren de un enlace de cable para tener acceso a la red telefónica,

- b) un equipo terminal puede desplazarse dentro del área de cobertura sin interrumpir la comunicación,
- c) por medio de un equipo de telefonía celular se pueden establecer conversaciones con equipos telefónicos conectados a la red telefónica tradicional,
- d) el número de usuarios de una red puede aumentar casi sin límite debido a la posibilidad de reutilizar frecuencias, de reducir tamaños de células y de explotar adecuadamente las complejas técnicas de codificación.

La tecnología celular es diferente de los conceptos que la precedieron, al menos en lo referente a la posibilidad de reutilizar frecuencias. Con sistemas convencionales de radio, el objetivo era tener la mayor cobertura posible con cada una de las estaciones fijas, usando antenas montadas en altas torres, con potencias de transmisión grandes. A cada estación le corresponde un grupo de canales y la configuración del sistema no cambia a lo largo del tiempo. Con las redes celulares las potencias radiadas por las estaciones base en teoría pueden mantenerse al mínimo, de manera tal que, en combinación con antenas localizadas a las alturas mínimas, se pueda garantizar la cobertura deseada con la calidad requerida. Con ello se logra que muchas células no adyacentes usen las mismas frecuencias sin interferir las transmisiones de unas con las de otras (en esto precisamente consiste la reutilización de frecuencias). Este revolucionario concepto está basado en las siguientes ideas: un canal de radio para una conversación telefónica consiste en un par de frecuencias, una para cada dirección de envío (base a móvil y móvil a base). Se insiste en que células adyacentes tienen que utilizar distintas frecuencias, ya que, en caso contrario, habría interferencia entre las conversaciones que las usaran. Para ilustrar este punto recordemos que en ocasiones, al viajar por alguna carretera y estar escuchando radio llega un momento en que se pueden escuchar simultáneamente dos estaciones sin modificar la sintonía del receptor. Conforme uno avanza disminuye la intensidad de una de ellas y aumenta la de la otra. Este efecto es similar al descrito en las redes celulares (véase Fig. 3).

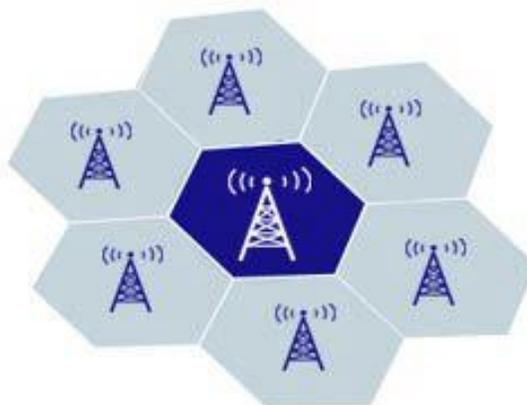


Fig. 3 Diagrama de una red celular

Debe estar claro que células geográficamente separadas sí pueden emplear los mismos conjuntos de frecuencias sin que haya un efecto perjudicial entre las conversaciones que las usen. La limitante que existe en cuanto al número de usuarios del servicio en una célula se debe a la cantidad de frecuencias que se tienen asignadas en esa célula. Sin embargo, si se reduce el tamaño de las células, lo cual equivale a reducir el área de cobertura de las mismas (esto se logra disminuyendo la potencia transmitida, la altura de las antenas de las bases o ambas) se puede aumentar el número total de usuarios de una red, debido a que, si bien el número de usuarios por célula no aumenta, sí se incrementa el número total de células. Desde luego que cada célula, independientemente de su tamaño, debe tener una estación base, cuyas transmisiones (combinación de antena y potencia transmitida) sean tales, que cubran adecuadamente el área asignada.

El servicio más importante que se ofrece por medio de una red celular es el de comunicación de voz, el cual opera de la siguiente manera. En las llamadas originadas en la unidad móvil, cuando un usuario activa su teléfono, se realiza un proceso de búsqueda por el canal de control para identificar uno con buena recepción. Generalmente éste está asignado a la base más cercana. Esta búsqueda es controlada por el equipo móvil y se realiza cuando no se está utilizando en una conversación. Una vez identificado el canal que será utilizado, la unidad móvil se considera inicializada y lista para establecer una comunicación. Después de esto, se envía el número seleccionado (correspondiente al usuario que se desea llamar) hacia la estación base, misma que envía esta información a la unidad de conmutación, que es la encargada de localizar la célula en la que está ubicada la unidad buscada. Una vez identificada, se le asigna un canal, se le notifica que tiene una llamada y se puede iniciar la conversación. Cuando la llamada se origina en un aparato de la red pública telefónica, se hace llegar la solicitud a la central celular de conmutación, la cual se encarga de localizar al usuario destino y de hacer la señalización correspondiente. Al terminar una conversación, ambos usuarios liberan los canales de radio asignados para esa conversación y las unidades móviles reactivan el monitoreo de la calidad de los canales. Finalmente, si durante la conversación de una unidad en movimiento se detecta que ha salido de la zona de cobertura de una célula (por medio de las intensidades de las señales en los canales de control), el sistema le asigna a esta conversación una nueva frecuencia (un nuevo canal de radio) y se realiza la nueva asignación sin que el usuario se percate de ello.

Hasta el momento se ha descrito a grandes rasgos cómo es el funcionamiento de las redes celulares, sin embargo este funcionamiento es mucho mas amplio y complejo. Para poder definir cómo opera una red inalámbrica, es necesario plantear primero cómo funciona una red en general, para lo cual definiremos el diagrama de red el cual, por sus características, puede adaptarse a cualquier tipo de red de comunicaciones.

1.5. Modelo de red para una red de telecomunicaciones

El modelo de red consta básicamente de 4 elementos (véase Fig. 4) que le permite establecer una conexión entre equipos o entre otras redes y estos son:

- *Transporte:* Se refiere a la forma de conectar a los elementos de conmutación.

- *Conmutación*: Los equipos responsables de establecer la comunicación entre los clientes.
- *Acceso*: Es la forma de conectar las instalaciones del cliente con las de la empresa proveedora del servicio.
- *Equipo CPE*: (Customer Premise Equipment). También llamado equipo terminal, es el equipo situado en las instalaciones del cliente para aprovechar un servicio de telecomunicaciones.

En principio las tecnologías inalámbricas fueron utilizadas como *transporte*, sin embargo, en la actualidad encuentran su gran aplicación en el *acceso*.

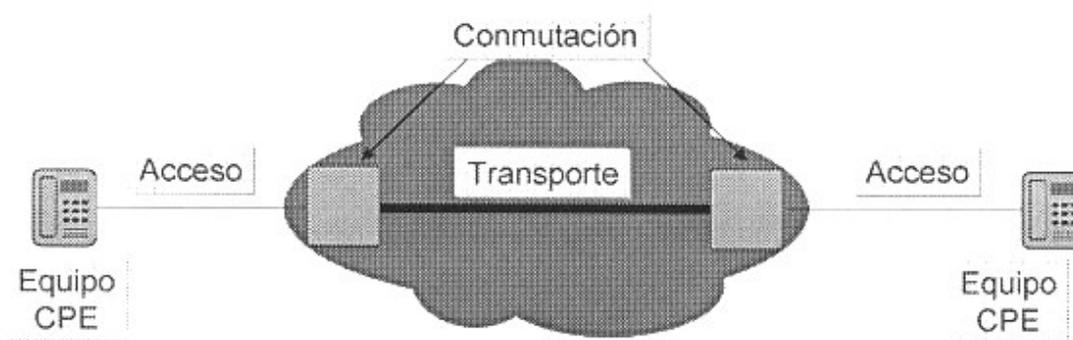


Fig. 4 Modelo de red para un sistema de telecomunicaciones

1.6. Modelo de red para un sistema inalámbrico

El modelo de una red de telecomunicaciones representa la forma más general en que puede establecerse una comunicación a larga distancia sin importar el medio que se utilice, por lo que, este mismo modelo puede adaptarse a un sistema de comunicación inalámbrica como el de la telefonía móvil por ejemplo, y quedar representado de la siguiente forma (véase Fig. 5):

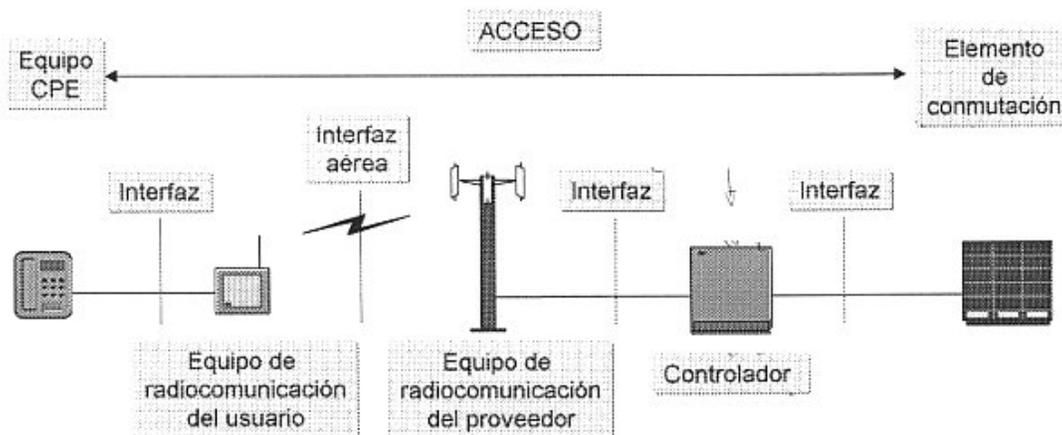


Fig. 5 Modelo de red para un sistema inalámbrico

En este modelo, además de los elementos descritos para una red general de telecomunicaciones, podemos notar que existen dos dispositivos adicionales que son de gran importancia, estos son *la interfaz aérea o radiobase*, la cual se encarga de difundir la señal eléctrica como un campo electromagnético y *el controlador*, equipo que de acuerdo a sus avanzadas funciones puede disminuir en gran medida las tareas del conmutador haciendo así más eficiente la administración del sistema.

A continuación describe un poco más en detalle algunos otros dispositivos que forman parte fundamental de una red de telefonía móvil.

1.7. Componentes que conforman una red de telefonía móvil

Una red de telefonía móvil puede verse como un sistema que está compuesto por diferentes niveles de jerarquía en sus componentes. Los componentes más pequeños se interconectan en módulos y estos a su vez se pueden agrupar en subsistemas. Si dichos subsistemas se alojan en una red de telecomunicaciones entonces es probable que nuestro sistema entero pueda ser interconectado junto con otros componentes en un nodo. Entonces varios nodos pueden ser agrupados en una red. Si vemos a la red como un todo y nos concentramos en las interacciones de ésta y su entorno entonces podremos entender mejor la función de cada uno de los elementos que la conforman.

1.7.1. Elemento de conmutación

El conmutador es el elemento principal de un sistema celular. Proporciona una interface entre el suscriptor y la red pública de teléfonos de tierra. El conmutador es un controlador electrónico compuesto de microprocesadores dedicados a comunicar el teléfono celular con la radiobase celular.

Las funciones principales del conmutador son las siguientes:

1. Hacer las conexiones necesarias para conectar al suscriptor celular con la red pública de teléfonos de tierra o con otro suscriptor celular.
2. Llevar un registro de todas las actividades de los suscriptores celulares para realizar el proceso de facturación de los clientes del servicio celular.
3. Actualizar la base de datos de los suscriptores celulares y llevar a cabo la validación de los mismos. La información de los suscriptores celulares está localizada en la Base de Datos del conmutador, el cual determina si el suscriptor celular está activo para hacer uso del servicio celular o no.
4. Hacer las conexiones necesarias para enlazar al suscriptor celular con la red pública de teléfonos de tierra o con otro para denegarle dicho servicio. Esta base de datos está constantemente cambiando y siendo actualizada por el conmutador.

5. Enviar mensajes, señales y dar órdenes al suscriptor celular.
6. Coordinar el proceso de "handoff" del suscriptor celular.

Dependiendo del tamaño y de la capacidad, cada conmutador puede procesar conversaciones simultáneas y almacenar en bases de datos una determinada cantidad de suscriptores. Un conmutador celular de capacidad mediana puede procesar 300 llamadas simultáneas, con una capacidad de 15,000 suscriptores celulares.

1.7.2. El controlador

El controlador es el equipo el cual además de recibir la información de la radiobase, se encarga de identificar y ubicar las señales, checa los anchos de banda, administra y supervisa a todos los elementos descargando un gran volumen de trabajo al equipo de conmutación.

1.7.3. Equipo de radio comunicación del proveedor de servicio (Radiobase)

Cuando un sistema celular es diseñado, el área de cobertura que tendrá dicho sistema se divide en uno o más radios de cobertura denominados celdas. Las celdas pueden tener un rango de cobertura de 1 hasta 60 kilómetros dependiendo de la potencia de los equipos y de la topografía del terreno. La radiobase celular se encuentra localizada idealmente en el centro de la celda, lo cual no necesariamente puede suceder así; dependerá del área que se pretende cubrir con la celda y de la topografía del terreno para la ubicación de la radiobase celular.

Una radiobase celular contiene los siguientes elementos:

1. *Equipo de Radiofrecuencia (RF)*, compuesto por antenas y sistemas de filtros que son los responsables de la interface de radio entre el suscriptor celular y la radiobase en si.
2. *Controlador de la radiobase*, responsable del control de la radiobase celular y constituye la interface de ésta con el conmutador. El controlador de la radiobase está compuesto de circuitos microprocesadores que sirven de enlace entre la radiobase celular y el conmutador.

1.7.4. Equipo de radio comunicación del usuario

El suscriptor celular es propiamente el aparato celular. Está equipado con un transmisor y un receptor especial que le permite comunicarse con la radiobase celular.

Las unidades celulares se pueden dividir en cuatro categorías:

1. Unidades Móviles.
2. Unidades Transportables.
3. Unidades Portables.
4. Unidades de Prueba.

Unidades Móviles

Se utilizan en los vehículos. Son manufacturadas en diversas variedades de tamaños y formas dependiendo de la consola interior del vehículo.

La fuente de poder de éste aparato es la batería del vehículo, y no necesita ser recargado. Todos los componentes de la unidad móvil son instalados en diversas partes del vehículo y se interconectan entre todos ellos vía cable. Las unidades móviles tienen, por lo general, 3 Watts de potencia de salida.

Unidades Transportables.

Por lo general, hay dos modelos que se consideran como unidades transportables, un modelo llamado "Tough Talker" y el otro llamado "Carry Phone". El "Tough Talker" viene equipado con una batería y con una antena. El "Carry Phone" viene equipado con una cubierta de vinilo y con cintas para asegurarse en cualquier base de una mesa o vehículo. Puede venir equipado sin batería, ya que puede operar conectándose al cigarrero del vehículo por lo que no requiere instalación permanente.

Unidades Portables.

Las unidades portables son lo que comúnmente se conoce como aparato celular. Vienen diseñados en una gran variedad de tamaños, formas y colores; operan por lo general con baterías de Niquel-Cadmio, Niquel-Metal y Litium, las que son de pequeño tamaño, fácil de manejar y se ajustan cómodamente a la estética del aparato celular. Las unidades portables operan a una potencia de 0,6 watts de salida aproximadamente.

1.7.5. Unidades de Prueba

Las unidades de prueba son utilizadas por lo general, por el personal técnico que da el mantenimiento a los equipos celulares. Se utilizan para el diagnóstico contestando llamadas y haciendo pruebas a las radiobases celulares.

Las unidades de prueba dan una indicación del tipo de problema que puede tener el sistema e indican como puede resolverse dicho problema, además brindan una gran ayuda a los

operadores de los sistemas celulares para mejorar la calidad de la llamada de los usuarios del sistema.

1.8. Distribución y uso de frecuencias para los sistemas de telefonía celular y PCS

1.8.1. El espectro radioeléctrico

El espectro radioeléctrico es el medio o espacio por donde se propagan las ondas radioeléctricas. Ampliando este concepto, podemos decir que se trata de un conjunto de radiofrecuencias cuyo límite se fija convencionalmente por debajo de 300 Ghz., de la siguiente manera:

Banda	Subdivisión de Frecuencias	Rango de Frecuencias.
VLF	Frecuencia muy baja	3 a 30 Khz.
LF	Frecuencia baja	30 a 300 Khz.
MF	Frecuencia mediana	300 a 3,000 Khz.
HF	Frecuencia alta	3 a 30 Mhz.
VHF	Frecuencia muy alta	30 a 300 Mhz.
UHF	Frecuencia ultra alta	300 a 3,000 Mhz.
SHF	Frecuencia super alta	3 a 30 Ghz.
EHF	Frecuencia extremadamente alta	30 a 300 Ghz.

Tabla 3. Bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico

1.8.2. Atribución del espectro radioeléctrico en México

El espectro radioeléctrico por su comportamiento omnidireccional requiere ser regulado no sólo a nivel nacional sino también a nivel internacional. El Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es el instrumento internacional con rango de tratado multilateral que forma parte de la legislación en materia de telecomunicaciones de nuestro país. Dicho reglamento se revisa y actualiza aproximadamente cada 2 a 3 años para mantenerlo al día con los avances tecnológicos.

Corresponde a la COFETEL, de conformidad con el Reglamento Interior de la SCT, dar seguimiento a los compromisos internacionales en materia de telecomunicaciones de su competencia. Por esta razón, la Coordinación General de Asuntos Internacionales coordina los Comités Mexicanos para la preparación de las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones (CMR). En estos Comités se convocan a diferentes dependencias del

gobierno, a la industria, a la academia y a interesados para trabajar durante el periodo entre conferencias, en el análisis, discusión y preparación de la posición de México. En forma paralela, la Comisión coordina en el mismo periodo, la posición de México en materia de radiocomunicaciones con la Región de las Américas en el seno de los Comités Consultivos Permanentes (CCPs) de la CITELE (organismo de la OEA), para fortalecer la posición de la región ante los foros mundiales. Cabe mencionar que México lleva 10 años presidiendo el CCP.III: de Radiocomunicaciones.

En virtud de que el espectro radioeléctrico es un recurso limitado se requiere de procedimientos a través de los cuales se otorguen, en forma transparente y ordenada las concesiones para su uso, explotación y aprovechamiento eficiente. A finales de 1994, se detectó que no existía una política integral para la atribución, asignación, planificación y ordenamiento del espectro radioeléctrico, lo que limitaba su aprovechamiento. En este sentido, se carecía de procedimientos adecuados para lograr su eficiente administración y el otorgamiento de concesiones se caracterizaba por un elevado grado de discrecionalidad y poca eficiencia. Más aún, no existía un costo real para los concesionarios, y el erario federal no percibía ingresos acordes al precio que la demanda determinaba por el uso de este recurso. Asimismo, la falta de regulación y coordinación en el uso del espectro, afectaba los servicios de radiocomunicación en las zonas fronterizas. Tampoco existían mecanismos para aplicar exitosamente los servicios que se estaban generando a raíz de las nuevas tecnologías digitales y la compresión de señales. Aunado a ello el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias de 1993 requería ser actualizado.

Como se mencionó, el hecho de que el espectro radioeléctrico sea un recurso escaso, requiere de un procedimiento mediante el cual se otorguen las concesiones para su uso, aprovechamiento y explotación de manera eficiente. De conformidad con el artículo 14 de la LFT (Ley Federal de Telecomunicaciones), las concesiones sobre bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico para usos determinados se otorgarán mediante licitación pública.

Al otorgar las concesiones a través de licitaciones públicas, el Estado cuenta con un instrumento que promueve y genera los incentivos para lograr un sector de telecomunicaciones competitivo, al no restringir el acceso de nuevos agentes económicos que pretenden ofrecer algún servicio de telecomunicaciones. Lo anterior, sin perjuicio del establecimiento de restricciones de acumulación para los participantes en las licitaciones y del establecimiento de requerimientos de cobertura a los ganadores. Asimismo, las licitaciones permiten que nuevos competidores puedan ofrecer servicios comparables a los que ofrecen los agentes económicos ya establecidos, en un plazo relativamente corto y permiten también, que países con tecnologías menos avanzadas puedan tener acceso a los mejores servicios de telecomunicaciones en un plazo reducido.

De 1996 a 2000 se han llevado a cabo 13 licitaciones para el otorgamiento de concesiones para el uso, aprovechamiento y explotación de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico para usos determinados. Derivado de los trece procesos de licitación llevados a cabo, se han adjudicado un total de 322 concesiones, de bandas de frecuencias, y 120 de red pública de telecomunicaciones.

El 11 de enero de 1999 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias. Dicho cuadro substituyó al expedido por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en 1993, y su objetivo es actualizar las bases para el eficiente uso y explotación del espectro radioeléctrico, así como para el desarrollo planificado de las redes y servicios de telecomunicaciones que utilizan dicho recurso.

El Cuadro Nacional brinda certeza jurídica a inversionistas y usuarios al definir con claridad el uso al cual se deberán destinar las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, de acuerdo con las clasificaciones de orden nacional e internacional. Todas las asignaciones para el uso, aprovechamiento o explotación de frecuencias del espectro de usos determinados, uso oficial, experimental o las utilizadas para la prestación de servicios de radio y televisión abierta o radiodifusión, se llevan a cabo con base en las atribuciones establecidas en el Cuadro. El Cuadro atendió la opinión de la industria a través de la Cámara Nacional de la Industria Electrónica, Telecomunicaciones e Informática (CANIETI), los compromisos internacionales asumidos por el Gobierno Mexicano para la promoción y desarrollo de nuevos servicios de radiocomunicación, derivados de las actividades de cooperación internacional que se llevan a cabo en las diversas Conferencias Mundiales de Radiocomunicación de la UIT, así como en otros foros regionales. Su contenido respeta el Cuadro Internacional de Frecuencias del nuevo Reglamento de Radiocomunicaciones expedido por el mencionado organismo internacional, al igual que hace referencia a los acuerdos bilaterales y multilaterales suscritos por México en materia de coordinación de frecuencias.

Mediante la publicación del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias, el Gobierno Federal ejerce su facultad rectora y promotora en la materia, proporcionando a la industria de las telecomunicaciones los elementos para la planeación, diseño y fabricación de equipos de telecomunicaciones que serán integrados a redes públicas y privadas. Asimismo, se establecen los criterios técnicos necesarios para llevar a cabo las futuras licitaciones de concesiones para el uso, explotación y aprovechamiento de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico para usos determinados.

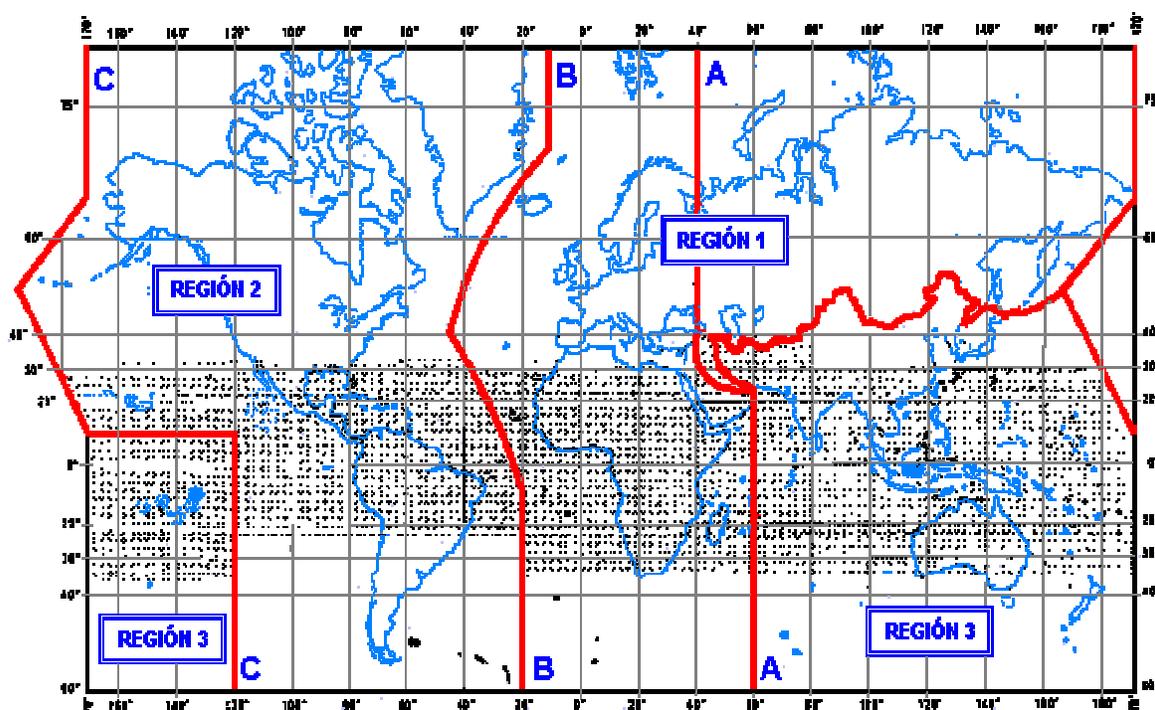
En resumen:

- El espectro radioeléctrico ha sido considerado por el gobierno federal como un recurso limitado.
- La asignación del espectro propiciara el desarrollo de las comunicaciones en México.
- Los principales servicios son: telefonía celular e inalámbrica, radiolocalización, radiocomunicación móvil, comunicación móvil marítima, comunicación tierra-aire, enlaces punto a punto, enlaces punto a multipunto.
- La Ley Federal de Telecomunicaciones establece que las conexiones se harán mediante licitación pública.

- Requisitos: inversión, cobertura, servicios, plan de negocios, especificaciones técnicas, bandas en cuestión.

1.8.3. Atribución del espectro radioeléctrico en el mundo: Región 1, 2 y 3

Con el fin de planificar, atribuir y asignar las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, de manera tal que todos los países puedan compartir este recurso limitado en forma adecuada, la UIT ha dividido al mundo en tres Regiones. Con base en esa división, la parte internacional del "Cuadro" consta de tres columnas, denominadas: Región 1, Región 2 y Región 3, respectivamente. Dichas regiones se refieren a distintas zonas geográficas, como se indica en la Fig. 6:



La parte sombreada representa la Zona Tropical definida en los números S5.16 a S5.20 y S5.21.

Fig. 6 Atribución de frecuencias a escala mundial

Región 1:

La Región 1 comprende la zona limitada al este por la línea A (más adelante se definen las líneas A, B y C), y al oeste por la línea B, excepto el territorio de la República Islámica del Irán situado dentro de estos límites. Comprende también la totalidad de los territorios de Armenia, Azerbaiyán, Georgia, Kazakstán, Mongolia, Uzbekistán, Kirguistán, Rusia, Tayikistán, Turkmenistán, Turquía y Ucrania, y la zona al norte de Rusia que se encuentra entre las líneas A y C.

Región 2:

La Región 2 comprende la zona limitada al este por la línea B y al oeste por la línea C.

Región 3:

La Región 3 comprende la zona limitada al este por la línea C y al oeste por la línea A, excepto el territorio de Armenia, Azerbaiyán, Georgia, Kazakstán, Mongolia, Uzbekistán, Kirguistán, Rusia, Tayikistán, Turkmenistán, Turquía y Ucrania, y la zona al norte de Rusia. Comprende, asimismo, la parte del territorio de la República Islámica del Irán situada fuera de estos límites.

Las líneas A, B y C se definen en la forma siguiente:

Línea A:

La línea A parte del Polo Norte; sigue el meridiano 40° Este de Greenwich hasta el paralelo 40° Norte; continúa después por un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 60° Este con el Trópico de Cáncer y, finalmente, por el meridiano 60° Este hasta el Polo Sur.

Línea B:

La línea B parte del Polo Norte; sigue el meridiano 10° Oeste de Greenwich hasta su intersección con el paralelo 72° Norte; continúa después por un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 50° Oeste con el paralelo 40° Norte; sigue de nuevo un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 20° Oeste con el paralelo 10° Sur y, finalmente, por el meridiano 20° Oeste hasta el Polo Sur.

Línea C:

La línea C parte del Polo Norte; sigue el arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del paralelo 65° 30' Norte con el límite internacional en el estrecho de Bering; continúa por un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 165° Este de Greenwich con el paralelo 50° Norte; sigue de nuevo un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 170° Oeste con el paralelo 10° Norte; continúa por el paralelo 10° Norte hasta su intersección con el meridiano 120° Oeste y, finalmente, por el meridiano 120° Oeste hasta el Polo Sur.

1.8.4. Evolución de la telefonía móvil: 1ª, 2ª y 3ª generación

A medida que la telefonía móvil ha evolucionado, ha sido necesario mudar de una tecnología a otra para poder seguir satisfaciendo las necesidades del usuario. Hasta hoy existen 3 generaciones de los sistemas celulares las cuales están definidas en la Fig. 7.

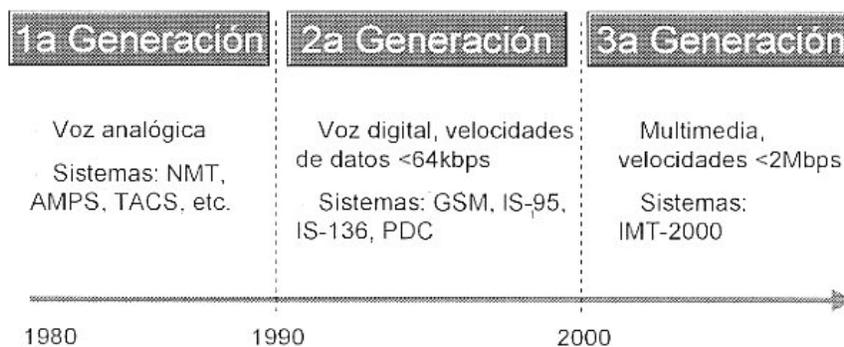


Fig. 7 Evolución de la tecnología móvil

La 1ª generación de la telefonía móvil hizo su aparición en 1979 y se caracterizó por ser analógica y estrictamente para voz. La calidad de los enlaces era muy deficiente. En cuanto a la transferencia entre celdas, era muy imprecisa ya que contaban con una baja capacidad de canales (basadas en FDMA, Frequency Division Multiple Access) y, además, la seguridad no existía. La tecnología predominante de esta generación es AMPS (Advanced Mobile Phone System).

La 2ª generación arribó hasta 1990 y a diferencia de la primera se caracterizó por ser digital. EL sistema de 2ª generación utiliza protocolos de codificación más sofisticados y se emplea en los sistemas de telefonía celular actuales. Las tecnologías predominantes son: GSM (Global System for Mobile Communications) y CDMA (Code Division Multiple Access) y PDC (Personal Digital Communications). Los protocolos empleados en los sistemas de 2ª generación soportan velocidades de información más altas por voz, pero limitados en comunicación de datos.

La 3ª generación se caracteriza por contener a la convergencia de voz y datos con acceso inalámbrico a Internet; en otras palabras, es apta para aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos. Los protocolos empleados en los sistemas 3G soportan altas velocidades de información y están enfocados para aplicaciones más allá de la voz como audio (mp3), video en movimiento, videoconferencia y acceso rápido a Internet, sólo por nombrar algunos. Se espera que las redes 3G empiecen a operar en el 2001 en Japón, por NTT DoCoMo; en Europa y parte de Asia en el 2002, posteriormente en Estados Unidos y otros países.

Y asimismo cada generación ha ido mudando de una frecuencia a otra. En la siguiente figura (Fig. 8) se muestra como está representadas actualmente la asignación de frecuencias y las regiones donde son utilizadas.

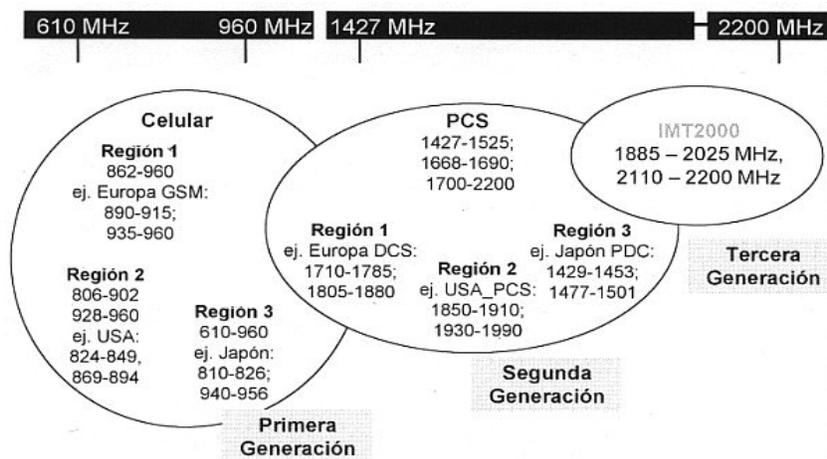


Fig. 8 Asignación de frecuencias de acuerdo a la generación en que fueron, son o serán utilizadas

1.8.5. Intervalo de operación para el servicio de celular

El estándar estableció un Intervalo de frecuencias entre los 824 Megahertz y los 894 para teléfonos análogos. Este estándar estableció el concepto de dos tipos de asignación de bandas de frecuencia: la Banda de Frecuencia "A" y la Banda de Frecuencia "B". A cada banda se le da 832 frecuencias de voz, cada una con una amplitud de 30 Kiloherztz. Un par de frecuencias (una para enviar y otra para recibir) son usadas para proveer un canal dual por teléfono. Las frecuencias de transmisión y recepción de cada canal de voz están separadas por 45 MHz.

1.8.6. Intervalo de operación para el servicio de PCS

El intervalo de frecuencia de operación se ubica de los 1.71-1.97 GHz. Cuenta con 6 tipos de bandas de frecuencia: la Bandas de Frecuencia "A", "B", "C", "D", "E" y "F". Cada canal de frecuencia de RF tiene un amplitud de 30 KHZ. Existen 449 canales de 15 MHz de RF por banda (A, B, C) y 165 canales de 5MHz (D, E, F).

CAPITULO II - Radiobases empleadas en los sistemas de comunicación móvil (celulares y PCS)

2.1. Introducción

Las primeras manifestaciones de los fenómenos eléctricos y magnéticos se observaron por medio de las fuerzas que actuaban sobre cargas y corrientes, pero esta representación, aunque muy útil, no permite estudiar fácilmente los fenómenos de propagación y radiación de ondas, por lo que es necesario introducir el concepto de campo. Un campo se pone de manifiesto en un punto o se mide colocando cargas y corrientes de prueba y observando las fuerzas ofrecidas sobre ellas.

Este capítulo plantea los principios básicos teóricos y funcionales de los elementos que forman parte de las radiobases de telefonía celular. Para comprender cada uno de los parámetros que serán descritos en este apartado, será necesario contar el fundamento teórico de las ecuaciones de Maxwell las cuales relacionan los campos eléctricos y magnéticos con las cargas y corrientes que los crean. Haciendo notar, de forma particular, que la solución general de las ecuaciones, en el caso variable en el tiempo es en forma de ondas, que pueden estar ligadas a una estructura, como es el caso de una línea de transmisión o guía de ondas, o bien libres en el espacio como ocurre por las producidas por las antenas.

Como antecedente significativo para este apartado, de acuerdo al *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), una antena se define como aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas (IEEE Std. 145-1983). Y si bien sus ondas son muy variadas todas las antenas tienen en común el ser una región de transición entre una zona donde existe una onda electromagnética guiada y una onda en el espacio libre, a la que puede además asignar un carácter direccional. La representación de la onda guiada se realiza por voltajes y corrientes (hilos conductores y líneas de transmisión) o por campos (guías de ondas); en el espacio libre mediante campos.

Habremos de comprender de forma más clara que misión de la antena es radiar la potencia que se le suministra con las características de direccionalidad adecuadas a la aplicación. Por ejemplo, en radiodifusión o comunicaciones móviles se querrá radiar sobre la zona de cobertura de forma omnidireccional, mientras que en radio comunicaciones fijas interesará que las antenas sean direccionales. En general cada aplicación impondrá requisitos sobre la zona del espacio en la que se desee concentrar la energía. Asimismo, para poder extraer información se ha de ser capaz de captar en algún punto del espacio la onda radiada, absorber energía de esa onda y entregarla al receptor. Existen pues, dos misiones básicas de una antena: transmitir y recibir, imponiendo a cada aplicación condiciones particulares sobre la direccionalidad de la antena, niveles de potencia que debe soportar, frecuencia de trabajo y otros parámetros que serán definidos posteriormente.

2.2. Conceptos básicos sobre antenas y radiofrecuencia

2.2.1. Campo electromagnético

La existencia de la propagación de ondas electromagnéticas pueden predecirse como una consecuencia directa de las ecuaciones de Maxwell (Maxwell, 1865). Dichas ecuaciones especifican la relación entre las variaciones del vector de campo eléctrico E y el vector de campo magnético H en el tiempo y contenidas en un medio. La intensidad de campo eléctrico es medida en volts por metro y es generada por un campo magnético variable en el tiempo o por una carga libre. El campo magnético H se mide en amperes por metro y este se genera por un campo eléctrico variable en el tiempo o por una corriente. En otras palabras, las ecuaciones de Maxwell pueden resumirse como sigue:

*Un campo eléctrico es producido por un campo magnético variable en el tiempo
Un campo magnético es producido por un campo eléctrico variable en el tiempo o por una corriente*

*Las líneas de campo eléctrico pueden comenzar y terminar en cargas, o ser continuas
Las líneas de campo magnético son continuas*

Las primeras dos ecuaciones de Maxwell contienen constantes de proporcionalidad: la permeabilidad del medio μ expresada en henrys por metro y la permitividad del medio ϵ en unidades de farads por metro. Estas se expresan normalmente proporcionales a los valores en espacio libre:

$$\mu = \mu_0 \mu_r \quad (2.1)$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \quad (2.2)$$

donde μ_0 y ϵ_0 son los valores en espacio libre, dados por:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Hm}^{-1} \quad (2.3)$$

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \approx \frac{10^{-9}}{36\pi} \text{ Fm}^{-1} \quad (2.4)$$

μ_r y ϵ_r son los valores relativos (en el espacio libre $\mu_r = \epsilon_r = 1$). El espacio libre indica estrictamente un vacío, sin embargo los mismos valores pueden ser empleados como una buena aproximación en aire seco a temperaturas y presiones típicas.

2.2.2. Propiedades de una onda plana

Existe varias soluciones a las ecuaciones de Maxwell y todas ellas representan campos que actualmente podrían ser producidos en la practica. Sin embargo, todos ellos pueden ser representados como la suma de ondas planas. La figura 2.1 muestra una onda plana propagándose paralelamente al eje Z en tiempo $t=0$.

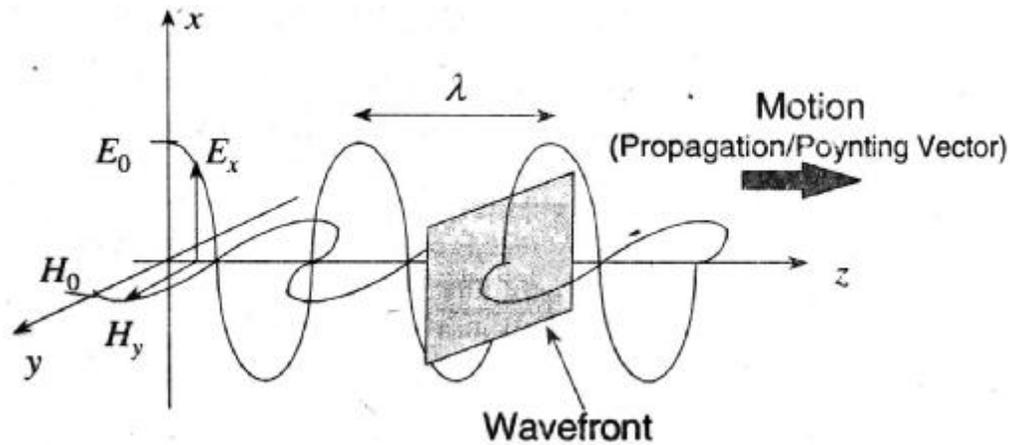


Fig. 2.1 Onda Plana

Los campos eléctricos y magnéticos son perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación de la onda; la dirección de propagación es a lo largo del eje Z; el vector en esta dirección es el *vector de propagación o vector Poynting*¹. Los dos campos están en fase en cualquier punto del tiempo o del espacio. Su magnitud es constante en el plano XY, por eso de ahí el término de onda plana. El campo eléctrico oscilante produce un campo magnético, el cual oscila por sí mismo para volver a crear un campo eléctrico y así sucesivamente de acuerdo a las ecuaciones de rizo de Maxwell. Dicha interacción entre los dos campos almacena energía y esto a su vez genera potencia. La variación o *modulación* de las propiedades de la onda (amplitud, frecuencia o fase) permite entonces que la información sea llevada “dentro” de la onda entre su propia fuente y el destino, lo cual es el objetivo central de los sistemas de comunicaciones inalámbricos.

El campo eléctrico puede expresarse como:

$$E = E_0 \cos(\omega t - kz) \bar{x} \quad (2.5)$$

donde E_0 es la amplitud del campo, la frecuencia angular es $\omega=2\pi f$, t es el intervalo de tiempo, k es el número de la onda, z es la distancia a lo largo del eje Z y \bar{x} es un vector unitario en la dirección positiva de X. El número de la onda representa el índice del cambio de la fase del campo con la distancia, esto es, la fase de la onda cambia kr radianes sobre una distancia de r metros. La longitud de onda λ es distancia sobre la cual la fase de la onda cambia 2π radianes. Por lo tanto

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.6)$$

Similarmente, el vector de campo magnético H puede escribirse como:

$$H = H_0 \cos(\omega t - kz) \bar{y} \quad (2.7)$$

donde H_0 es la magnitud del campo magnético y \bar{y} es el vector unidad en la dirección del eje Y positiva.

¹ "Vector de Poynting", así llamado en honor a John H. Poynting (1852-1914) quien creó este modelo.

Se asume que en ambas ecuaciones (2.5) y (2.8) el medio en el que se está propagando la onda es un medio sin pérdidas por lo que la amplitud de la onda se mantiene constante con la distancia. Obsérvese que la onda varía sinusoidalmente en ambos casos (tiempo y distancia).

Muchas veces es conveniente representar la amplitud y la fase de la onda utilizando cantidades complejas, entonces las ecuaciones (2.5) y (2.7) pueden expresarse como:

$$E = E_0 e^{[j(\omega t - kz)]\bar{x}} \quad (2.8)$$

$$H = H_0 e^{[j(\omega t - kz)]\bar{y}} \quad (2.9)$$

Los valores reales pueden calcularse tomando las partes reales de las ecuaciones (2.8) y (2.9).

2.2.3. Definición de antena

Fundamentalmente, una *antena* es la forma de convertir las ondas guiadas presentes en una línea de transmisión, guía de onda o microcinta, en ondas radiadas que viajan a través del espacio libre o viceversa. La figura (2.2) muestra cómo los campos atrapados en la línea de la transmisión viajan en una dimensión hacia la antena, la cual los convierte en ondas radiadas, llevando potencia lejos del transmisor hacia el espacio libre en tres dimensiones.

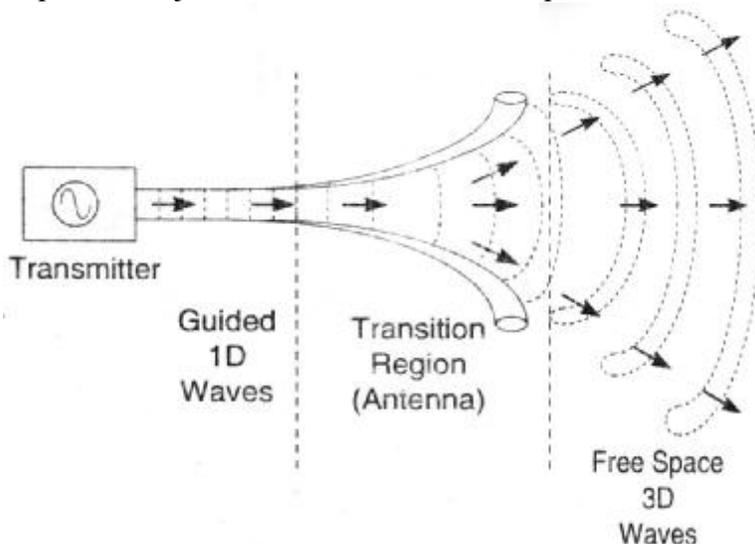


Fig. 2.2 Representación de una antena como una región de transición entre las ondas dirigidas y las propagadas

En otras palabras, una antena tiene la capacidad de convertir potencia de RF en campos electromagnéticos o en su defecto intercepta éstos mismos y los convierte a energía de RF. La potencia de RF produce un flujo de corriente en la antena, esta corriente genera una radiación de campo electromagnético a través del espacio libre y el campo electromagnético induce pequeñas corrientes en cualquier conductor que alcance. Estas pequeñas corrientes son réplicas idénticas de la corriente original en la antena.

2.2.4. Concepto de radiación electromagnética

Son las ondas producidas por la oscilación o la aceleración de una carga eléctrica. Las ondas electromagnéticas tienen componentes eléctricos y magnéticos. La radiación electromagnética se puede ordenar en un espectro que se extiende desde ondas de frecuencias muy elevadas (longitudes de onda pequeñas) hasta frecuencias muy bajas (longitudes de onda altas). El espectro electromagnético incluye todas las formas diversas de energía electromagnética

2.2.5. Condición necesaria para la radiación

Una pregunta entonces se presenta en cuanto a qué distingue la corriente en una antena de la corriente en la estructura de una onda guiada. Como muestra la figura 2.3 (a) y como una consecuencia directa de las ecuaciones de Maxwell, cargas en movimiento uniforme (o cambios estacionarios) no producen radiación. De la figura 2.3 (b) a la (d) existe radiación debido a que la velocidad de las cargas está cambiando en el tiempo. En la figura 2.3 (b) las cargas están alcanzando el fin del cable y regresan nuevamente en sentido contrario. En la figura 2.3 (c) la velocidad de las cargas se mantiene constante pero su dirección esta cambiando. Finalmente, en la figura 2.3 (d), las cargas están oscilando con un movimiento periódico generando así, un flujo constante de radiación.

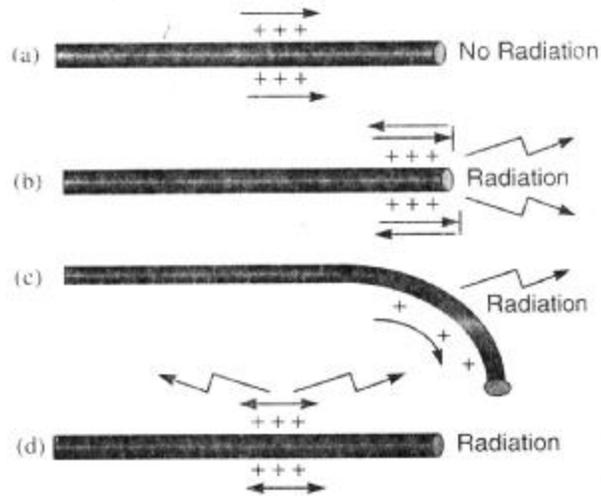


Fig. 2.3 Sólo la aceleración de cargas producen radiación.

2.2.6. Parámetros de las antenas

2.2.6.1. Impedancia

La antena ha de conectarse a una transmisor y radiar el máximo de potencia posible con un mínimo de pérdidas en ella. La antena y el transmisor han de adaptarse para una máxima transferencia de potencia en el sentido clásico de circuitos. Habitualmente el transmisor se encuentra alejado de la antena y la conexión se hace mediante una línea de transmisión o

guía de ondas, que participa también en esa adaptación, debiéndose considerar su impedancia característica, su atenuación y su longitud.

El transmisor produce corrientes y campos que pueden ser medibles en puntos característicos de la antena.

A la entrada de la antena puede definirse *la impedancia de entrada* Z_{in} mediante relaciones de tensión-corriente en ese punto ($Z_{in}=E_i/I_i$). La impedancia de entrada generalmente es compleja, por lo que poseerá una parte real $R_c(\omega)$ y una imaginaria $X_c(\omega)$, es decir $Z_{in}=R_c \pm jX_c$, donde ambas reactancias dependen en general de la frecuencia (ω). Si Z_{in} no presenta una parte reactiva a la frecuencia, se dice que es una *antena resonante*. Dado que la antena radia energía hay una pérdida neta de potencia hacia el espacio debida a radiación, que puede ser asignada a una *resistencia de radiación* R_r , definida como el valor de la resistencia que disipará óhmicamente la misma potencia que la radiada por la antena. Puede expresarse como: $R_r = \frac{P}{I^2}$ (Ω), donde P es la potencia radiada por la antena en (W) e I es la corriente de la antena en el punto de alimentación en (A).

Superpuestas a la radiación tendremos las pérdidas que puedan producirse en la antena, habitualmente óhmicas en los conductores, si bien en las antenas de ferrita también se producen pérdidas en el núcleo. Todas las pérdidas pueden globalizarse en una *resistencia de pérdidas* R_Ω . La resistencia de entrada es la suma de las de radiación y pérdidas.

La impedancia de entrada es un parámetro de gran trascendencia ya que condiciona las tensiones de los generadores que se deben aplicar para obtener determinados valores de corriente en la antena y, en consecuencia, una determinada potencia radiada. Si la parte reactiva es grande, hay que aplicar tensiones elevadas para obtener corrientes apreciables; si la resistencia de radiación es baja, se requieren elevadas corrientes para obtener una potencia radiada importante.

2.2.6.2. Eficiencia de la antena

La existencia de pérdidas en la antena hace que no toda la potencia entregada por el transmisor sea radiada, por lo que se puede definir un rendimiento o eficiencia de la antena η , mediante la relación entre la potencia radiada y la entregada, o equivalentemente entre la resistencia de entrada de esa antena y la que presenta realmente. Es decir:

$$\eta = \frac{P_{radiada}}{P_{entregada}} = \frac{R_r}{R_r + R_\Omega} \quad \text{Ec. (2.10)}$$

2.2.6.3. Intensidad de radiación

Una de las características fundamentales de una antena es su capacidad para radiar con una cierta direccionalidad, es decir, para concentrar la energía radiada en ciertas direcciones del espacio. Será, por tanto, conveniente cuantificar este comportamiento con algún parámetro

que nos permita establecer una comparación entre distintas antenas. Previamente se debe definir el marco de referencia donde esta situada la antena que queremos caracterizar para ello emplearemos un sistema de coordenadas que nos permita definir cómodamente una dirección en el espacio.

El sistema de coordenadas utilizado habitualmente en antenas es el esférico, ya que mediante la especificación de dos parámetros, los ángulos θ y ϕ queda definida unívocamente una dirección del espacio. En este sistema de coordenadas (Fig. 2.4) se definen los vectores unitarios \hat{r} , $\hat{\theta}$ y $\hat{\phi}$ que forman una base ortogonal, de forma que cualquier vector puede expresarse como una combinación lineal de los tres vectores unitarios.

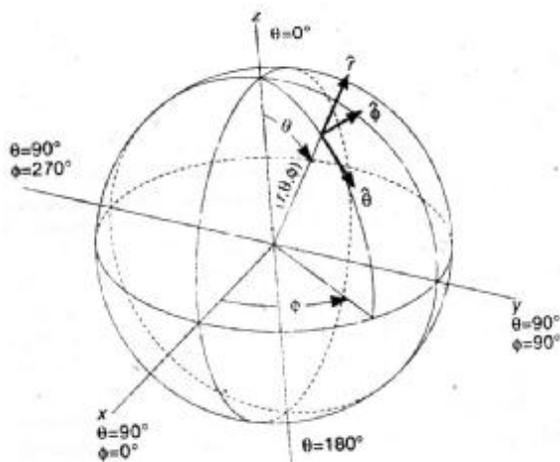


Fig. 2.4 Sistema de coordenadas esféricas.

La onda electromagnética radiada se compone de un campo eléctrico \vec{E} (V/m) y uno magnético \vec{H} (A/m); ambos son magnitudes vectoriales y están relacionados por las ecuaciones de Maxwell como ya se vio anteriormente.

A partir de los valores eficaces de los campos se obtiene la *densidad de flujo* por unidad de superficie mediante

$$\bar{\rho}(\theta, \phi) = \text{Re}(\vec{E} \times \vec{H}^*) \quad \text{W/m}^2 \quad \text{Ec. (2.11)}$$

donde se ha supuesto para los campos una variación de la forma $e^{j\omega t}$ y los símbolos *, Re y \times denotan el complejo conjugado, la parte real y el producto vectorial.

Para los campos radiados, los módulos del campo eléctrico y del campo magnético están relacionados por la impedancia característica del medio Z_0 , que en el vacío vale $120\pi \Omega$.

Por lo tanto la *densidad de potencia radiada* se puede calcular a partir de las componentes transversales del campo eléctrico.

$$\bar{\wp}(\theta, \varphi) = \frac{|E_\theta|^2 + |E_\varphi|^2}{Z_0} \quad \text{Ec. (2.12)}$$

Entonces, la *intensidad de radiación* es la potencia radiada por unidad de ángulo sólido en una determinada dirección; sus unidades son volts por estereorradianes² y a grandes distancias tiene la propiedad de ser independiente de la distancia a la que se encuentre la antena. La relación entre la intensidad de radiación y la densidad de potencia radiada es:

$$K(\theta, \varphi) = \wp(\theta, \varphi)r^2 \quad \text{Ec. (2.13)}$$

2.2.6.4. Densidad de potencia

A medida que las ondas se propagan por el espacio, su densidad de potencia disminuye con la distancia a la fuente dependiendo de la apertura y geometría que presente el frente de onda. Por ejemplo, una antena que emitiese una onda perfectamente esférica con una potencia (energía por segundo) dada, su densidad de potencia a una distancia determinada sería su potencia de emisión dividida por la superficie de la esfera de ese radio. Como se ve la densidad de potencia de la onda se atenúa de forma proporcional al cuadrado de la distancia. Con otras geometrías del frente de onda la atenuación podría ser menor, pero en todo caso siempre sería inversamente proporcional a la distancia

En términos generales la densidad de potencia se define como la potencia radiada que incide perpendicular a una superficie, dividida por el área de la superficie, y que se expresa en Watts por metro cuadrado (W/m²).

2.2.6.5. Diagramas de radiación

Un diagrama de radiación es una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena, en función de las distintas direcciones del espacio, a una distancia fija. Normalmente se empleará un sistema de coordenadas esféricas. Con la antena situada en el origen y manteniendo constante la distancia se expresará el campo eléctrico en función de las variables angulares (θ, φ). Como el campo es una magnitud vectorial, habrá que determinar en cada punto de la esfera de radio constante el valor de dos componentes ortogonales, habitualmente según $\hat{\theta}$ y $\hat{\varphi}$.

Como el campo magnético deriva directamente del eléctrico, la representación podría realizarse a partir de cualquiera de los dos, siendo norma habitual que los diagramas se refieran al campo eléctrico.

La densidad de potencia es proporcional al cuadrado del módulo del campo eléctrico, por lo que la presentación gráfica de un diagrama de potencia contiene la misma información que un diagrama de radiación de campo.

² *Estereorradian* es definido como el ángulo sólido cuyo vértice está en el centro de la esfera y corta un área de superficie igual al cuadrado del radio de la esfera.

En determinadas circunstancias puede ser necesaria la representación grafica de la fase de $E(\theta, \varphi)$, además de la amplitud de las dos componentes. Dicha representación se denomina el diagrama de la fase de la antena.

Al observar a gran distancia una antena, se vería su radiación como si proviniera de un punto, es decir, los frentes de onda serían esféricos. A este punto, centro de curvatura de la superficies de fase constante se le denomina el *centro de fase* de la antena.

Los cortes bidimensionales del diagrama de radiación se pueden representar en coordenadas polares o cartesianas. En el primer caso el ángulo en el diagrama polar representa la dirección del espacio, mientras que el radio representa la intensidad del campo eléctrico o la densidad de potencia radiada. En coordenadas cartesianas se presenta el ángulo en las abscisas y el campo o la densidad de potencia en las ordenadas.

La representación en coordenadas cartesianas permite observar los detalles en antenas muy directivas, mientras que el diagrama polar suministra una información más clara de la distribución de la potencia en las diferentes direcciones del espacio. La figura 2.5 inciso *a* y *b* muestran ejemplos de ambas representaciones.

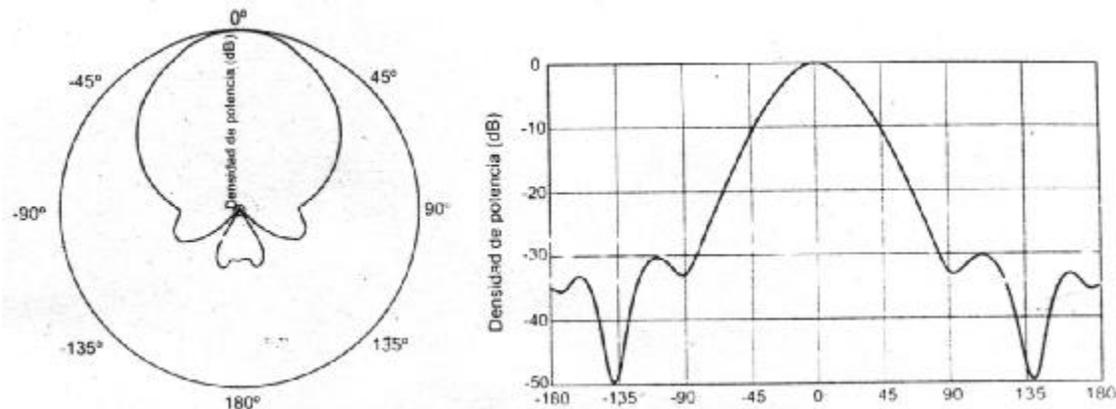


Fig. 2.5 a) Diagrama de radiación en coordenadas polares. b) Diagrama de radiación en coordenadas cartesianas.

El campo se puede representar de forma absoluta o relativa, normalizando el valor máximo a la unidad. También es bastante habitual la representación del diagrama con la escala en decibeles. El máximo del diagrama de radiación es cero decibeles y en las restantes direcciones del espacio los valores en dB son negativos. Es importante tener en cuenta que los diagramas de campo y de potencia son idénticos cuando la escala esta en decibeles.

En un diagrama de radiación típico, como los mostrados en las figuras anteriores, se aprecia una zona en la que la radiación es máxima a la que se denomina *as principal o lóbulo principal*. Las zonas que rodean a los máximos de menor amplitud se denominan *lóbulos secundarios*. A continuación se definen una serie de parámetros importantes del diagrama. El *ancho del as a menos 3dB* es la separación angular de las direcciones en las que el diagrama de radiación de potencia tomar el valor medio del máximo. En el diagrama de campo es la excursión angular entre las direcciones en las que el valor del campo ha caído a 0.707 del valor del máximo (véase Fig. 2.6).

El ancho del as entre ceros es la separación angular del espacio en las que el lóbulo principal toma un valor mínimo.

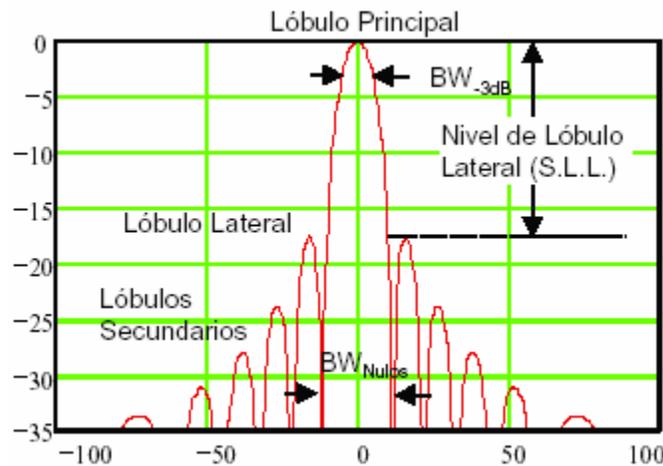


Fig. 2.6 Parámetros del diagrama de radiación

La *relación del lóbulo principal a secundario* es el cociente, expresado en dB, entre el valor del diagrama en la dirección de máxima radiación y en la dirección del máximo del lóbulo secundario. Normalmente, dicha relación se refiere al lóbulo secundario de mayor amplitud, que suele ser adyacente al lóbulo principal.

La relación *delante-atrás* es el cociente, también en dB, entre el valor del diagrama en la dirección del máximo y el valor en la dirección diametralmente opuesta.

Si un diagrama de radiación presenta simetría de revolución entorno a un eje se dice que la antena es *omnidireccional*. Toda la información contenida en el diagrama tridimensional puede representarse en un único corte que contenga al eje.

Se denomina *antena isotrópica* a una antena ideal que radie la misma intensidad de radiación en todas las direcciones del espacio. Aunque no existe ninguna antena de estas características es de gran utilidad para definir más parámetros de las antenas.

2.2.6.6. Directividad y ganancia directiva

Cuando se realizan estudios de radiación de una antena, se supone que su punto medio está situado en el origen de un sistema de coordenadas de tres dimensiones, tal como se ilustra en la Fig. 2.7.

Estos estudios están destinados a calcular los valores de los campos eléctrico (E) y magnético (H) en un punto (P) alejado de la antena, cuya situación viene determinada por los ángulos (θ, φ) y una distancia r , en función de una terminada potencia radiada.

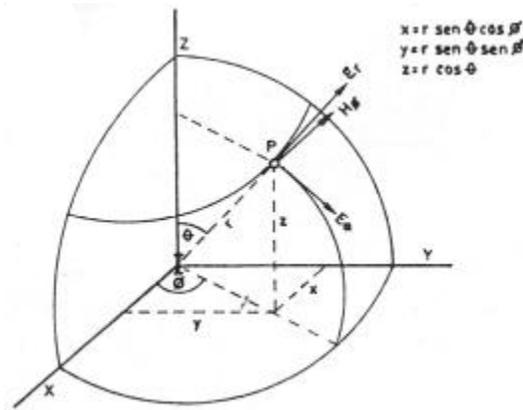


Fig. 2.7 Ubicación de un punto en el espacio

Dado que una antena, por elemental que sea, no radia uniformemente en todas las direcciones (sólo lo hace el radiador isotrópico que es un radiador hipotético, como ya lo mencionamos anteriormente), si se desplaza el punto P por una superficie de la esfera en la cual está situado y que tiene un radio r (distancia del centro de la esfera a P), obtendremos diversos valores de E y H.

La facultad de una antena para concentrar la energía de estos campos en uno o varios sectores de la esfera recibe el nombre de *ganancia directiva* (G_d), que, como vemos en la figura 2.6, es función de los ángulos θ y ϕ . En términos generales, la ganancia directiva es la relación de la densidad de potencia radiada en una dirección en particular con la densidad de potencia radiada al mismo punto por una antena de referencia, suponiendo que ambas antenas irradian la misma cantidad de potencia

$$D = \frac{P}{P_{ref}} \quad \text{Ec. (2.14)}$$

Entonces, la *directividad* (D) de una antena es su ganancia directiva en la dirección de la radiación máxima ($G_{dm\acute{a}x}$). Estos valores son función de la potencia media radiada.

2.2.6.7. Polarización

Siempre que un antena está radiando energía hacia el espacio sabemos que en cada punto del espacio existirá un vector de campo $\hat{E}(\hat{r}, t)$, función de la posición y del tiempo. La polarización es una indicación de la orientación del vector de campo en un punto fijo del espacio al transcurrir el tiempo.

La *polarización de una antena* en una dirección es la de la onda radiada por ella en esa dirección del campo eléctrico radiado desde ésta. Una antena puede polarizarse en forma lineal (por lo regular, polarizada horizontalmente o verticalmente, suponiendo que los elementos de la antena se encuentran dentro de un plano horizontal o vertical), en forma

elíptica, o circular. Si una antena irradia una onda electromagnética polarizada verticalmente, la antena se define como polarizada verticalmente; si la antena irradia una onda electromagnética polarizada horizontalmente, se dice que la antena está polarizada horizontalmente; si el campo eléctrico gira en un patrón elíptico su polarización será elíptica y así sucesivamente con los otros tipos de forma.

La *polarización de una onda* es la figura geométrica descrita, al transcurrir el tiempo, por los extremos del vector de campo eléctrico en un punto fijo del espacio en el plano perpendicular a la dirección de propagación. Para una onda con variación temporal sinusoidal esa figura es en general una elipse, pero hay dos casos particulares de interés: si la figura trazada es un segmento, la onda se denomina linealmente polarizada y si es un círculo, circularmente polarizada.

Resumiendo, la polarización de una antena es la dirección del vector de campo eléctrico tal como es radiado desde la antena transmisora.

2.2.6.8. Ancho de banda

Todas las antenas debido a su geometría finita, están limitadas a operar satisfactoriamente en un intervalo o margen de frecuencias. Este intervalo de frecuencias, en el que un parámetro de antena determinado no sobrepasa unos límites prefijados, se conoce como el ancho de banda de la antena. Puede ser definido respecto a múltiples parámetros: diagrama de radiación, directividad, impedancia, etc.

El ancho de banda de la antena lo impondrá el sistema del que forme parte y afectará al parámetro más sensible o crítico en la aplicación.

2.2.6.9. Ganancia de potencia

La ganancia de potencial es igual a la ganancia directiva excepto que se utiliza el total de potencia que alimenta a la antena (o sea, que se toma en cuenta la eficiencia de la antena). Se supone que la antena indicada y la antena de referencia tienen la misma potencia de entrada y que la antena de referencia no tiene pérdidas ($\eta = 100\%$). Matemáticamente, la ganancia de potencia (A_p) es: $A_p = D \eta$

Si una antena no tiene pérdidas, irradia 100% de la potencia de entrada y la ganancia de potencia es igual a la ganancia directa. La ganancia de potencia para una antena también se da en decibeles en relación con alguna antena de referencia. Por lo tanto, la ganancia de potencia es:

$$A_p = 10 \text{Log} \frac{P \eta}{P_{ref}} \quad \text{Ec. (2.15)}$$

2.2.6.10. Potencia Efectiva Radiada (ERP)

La potencia o nivel de una señal se refiere a la cantidad de energía que posee la señal en un cierto instante; esta se mide en Watts (W), dBW o dBm.

La potencia efectiva radiada (ERP, Effective Radiated Power por sus siglas en inglés) se utiliza para describir el desempeño de un sistema de transmisión de radio. La ERP puede ser relativo a una antena isotrópica, a un dipolo o a otra antena. Cuando se refiere a una antena isotrópica se conoce como EiRP. Cuando se refiere a un dipolo hay que tener en mente que este tiene una ganancia de 2.15dBi sobre una antena isotrópica (0dB). Un sistema de transmisión se compone de 3 elementos básicos:

1. Un transmisor con cierto nivel de potencia (P_t)
2. Una antena con cierta ganancia (G_{ant})
3. Una línea de transmisión, que conecta a la antena con el transmisor con ciertas pérdidas (L_L)

$$EiRP_{dBm} = P_{t(dBm)} + G_{ant(dB)} - L_L(dB)$$

$$ERP_{dBm} = P_{t(dBm)} + G_{ant(dB)} - L_L(dB)$$

$$ERP_{dBm} = EiRP + 2.15dB$$

2.2.7. Tipos de antenas para radiobases

En un teléfono móvil, la vía de transmisión está constituida por una unidad de radio incluida en el teléfono. Es decir, el propio teléfono representa una *estación móvil* (MS por sus siglas en inglés), que contiene todo el equipo técnico que requiere el usuario: un sistema para transducción de voz y comunicación de información, una unidad de radio y una antena emisora-receptora. La estación móvil permite transmitir datos a la estación base. La *estación base* transceptora (BTS por sus siglas en inglés) o *radiobase* es una unidad estacionaria instalada en una posición optima dentro del área de cobertura o célula. Incluye antenas emisoras y receptoras, una unidad de alimentación para las antenas y los sistemas necesarios para actuar de enlace entre sus estaciones móviles y la red pública de teléfonos, a través de unidades retransmisoras o repetidoras (véase Fig. 2.8).

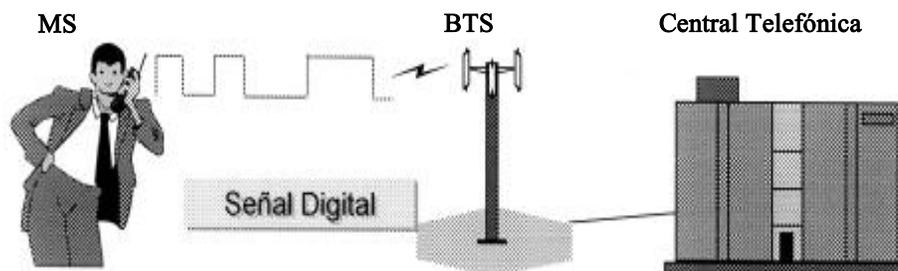


Fig. 2.8 Esquemático de una transmisión celular

En las BTS propias de áreas rurales o poco pobladas, las antenas están montadas en mástiles o torres. En áreas urbanas, las antenas se ubican en puntos elevados; generalmente sobre tejados o edificios. La localización de las BTS es diseñada por los operadores que ofrecen los servicios de un determinados sistema de telefonía móvil. El objetivo es garantiza la comunicación en todos los puntos del área cubierta por cada antena.

En aplicaciones celulares las antenas más comunes son las colineales, las cuales con sus elementos puestos en fase mejoran la ganancia notablemente, por esta característica las antenas colineales son también llamadas antenas de ganancia. Las *antenas colineales* se componen de arreglos de elementos de radiación en serie de longitud de $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ de longitud de onda. La antena colineal siempre se tiene que instalar en posición vertical. Una desviación de tan sólo $\pm 5^\circ$ reduce el rendimiento notablemente. Una desviación de 45° respecto de la vertical implica un 80 % de pérdida de señal. De este tipo de antenas se derivan otros 2 tipos, aquellas que tienen un patrón de radiación omnidireccional y tienen ganancia isotópica llamadas *antenas omnidireccionales*; y aquellas antenas que con arreglos de reflectores se logran dirigir o sectorizar en una dirección determinada y que reciben el nombre de *antenas directivas*. Las antenas omnidireccionales de baja ganancia, que radian energía por igual en todas las direcciones; tienen forma de varilla de uno a dos metros de longitud aproximadamente (véase Fig. 2.9 a) y b)).



Fig. 2.9 a) Antena omnidireccional convencional.



b) Montura de antenas omnidireccionales.

Las antenas directivas de ganancia superior que las omnidireccionales, emiten energía mayoritariamente en una dirección determinada, por lo que también se les denomina antenas *sectoriales*. La anchura de estos sectores suele estar entre los 60° y los 120° (véase Fig. 2.10).

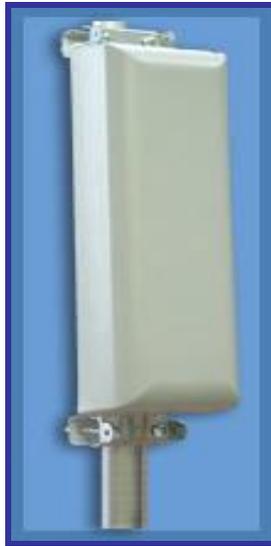


Fig. 2.10 a) Antena sectorial convencional.



b) Montura de antenas sectoriales.

Una BTS suele contener varias antenas. El número y tipo de antenas depende de las necesidades y capacidad de cobertura de la ubicación de la BTS. Las antenas omnidireccionales emplazarse en torres, ocupando el punto más alto de la estación (véase Fig. 2.11). Las torres pueden asimismo contener antenas directivas que se sitúan en su fuste, dispuestas en estructuras triangulares adosadas a la torre (véase Fig. 2.12). También pueden encontrarse antenas directivas ubicadas en tejados o azoteas de edificios o adosadas a la pared, configurando uno o más sectores.

2.3. La radiobase

2.3.1. Concepto de radiobase (o estación base)

En el sistema celular se tiene una red de radiofrecuencia que cubre un conjunto de áreas geográficas o celdas dentro de las cuales las unidades de radio móviles de dos vías se pueden comunicar. La red de radio se define por un conjunto de transceptores de radiofrecuencia, ubicados en el centro físico de cada celda a las que se le denomina *estación base*. Una estación base sirve de control central para todos los usuarios dentro de esa celda. Las unidades móviles se comunican directamente con la estación base, que actúa como estación retransmisora de alta potencia. La estación base puede mejorar la calidad de la transmisión, pero no puede incrementar la capacidad de los canales, dentro del ancho de banda fijo de la red. Las estaciones están distribuidas sobre un área de cobertura del sistema.



Fig. 2.11 Radiobase

2.3.2. Modo de operación de la radiobase

La función de la radiobase o estación base es de interfaz entre los teléfonos móviles celulares y la MSC (Mobile Switching Centre, véase Fig. 2.12). La comunicación con la MSC es mediante enlaces dedicados. La función de la MSC es controlar el procesamiento y establecimiento de llamadas así como la señalización, supervisión, conmutación, y distribución de los canales RF. Proporciona también una administración centralizada y el mantenimiento de toda la red y las interfaces con la telefonía pública fija.

La siguiente es una descripción de una estación móvil (dispositivo que porta el usuario) haciendo una llamada a otra estación móvil.

Una estación móvil inicia una llamada enviando un pedido de inicio de llamada a su estación base más cercana. Este pedido se envía en un canal especial, el canal de control inverso, (RCC por sus siglas en inglés - Reverse Control Channel). La estación base envía el pedido, que contiene el número de teléfono de la “parte llamada”, al MSC. El MSC valida el pedido y usa el número para hacer una conexión a la parte que está siendo llamada a través de la PSTN (PSTN por sus siglas en inglés - Public Switched Telephone Network). Primero se conecta él mismo al MSC de la parte siendo llamada, luego el MSC instruye a las estaciones base y móvil que colocó la llamada para cambiar a los canales de voz. La estación móvil que inició la llamada está entonces conectada con la estación llamada usando canales de voz hacia adelante y hacia atrás sin usar (FVC, BVC por sus siglas en inglés - Forward Voice Channel, Backward Voice Channel).

Los pasos que tienen lugar cuando una estación móvil recibe una llamada entrante son como siguen:

Las estaciones móviles analizan continuamente el canal de control hacia adelante (FCC por sus siglas en inglés - Forward Control Channel) por señales de búsqueda desde las estaciones base. Cuando un MSC recibe un pedido para una conexión a una estación móvil

en su área, envía un mensaje de broadcast a todas las estaciones base bajo su control. Este contiene el número de la estación móvil que está siendo llamada. Las estaciones base luego emiten el mensaje en todos los canales de control hacia adelante (FCC). La estación móvil correcta reconoce la búsqueda, identificándose en el canal de control inverso (RCC). El MSC recibe el reconocimiento a través de la estación base, e instruye a las estaciones base y móvil a cambiar a un canal de voz sin usar. Se transmite entonces un mensaje de datos sobre el FVC, que le indica al teléfono móvil que suene.

Los pasos explicados arriba suceden lo suficientemente rápido como para que el usuario no experimente ninguna demora perceptible entre el pedido de inicio de una llamada y la llamada realmente establecida.

Además, a medida que el móvil se aleja de del transceptor de la estación base, en el centro de la celda, la intensidad de la señal recibida comienza a disminuir. La máxima potencia de salida de un transceptor celular es 33 dBm (3 W) y puede ajustarse a incrementos reductores de 4 dB hasta 7.8 dBm (0.7 W). La potencia de salida de las unidades móviles es controlada por las estaciones base mediante la transmisión de comandos (comandos up/down). Cuando la intensidad de la señal disminuye bajo un umbral predeterminado, la celda de control y conmutación (MSC) localiza la celda en el panel que está recibiendo la señal más fuerte de la unidad móvil y la transfiere al transceptor de ella. La transferencia incluye convertir la llamada a una frecuencia disponible dentro del subconjunto de canales distribuidos en la nueva celda. Esta transferencia se denomina entrega y es por supuesto completamente transparente al suscriptor ya que la transferencia toma un tiempo máximo de 200 mseg. Aunque esta transferencia es imperceptible a los usuarios de voz, este retardo es destructivo para comunicaciones de datos.

2.3.3. Elementos que conforman a la radiobase

Las radiobases se administran y controlan por medio de un administrador de celda que además realiza la función de conmutación. Como ya se mencionó anteriormente esta celda de control se denomina MSC. En sí la estación base incluye dos tipos de máquinas: el BST ("Base Station Transceiver " ó Transceptor de la Estación Base), en contacto con las estaciones móviles a través de la interfaz de radio, el BSC ("Base Station Controller" ó Controlador de la Estación Base), en contacto con los conmutadores.

La BST lleva los dispositivos de transmisión y recepción por radio, incluyendo las antenas, y también todo el procesado de señales específico a la interfaz de radio, y que se verá con posterioridad. Las BSTs se pueden considerar como complejos modems de radio, con otras pequeñas funciones. Una BST típica de la primera generación consistía en unos pequeños armarios (de 2 m de alto y 80 cm de ancho) conteniendo todos los dispositivos electrónicos para las funciones de transmisión y recepción. Las antenas tienen generalmente unas pocas decenas de metros, y los armarios se conectan a ellas por unos cables de conexión. Una BTS de este tipo era capaz de mantener simultáneamente 3 ó 5 portadoras de radio, permitiendo entre 20 y 40 comunicaciones simultáneas.

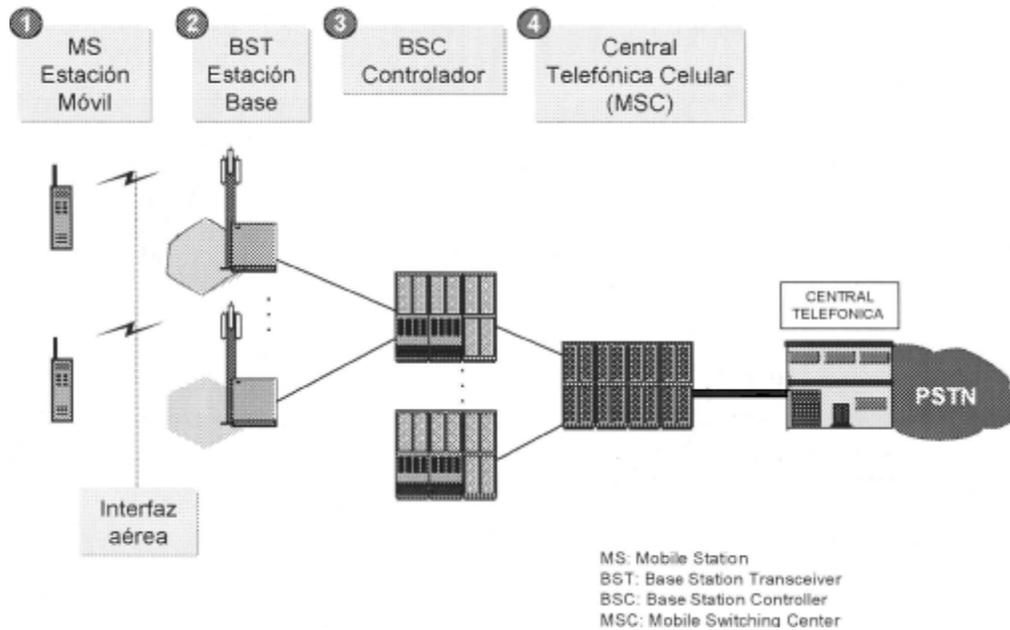


Fig. 2.12 Elementos del sistema celular.

A continuación se describen con mas detalle algunos de los elementos mencionados anteriormente:

Centro de conmutación electrónica.

Este es un conmutador telefónico digital que realiza dos funciones básicas:

1. Controla la conmutación entre la red telefónica pública y los sitios de celdas para todas las llamadas de la red fija o móvil, móvil a red fija y móvil a móvil.
2. Procesa la información recibida de los controladores de sitio de las celdas en relación con el estado de la unidad móvil, información de diagnóstico y de administración para el cobro del servicio.

Se comunica con los controladores de las celdas mediante enlaces dedicados utilizando X.25 y velocidades de transmisión desde 9.6 kbps.

Controlador de celda.

Este controlador opera bajo la dirección del centro de conmutación. Administra cada uno de los canales de radio en el sitio, supervisa las llamadas, enciende y apaga el transmisor y receptor de radio, inyecta información a los canales de control y realiza pruebas de diagnóstico en el equipo del sitio de la celda.

Transceptor de radio.

Los transceptores de radio utilizados para la radio celular son FM de banda angosta, con una frecuencia de audio de 300 Hz a 3 kHz y una desviación de frecuencia de ± 12 kHz

para una modulación de 100%. Cada celda contiene un transmisor y dos receptores de radio sintonizados a la misma frecuencia. Se selecciona al receptor que detecte la señal más fuerte.

CAPITULO III. - Medidas tomadas en el ámbito internacional, regional y nacional en materia de normalización referentes a los límites de exposición máxima para seres humanos a campos electromagnéticos de RF

3.1. Introducción

El extendido uso de los teléfonos móviles es un fenómeno bastante reciente. Su uso se ha extendido en la pasada década convirtiéndose para muchos en un elemento esencial en negocios, comercios, tiempo libre y sociedad en general. En concreto, en México actualmente existen aproximadamente 25 millones de teléfonos móviles³ en circulación.

Aunque nadie pone en duda los beneficios de estas tecnologías, ha surgido la preocupación por los posibles riesgos sanitarios asociados tanto a la exposición involuntaria a las radiaciones provenientes de las estaciones base que reciben y transmiten las señales como a la exposición voluntaria a las radiaciones de los teléfonos móviles. De esta manera la necesidad de adoptar una postura ante dicha situación es de vital importancia

A nivel mundial las administraciones de telecomunicaciones de países muy importantes como los Estados Unidos de Norteamérica, la Unión Europea, Canadá y Japón vienen realizando estudios con la finalidad de determinar los límites de exposición a las radiaciones no ionizantes y definir normas técnicas para la construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de telecomunicaciones.

La normatividad en el ámbito internacional ha sido asumida por los entes reguladores de las telecomunicaciones en las naciones más desarrolladas y también en las naciones en vías de desarrollo como el caso de México, y también por entidades de carácter internacional como el ICNIRP. Las normas que definen límites permisibles para la exposición a la radiofrecuencia consideran recomendaciones de los siguientes tipos:

- *Recomendaciones para Intensidad de Campo Electromagnético*

Dirigidas a la evaluación de estaciones radioeléctricas fijas que normalmente no trabajan muy cerca de los seres humanos.

- *Recomendaciones de Absorción por partes del Cuerpo Humano*⁴

Establecidas en términos del índice de Absorción Específica (SAR, por sus siglas en inglés), dirigida a la evaluación de las terminales portátiles (en el caso de servicios móviles) que normalmente trabajan muy cerca del cuerpo humano.

- *Límites para Corrientes de Contacto.* Establecidos de tal manera que ningún objeto con el cual entre en contacto una persona sea energizada por radiación electromagnética de tal

³ FUENTE: Dirección General de Tarifas e Integración Estadística, **COFETEL**, con información proporcionada por los concesionarios hasta agosto del 2002.

⁴ En el desarrollo de esta tesis no fueron consideradas las cantidades SAR para límites de exposición.

magnitud que provoque en el cuerpo humano un flujo de corriente que pueda causar dolor o daño.

Para el caso de esta tesis se presentan las recomendaciones correspondientes para intensidad de campo electromagnético, como un primer paso para establecer normatividad respecto a las radiaciones No- ionizantes. En especial, este capítulo presenta los estudios realizados en el ámbito internacional referente al establecimiento de límites de exposición de RF para seres humanos, haciendo especial énfasis en los métodos de prueba y evaluación de los campos de RF.

3.2. Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones no Ionizantes (ICNIRP)

3.2.1. Antecedentes históricos de la ICNIRP

Es un organismo formado por científicos expertos independientes que consiste en una Comisión principal de 14 miembros y 4 Comités Científicos Permanentes que cubren las áreas de la epidemiología, la biología, la dosimetría y la radiación óptica, además cuenta con un cierto número de miembros consultores. La función principal del ICNIRP es investigar los riesgos que puedan estar asociados con la radiación no ionizante y desarrollar lineamientos internacionales sobre los límites de exposición a campos electromagnéticos.

ICNIRP es una organización sin fines de lucro y se coloca legalmente como tal en Alemania. Todos sus ingresos se utilizan para compensar los costos que generan año con año varias de sus actividades incluyendo realizar su programa científico, reuniones científicas de ordenación y producir las publicaciones científicas. Sus ingresos derivan de varias fuentes a excepción de industria. Los ingresos regulares que ICNIRP recibe vienen de una donación anual de la IRPA (International Radiation Protection Association). También ha recibido la ayuda de gobiernos nacionales donde destaca el Ministerio Alemán del Ambiente de la Secretaría Científica de la ICNIRP basada en Munich.

El objetivo principal de la ICNIRP es disseminar la información y dar consejo a todas aquellas personas que tengan interés en la materia, acerca de los peligros potenciales para la salud relacionados con la exposición a la radiación no ionizante.

La información y el consejo de la ICNIRP cubren todas las radiaciones no ionizantes incluyendo, radiaciones ópticas (ultravioleta, visible e infrarrojo y láser), campos eléctricos y magnéticos estáticos y variables en el tiempo y la radiación por radiofrecuencia (incluyendo microondas), y el ultrasonido.

Mucha de la información que la ICNIRP proporciona se publica en forma de reportes y ensayos científicos. Los resultados de estos ensayos combinados con los riesgos de evaluación realizados en colaboración con la Organización Mundial de la Salud, OMS, dan lugar a la publicación de la ICNIRP sobre los lineamientos de exposición. Algunos ejemplos de éstos lineamientos son aquellos que limitan la exposición a los campos

electromagnéticos, a la radiación de láser, a la radiación ultravioleta, a la radiación óptica incoherente y al ultrasonido.

Los miembros de ICNIRP son expertos independientes en las disciplinas científicas necesarias para la protección contra la radiación no ionizante. Los miembros principales de la comisión de la ICNIRP son elegidos por la propia comisión bajo las reglas de su carta oficial. Los nominados se seleccionan de todos los cuerpos nacionales de protección contra la radiación representados por la Asociación Internacional de Protección contra la Radiación, IRPA, y por la propia Comisión principal de la ICNIRP. Los miembros de la Comisión principal eligen al presidente y al vicepresidente de la Comisión. La calidad de miembro individual de la Comisión principal se limita a 12 años. Los miembros de los comités científicos permanentes son nominados por los presidentes de los comités permanentes y por los miembros de la Comisión principal. Los miembros de la Comisión de ICNIRP no representan a sus países de origen o a sus institutos ni pueden ser empleados por la industria.

La ICNIRP tiene una base de consulta muy extensa formada principalmente por expertos científicos independientes y organizaciones internacionales de protección contra la radiación no ionizante. Entre estas organizaciones se incluyen a la Organización Mundial de la Salud, OMS, a la Asociación Internacional de la Protección contra la Radiación, IRPA, (al cuerpo representativo profesional para los expertos de la protección contra la radiación en todo el mundo y sus sociedades nacionales con más de 16.000 miembros profesionales), al Consejo Nacional para las Mediciones y la Protección contra la Radiación (NCRP), al Instituto de los Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), a la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), a la Comisión Internacional de Electrotécnica (IEC), etc.

3.2.2. ICNIRP.- Lineamientos para los límites de exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo (hasta 300 GHz).

3.2.2.1. Propósito e intención

El objetivo principal de esta publicación es el de establecer las directrices para la limitación de la exposición a los Campos Electromagnéticos (CEM) que proporcionará protección contra los efectos de salud adversos conocidos. Un efecto de salud adverso causa un deterioro detectable en la salud del individuo expuesto o de su descendencia; por otro lado, un efecto biológico puede o no resultar en un efecto de salud adverso.

Se describen estudios sobre los efectos directos e indirectos de los CEM; los efectos directos son el resultado de la interacción directa de los campos con el cuerpo, los efectos indirectos involucran interacciones con el objeto a un potencial eléctrico diferente del cuerpo. Se discuten los resultados de laboratorio y los estudios epidemiológicos, los

criterios de exposición básicos, los niveles de referencia para evaluaciones de peligros prácticas y las directrices presentadas se aplican a la exposición ocupacional y pública.

La IRPA/ INIRC publicaron en 1988 y 1990 respectivamente, las directrices sobre campos electromagnéticos de alta frecuencia y de 50/60 Hz pero las sustituyeron las directrices actuales, las cuales cubren el intervalo completo de frecuencia de los CEM variables en el tiempo (hasta 300 GHz). Los campos magnéticos estáticos se cubren en las directrices de la ICNIRP emitidas en 1994 (ICNIRP 1994).

Al establecer los límites de exposición, la Comisión reconoce la necesidad de reconciliar un número de opiniones expertas que difieran entre sí. Se debe de considerar la validez de los reportes científicos y se deben hacer extrapolaciones de experimentos en animales para los efectos en los seres humanos. Las restricciones en estas directrices se basaron solamente en datos científicos; en el conocimiento disponible actual, sin embargo, indica que estas restricciones proporcionan un nivel adecuado de protección a la exposición a los CEM variables en el tiempo. Se presentan dos clases de directrices:

- § **Restricciones básicas:** se determinan como “restricciones básicas” las restricciones sobre la exposición a los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo que se basan directamente en los efectos de salud establecidos. Dependiendo de la frecuencia del campo, las cantidades físicas que se usan para especificar estas restricciones son la densidad de potencia (**J**), el índice de absorción específica de energía (IAE o SAR por sus siglas en inglés) y densidad de potencia (**S**). Solamente la densidad de potencia en el aire, fuera del cuerpo, se puede medir sin dificultad en los individuos expuestos.

- § **Niveles de referencia:** Estos niveles se proporcionan para propósitos prácticos de evaluación de la exposición para determinar cuándo es probable que se excedan las restricciones básicas. Algunos de los niveles de referencia derivan de las restricciones básicas relevantes usando las técnicas de medición y / o las computacionales y algunas se refieren a la percepción y a los efectos indirectos de la exposición a los CEM. Las cantidades derivadas son la intensidad de campo eléctrico (**E**), la intensidad de campo magnético (**H**), la densidad de flujo magnético (**B**), densidad de potencia (**S**) y las corrientes que fluyen por las extremidades (I_L). Las cantidades que se refieren a la percepción y otros efectos indirectos son la corriente de contacto (I_C) y para campos pulsados, la absorción específica de energía (SA por sus siglas en inglés). En cualquier situación particular de exposición, los valores medidos o calculados de cualquiera de estas cantidades se pueden comparar con el nivel de referencia apropiado. La observancia del nivel de referencia asegurará el cumplimiento a la restricción básica relevante. Sin embargo, cuando un nivel de referencia se excede, es necesario examinar el cumplimiento de la restricción básica relevante y determinar si es necesario implementar medidas adicionales de protección.

Cantidades y Unidades.- En la región de campo lejano, el modelo de onda plana es una buena aproximación de la propagación del campo electromagnético. Las características la onda plana son:

- § Los frentes de onda tienen una geometría plana.
- § Los vectores E y H y la dirección de propagación son perpendiculares entre sí.
- § La fase de los campos E y H es la misma y el cociente de la amplitud de E/H es constante en todo el espacio. En el espacio libre, la relación de sus amplitudes E /H = 377 ohms, el cual es la impedancia característica del espacio libre;
- § La densidad de potencia, S, es decir, la potencia por unidad de área normal a la dirección de la propagación está relacionada con los campos magnético y eléctrico por medio de la expresión:

$$S = EH = \frac{E^2}{377} = H^2 377$$

La situación en la región de campo cercano es un poco más complicada ya que el máximo y el mínimo de los campos E y H no ocurre en los mismo puntos a lo largo de la dirección de propagación como lo hacen en el campo lejano. En el campo cercano, la estructura del campo electromagnético puede ser en su mayoría no homogénea y puede haber variaciones sustanciales de la impedancia de la onda plana de 377 ohms; esto es, puede haber campos E casi puros en algunas regiones y campos H casi puros en algunas otras. Es más difícil de especificar las exposiciones en el campo cercano ya que los campos E y H se deben medir y debido a que los patrones de campo son más complicados; en esta situación, la densidad de potencia ya no es una cantidad apropiada para usarse en la expresión de las restricciones de exposición (como en el campo lejano).

La exposición a los CEM variables en el tiempo resulta de las corrientes internas en el cuerpo y absorción de energía en tejidos que depende de los mecanismos de acoplamiento y de la frecuencia involucrada. El campo eléctrico interno y la densidad de corriente están relacionados por la Ley de Ohm:

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

donde σ es la conductividad eléctrica del medio. Tomando en cuenta los diferentes intervalos de frecuencia y las formas de onda, las cantidades dosimétricas que se usan en estas directrices son:

- § Densidad de corriente, J, en un intervalo de frecuencia hasta 10 MHz;
- § Corriente, I, en un intervalo de frecuencia hasta de 110 MHz;
- § El índice de absorción específica, SAR, en el intervalo de frecuencia de 100kHz–10 GHz;
- § El índice de absorción de energía, SA, para campos pulsátiles en el intervalo de frecuencia de 300 MHz–10 GHz;
- § La densidad de potencia, S, en el intervalo de frecuencia 10–300 GHz.

3.2.2.2. Bases para la exposición limitada

Se han desarrollado estas directrices para la exposición limitada siguiendo una revisión completa de toda la literatura científica publicada. Los criterios que se aplicaron en el curso de la revisión se designaron para evaluar la credibilidad de varios descubrimientos reportados (Repacholi y Stolwijk 1991; Repacholi y Cardis 1997); sólo efectos establecidos se usaron como bases para las restricciones de exposición propuestas. La inducción de cáncer debido a la exposición de largo plazo a CEM no se consideró como establecida así que estas directrices se basaron en exposiciones a corto plazo, efectos inmediatos de salud tales como la estimulación de los nervios y músculos periféricos, *shocks* y quemaduras causadas por tocar objetos conductores, y temperaturas elevadas en el tejido como resultado de la absorción de energía durante la exposición a los CEM. En el caso de efectos potenciales de exposición a largo plazo, tales como el riesgo incrementado de cáncer, *la ICNIRP concluyó que los datos disponibles son insuficientes para proporcionar una base que establezca las restricciones de exposición*, a pesar de que la investigación epidemiológica ha proporcionado evidencia sugestiva pero no convincente de una asociación entre los posibles efectos carcinogénicos y la exposición a niveles de 50 /60 Hz de densidades de flujo magnético sustancialmente más bajas que aquellas recomendadas en estas directrices.

Se resumen los efectos *in vitro* de la exposición a corto plazo a los campos de frecuencia extremadamente baja (ELF, por sus siglas en inglés), o a CEM de frecuencia extremadamente baja de amplitud modulada. Se han observado las respuestas celulares transitorias y de tejido a la exposición a los CEM pero no se ha encontrado ninguna relación entre la exposición y la respuesta. Estos estudios son de valor limitado en la evaluación de los efectos en la salud por que muchas de las respuestas no se han demostrado *in vivo*. Así, solamente los estudios *in vitro* no se consideraron como proveedores de datos que puedan servir como base primaria para la evaluación de posibles efectos en la salud como consecuencia de los CEM.

3.2.2.3. Mecanismos de acoplamiento entre los campos y el cuerpo

Existen tres mecanismos básicos de acoplamiento establecidos en los cuales los campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo interactúan directamente con la materia viviente (PAONU/ WHO / IRPA, 1993):

- § acoplamiento a campos de baja frecuencia
- § acoplamiento a campos magnéticos de baja frecuencia
- § Absorción de energía de los campos electromagnéticos.

3.2.2.4. Acoplamiento a campos eléctricos de baja frecuencia

La interacción de los campos eléctricos variables en el tiempo con el cuerpo humano resulta en el flujo de cargas eléctricas (corriente eléctrica), la polarización de cargas unidas (formación de dipolos eléctricos) y la reorientación de los dipolos eléctricos que ya están presentes en el tejido. Las magnitudes relativas de estos diferentes efectos dependen de las propiedades eléctricas del cuerpo, esto es, la conductividad eléctrica (que gobierna el flujo de la corriente eléctrica) y la permitividad (que gobierna la magnitud de los efectos de polarización). La conductividad eléctrica y la permitividad varían según el tipo de tejido del cuerpo y también dependen de la frecuencia del campo aplicado. Los campos eléctricos externos al cuerpo inducen una carga superficial sobre el cuerpo; esto resulta en corrientes inducidas en el cuerpo, cuya distribución depende de las condiciones de exposición, del tamaño y de la forma del cuerpo y de la posición que éste tiene en el campo.

3.2.2.5. Acoplamiento a campos magnéticos de baja frecuencia

La interacción física de campos magnéticos variables en el tiempo con el cuerpo humano da como resultado campos eléctricos inducidos y corrientes eléctricas circulantes. Las magnitudes del campo inducido y de la densidad de corriente son proporcionales al radio del lazo (o circuito cerrado), a la conductividad eléctrica del tejido y la velocidad de cambio de así como también a la magnitud de la densidad de flujo magnético. Los campos eléctricos de mayor intensidad se inducen donde las dimensiones del lazo son mayores para una magnitud y frecuencia dadas del campo magnético. La trayectoria exacta y la magnitud de la corriente inducida resultante en cualquier parte del cuerpo dependerán de la conductividad eléctrica del tejido.

Aunque el cuerpo no es eléctricamente homogéneo, se pueden calcular las densidades de corriente inducida usando modelos del cuerpo anatómica y eléctricamente reales y métodos computacionales, los cuales tienen un alto grado de resolución anatómica.

3.2.2.6. Absorción de energía de los campos electromagnéticos (SAR)

La exposición a campos eléctricos y magnéticos de baja frecuencia normalmente da como resultado una absorción de energía insignificante y no hay un incremento de temperatura que se pueda medir en el cuerpo. Sin embargo, la exposición a campos electromagnéticos a frecuencias por encima de los 100 kHz puede conducir a una absorción importante de energía y un incremento en la temperatura. En general, la exposición a un campo electromagnético uniforme (de onda plana) da como resultado grandes sedimentos no uniformes y una distribución de energía dentro del cuerpo, la cual se debe de valorar por medio de mediciones dosimétricas y cálculos.

3.2.2.7. Mecanismos de acoplamiento indirecto

Existen dos mecanismos de acoplamiento indirecto:

1. Corrientes de contacto que resultan cuando el cuerpo humano llega a estar en contacto con un objeto en un potencial eléctrico diferente (por ejemplo, ya sea cuando el cuerpo o el objeto se cargan con un CEM);
2. El acoplamiento de un CEM a dispositivos médicos llevados o implantados en un individuo (no se consideran en este documento).

El cargar un objeto conductor con un CEM causa que las corrientes eléctricas pasen por el cuerpo humano en contacto con el objeto (Tenforde y Kaune 1987; PAONU/ WHO/ IRPA 1993). La magnitud y la distribución espacial de tales corrientes dependen de la frecuencia, el tamaño de la persona y del objeto, y el área de contacto; descargas transitorias -chispas- pueden ocurrir cuando un individuo y un objeto conductor expuestos a un campo potente llegan a estar en cercana proximidad.

3.2.2.8. Efectos indirectos de los campos eléctricos y magnéticos

Los efectos indirectos de los campos electromagnéticos pueden ser el resultado del contacto físico (por ejemplo tocar o rozar) entre una persona y un objeto, tal como una estructura metálica en el campo, a un potencial eléctrico diferente. El resultado de tal contacto es el flujo de una carga eléctrica (corriente de contacto) que puede haberse acumulado en el objeto o en el cuerpo de la persona. En el intervalo de frecuencia de hasta 100 kHz, el flujo de corriente eléctrica de un objeto en el campo al cuerpo del individuo puede resultar en la estimulación de los músculos y/o de los nervios periféricos. Con el aumento de los niveles de corriente esto se puede manifestar como una sensación de dolor debido a un choque eléctrico y/o quemadura, falta de habilidad para liberar el objeto, dificultad al respirar; y a corrientes muy altas, fibrilación cardíaca ventricular (Tenforde y Kaune 1987). Los valores críticos para estos efectos son dependientes de la frecuencia, teniendo el umbral más bajo a frecuencias entre los 10 y los 100 Hz. Los umbrales para las respuestas de los nervios periféricos permanecen bajos para las frecuencias de hasta de varios kHz. La ingeniería apropiada y/o los controles administrativos, e incluso el uso de ropa de protección para el personal pueden prevenir que ocurran estos problemas.

Las descargas de chispas pueden ocurrir cuando un individuo se acerca demasiado a un objeto que tiene un potencial eléctrico diferente sin de hecho tocarlo (Tenforde y Kaune 1987; PAONU/ WHO/ IRPA 1993). Cuando un grupo de voluntarios, que fueron eléctricamente aislados de tierra, cada uno sostuvo la punta de su dedo cerca de objeto conectado con tierra, el umbral para la percepción de las descargas de chispas fue tan bajo como $0.6\text{--}1.5\text{ kV m}^{-1}$ en el 10% de los casos. El nivel del umbral de campo reportado como causante de molestias bajo estas condiciones de exposición es de alrededor $2.0\text{--}3.5\text{ kV m}^{-1}$. Las corrientes de contacto grandes pueden resultar en contracción muscular. En voluntarios hombres, se ha reportado que el 50 por ciento del mínimo no son capaces de

liberar un conductor cargado a 9mA a 50/ 60 Hz, 16 mA a 1 kHz, alrededor de 50 mA a 10 kHz y alrededor de 130 mA a 100 kHz (UNEP/ OMS/ IRPA 1993).

Los umbrales de corriente para varios efectos indirectos de campos con frecuencias por arriba de los 100 kHz se resumen en la Tabla 1 (UNEP/ OMS/ IRPA 1993).

Efectos indirectos	Corriente de umbral (mA) a una frecuencia de:		
	50/60 Hz	1kHz	100kHz
Percepción al contacto	0.2-0.4	0.4-0.8	25-40
Dolor al contacto con los dedos	$0.9^{-1}.8$	1.6-3.3	33-55
<i>Shock</i> doloroso/ desmayo mínimo	$8^{-1}6$	12-24	112-224
<i>Shock</i> severo/ dificultad para respirar	12-23	21-41	160-320

Tabla 1 Intervalos de corriente de umbral para efectos indirectos, incluyendo niños, mujeres y hombres.

3.2.2.9. Limitaciones de la exposición ocupacional y del público en general

La población ocupacional expuesta consiste en adultos quienes están por lo general expuestos bajo condiciones conocidas y que están entrenados para estar alertas del riesgo potencial y para tomar las debidas precauciones. Por otro lado, el público en general comprende a individuos de todas las edades y de estados variables de salud y puede incluir grupos o individuos particularmente susceptibles. En muchos casos, los miembros del público no están concientes de su exposición a los CEM. Además, no se puede esperar de una forma razonable que miembros individuales tomen precauciones para minimizar o evitar la exposición. Es en estas consideraciones que yace la adopción de restricciones más severas para la exposición del público en general que para la población ocupacional expuesta.

3.2.2.10. Restricciones básicas y niveles de referencia

Las restricciones sobre los efectos de exposición se basan en los efectos de salud establecidos y se denominan como restricciones básicas. Dependiendo de la frecuencia, las cantidades físicas que se usan para especificar las restricciones básicas en la exposición a los CEM son la densidad de corriente, el SAR y densidad de potencia. La protección contra los efectos adversos de salud requiere que no se excedan estas restricciones básicas.

Se proporcionan los niveles de referencia de exposición para la comparación con los valores de las cantidades físicas; la observancia de todos los niveles de referencia dados en estas directrices asegurará el cumplimiento de las restricciones básicas. Si los valores medidos son más altos que los niveles de referencia, no quiere decir necesariamente que las restricciones básicas han sido excedidas sino que se requiere un análisis más detallado para evaluar el cumplimiento a las restricciones básicas.

3.2.2.11. Declaración general sobre los factores de seguridad

La información que existe sobre los efectos biológicos y de salud que causa la exposición de poblaciones de seres humanos a los CEM es insuficiente para proporcionar una base rigurosa para establecer factores de seguridad sobre todo el intervalo y modulaciones de frecuencia. Además, una parte de la incertidumbre con respecto al factor de seguridad apropiado deriva de la falta de conocimiento con respecto a la dosis métrica apropiada (Repacholi 1998). Se consideraron las siguientes variables generales en el desarrollo de los factores de seguridad para campos de alta frecuencia.

- § Efectos de la exposición a CEM bajo condiciones ambientales severas (alta temperatura, etc.) y/o niveles de alta actividad.
- § La sensibilidad termal potencialmente más alta en ciertos grupos de la población, tales como los débiles y/o los ancianos, niños y bebés y gente con enfermedades o que está tomando medicinas que comprometa la tolerancia termal.

Los siguientes factores adicionales se tomaron en cuenta cuando se derivaron los niveles de referencia para campos de alta frecuencia:

- § Diferencias en la absorción de energía electromagnética por individuos de diferentes tamaños y diferentes orientación con respecto al campo;
- § Reflexión, concentración y disgregación del campo incidente, lo que puede dar como resultado un aumento en la absorción localizada de energía de alta frecuencia.

3.2.2.12. Restricciones básicas

Se utilizaron diferentes bases científicas en el desarrollo de las restricciones de exposición básicas para varios intervalos de frecuencia:

- § Entre 1 Hz y 10 MHz, las restricciones básicas se proporcionan en la densidad de corriente para prevenir efectos en las funciones del sistema nervioso.
- § Entre 100 kHz y 10 GHz, se proporcionan las restricciones básicas sobre SAR para prevenir el estrés por calentamiento del cuerpo en general y calentamiento excesivo en un tejido localizado; en el intervalo de los 100 kHz –10 MHz, se proporcionan restricciones tanto en la densidad de corriente como en SAR.
- § Entre los 10 y los 300 GHz, se proporcionan restricciones en la densidad de potencia para prevenir el calentamiento excesivo en tejido o cerca de la superficie del cuerpo.

Los efectos biológicos y de salud en el intervalo de frecuencia de los 10 MHz a algunos GHz son consistentes con respuestas a un incremento de temperatura del cuerpo de más de

1 °C. Este nivel de aumento de temperatura es resultado de la exposición de individuos en condiciones ambientales moderadas a un SAR de cuerpo entero de aproximadamente 4 W kg para aproximadamente 30 minutos. Por lo tanto se ha escogido un SAR promedio de cuerpo entero de 0.4 W kg⁻¹ como la restricción que da la protección adecuada para la exposición ocupacional.

3.2.2.13. Exposición simultánea a campos de frecuencia múltiples

Es importante determinar si en las situaciones de exposición simultánea a los campos de frecuencias diferentes, estas exposiciones son aditivas en sus efectos. Esta aditividad se debe de examinar por separado para los efectos de estimulación termal y eléctrica, y se deben de conocer las restricciones básicas abajo mencionadas.

Para las consideraciones termales relevantes por encima de los 100 kHz, se deben aplicar los dos siguientes requisitos para los niveles de campo:

$$\sum_{i=100\text{KHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1$$

y

$$\sum_{j=100\text{KHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{j>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}} \right)^2 \leq 1$$

donde

E_i es la intensidad campo eléctrico en la frecuencia i

$E_{L,i}$ es el nivel de referencia del campo eléctrico de las Tablas 6 y 7

H_j es la intensidad campo magnético en la frecuencia j

$H_{L,j}$ es el nivel de referencia del campo magnético de las Tablas 6 y 7

c es $610/f$ V m⁻¹ (f en MHz) para la exposición ocupacional y $87/f^{1/2}$ V m⁻¹ (f en MHz) para la exposición del público en general

d es $1.6/f$ A m⁻¹ (f en MHz) para la exposición ocupacional y $0.73/f$ para la exposición del público en general.

3.2.2.14. Límites propuestos por la ICNIRP para el campo eléctrico y magnético

A frecuencias por encima de los 10 MHz, las intensidades derivadas de campo eléctrico y magnético fueron obtenidas de la restricción básica del SAR para cuerpo entero utilizando datos computados y experimentales. En el peor caso, la energía de acoplamiento alcanza un máximo entre 20 MHz y varios cientos de MHz. En este intervalo de frecuencia los

niveles de referencia derivados tienen valores mínimos. Las intensidades derivadas del campo magnético fueron calculadas a partir de las intensidades del campo eléctrico utilizando la relación de campo lejano entre E y H ($E/H= 377$ ohms).

Los niveles de referencia para la exposición del público en general han sido obtenidos de aquellos empleados para la exposición ocupacional utilizando varios factores sobre todo el intervalo de frecuencia. Estos factores se han elegido basándose en los efectos reconocidos como específicos y relevantes para varios intervalos de frecuencia. Hablando de forma general, los factores siguen las restricciones básicas sobre todo el intervalo de frecuencia, y sus valores corresponden a la relación matemática entre las cantidades de las restricciones básicas y los niveles derivados según lo descrito a continuación:

En el intervalo de alta frecuencia de 10 MHz –10 GHz, los niveles de referencia del público en general para los campos eléctrico y magnético son más bajos por un factor de 2.2 que aquellos que se fijaron para la exposición ocupacional. El factor de 2.2 corresponde a la raíz cuadrada de 5, que es el factor de seguridad entre las restricciones básicas para exposición ocupacional y las de la exposición del público en general. La raíz cuadrada se utiliza para relacionar las cantidades de " intensidad de campo " y " densidad de potencia".

**Niveles de referencia para exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo⁵
(Valores rms no perturbados)**

Intervalo de frecuencia	E (V/m)	H (A/m)	B (μT)	Densidad de potencia de onda plana Equivalente (S_{eq}) (W/m^2)
Hasta 1 Hz	-----	1.63×10^5	2×10^5	-----
1-8 Hz	20 000	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	-----
8-25 Hz	20 000	$2 \times 10^4 / f$	$2.5 \times 10^4 / f$	-----
0.025-0.82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	-----
0.82-65 kHz	610	24.4	30.7	-----
0.065-1 MHz	610	$1.6 / f$	$2.0 / f$	-----
1-10 MHz	$610 / f$	$1.6 / f$	$2.0 / f$	-----
10-100 MHz	61	0.16	0.2	10
400-2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$	$f/40$
2-300 GHz	137	0.36	0.45	50

⁵ Los intervalos de frecuencia para PCS y celular se encuentran sombreados

**Niveles de referencia para exposición del público en general a campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo
(Valores rms no perturbados)**

Intervalo de frecuencia	E (V/m)	H (A/m)	B (μT)	Densidad de potencia de onda plana Equivalente (S_{eq}) (W/m^2)
Hasta 1 Hz	-----	3.2×10^4	4×10^4	-----
1-8 Hz	10 000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	-----
8-25 Hz	10 000	$4000 / f$	$5000 / f$	-----
0.025-0.8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-----
0.8-3 kHz	$250 / f$	5	6.25	-----
3-150 kHz	87	5	6.25	-----
0.15-1 MHz	87	$0.73 / f$	$0.92 / f$	-----
1-10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0.73 / f$	$0.92 / f$	-----
10-400 MHz	28	0.073	0.092	2
400-2000 MHz	$1.375 f^{1/2}$	$0.0037 f^{1/2}$	$0.0046 f^{1/2}$	$f / 200$
2-300 GHz	61	0.16	0.20	10

3.2.2.15. Medidas de Protección

La ICNIRP nota que las industrias que causan exposición a campos eléctricos y magnéticos son las responsables de asegurar la observancia con todos los aspectos de las directrices.

Las medidas de protección de los trabajadores incluyen controles de ingeniería y de administración, programas de protección personal, y vigilancia médica. (ILO-International Labour Organisation Protection of Workers, 1994). Se deben implementar medidas apropiadas de protección cuando en el lugar de trabajo, se excedan las restricciones básicas de exposición. Como primer paso, se deben emprender controles de ingeniería donde sea posible para reducir las emisiones de dispositivos de campos a niveles aceptables. Tales controles incluyen un buen diseño seguro y cuando sea necesario, el uso de un sistema de seguridad o mecanismos de protección de salud similares.

Los controles administrativos, tales como las limitaciones en el acceso y el uso de advertencias audibles y visibles, se deben usar en conjunto con los controles de ingeniería. Las medidas de protección personales, tales como ropa protectora, aunque útil en ciertas circunstancias, se deben contemplar como último recurso para asegurar la seguridad del trabajador, se le debe dar prioridad a los controles de ingeniería y de administración siempre que sea posible. Además, cuando se usen artículos tales como guantes de aislamiento para proteger a los individuos de un choque de alta frecuencia y quemaduras, no se deben exceder las restricciones básicas ya que el aislamiento protege sólo contra los efectos indirectos de los campos.

Con la excepción de la ropa protectora y otras protecciones personales, se pueden aplicar las mismas medidas para el público en general cuando haya la posibilidad de que se excedan los niveles de referencia del público en general. También es esencial establecer e implementar reglas que prevengan:

- § Interferencia con el equipo y con los dispositivos médicos electrónicos (incluyendo marcapasos cardiacos);
- § Detonación de dispositivos electro-explosivo (detonadores);
- § Incendios y explosiones resultantes de la ignición de materiales inflamables por chispas causadas por campos inducidos, corrientes de contacto o descargas de chispas.

3.3. Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)

3.3.1. Antecedentes históricos de la UIT

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es una Agencia Especializada del Sistema de las Naciones Unidas dedicada al Sector de las Telecomunicaciones y cuya sede esta en Ginebra, Suiza. La Unión esta compuesta por gobiernos, compañías privadas, instituciones industriales y científicas que cooperan para un uso racional de las telecomunicaciones.

Cada vez que alguien, en cualquier parte, toma el teléfono y marca un número, responde a una llamada con un móvil, envía un fax o recibe un mensaje electrónico, toma un avión o un barco, escucha la radio, mira su programa de televisión favorito o ayuda a un niño a manejar el último juguete con control remoto, está beneficiándose de la labor de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

La Unión, que fue creada el siglo pasado, es una organización imparcial e internacional en la cual los gobiernos y el sector privado pueden trabajar juntos para coordinar la explotación de redes y servicios de telecomunicaciones y promover el desarrollo de la tecnología de comunicaciones. A pesar de seguir siendo relativamente desconocida para el gran público, la labor que viene desarrollando desde hace más de 100 años ha ayudado a crear una red mundial de comunicaciones que integra hoy una gran variedad de tecnologías y que sigue siendo uno de los sistemas más fiables que el hombre haya realizado jamás.

A medida que se amplía la utilización de las tecnologías de telecomunicaciones y de los sistemas de radiocomunicaciones para abarcar más y más actividades, la labor que realiza la UIT crece en importancia en la vida cotidiana de los habitantes de todo el mundo.

Las actividades de normalización de la Unión, que ya han ayudado a promover la expansión de nuevas tecnologías como la telefonía móvil e Internet, están sirviendo ahora para definir las bases sobre las cuales se construye la incipiente infraestructura mundial de

la información y para el diseño de sistemas multimedios avanzados capaces de procesar fácilmente señales de voz, datos, audio y vídeo.

Al mismo tiempo, la UIT sigue realizando su labor de gestión del espectro de frecuencias radioeléctricas, gracias a la cual los sistemas de radiocomunicaciones, como los teléfonos celulares y los aparatos de radio búsqueda, los sistemas aéreos y de navegación marítima, las estaciones de investigación espacial, los sistemas de comunicaciones por satélite y los de radiodifusión sonora y de televisión continúan funcionando sin interrupción y proporcionan servicios inalámbricos fiables a los habitantes del planeta.

Por último, es cada vez más importante el papel catalizador de la UIT en el proceso de formación de asociaciones para el desarrollo entre gobiernos y sector privado, gracias al cual la infraestructura de telecomunicaciones de las economías en desarrollo está mejorando rápidamente.

Tanto en lo que respecta al desarrollo de las telecomunicaciones como a la elaboración de normas o a la distribución del espectro, la filosofía de consenso de la UIT ayuda a los gobiernos y a la industria de las telecomunicaciones a afrontar y a tratar una gran cantidad de asuntos que serían difíciles de resolver a escala bilateral.

El resultado de ello son acuerdos reales y viables que no sólo benefician al sector de las telecomunicaciones en su totalidad, sino también, y en última instancia, a los usuarios de telecomunicaciones de todo el mundo.

Los fines de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, tal como están definidos en su Constitución, son los siguientes:

- 1) Mantener y ampliar la cooperación internacional entre todos sus Estados Miembros para el mejoramiento y el empleo racional de toda clase de telecomunicaciones;
- 2) Alentar y mejorar la participación de entidades y organizaciones en las actividades de la Unión y favorecer la cooperación fructífera y la asociación entre ellas y los Estados Miembros para la consecución de los fines de la Unión;
- 3) Promover y proporcionar asistencia técnica a los países en desarrollo en el campo de las telecomunicaciones y promover asimismo la movilización de los recursos materiales, humanos y financieros necesarios para dicha asistencia, así como el acceso a la información;
- 4) Impulsar el desarrollo de los medios técnicos y su más eficaz explotación, a fin de aumentar el rendimiento de los servicios de telecomunicación, acrecentar su empleo y generalizar lo más posible su utilización por el público;
- 5) Promover la extensión de los beneficios de las nuevas tecnologías de telecomunicaciones a todos los habitantes del planeta;

- 6) Promover la utilización de los servicios de telecomunicaciones con el fin de facilitar las relaciones pacíficas;
- 7) Armonizar los esfuerzos de los Estados Miembros y favorecer una cooperación y una asociación fructíferas y constructivas entre los Estados Miembros y los Miembros de los Sectores para la consecución de estos fines;
- 8) Promover a nivel internacional la adopción de un enfoque más amplio de las cuestiones de las telecomunicaciones, a causa de la globalización de la economía y la sociedad de la información, cooperando a tal fin con otras organizaciones intergubernamentales mundiales y regionales y con las organizaciones no gubernamentales interesadas en las telecomunicaciones.

3.3.2. Recomendación K.52: Recomendación para dar cumplimiento a los límites de exposición para seres humanos a campos electromagnéticos.

3.3.2.1. Introducción

Esta recomendación pretende ayudar con el cumplimiento de los límites de exposición seguros para seres humanos a campos electromagnéticos (CEM's) en instalaciones de telecomunicación. Esta recomendación no especifica límites de seguridad; sino que busca brindar técnicas y procedimientos para evaluar el cumplimiento de los límites de seguridad nacionales o internacionales en instalaciones de telecomunicación.

3.3.2.2. Observaciones

La mayoría de los documentos proporcionan límites de seguridad en términos de los niveles básicos y niveles referencia. Los límites básicos se rigen por las cantidades fundamentales que determinan la respuesta fisiológica del cuerpo humano a campos electromagnéticos. Los límites básicos se aplican a una situación cuando el cuerpo está presente en el campo. Los límites básicos para la exposición humana son expresados como el Índice de Absorción Específica (SAR, por sus siglas en inglés), la Absorción Específica (SA) y la densidad de corriente.

Como las magnitudes básicas son difíciles de medir directamente, la mayoría de los documentos indican niveles derivados (de referencia) de campo eléctrico, campo magnético y densidad de potencia.

La mayoría de los documentos utilizan una estructura de límites a dos niveles, en la que se especifican niveles inferiores para la exposición no controlada del público en general que para la exposición controlada/ocupacional.

Es importante resaltar que los límites de exposición no son límites de emisión; se aplican a lugares accesibles a los operarios o miembros del público en general. Por tanto, es posible

conseguir el cumplimiento limitando el acceso a zonas en las que se sobrepasan los límites de campo.

3.3.2.3. Fuentes y frecuencias múltiples

La mayoría de los documentos en los que se basa esta recomendación requieren que los efectos de fuentes múltiples sean considerados. Debido al diferente efecto fisiológico de fuentes de baja frecuencia y fuentes de frecuencia más alta, dichos efectos deben considerarse por separado. A bajas frecuencias (típicamente por debajo de los 10 MHz), los efectos fisiológicos importantes se deben a la densidad de corriente inducida, mientras que en frecuencias más altas (típicamente arriba de los 100 KHz), los efectos fisiológicos importantes están dados por el SAR.

3.3.2.4. Evaluación del equipo de telecomunicaciones

El equipo de telecomunicaciones deberá ser clasificado como un emisor de CEM intencional o involuntario conforme a las definiciones. Típicamente un emisor intencional se asocia con una antena para la radiación de energía electromagnética, es decir utiliza campos electromagnéticos para la transmisión de señales; mientras que un emisor involuntario producirá CEM debido a las emisiones no esenciales.

3.3.2.5. Procedimiento de evaluación del nivel de exposición

Para la evaluación del nivel de exposición se deben considerar los siguientes puntos:

- § Las peores condiciones de emisión
- § La presencia simultánea de varias fuentes de CEM, incluso a diferentes frecuencias.

Se deben considerar los siguientes parámetros:

- § La máxima potencia efectiva radiada por el sistema de antenas (EIRP, por sus siglas en inglés).
- § La ganancia de la antena G o la ganancia numérica relativa F , incluyendo la máxima ganancia y el ancho del as.
- § La frecuencia de operación
- § Diversas características de instalación, tales como la localización y altura de la antena, la dirección del rayo, la inclinación de rayo y la evaluación de la probabilidad de que una persona podría ser expuesta a CEM.

3.3.2.6. Técnicas de mitigación

Es necesario controlar la exposición a campos electromagnéticos en los lugares accesibles a la gente donde el CEM excede los límites de exposición a CEM seguros para seres humanos. Una manera eficaz de controlar la exposición donde algunas de las características de las instalaciones no pueden ser cambiadas es restringir el acceso a las áreas donde se exceden los límites

3.3.2.7. Métodos de Cálculo

Región de campo cercano reactivo

En esta región los campo eléctricos y magnéticos deben considerarse por separado. Los campos se pueden calcular utilizando fórmulas cuasi-estáticas si se tiene una distribución de corriente conocida, en la ausencia de objetos distorsionadores de campo.

Región de campo lejano

El siguiente material proporciona los métodos para calcular los niveles de la intensidad de campo y la densidad de potencia.

Para una antena radiante simple la densidad de potencia radiada aproximada en la dirección descrita por los ángulos θ (complementario al ángulo de elevación) y ϕ (el ángulo de acimut) puede ser evaluada mediante la siguiente expresión:

$$S(R, \theta, \phi) = \frac{EIRP}{4\pi} \left[f(\theta, \phi) \frac{1}{R} + \rho f(\theta', \phi') \frac{1}{R'} \right]^2$$

donde:

$S(R, \theta, \phi)$	Es la densidad de potencia en W/m^2
$f(\theta, \phi)$	Es el patrón relativo del campo de la antena (un número positivo entre 0 y 1)
$EIRP$	Es la $EIRP$ de la antena en W
ρ	Es el valor absoluto (módulo) del coeficiente de reflexión y toma en cuenta la onda reflejada por la tierra. En algunos casos, la exposición a la onda reflejada puede bloquearse, pero entonces ρ debe ser 0.
R	Es la distancia entre el punto central de la fuente de radiación y la supuesta persona expuesta.
R'	Es la distancia entre el punto central de la imagen de la fuente de radiación y la supuesta persona expuesta.

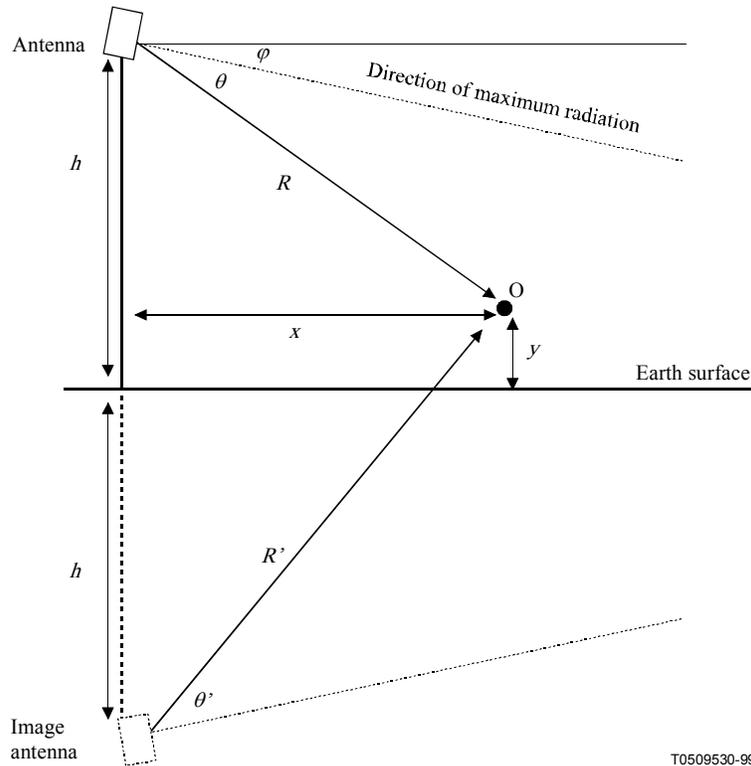


Fig. 1 Definición de las distancias y ángulos verticales

Para lugares en el techo, la atenuación causada por los materiales de construcción en las paredes y la azotea pueden reducir la exposición dentro de un edificio en por lo menos 10-20 dB.

Los campos eléctrico y magnético se calculan de la siguiente forma:

$$E = \sqrt{S\eta_0}$$

$$H = \sqrt{S/\eta_0}$$

donde $\eta_0 = 377 \Omega$ que es la impedancia intrínseca en el espacio libre.

Las ecuaciones anteriores son válidas para la región de campo lejano. Su uso en la región de campo cercano puede dar resultados inexactos (excesivamente conservativos)

3.3.2.8. Procedimientos de Medición

Es de gran utilidad realizar mediciones en los casos cuando es difícil calcular la magnitud de los campos y donde los cálculos efectuados arrojan valores que están cerca del umbral de límite de exposición

Cuando se miden CEM's, lo primero es determinar el intervalo de frecuencia sobre el cual se requiere determinar la magnitud del campo electromagnético basándose en las características de los emisores más importantes. Los instrumentos de medición deben seleccionarse con base en dichas características. Para caracterizar los campos sobre un intervalo de frecuencia dado se pueden utilizar ya sea instrumentos de banda ancha o una combinación de varios instrumentos de banda angosta (o medidores).

3.3.2.9. Procedimiento para determinar el tipo de instalación

Cada instalación debe ser clasificada en una de las clases de instalación definidas en la Tabla 2. Se espera que los operadores que proporcionan un servicio de telecomunicaciones en particular utilicen un sistema limitado de antenas y de equipo asociado con características bien definidas.

A continuación se describe el procedimiento:

1. Defina un conjunto de parámetros de la antena de referencia o tipos de antena.
2. Defina un conjunto de condiciones de accesibilidad. Esta categoría depende de la accesibilidad de varias áreas en la proximidad del emisor a la gente.
3. Para cada combinación de los parámetros de la antena de la referencia y de la condición de la accesibilidad, determine el umbral de la EIRP. Este umbral EIRP, que será denotado como $EIRP_{th}$, es el valor que corresponde al límite de la exposición para la densidad de potencia o campo de la antena de referencia para la condición de la accesibilidad.
4. Una instalación pertenece al tipo inherentemente conforme si el emisor es inherentemente conforme. No hay necesidad de considerar otros aspectos de instalación.

NOTA: De acuerdo a los límites de la ICNIRP, una fuente inherentemente conforme tiene una EIRP menor a 2 W.

5. Para cada sitio, una instalación pertenece al tipo normalmente conforme, si se satisface el siguiente criterio:

$$\sum_i \frac{EIRP_i}{EIRP_{th,i}} \leq 1$$

donde la $EIRP_i$ es la potencia radiada promedio temporal de la antena a una frecuencia i en particular y la $EIRP_{th}$ es la EIRP de umbral relacionada con los parámetros de la antena y condiciones particulares de accesibilidad. Para la instalación de una antena múltiple, se deben distinguir las siguientes dos condiciones:

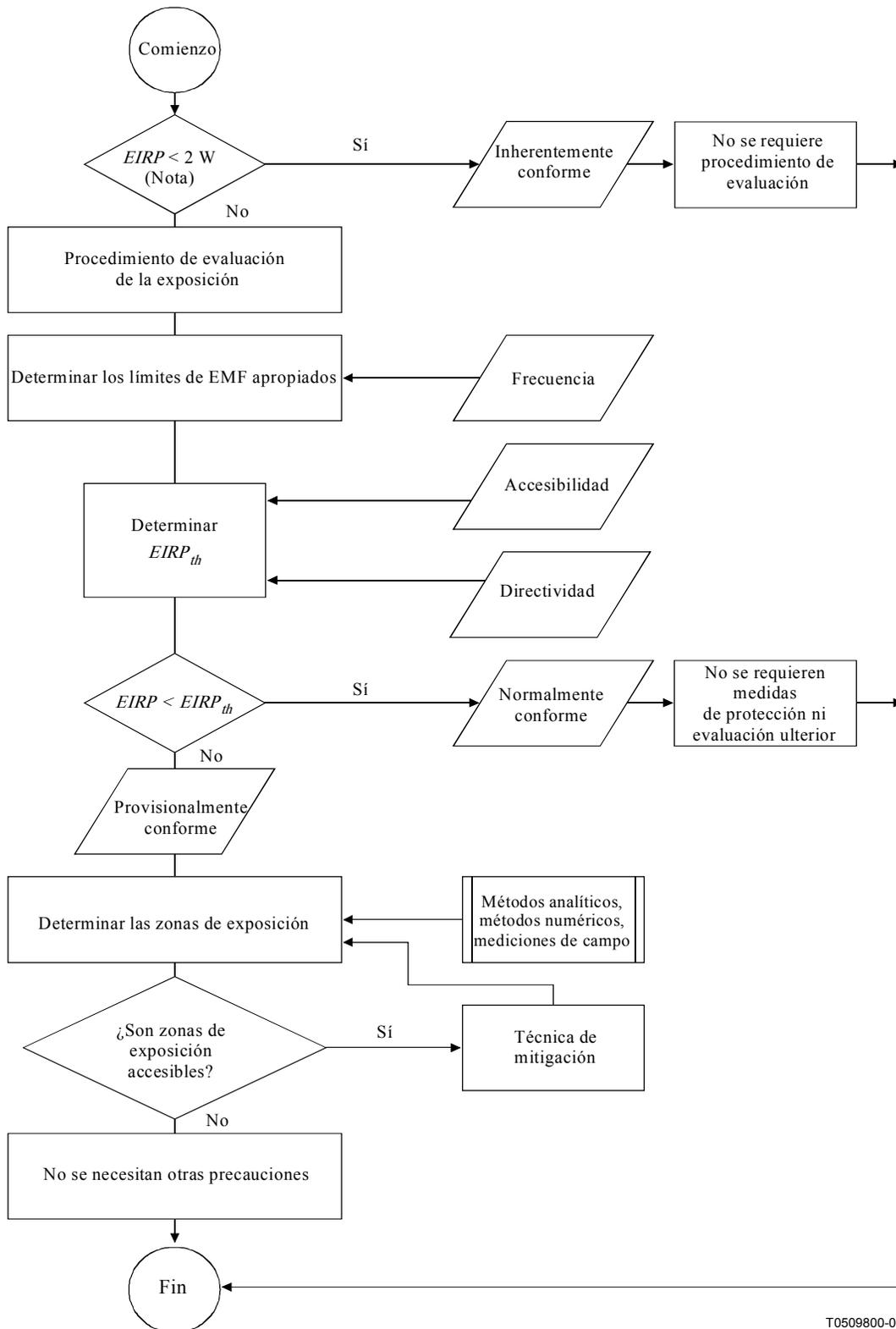
- § Si las fuentes tienen patrones de radiación superpuestos según lo determinado considerando la anchura del as de media potencia, el tiempo promedio máximo de la EIRP respectivo debe satisfacer el criterio.
 - § Si no hay superposición de fuentes múltiples, se considerarán independientemente.
6. Los sitios que no cumplen las condiciones para clasificarlos normalmente conformes se consideran provisionalmente conformes.

3.3.2.10. Procedimiento para determinar la $EIRP_{th}$

El procedimiento es el siguiente:

1. Determine la magnitud del campo o la densidad de potencia para cada punto O, donde la exposición puede ocurrir, para la antena particular (véase fig. 1).
2. Encuentre la densidad de potencia máxima S_{max} dentro del área de exposición del sistema.
3. La condición $S_{max}=S_{lim}$ da la $EIRP_{th}$ donde S_{lim} es el límite de interés dado por la norma de exposición para CEM a la frecuencia de interés.

A continuación, en la siguiente página, se presenta un diagrama de flujo que ejemplifica de forma más clara los procedimientos para evaluar la exposición a campos EM de una sola fuente antes descritos.



T0509800-00

NOTA – Véase el apéndice IV.

Fig. 2 Diagrama de flujo para evaluar la exposición para una sola fuente de CEM

3.3.2.11. Tipos de instalación

Fuentes inherentemente conformes

Los emisores con una *EIRP* máxima de 2 W o menos se clasifican como inherentemente conformes salvo para antena de microondas de pequeña apertura y baja ganancia o antenas de ondas milimétricas donde la potencia de radiación total de 100 mW o menos se puede considerar como inherentemente conforme. No se estima necesaria ninguna otra acción.

Además, cuando el emisor está construido de manera que el acceso a cualquier zona en la que puedan sobrepasarse los límites de exposición está impedido por la construcción del dispositivo radiante, se clasifica como inherentemente conforme.

Instalaciones normalmente conformes

Los criterios indicados para determinar si una instalación es normalmente conforme comprenden tres características de las instalaciones: la accesibilidad y la directividad de la antena, la frecuencia del campo radiado.

3.3.2.12. Categorías de accesibilidad

Las categorías de accesibilidad dependen de las circunstancias de la instalación, determinan la probabilidad de que una persona pueda tener acceso a la zona de rebasamiento del emisor. En la tabla 2 se definen dichas categorías de accesibilidad.

Definición de las categorías de accesibilidad

Categoría de accesibilidad	Circunstancias relevantes de instalación	Figura de referencia
1	La antena está instalada en una torre inaccesible. - el centro de la radiación está en una altura h sobre el nivel del suelo. Existe la restricción $h > 3m$. La antena está instalada en una estructura accesible al público (como la azotea de un edificio o casa) - el centro de la radiación está ubicado a una altura h sobre la estructura.	Fig. A
2	La antena está instalada a nivel del suelo. El centro de la radiación está a una altura h sobre el nivel del suelo. Hay un edificio adyacente o una estructura accesible al público en general de aproximadamente una altura h y a una distancia d de la antena a lo largo de la dirección de propagación. Existe la restricción $h > 3 m$	Fig. B
3	La antena está instalada a el nivel del suelo. El centro de la radiación está a una altura h ($h > 3 m$) sobre el nivel del suelo. Hay un edificio adyacente o una estructura accesible al público en general de aproximadamente una altura h' y a una distancia d de la antena a lo largo de la dirección de la propagación.	Fig. C

Categoría de accesibilidad	Circunstancias relevantes de instalación	Figura de referencia
4	La antena está instalada en una estructura a una altura h ($h > 3$ m). Existe un área de exclusión asociada a la antena. Se definen dos formas geométricas para el área de la exclusión <ul style="list-style-type: none"> - Un área circular con el radio a rodeando a la antena - Un área rectangular de tamaño $a*b$ delante de la antena. 	Fig. D Fig. E

Tabla 2 Características de accesibilidad

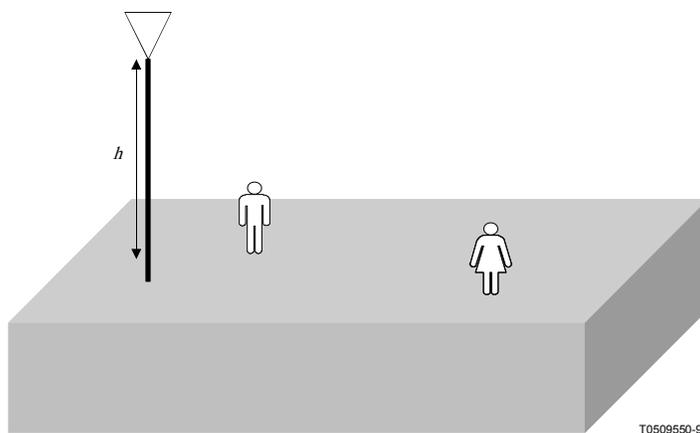


Fig. A Ilustración de la categoría de accesibilidad 1

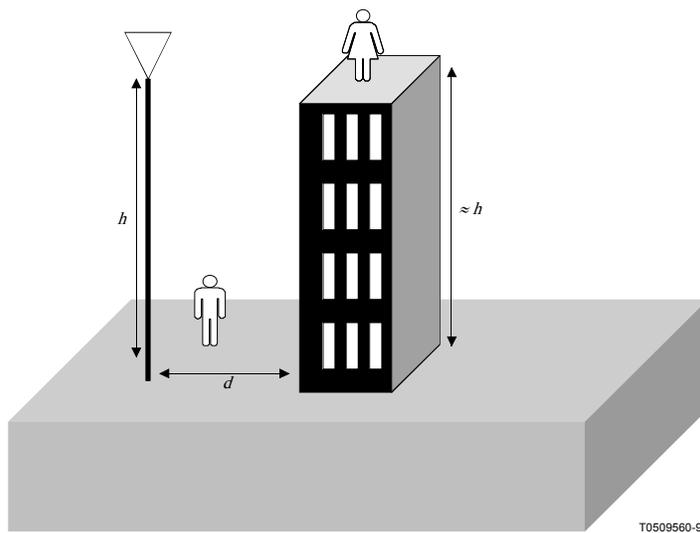


Fig. B Ilustración de la categoría de accesibilidad 2

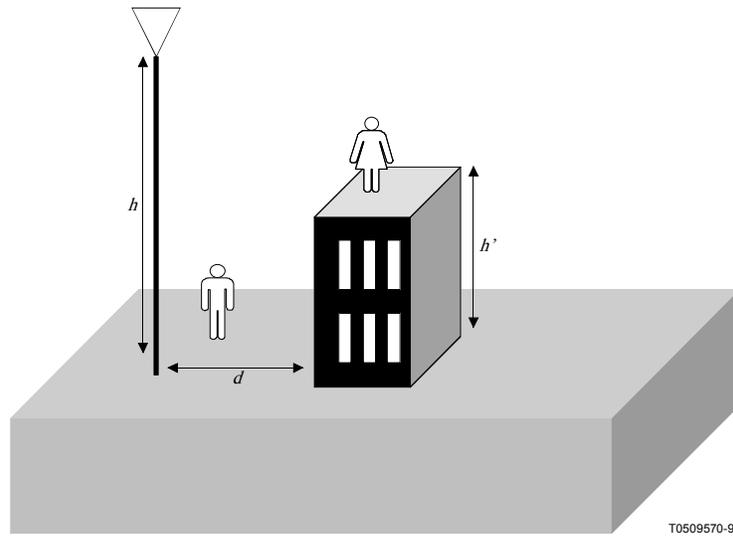


Fig. C Ilustración de la categoría de accesibilidad 3.

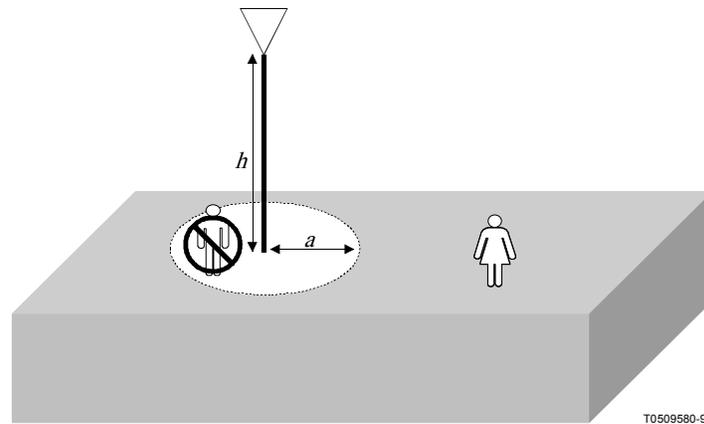


Fig. D Ilustración de la categoría de accesibilidad 4, forma del área de exclusión circular.

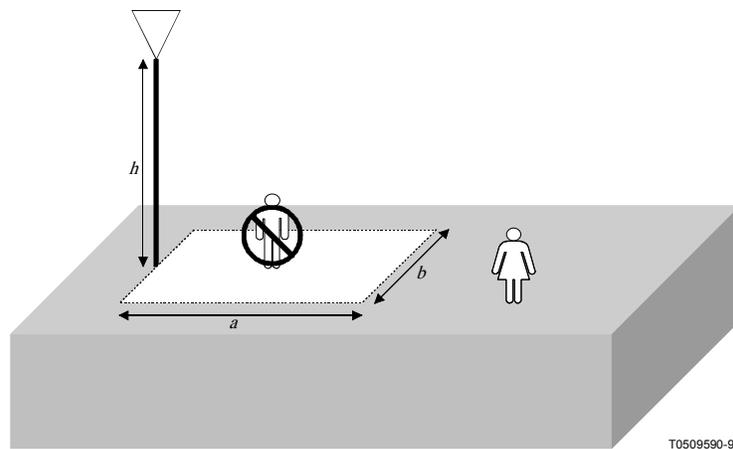


Fig. E Ilustración de la categoría de accesibilidad 4, forma del área de exclusión rectangular.

Con base en el análisis presentado anteriormente, la Unión Internacional de Telecomunicaciones, en su Recomendación K.52, decidió adoptar los mismos límites de exposición que los establecidos por la ICNIRP (véase 3.2.2.14).

3.4. Unión Europea/ Instituto de Estandarización de Telecomunicaciones de la Unión Europea (ETSI).

3.4.1. Antecedentes históricos del ETSI.

Institución integrada por más de 750 miembros europeos y extraeuropeos, representantes de administraciones, operadoras, proveedores de servicios, fabricantes, investigadores y usuarios del sector, que tiene como objetivo promover la estandarización.

Este es un organismo sin ánimo de lucro creado al objeto de disponer del foro adecuado para la elaboración de las normas de telecomunicación que faciliten la estandarización del sector, y por lo tanto el avance hacia el Mercado Único Europeo. En el ETSI participan como miembros no sólo las Administraciones, sino también los operadores de red, la industria, los centros de investigación y los usuarios de los servicios de telecomunicación.

Los objetivos del ETSI se reducen básicamente a la elaboración y mantenimiento, actualización de prenormas y de normas técnicas a nivel europeo en los siguientes campos:

- Telecomunicaciones.
- Áreas comunes existentes entre las telecomunicaciones y las tecnologías de la información.
- Áreas comunes existentes entre las telecomunicaciones y los sistemas de radiodifusión y televisión.

Es, por tanto, el ETSI la organización clave en el contexto europeo para la elaboración de normas tanto en el sector de las telecomunicaciones como para la convergencia de este sector con los de tecnologías de la información y audiovisual.

Pueden ser miembros del ETSI: Administraciones, operadores de redes públicas, fabricantes, organizaciones de usuarios y organismos de investigación. La participación puede ser a título individual o formando parte de grupos. Asimismo, el ETSI admite miembros observadores con ciertas limitaciones en sus derechos.

Tipos de documentos normativos elaborados por el ETSI

Entre el tipo de documentos generados por el ETSI en las series de telecomunicaciones están:

TS, Especificación técnica: contiene las disposiciones normativas aprobadas para su publicación por un órgano técnico del ETSI (un comité técnico, un equipo de proyecto ETSI o un proyecto del ETSI en colaboración).

TR, Informe técnico: principalmente contiene elementos informativos que han sido aprobados para su publicación por un órgano técnico del ETSI (un comité técnico, un equipo de proyecto ETSI o un proyecto del ETSI en colaboración).

ES, Norma ETSI: contiene disposiciones normativas que han sido aprobadas para su publicación mediante el procedimiento de aprobación de los miembros del Instituto.

EG, Guía ETSI: principalmente contiene datos informativos que han sido aprobados para su publicación mediante el procedimiento de aprobación de los miembros del Instituto.

EN, Norma Europea: contiene disposiciones normativas que han sido aprobadas para su publicación en un proceso en el que participan los organismos nacionales de normalización o las delegaciones nacionales en el ETSI; ello conlleva la obligatoriedad de una transposición nacional con los períodos de "statu quo" correspondientes.

Norma Armonizada: norma europea EN cuyo proyecto le ha sido confiado al ETSI en virtud de un mandato de la Comisión Europea bajo la Directiva 98/34/CE (la última modificación de la Directiva 83/189/CEE) y que se ha redactado teniendo en cuenta los requisitos esenciales de la Directiva de Nuevo Enfoque y cuya referencia se ha publicado posteriormente en el Diario Oficial de las Comunidades Europeas.

SR, Informe Especial: cualquier otro producto normativo del ETSI que contenga información de utilidad y disponible al público para los propósitos de referencia. Ejemplos: informaciones acerca de declaraciones sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR), las conclusiones de los comités especiales, etc.

Miembros

Pueden ser miembros del ETSI: Administraciones, operadores de redes públicas, fabricantes, organizaciones de usuarios y organismos de investigación. La participación puede ser a título individual o formando parte de grupos. Asimismo, el ETSI admite miembros observadores con ciertas limitaciones en sus derechos.

3.4.2. Recomendación (1999/519/CE) del Consejo de la Unión Europea relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos.

3.4.2.1. Antecedentes

- A. En su Resolución del 5 de mayo de 1994 sobre la lucha contra los efectos nocivos provocados por las radiaciones no ionizantes⁶, el Parlamento Europeo invitó a la

⁶ DO C 205 de 25.7.1994. p. 439

Comisión a proponer medidas legislativas para limitar la exposición de los trabajadores y del público en general a la radiación electromagnética no ionizante.

- B. Las medidas en relación con los campos electromagnéticos (CEM) deberán proporcionar un elevado nivel de protección a todos los ciudadanos de la Comunidad; las disposiciones de los Estados miembros en este ámbito deberán basarse en un marco establecido de común acuerdo que contribuya a garantizar la uniformidad de la protección en toda la Comunidad.
- C. La presente Recomendación tiene como objetivo proteger la salud de los ciudadanos y, por lo tanto, se aplica en especial a las zonas pertinentes en las que los ciudadanos pasan un lapso de tiempo significativo en relación con los efectos cubiertos por la presente Recomendación;
- D. El marco comunitario para hacer uso de la amplia recopilación de documentación científica ya existente debe basarse en los mejores datos y asesoramiento científicos disponibles en el momento actual en este ámbito y que deberá incluir restricciones básicas y niveles de referencia en relación con la exposición a campos electromagnéticos, recordando que únicamente se han utilizado efectos comprobados como base para la limitación recomendada de las exposiciones; la Comisión internacional de protección contra las radiaciones no ionizantes (Icnirp) ha prestado asesoramiento a este respecto, asesoramiento que ha sido respaldado por el Comité científico director de la Comisión; el marco deberá ser revisado y evaluado periódicamente a la luz de los nuevos conocimientos y de las novedades de la tecnología y de las aplicaciones de las fuentes y prácticas que dan lugar a exposición a campos electromagnéticos;
- E. La observancia de las restricciones y niveles de referencia recomendados deberá proporcionar un elevado nivel de protección contra los efectos nocivos para la salud que pueden resultar de la exposición a campos electromagnéticos pero tal observancia puede no impedir necesariamente que se produzcan problemas de interferencia u otros efectos sobre el funcionamiento de productos sanitarios tales como prótesis metálicas, marcapasos y desfibriladores cardíacos e injertos cocleares y otros injertos; la interferencia con marcapasos puede ocurrir a niveles inferiores a los niveles de referencia recomendados y deberá por ello someterse a las precauciones adecuadas que, sin embargo, están fuera del ámbito de la presente Recomendación y se tratan en el contexto de la legislación sobre compatibilidad electromagnética y productos sanitarios;
- F. De acuerdo con el Tratado, los Estados miembros pueden establecer un nivel de protección más elevado que el reflejado en la presente Recomendación;
- G. Con objeto de incrementar el conocimiento de los riesgos y medidas de protección contra los campos electromagnéticos, los Estados miembros deberán fomentar la divulgación de la información y las normas prácticas al respecto, sobre todo en lo

que se refiere al diseño, instalación y utilización de equipos, de manera que se consigan niveles de exposición que no sobrepasen las restricciones recomendadas;

- H. Los Estados miembros deben estar al tanto del progreso de la tecnología y de los conocimientos científicos con respecto a la protección contra la radiación no ionizante, teniendo en cuenta el aspecto de precaución, y deben disponer exámenes y revisiones periódicas, con la realización periódica de evaluaciones a la luz de la orientación que ofrezcan las organizaciones internacionales pertinentes, como la Comisión internacional de protección contra las radiaciones no ionizantes.

3.4.2.2. El Consejo de la Comunidad Europea recomienda:

I. Para proporcionar un elevado nivel de protección de la salud contra la exposición a los campos electromagnéticos, los Estados miembros deberán:

- a) Adoptar un marco de restricciones básicas y niveles de referencia tomando como base la parte B del anexo I;
- b) Aplicar medidas, conformes con dicho marco, en relación con las fuentes o prácticas que dan lugar a la exposición electromagnética de los ciudadanos, cuando el tiempo de exposición sea significativo, con excepción de la exposición por razones médicas, en cuyo caso deberán sopesarse convenientemente los riesgos y ventajas de la exposición, por encima de las restricciones básicas;
- c) Procurar que se respeten las restricciones básicas que figuran en el anexo II en lo que se refiere a la exposición de los ciudadanos.

II. Para facilitar y promover el respeto de las restricciones básicas que figuran en el anexo II, los Estados miembros:

- a) Deberán tener en cuenta los niveles de referencia que figuran en el anexo III para efectuar la evaluación de la exposición o, cuando existan y en la medida en que las reconozca el Estado miembro en cuestión, las normas europeas o nacionales que estén basadas en procedimientos de cálculo y medición previstos para evaluar el cumplimiento de las restricciones básicas;
- b) Deberán evaluar las situaciones que implican fuentes de más de una frecuencia de acuerdo con las fórmulas establecidas en el anexo IV, tanto en términos de restricciones básicas como de niveles de referencia;
- c) Podrán tener en cuenta, cuando convenga, criterios tales como la duración de la exposición, las partes del organismo expuestas, la edad y las condiciones sanitarias de los ciudadanos.

III. Los Estados miembros, al decidir si hay que actuar o no, con arreglo a la presente Recomendación, deberán tener en cuenta tanto los riesgos como los beneficios.

IV. Para conseguir que se comprendan mejor los riesgos y la protección contra la exposición a campos electromagnéticos, los Estados miembros deberán proporcionar al ciudadano información en un formato adecuado sobre los efectos de los campos electromagnéticos y sobre las medidas adoptadas para hacerles frente.

V. Con el fin de mejorar los conocimientos que se tienen acerca de los efectos sobre la salud de los campos electromagnéticos, los Estados miembros deberán promover y revisar la investigación pertinente sobre campos electromagnéticos y salud humana en el contexto de sus programas de investigación nacionales, teniendo en cuenta las recomendaciones comunitarias e internacionales en materia de investigación y los esfuerzos realizados en este ámbito basándose en el mayor número posible de fuentes.

VI. Para contribuir al establecimiento de un sistema coherente de protección contra los riesgos de la exposición a campos electromagnéticos, los Estados miembros deberán elaborar informes sobre las experiencias obtenidas con las medidas que adopten en el ámbito de la presente Recomendación e informar a la Comisión transcurridos tres años de la aprobación de la misma, indicando el modo en que la han incorporado a dichas medidas.

3.4.2.3. El Consejo de la Comunidad Europea invita a la Comisión a:

1. Llevar a cabo el trabajo necesario para el establecimiento de las normas europeas a que hace referencia la letra a) de la Sección II, incluidos los métodos de cálculo y medición;
2. Fomentar la investigación relativa a los efectos a corto y largo plazo de la exposición a campos electromagnéticos en todas las frecuencias pertinentes, en la ejecución del actual programa marco de investigación;
3. Seguir participando en el trabajo de las organizaciones internacionales con competencias en este ámbito y promover la consecución de un consenso internacional en las directrices y consejos referentes a las medidas de protección y prevención;
4. Supervisar los asuntos tratados en la presente Recomendación con vistas a su revisión y actualización, teniendo en cuenta también los posibles efectos, que están siendo actualmente estudiados, incluidos los aspectos pertinentes relativos a la precaución, y elaborar, en el plazo de cinco años, un informe para la Comunidad en su conjunto que tenga en cuenta los informes de los Estados miembros así como los últimos datos e informes científicos.

3.4.2.4. Anexo I

A. Definiciones

Aquí se especifica el glosario de términos y definiciones aplicables a esta norma. Sin embargo, por cuestiones prácticas, estos términos serán omitidos.

B. Restricciones básicas y niveles de referencia

Para la aplicación de las restricciones basadas en la evaluación de los posibles efectos de los campos electromagnéticos sobre la salud, se ha de diferenciar las restricciones básicas de los niveles de referencia de acuerdo a los especificados por el ICNIRP en los apartados 3.2.2.10. y 3.2.2.12 de esta tesis.

3.4.2.5. Anexo II

Restricciones básicas. - Véase 3.2.2.10. y 3.2.2.12 de esta tesis

3.4.2.6. Anexo III

Niveles de referencia. - Véase 3.2.2.10. y 3.2.2.12 de esta tesis

3.4.2.7. Anexo IV

Exposición a fuentes con múltiples frecuencias

En situaciones en las que se da una exposición simultánea a campos de diferentes frecuencias debe tenerse en cuenta la posibilidad de que se sumen los efectos de estas exposiciones. Para cada efecto deben hacerse cálculos basados en esa actividad; así pues, deben efectuarse evaluaciones separadas de los efectos de la estimulación térmica y eléctrica sobre el cuerpo.

3.5. Canadá/ Oficina de Salud de Canadá para la Protección contra la Radiación (Health Canada).

3.5.1 Antecedentes históricos de Health Canada

La oficina de salud de Canadá es el departamento federal responsable de ayudar a la gente de Canadá a mantener y mejorar su salud.

Esta institución se esfuerza por mejorar la salud de la gente que vive en Canadá, mientras que respeta opciones y circunstancias individuales, y por lo tanto intenta poner a Canadá entre los países con la gente más sana en el mundo.

En sociedad con gobiernos provinciales y territoriales, Health Canada proporciona la dirección nacional para desarrollar una política sanitaria que haga cumplir regulaciones de salud, promueva la prevención de enfermedades y realce la vida sana de todos los canadienses. Health Canadá se asegura que los servicios médicos estén disponibles y accesibles a todas las comunidades de la nación. También trabaja de cerca con otros departamentos federales de salud, agencias y otras posturas internacionales para reducir los riesgos de salud y seguridad a los canadienses.

Adicionalmente la oficina de salud de Canadá cuenta con la *oficina de protección contra la radiación* (RPB, Radiation Protection Bureau, por sus siglas en inglés) la cual investiga y trata los riesgos que pudieran tener los canadienses al exponerse a fuentes naturales y artificiales de radiación ionizante y no-ionizante.

La oficina de protección contra la radiación está organizada en tres divisiones con las siguientes funciones:

1. *División ambiental de peligros por radiación.*- Investiga efectos de salud potenciales sobre la población canadiense provenientes de fuentes naturales y artificiales de radiactividad ambiental.
2. *División ocupacional de peligros por radiación.*- Es responsable de dos programas nacionales: el de Servicios Nacionales de Dosimetría (NDS, por sus siglas en inglés) y el del Registro Racional de Dosis (NDR, por sus siglas en inglés). El NDS proporciona la supervisión ocupacional para las exposiciones a la radiación ionizante y el NDR es el depósito nacional de todos los datos de exposición a radiación recopilados en este país. Existen más de 15,000 000 pedazos individuales de datos.
3. *División del consumidor y asuntos clínicos relacionados con los peligros por radiación.*- Es el responsable de las actividades reguladoras relacionadas con los rayos X y la radiación no-ionizante proveniente de cualquier dispositivo, asimismo supervisa y analiza equipo y sustancias de radiodiagnóstico y radioterapia empleados en tratamientos clínicos.

3.5.2. Código de seguridad 6 contra la radiación de RF.

3.5.2.1. Objetivo

El objetivo de este código es establecer las directrices para limitar la exposición a microondas y radiofrecuencia (RF). Como tal, el documento no describe las técnicas para la evaluación del desempeño del producto. Sin embargo, se incluyen algunos principios básicos y métodos para evaluar los niveles de exposición y de esta manera, ayudar a los lectores que no están familiarizados con los cálculos y mediciones de RF. El departamento

recomienda que las organizaciones que adopten este código desarrollen sus propios procedimientos para la evaluación de la conformidad y de la exposición.

La finalidad de este documento es precisar los requisitos de seguridad para la instalación y el uso de los dispositivos de RF y de microondas que funcionan en el intervalo de frecuencias de los 3 KHz a los 300 GHz. Los criterios de exposición empleados en este código no pretenden aplicarse a la exposición deliberada, a propósitos de tratamiento de pacientes por o bajo la dirección de médicos en artes curativos.

3.5.2.2. Introducción

Los límites de exposición se han establecidos a partir de los experimentos realizados en los últimos 30 años en organismos biológicos, incluyendo seres humanos, animales y sistemas celulares. Los límites recomendados en este código se han fijado en por lo menos un factor de 10 más bajos que el umbral donde los efectos potencialmente peligrosos comienzan, según lo establecido por el consenso de la comunidad científica. También se han revisado los efectos biológicos de los campos de RF a niveles demasiado bajos como para producir un calentamiento significativo. Dichos efectos no están bien establecidos ni lo suficientemente bien entendidas sus implicaciones para la salud humana, por ello no pueden proporcionar una base para la elaboración de una recomendación dirigida a la restricción de exposiciones humanas a tales campos de RF de baja intensidad.

3.5.2.3. Límites de exposición máximos

Para los límites de exposición a RF y trabajadores expuestos a microondas se ha incorporado un factor de seguridad de aproximadamente 10 que de acuerdo a la referencia del consenso de la comunidad científica, es el umbral donde comienzan los efectos adversos. Para otras personas incluyendo el público en general, se ha incluido un factor de seguridad adicional (de 2 a 5) para llegar a límites más bajos. Los motivos para tener límites de exposición más bajos son los siguientes:

1. La exposición al público está potencialmente 24 horas al día durante 7 días a la semana, comparada con 8 horas al día, 5 días a la semana para trabajadores expuestos a RF y microondas.
2. Ciertos miembros del público en general pueden ser más susceptibles al daño de la exposición de RF y de la microonda. Para determinar si los niveles de exposición máximos y los períodos de exposición son excedidos, debe tenerse en completa consideración factores tales como:
 - a) Ocupación de áreas;

- b) Duración actual de la exposición y tiempo promedio (incluyendo tiempos de encendido y apagado de los generadores de RF, dirección de haz, factores de trabajo, tiempo de barrido, etc.);
- c) Características espaciales de la exposición, por ejemplo, todo o en algunas partes del cuerpo;
- d) Uniformidad del campo de exposición, por ejemplo, promedio espacial. En ciertos casos y sobre un intervalo específico de frecuencias, pueden permitirse niveles de exposición más altos por un lapso de tiempo más corto. Si este es el caso, la intensidad de campo y la densidad de potencia deben promediarse sobre un periodo de 1/10 hora (0.1 h o 6 min).

3.5.2.4. Trabajadores expuestos a RF y microondas (incluyendo personas expuestas en ambiente ocupacional)

3.5.2.5. Límites de la intensidad de campo

- A. No expondrá a un trabajador de RF y microondas a radiación electromagnética en la banda de frecuencia enumerada en la columna 1 de la Tabla 3 si el valor de la intensidad de campo excede el valor dado en la columna 2 o 3 de la tabla 3, cuando se promedie espacialmente y en un cierto tiempo, o si la densidad de potencia excede el valor dado en la columna 4 de la tabla 3, cuando se promedie espacialmente y en un cierto tiempo. El promedio espacial se realiza sobre un área equivalente a la sección vertical del cuerpo humano (área proyectada). Debe emplearse un periodo de 0.1 h (6 min) del tiempo promedio para frecuencias hasta los 15 000 MHz. Por encima de estas frecuencias se usará un tiempo promedio diferente.
- B. Donde la radiación electromagnética consista en un número de frecuencias en la misma o en diversas bandas de frecuencia mostradas en la columna 1 de la tabla 3, entonces el cociente del valor medido en cada frecuencia al límite de esa frecuencia mostrado en la columna 2, 3 o 4 será determinado y la suma de todos los cocientes obtenidos para todas las frecuencias no deberá exceder la unidad cuando se promedie espacialmente y en un cierto tiempo. Para las mediciones de la intensidad de campo, los límites y los valores medidos serán elevados al cuadrado antes de determinar el cociente. El límite para múltiples frecuencias puede expresarse como:

$$\sum_{f=3KHz}^{300GHz} R_f \leq 1$$

donde f es la frecuencia para cual fue tomada cada medición y donde es medida la intensidad de campo eléctrico o magnético,

$$R_f = \left(\frac{\text{Valor medido de la intensidad de campo en la frecuencia } f}{\text{Límite de exposición de la intensidad de campo en } f} \right)^2,$$

o donde se mide la densidad de potencia,

$$R_f = \frac{\text{Valor medido de la densidad de potencia en la frecuencia } f}{\text{Límite de exposición de la densidad de potencia en } f},$$

1 Intervalo de Frecuencia (MHz)	2 E (V/m)	3 H (A/m)	4 Densidad de potencia (W/m ²)	5 Tiempo promedio (minutos)
0.003-1	600	4.9	-----	6
1-10	600/f	4.9/f	-----	6
10-30	60	4.9/f	-----	6
30-300	60	0.163	10*	6
300-1500	3.54f ^{0.5}	0.0094f ^{0.5}	f/30	6
1500-15 000	137	0.364	50	6
15 000-150 000	137	0.364	50	616 000/f ^{1.2}
150 000-300 000	0.354f ^{0.5}	9.4x10 ⁻⁴ f ^{0.5}	3.33x10 ⁻⁴ f	616 000/f ^{1.2}

Tabla 3. Límites de exposición de RF y microondas para trabajadores expuestos (Valores rms no perturbados)

Notas:

- * El límite de densidad de potencia es aplicable a frecuencias mayores que 100 MHz
- 1. La frecuencia f esta en MHz
- 2. Una densidad de potencia de 10 W/m² es equivalente a 1mW/cm²
- 3. Una intensidad de campo de 1 A/m corresponde a 1.257 microtesla (μT) o 12.57 miligasuss (mG)

3.5.2.6. Límites de la corriente inducida y de contacto

Los límites de la corriente inducida y de contacto están concebidos para reducir el potencial de recibir un shock o quemadura de RF de la siguiente forma:

- a) Para trabajadores expuestos libremente a microondas y RF (que no están en contacto con objetos metálicos), la corriente inducida en el cuerpo humano por la

radiación electromagnética en las bandas de frecuencia enumeradas en la columna 1 de la tabla 4 no deberá exceder el valor dado en la columna 2 de la tabla 4.

- b) Ningún objeto con el cual un trabajador expuesto a RF y microondas pueda estar en contacto con la mano será energizado por radiación electromagnética en las bandas de frecuencia enumeradas en la columna 1 de la tabla 4 hasta tal punto que el flujo de corriente que fluye a través de un circuito eléctrico, teniendo una impedancia equivalente a la del cuerpo humano, exceda el valor dado en la columna 3 de la tabla 4, según lo medido con un medidor de corriente de contacto.

Nota: Las corrientes máximas permitidas deberán ser perceptibles (por ejemplo, una sensación de cosquilleo o calentamiento), no obstante no deberán causar ningún dolor o daño como los provocados por quemaduras.

- c) Donde la radiación electromagnética consiste en un cierto número de frecuencias en la misma o en diversas bandas, mostradas en la columna 1 de la tabla 4, se determinará el cociente del cuadrado de la corriente medida en cada frecuencia al cuadrado del límite en esa frecuencia dada, mostrado en la columna 2 o 3 (dependiendo de sí es corriente inducida o de contacto), y la suma de todos los cocientes obtenida de esta forma para todas las frecuencias no excederá la unidad cuando se promedie el tiempo. El límite, en relación con frecuencias múltiples, se puede expresar como:

$$\sum_{f=3\text{ KHz}}^{110\text{ MHz}} r_f \leq 1,$$

donde f es la frecuencia para la cual fueron tomadas cada una de las mediciones y

$$r_f = \left(\frac{\text{Valor medido para un tiempo promedio de la corriente en la frecuencia } f}{\text{Límite de corriente en la frecuencia } f} \right)^2$$

A continuación se muestran los límites de la corriente inducida y de contacto para trabajadores expuestos a RF y microondas:

1 Frequency (MHz)	2 Induced Current (rms) (mA) Through		3 Rms Contact Current (mA) Hand Grip and Through Each Foot	4 Averaging Time
	Both Feet	Each Foot		
	0.003–0.1	2000 f		
0.1–110	200	100	100	0.1 h (6 min)

Tabla 4. Límites de la corriente inducida y de contacto para trabajadores expuestos

Notas:

1. La frecuencia f está en MHz.

2. Los límites antes mencionados pueden no proteger adecuadamente contra reacciones de sobresalto y quemaduras causadas por las chispas de las descargas transitorias para el contacto ocasional con los objetos energizados.
- d) Para las frecuencias entre los 3 KHz y los 100 KHz, el tiempo promedio aplicable a las corrientes inducida y de contacto será de 1 segundo. Para las frecuencias entre los 100 KHz y los 110 MHz, el tiempo promedio se aplicará al cuadrado de las corrientes inducida y de contacto y será consistente con el tiempo promedio de la tabla 3 (0.1 h o 6 min), si el cuadrado del tiempo promedio de la corriente en cualquier periodo de 0.1 h (6 min) no excede el límite dado en la siguiente relación:

$$I_{av}^2 = I_{lm}^2 \frac{6}{T_{exp}}$$

donde I_{av} es la corriente máxima del tiempo promedio permitida para tiempos de exposición menores que 0.1 (6 min), I_{lm} es el límite de corriente a través de cada pie (100mA) como se especifica en la tabla 4, y T_{exp} es el tiempo de exposición en minutos durante un periodo cualquiera de 0.1 h (6min).

3.5.2.7. Límite máximo de la intensidad de campo para campos pulsantes

Para las exposiciones a campos electromagnéticos pulsantes en el intervalo de frecuencia de 0.1 a los 300 000 MHz, el valor pico del campo instantáneo (pico temporal), en términos de la intensidad de campo eléctrico, no excederá los 100 KV/m. Para una duración del pulso mejor a 100 ms, y en el intervalo de frecuencia anterior, los límites máximos serán derivados. Si los límites máximos derivados son mayores que 100 KV/m, entonces el límite de exposición será tomado como 100 KV/m.

3.5.2.8. Exposición de personas no clasificadas como trabajadores expuestos a RF y microondas (incluyendo el público en general)

Límites de la intensidad de campo

- A. No se expondrá a cualquier otra persona que no sea un trabajador expuesto a RF y microonda a la radiación electromagnética en la banda de frecuencia enumerada en la columna 1 de la tabla 5, si la intensidad de campo excede el valor dado en la columna de 2 o 3 de la tabla 5, cuando se promedie espacialmente y por un cierto tiempo, o si la intensidad de potencia excede el valor dado en la columna 4 de la tabla 5, cuando se promedie espacialmente y por un cierto tiempo.
- B. Donde la radiación electromagnética consista en un número de frecuencias en la misma o en diversas bandas de frecuencia mostradas en la columna 1 de la tabla 5, entonces el cociente del valor medido en cada frecuencia al límite de esa frecuencia

mostrado en la columna 2, 3 o 4 será determinado y la suma de todos los cocientes obtenidos para todas las frecuencias no deberá exceder la unidad cuando se promedie espacialmente y en un cierto tiempo.

Intervalo de Frecuencia (MHz)	E (V/m)	H (A/m)	Densidad de potencia (W/m ²)	Tiempo promedio (minutos)
0.003-1	280	2.19	-----	6
1-10	280/f	2.19/f	-----	6
10-30	28	2.19/f	-----	6
30-300	28	0.073	2*	6
300-1500	1.585f ^{0.5}	0.0042f ^{0.5}	f/150	6
1500-15 000	61.4	0.163	10	6
15 000-150 000	61.4	0.163	10	616 000/f ^{1.2}
150 000-300 000	0.158f ^{0.5}	4.21x10 ⁻⁴ f ^{0.5}	6.67x10 ⁻⁵	616 000/f ^{1.2}

Tabla 5. Límites de exposición para personas no clasificadas como trabajadores expuestos a RF y microondas (incluyendo público en general)

Notas:

- * El límite de densidad de potencia es aplicable a frecuencias mayores que 100 MHz
- 1) La frecuencia *f* esta en MHz
- 2) Una densidad de potencia de 10 W/m² es equivalente a 1mW/cm²
- 3) Una intensidad de campo de 1 A/m corresponde a 1.257 microtesla (μT) o 12.57 miligasuss (mG)

3.5.2.9. Límites de la corriente inducida y de contacto para personas no clasificadas como trabajadores expuestos a RF y microondas (incluyendo el público en general)

1 Frequency (MHz)	2 Rms Induced Current (mA) Through		3 Rms Contact Current (mA) Hand Grip and Through Each Foot	4 Averaging Time
	Both Feet	Each Foot		
	0.003-0.1	900 <i>f</i>		
0.1-110	90	45	45	0.1 h (6 min)

Tabla 6. Límites de la corriente inducida y de contacto para personas no clasificadas como trabajadores expuestos

3.5.2.10. Procedimientos de investigación para RF

El objetivo de una investigación es determinar si el dispositivo o la instalación cumplen con las normas recomendadas de desempeño y exposición del personal, y para evaluar el efecto de la localización del dispositivo con respecto a áreas controladas y no controladas en el ambiente. Las siguientes recomendaciones se hacen con respecto a investigaciones sobre RF:

- a) Las investigaciones de RF deben llevarse a cabo por personal competente.
- b) Antes de que comiencen la rutina de operación, realice una investigación de RF en todas las nuevas instalaciones capaces de producir niveles que excedan aquellos especificados en las tablas de límites de exposición.
- c) Realice una investigación después de realizar cualquier reparación, cuando haya incrementos en la potencia radiada o cambios en las condiciones de trabajo, cuando haya recubrimientos o barreras protectoras que incrementen los niveles, y para asegurar que los niveles no excedan los límites especificados en las tablas de límites de exposición.
- d) Realice una investigación cuando se presente un mal funcionamiento que pueda incrementar los niveles de campo y las corrientes inducidas o de contacto.
- e) Mientras se realice una investigación, guarde un registro completo de los parámetros de campo (intensidad de campo eléctrico, intensidad de campo magnético o densidad de potencia, corrientes inducidas en el cuerpo y corrientes de contacto) en cada sitio de trabajo para ayudar a hacer una evaluación realista de la conformidad.
- f) Los instrumentos de investigación serán seleccionados para combinar la fuente de RF y las condiciones de exposición tales como la frecuencia, el nivel de la intensidad de campo o de la densidad de potencia, el campo cercano o el campo lejano. Se recomienda seguir las técnicas de medición especificadas en el siguiente apartado. Alternativamente, pueden emplearse otras técnicas. Los instrumentos de investigación serán calibrados completamente por lo menos una vez cada tres años. Antes de realizar cualquier investigación, deberá comprobar su funcionamiento comparándolo con otro instrumento calibrado.

3.5.2.11. Procedimientos de medición y evaluación

Características básicas de los medidores de investigación

- ü Al medir campos en la región de campo cercano de una antena o en la cercana proximidad de un dispositivo, siempre que sea posible se medirán tanto el campo eléctrico como el campo magnético. Sin embargo, la instrumentación para la

medición de los campos magnéticos a ciertas frecuencias, puede no estar comercialmente disponible. En ese caso, se medirá la intensidad de campo eléctrico.

- Ü En la región de campo lejano, es suficiente medir cualquiera de los siguientes parámetros: intensidad de campo eléctrico, intensidad de campo magnético o la densidad de potencia.
- Ü Debe recordar que las mediciones de la densidad de potencia en la región de campo cercano no son muy significativas para la evaluación de los niveles de exposición.
- Ü Dado que en la mayoría de las investigaciones de RF no se conoce la orientación del vector del campo electromagnético, se optará por un medidor de investigación que tenga un elemento de detección isotrópico.
- Ü Si el único medidor disponible es uno que tiene un elemento detector de un solo eje, la medición del campo total puede realizarse empleando un arreglo de 3 orientaciones mutuamente perpendiculares del elemento detector y calculando el campo resultante por medio de las siguientes ecuaciones:

$$E = [E_1^2 + E_2^2 + E_3^2]^{1/2}$$

or

$$H = [H_1^2 + H_2^2 + H_3^2]^{1/2}$$

or

$$W = W_1 + W_2 + W_3,$$

3.6. Estados Unidos de Norteamérica/ Comisión Federal de Comunicaciones (FCC)

3.6.1. Antecedentes históricos de la FCC

La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, por sus siglas en inglés) es una agencia del gobierno de los Estados Unidos independiente y directamente responsable del congreso. La FCC fue establecida por la Ley de Comunicaciones de 1934 y está encargada de la regulación de las comunicaciones de radio, televisión, telegrafía, satelital y por cable a nivel interestatal e internacional.. La jurisdicción de la FCC cubre los 50 estados de EU, el distrito de Colombia, y todas las posesiones de EU.

La FCC está dirigida por 5 comisionados cada uno designados por el presidente y confirmados por el senado para un lapso de 5 años, excepto cuando se cubra un lapso no vencido. El presidente designa a uno de los comisionados para servir como presidente. Sólo tres comisionados pueden ser miembros del mismo partido político. Ninguno de ellos puede tener un interés financiero en cualquiera de los negocios que le ha sido asignado.

La FCC y otras agencias federales son obligadas a hacer públicas sus decisiones y explicar los fundamentos de las mismas. Estas decisiones están sujetas a revisión judicial y pueden ser revocadas por varias razones, por ejemplo, si son encontradas “arbitrarias y

caprichosas”. Las decisiones de la FCC son presentadas en forma de Informe y Decreto (R&O). El Informe y Decreto (R&O) detallan las decisiones y sus fundamentos. Los Avisos de Proyecto de Reglamentación (NPRM) e Informe y Decreto (R&O) son generalmente adoptados en reuniones abiertas de la Comisión

Además de regirse por la Ley de Comunicaciones, la FCC se rige también por la Ley de Procedimiento Administrativo y la Ley de Transparencia (Sunshine Act). Ambas leyes aplican a las agencias federales envueltas en la elaboración de políticas. Estos estatutos aseguran un alto grado de imparcialidad y transparencia en el proceso de toma de decisiones del gobierno.

La FCC posee seis departamentos operativos y diez oficinas que proveen servicios de apoyo. Los seis departamentos operativos reflejan una amplia división de las responsabilidades de la FCC. Ellos son los Departamentos de Servicios por Cable, Prestadores Corrientes, Conformidad e Información, Internacional, Medios Masivos y Telecomunicaciones Inalámbricas.

Departamento de Servicios por Cable (CSB)

El Departamento de Servicios por Cable tiene la responsabilidad de todos los temas relacionados con la industria de la televisión por cable y otros prestadores de programación multi-canal de vídeo. Es también responsable de las regulaciones que comprenden retransmisión obligatoria, consentimiento de retransmisión, servicio al cliente, estándares técnicos, cable a domicilio, consumidores electrónicos, compatibilidad de equipamientos, indecencia, arrendamiento de acceso, y provisiones de acceso de programas.

Departamento de Prestadores Corrientes (CCB)

Este departamento tiene bajo su responsabilidad las políticas concernientes a las compañías telefónicas que proveen servicios de telecomunicaciones al público a través del uso de las instalaciones de transmisión por cable. Estas compañías, llamados prestadores corrientes, proveen voz, datos y otros servicios de transmisión.

Departamento de Conformidad e Información (CIB)

El Departamento de Conformidad e Información, a través del personal de sus cuarteles generales y de sus varias oficinas de campo, informa al público acerca de las regulaciones de la FCC, prácticas y procedimientos, asegura la conformidad de aplicación según las reglas de la FCC; y utiliza su habilidad técnica para resolver los problemas que se presentan en el campo de las telecomunicaciones.

Departamento Internacional (IB)

El Departamento Internacional promueve que los servicios globales e internacionales de telecomunicaciones sean innovadores, eficientes, a precios razonables, ampliamente disponibles, confiables, oportunos y de alta calidad. El Departamento Internacional

desarrolla, recomienda y administra políticas y programas para la autorización y regulación de los servicios internacionales de telecomunicaciones y la autorización de licencias de sistemas satelitales nacionales e internacionales. El Departamento Internacional aconseja y hace recomendaciones a la Comisión, o actúa en nombre de la Comisión bajo la autoridad delegada por la misma en el desarrollo y administración de políticas y programas de telecomunicaciones internacionales. Asimismo, el Departamento Internacional desarrolla propuestas de la FCC ante la conferencia Mundial de Radiocomunicación (World Radiocommunication Conferences WRCs) y otras conferencias reuniones y asambleas multilaterales e internacionales.

Departamento de Medios Masivos (MMB)

Este departamento aconseja a la Comisión acerca de la política pertinente a la difusión – televisión y radio – como también de la Servicio de Distribución Multipuntual (Multipoint Distribution Service MDS) y Servicio Fijo de Televisión Educativa (ITFS). El departamento otorga licencias, lleva acabo funciones de política y reglamentación y administra la aplicación de los programas de todos los servicios de Medios Masivos de difusión.

Departamento de Telecomunicaciones Inalámbricas (WTB)

Este Departamento supervisa el uso del espectro de radio para cubrir los requerimientos de las cuestiones de telecomunicaciones de los negocios, del gobierno estatal y federal, de los prestadores de servicios de seguridad pública, de los operadores de aviación y navegación y de los individuos. Además de otorgar las licencias a los prestadores comerciales de servicios inalámbricos, el Departamento de Telecomunicaciones Inalámbricas monitorea a más de dos millones y medio de licenciatarios que utilizan radio privada por razones de conveniencia personal, para promover la seguridad de la vida y la propiedad, para incrementar la productividad comercial y para el avance de la ciencia de las telecomunicaciones.

La FCC posee dentro de su estructura, diez oficinas operativas que son responsables de las funciones administrativas, de extensión y otras varias funciones técnicas de la agencia.

Oficina de Jueces Administrativos

Esta oficina preside las audiencias y emite Decisiones Iniciales. La Comisión en pleno revisa dichas decisiones.

Oficina de Oportunidades de Negocios en Comunicaciones (OCBO)

La oficina de Oportunidades y Negocios es responsable de brindar consejo a la Comisión en temas y políticas concernientes a la contratación y oportunidad de propiedad de pequeñas empresa, minorías y emprendimientos de mujeres en negocios de comunicaciones. Esta oficina también aconseja a la Comisión en políticas de aliento de igualdad de oportunidades de empleo en la industria de telecomunicaciones para las

minorías, mujeres y personas con discapacidad. La oficina trabaja en conjunto con los empresarios, industria, organizaciones de interés público e individuos con el objeto de brindarles información acerca de las políticas de promoción de oportunidades de propiedad y empleo en la industria de las telecomunicaciones.

Oficina de Ingeniería y Tecnología (OET)

La Oficina de Ingeniería y Tecnología es responsable de la gestión del uso del espectro no gubernamental. Esta oficina (OET) hace recomendaciones a la Comisión sobre la manera en que el espectro de radio debe ser asignado y establece los estándares técnicos.

Oficina del Consejo General (OGC)

La Oficina del Consejo General actúa como consejero legal en jefe de la Comisión y sus departamentos y oficinas. El Consejo General también representa a la Comisión ante las Cortes Federales de Apelación; recomienda decisiones en temas de arbitrio ante la Comisión, asiste a la Comisión en su capacidad de toma de decisiones, y lleva a cabo una variedad de funciones legales concernientes a temas internos administrativos y asesora a la Comisión en la manera de alentar la competencia y promover la desregulación en un medio competitivo.

Oficina del Inspector General (OIG)

Esta oficina fue creada por la Ley de Enmiendas de la Inspección General del año 1998. El Inspector General conduce y supervisa auditorías e investigaciones relativas a los programas y operaciones de la agencia. La Oficina del Inspector General recomienda políticas para las actividades designadas con el objeto de promover la forma de economizar gastos y de lograr mayor eficiencia, como así también prevenir y detectar fraudes y abusos en los programas de la agencia. La Inspección General también provee medios para mantener plenamente informados al Presidente de la Comisión, Comisionados y al Congreso sobre problemas y deficiencias de la agencia. Los casos de mala administración de fondos, fraude, abuso o deficiencias en la gestión dentro de la agencia son informados a la Inspección General (OIG) por escrito o través del número gratuito telefónico de línea abierta.

Oficina de Asuntos Legislativos e Intergubernamentales (OLIA)

La Oficina de Asuntos Legislativos e Intergubernamentales actúa como el punto principal de contacto de la Comisión con el Congreso y otras entidades gubernamentales.

Oficina del Director de Gestión (OMD)

Bajo la supervisión y dirección del Presidente de la Comisión el Director de Gestión cumple funciones de jefatura operativa y ejecutiva de la FCC. El Director de Gestión otorga liderazgo de gestión, y ejerce la supervisión y dirección sobre los departamentos y personal de las oficinas en temas de manejo y administración; formula y administra todos los

programas de política y gestión y las instrucciones para la Comisión; asiste al Presidente en la tarea de llevar a cabo sus responsabilidades administrativas, asesora al Presidente, a los Comisionados y a la agencia en la gestión de temas relacionados con la administración; administra el sistema de gestión de la FCC, y dirige los esfuerzos de la agencia en mejorar la efectividad, eficiencia operacional y productividad del personal.

Oficina de Planificación y Política (OPP)

La Oficina de Planificación y Política actúa como el asesor principal de la Comisión en materia económica y técnica., analizando los puntos de la agenda y desarrollando políticas de largo plazo. Esta oficina también produce informes de trabajo en la mayoría de los temas de política de la Comisión.

Oficina de Asuntos Públicos (OPA)

La Oficina de Asuntos Públicos es la responsable de mantener informada a la prensa y al público en general acerca de las acciones llevadas a cabo por la FCC, facilitando la participación pública en el proceso de toma de decisiones de la Comisión y la administración de las bibliotecas y salas públicas de referencia de la FCC. Esta oficina (OPA), emite comunicados de prensa diariamente, publica avisos y otros tipos de materiales informativos; prepara el Informe Anual y otras publicaciones; y contesta pedidos de información telefónicos, escritos o presentados personalmente. La Oficina de Asuntos Públicos también mantiene actualizada la Pagina de Internet de la FCC.

Oficina de Diversidad en el Ámbito Laboral (OWD)

Esta oficina actúa como principal asesor del Presidente y la Comisión en todos los aspectos concernientes a la diversidad de las fuerzas laborales, reclutamiento afirmativo, igualdad de oportunidades de empleo y derechos civiles dentro de la Comisión. La oficina desarrolla, coordina, evalúa y recomienda a la Comisión políticas internas, prácticas y programas diseñados para alentar la diversidad de las fuerzas laborales y la promoción de la igualdad de oportunidades para todos los empleados y solicitantes de empleo.

3.6.2. Boletín 65. Evaluación de la complacencia con los lineamientos de la FCC para exposición de seres humanos a campos electromagnéticos de radiofrecuencia

3.6.2.1. Antecedentes

En 1985, la FCC adoptó por primera vez las directrices a utilizar para evaluar la exposición humana a emisiones de RF. La FCC revisó y actualizó las directrices el 1° de Agosto de 1996, como resultado de un procedimiento regulador iniciado en 1993. Las nuevas directrices incorporan límites para la Exposición máxima permisible (EMP) en términos del campo eléctrico y magnético y de la densidad de potencia para transmisores que operan en las frecuencias entre los 300 kHz y 100 GHz. Los límites se especifican también para

absorción localizada (“cuerpo parcial”) que se utiliza principalmente para evaluar la exposición debida a los dispositivos de transmisión tales como los teléfonos portátiles. La implementación para las nuevas directrices de dispositivos móviles y portátiles se hizo efectiva el 7 de Agosto de 1996.

3.6.2.2. Métodos de predicción.- Ecuaciones para predecir los campos de RF

Los cálculos se pueden llevar a cabo para predecir los niveles de la densidad de potencia y de la intensidad del campo de RF alrededor de fuentes típicas de RF. Por ejemplo, en el caso de una sola antena de radiación, una predicción para la densidad de potencia en el campo lejano de la antena se puede hacer por medio de las ecuaciones generales 1 y 2 que se presentan a continuación (para la conversión de campo eléctrico o magnético véase ecuación 3).

$$S = \frac{PG}{4\pi R^2} \quad \text{Ec. 1}$$

donde:

S= Densidad de potencia (en las unidades apropiadas, por ejemplo mW/cm²)

P= Potencia de entrada a la antena (en las unidades apropiadas, por ejemplo mW).

G= Ganancia de la antena en la dirección de interés con respecto a un radiador isotrópico.

R= Distancia al centro de radiación de la antena (en las unidades apropiadas, por ejemplo cm)

o

$$S = \frac{EIRP}{4\pi R^2} \quad \text{Ec. 2}$$

donde:

EIRP= Potencia efectiva (o equivalente) isotrópicamente radiada.

Es importante notar que el factor de la ganancia de potencia, en la Ec. 1, es normalmente una ganancia numérica. Por lo que cuando la ganancia sea expresada en términos logarítmicos, por ejemplo en dB, es necesario hacer una conversión utilizando la siguiente relación:

$$G = 10^{\frac{dB}{10}}$$

Estas ecuaciones por lo general son exactas en el campo lejano de una antena pero podrían sobreestimar la densidad de potencia en el campo cercano, donde podrían ser utilizadas para evaluar "el peor caso" o hacer una predicción conservadora.

3.6.2.3. Región de campo cercano

En la región de campo cercano, o región de Fresnel, del haz principal, la densidad de potencia puede alcanzar un máximo antes de que empiece a disminuir con la distancia. La magnitud del campo cercano puede ser descrita por la siguiente ecuación (D y λ están en las mismas unidades):

$$R_{cc} = \frac{D^2}{4\lambda} \quad \text{Ec. 3}$$

donde:

R_{cc} = Magnitud del campo cercano

D = Dimensión máxima de la antena (si es circular, el diámetro)

λ = Longitud de onda

3.6.2.4. Región de campo lejano

La densidad de potencia en el campo lejano o región de Fraunhofer del patrón de la antena disminuye inversamente con el cuadrado de la distancia. La densidad de potencia en la región de campo lejano del patrón de radiación puede calcularse mediante la ecuación general discutida anteriormente:

$$S_{cl} = \frac{PG}{4\pi R^2} \quad \text{Ec. 4}$$

donde:

S_{cl} = Densidad de potencia (sobre el eje)

P = Potencia suministrada a la antena

G = Ganancia de potencia de la antena en la dirección de interés con respecto a un radiador isotrópico

R = Distancia al punto de interés

En la región de campo lejano, la potencia se distribuye en una serie de máximos y mínimos en función del ángulo fuera del eje (definido por el eje de la antena, el centro de la antena y el punto específico de interés). Para una fase constante, o iluminación uniforme sobre la abertura, el haz principal será el lugar donde se detecte el mayor de estos máximos. La densidad de potencia sobre el eje calculada de las fórmulas arriba presentadas, representan los niveles de máxima exposición que puede producir el sistema. Las densidades de potencia fuera del eje serán considerablemente más bajas.

3.6.2.5. Modelos especiales de antenas

Se han desarrollado métodos de predicción para cierto tipo de antenas especializadas utilizadas en servicios de paging, radio celular y comunicaciones personales (PCS). En 1995, la FCC pidió a la compañía Richard Tell Associates, Inc. que realizara un estudio que incluyera una metodología desarrollada de predicción para los campos de RF en la proximidad a dichas antenas, principalmente aquellas que se localizaran sobre los techos de casas o edificios (véase referencias [29] y [22]). En este estudio se encontró que en distancias cercanas a estas antenas un modelo de la densidad de potencia basado en el inverso de la distancia era más exacto que las predicciones basadas en las ecuaciones típicas del campo lejano (Ecs. 1 y 2). Es decir, para obtener una aproximación más realista de la verdadera densidad de potencia en las cercanías de las antenas podría sustituirse el factor R por R^2 en dichas ecuaciones. La distancia sobre la cual se considera esta relación parece variar con el tipo de antena en estudio, pero según el estudio de Tell, puede aumentar varios metros.

3.6.2.6. Múltiples transmisores

En un sitio con múltiples transmisores deben tomarse en cuenta todas contribuciones significativas al ambiente de RF, no sólo aquellos asociados a una fuente específica. Cuando existan múltiples transmisores en un cierto sitio, será necesaria una recopilación de información técnica sobre estos para permitir un análisis completo del ambiente de RF.

Las reglas adoptadas por la FCC especifican que, en general, en sitios con múltiples transmisores es necesario tomar acciones para adecuar el área al cumplimiento de las directrices de la FCC; y esto es responsabilidad compartida de todos los titulares de permisos cuyos transmisores, en el área en cuestión, produzcan intensidades de campo o niveles de densidad de potencia que sobrepasen el 5% del límite de exposición (en términos de la densidad de potencia o del cuadrado de la intensidad de campo eléctrico o magnético) aplicable al transmisor en particular.

A continuación se presenta un ejemplo simple que ilustra una situación que involucra múltiples antenas. En el ejemplo de la figura 3 se desea determinar la densidad de potencia en un punto dado a X metros de la base de la torre donde están montadas dos antenas. Una antena es del tipo CMRS (Servicios Comerciales de Radio Móvil) con varios canales, y la otra es una antena transmisora de FM. Los parámetros del sistema que deben conocerse son la ERP (potencia efectiva radiada) para cada antena y las frecuencias de operación (para determinar que LEM aplica). Además deben conocerse las alturas H_1 y H_2 para cada antena sobre el nivel del suelo para poder calcular las distancias R_1 y R_2 desde las antenas hasta el punto de interés. El método a seguir es determinar las contribuciones de la densidad de potencia de cada antena en el punto de interés, así también las contribuciones porcentuales (comparadas con el LEM aplicable para cada frecuencia) se añaden simultáneamente para determinar si el lugar cumple con los límites de exposición aplicables. Si el lugar es accesible al público entonces se aplicarán los límites para público

en general (descritos en la Tabla 7). De otra forma, deberán emplearse los límites para exposición ocupacional controlada (descritos en la tabla 8).

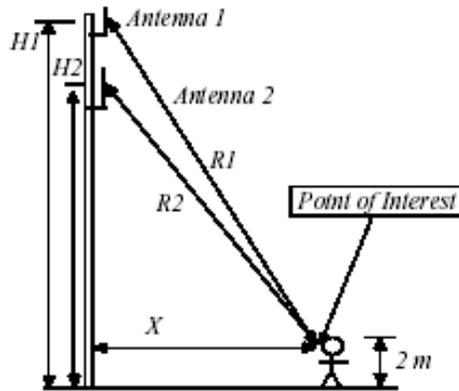


Fig. 3 Torre simple con diferentes tipos de antenas, exposición a nivel del suelo (a 2m).

Otro caso en el que pueden tenerse múltiples transmisores se presenta cuando se tienen múltiples torres de transmisión (véase Fig. 4). Entonces deberá emplearse, si es apropiado, el mismo proceso descrito anteriormente para determinar el cumplimiento de los límites. Deberán calcularse las distancias desde cada antena transmisora hasta el punto de interés, y también los niveles de RF debidos a las emisiones de cada una de las antenas transmisoras, utilizando el modelo más exacto. Los límites, porcentajes y porcentajes acumulados del límite deben entonces determinarse de la misma forma como se hizo para el caso de la figura 3.

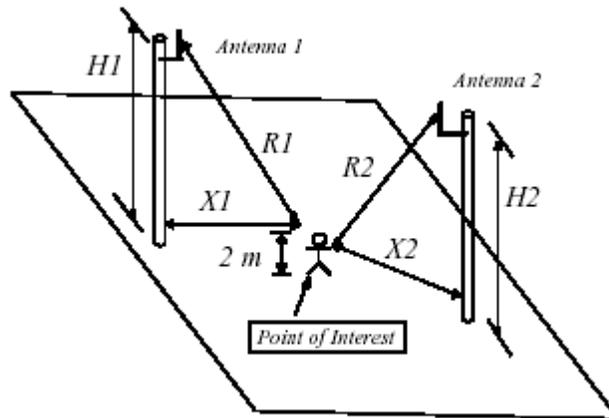


Fig. 4 Antenas montadas sobre múltiples torres que contribuyen al campo de RF en el punto de interés.

Finalmente, puede tenerse el caso de una sola antena que genera niveles significativos de RF en más de un tipo de locación. La Fig. 5 muestra esta situación, en donde son posibles las exposiciones de RF tanto en el techo de un edificio como a nivel del suelo. Pueden aplicarse las mismas consideraciones que ya se mencionaron anteriormente para predecir los niveles de RF en el punto de interés. Debe tenerse en cuenta que al involucrar

estructuras de casas o edificios, puede esperarse una atenuación de aproximadamente 10-20 dB dentro del edificio.

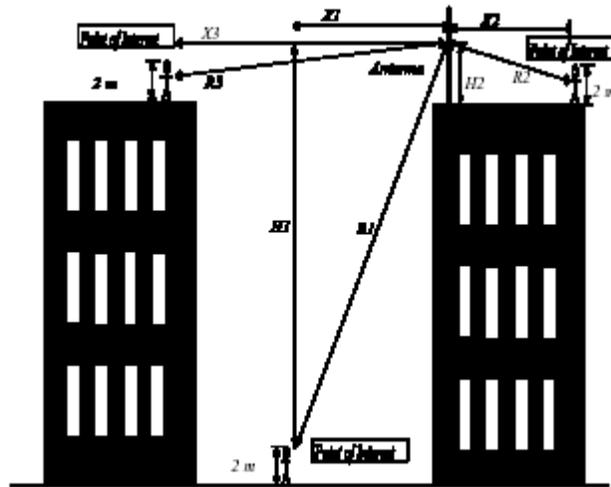


Fig. 5 Una sola antena, varios lugares de exposición.

3.6.2.7. Mediciones de campo

Antes de llevar a cabo las mediciones es importante caracterizar, tanto como sea posible, las situaciones de exposición. Se debe hacer una prueba para determinar:

1. La frecuencia y la máxima potencia de la(s) fuente(s) de RF en cuestión, así como también fuentes cercanas.
2. El factor de trabajo de las fuente(s) (si es que es aplicable).
3. Áreas que son accesibles a los trabajadores o al público en general.
4. La localización de cualquier superficie reflejante cercana u objetos conductores que pudieran producir regiones de intensificación de campo (puntos calientes).
5. Para fuentes pulsadas, tales como los radares, el ancho y la velocidad repetición del pulso y la velocidad de la antena exploradora.
6. Si es adecuado, la ganancia de la antena y los patrones de radiación verticales y horizontales.
7. El tipo de modulación de la(s) fuente(s).
8. Polarización de la(s) antena(s).
9. Si deben hacerse mediciones en el campo cercano, en cercana proximidad a una fuente de fuga, o bajo condiciones de onda plana. El tipo de medición necesaria

puede afectar el tipo de punta de prueba de investigación, las condiciones de calibración y las técnicas utilizadas.

Si es posible, se deben estimar los niveles de campo máximos para facilitar la selección de un instrumento de investigación apropiado. Debido a que el cuerpo absorbe más energía del campo eléctrico y es potencialmente más peligroso, para propósitos de seguridad, el campo eléctrico (o la densidad de potencia equivalente del campo lejano derivada del campo eléctrico) debe medirse primero. En muchos casos puede ser mejor utilizar en principio un instrumento de banda ancha capaz de medir exactamente el campo total de todas las fuentes en todas las direcciones. Si el campo total no excede la directriz referente a la exposición en áreas accesibles, y si la técnica de medición empleada es suficientemente exacta, tal determinación constituiría una demostración del cumplimiento con esa directriz en particular, y otras mediciones serían innecesarias.

Si se utiliza instrumentación de banda angosta y una antena lineal, entonces se deben obtener en cada punto de la medición, las intensidades de campo en tres orientaciones de la antena mutuamente ortogonales. Los valores $|E^2|$ o $|H^2|$ serán entonces iguales a la suma de los cuadrados de las correspondientes componentes ortogonales del campo.

Al realizar mediciones, deben seguirse los procedimientos que reduzcan al mínimo las posibles fuentes de error. Por ejemplo, cuando se conoce la polarización de un campo, todos los cables asociados con el instrumento de investigación deben sostenerse perpendiculares al campo eléctrico para reducir al mínimo la dispersión. Idealmente, deberá utilizarse cable no conductor, por ejemplo, la fibra óptica, ya que de esta forma podría evitarse introducir un error sustancial al manipular el cable.

3.6.2.8. Límites para Exposición Máxima Permisible (MPE)

Ambiente ocupacional / no controlado (público en general)

Las exposiciones se aplican en situaciones en las cuales el público en general puede ser expuesto, o en personas que se exponen como consecuencia de ejercer su trabajo, y no están debidamente enteradas de la exposición a las que están sometidas, no pudiendo ejercer control a la exposición.

Intervalo de Frecuencia (MHz)	E (V/m)	H (A/m)	Densidad de Potencia (mW/cm ²)	Tiempo Promedio $ E ^2$, $ H ^2$ o S (minutos)
0.3-1.34	614	1.63	(100)	30
1.34-30	824/f	2.19/f	(180/f ²)	30
30-300	27.5	0.073	0.2	30
300-1500	-----	-----	f/1500	30
1500-100 000	-----	-----	1.0	30

Tabla 7. Límites para exposición poblacional general / no controlada

Nota: f está en MHz.

Ambiente ocupacional / controlado

Los límites se aplican en situaciones en la cual las personas están expuestas como consecuencia de su empleo. Los límites de exposición ocupacional/controlada también se aplican en situaciones cuando un individuo es transitorio en un lugar.

Intervalo de Frecuencia (MHz)	E (V/m)	H (A/m)	Densidad de Potencia (mW/cm ²)	Tiempo Promedio E ² , H ² o S (minutos)
0.3-3.0	614	1.63	(100)	6
3.0-30	1842/f	4.89/f	(900/f ²)	6
30-300	61.4	0.163	1.0	6
300-1500	-----	-----	f/300	6
1500-100 000	-----	-----	5	6

Tabla 8. Límites para Exposición Ocupacional / Controlada

Nota: f está en MHz.

3.7. México/ Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL)

3.7.1. Antecedentes Históricos de la COFETEL

La Comisión es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), con autonomía técnica y operativa, el cual tendrá las atribuciones que le confiere el Decreto de Creación y el Reglamento Interior de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, con el objeto de regular y promover el desarrollo eficiente de las telecomunicaciones. (Artículo 3 del reglamento interno de la COFETEL).

Para el desempeño de sus atribuciones y el despacho de los asuntos que le competen, la Comisión Federal de Telecomunicaciones contará con:

- I. El Pleno;
- II. La Presidencia;
- III. Las Áreas Generales:
 - a) De Asuntos Jurídicos;
 - b) De Planeación y Análisis Económico, y

c) De Ingeniería y Tecnología.

IV. Las Coordinaciones Generales:

- a) Ejecutiva;
- b) de Asuntos Internacionales, y
- c) de Servicios de Telecomunicaciones.

V. Las Coordinaciones:

- a) De Comunicación Social;
- b) de Administración, y
- c) de Asesores.

VI. Las Direcciones Generales de:

- a) Asuntos Contenciosos;
- b) Consulta Jurídica y Normatividad;
- c) Aspectos Regulatorios e Instrumentación Legal;
- d) Tarifas e Integración Estadística;
- e) Estudios Económicos y Regulatorios;
- f) Análisis Financiero;
- g) Estudios Técnicos, Investigación y Desarrollo;
- h) Planes Fundamentales de Telecomunicaciones;
- i) Ingeniería y Homologación;
- j) Planeación y Administración del Espectro;
- k) Ejecutiva;
- l) Licitaciones del Espectro Radioeléctrico;
- m) Inspección, Verificación y Radiomonitorio;
- n) Recaudación y Coordinación Regional;
- o) Cooperación Internacional;

- p) Organismos de Regulación Internacional;
- q) Comunicación Vía Satélite;
- r) Televisión y Audio Restringidos;
- s) Servicio Local y Radiocomunicación, y
- t) Larga Distancia y Valor Agregado.

VII. La Contraloría Interna;

VIII. El Secretario Técnico del Pleno, y

IX. Las demás unidades y personal técnico y administrativo que autorice el *Presidente*, de acuerdo con el presupuesto autorizado y sujeto a las normas y lineamientos que la Secretaría de Hacienda y Crédito Público establezca para las unidades de gasto autónomo. (Artículo 6 del reglamento interno de la COFETEL).

3.7.2. NOM-126-SCTI-1995 referente a los límites de exposición máxima de seres humanos a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (100KHz a 300 GHz).

3.7.2.1. Objetivo

Establecer los límites de exposición para evitar efectos nocivos en seres humanos expuestos a campos electromagnéticos en el intervalo de radiofrecuencia de 100 kHz a 300 GHz. No cubre la radiación infrarroja, la ultravioleta, o la visible.

Los límites especificados en esta norma deben ser usados como base para la planificación y establecimiento de medidas de seguridad.

3.7.2.2. Límites de exposición máxima (LEM) para exposición ocupacional

Los LEM para exposición ocupacional en radiofrecuencia de 100 kHz a 300 GHz en términos del valor RCM (raíz cuadrático medio) para la intensidad del campo eléctrico (E), magnético (H), la densidad de potencia (S) en el espacio libre de la onda plana equivalente, se muestran en la tabla 1, como función de la frecuencia, pudiendo estar arriba de los mostrados en la tabla 3, pero sin exceder los mostrados en la tabla 1.

Intervalo de Frecuencia (MHz)	E (V/m)	H (A/m)	Densidad de potencia (W/m ²)
0.1-1.0	600.0	4.9	-----
1.0-10.0	600/f	4.9/f	-----
10.0-30.0	60.0	4.9/f	-----
30.0-100.0	60.0	4.9/f	-----
100.0-1500.0	3.46f ^{1/2}	0.0093f ^{1/2}	1.0
1500 -300000	140.0	0.36	5.0

Nota: f= Frecuencia en MHz.

3.7.2.3. LEM para exposición No-ocupacional

Los LEM para exposición no-ocupacional en radiofrecuencia de 100 kHz a 300 GHz, en términos del valor RCM de la intensidad de campo magnético (H), eléctrico (E), y la densidad de potencia en el espacio libre de la onda plana equivalente (S), no deben exceder los mostrados en la tabla 3.

Intervalo de Frecuencia (MHz)	E (V/m)	H (A/m)	Densidad de potencia (W/m ²)
0.1-1.0	280.0	2.19	-----
1.0-10.0	280/f	2.19/f	-----
10.0-30.0	28.0	2.19/f	-----
30.0-100.0	28.0	0.073	0.2
100.0-1500.0	1.616f ^{1/2}	0.004f ^{1/2}	f/150
1500 -300000	62.0	0.16	1.0

Nota: f= Frecuencia en MHz.

3.7.2.4. Métodos de prueba

En este capítulo se especifican los métodos de prueba sólo para corrientes de contacto y/o inducida y se dan algunos lineamientos generales para campos electromagnéticos.

- § Las corrientes deben medirse con instrumentos que tengan tiempos promediados no mayores a 1 segundo.
- § Las corrientes inducidas al cuerpo deben medirse mediante el flujo de corriente hacia tierra a través de los pies del individuo.

- § Las corrientes de contacto deben medirse mediante la determinación de las corrientes de R.F. a través de la mano en contacto con una superficie no aterrizada.
- § Puede requerirse el empleo, de instrumentación capaz de simular la impedancia del cuerpo humano a la frecuencia de medición, con el fin de evaluar la corriente máxima esperada que pudiera fluir si una persona entrara en contacto con un objeto energizado.
- § Generalmente, para frecuencias menores a los 300 MHz, debe determinarse la intensidad de los campos eléctrico y magnético. Para frecuencias iguales o menores a 30 MHz, esto sólo se puede realizar mediante mediciones independientes. Para frecuencias entre los 30 y los 300 MHz, es posible, mediante su análisis, mostrar la medición de uno solo de los campos, para determinar el cumplimiento con el LEM. Para frecuencias arriba de los 300 MHz solamente se medirá la componente del campo requerida, generalmente campo eléctrico.
- § Para determinaciones prácticas de cumplimiento de la norma es suficiente tomar el promedio de una serie de diez mediciones de la intensidad de campo, realizadas sobre puntos de una línea vertical con espaciamiento uniforme, empezando a nivel del suelo hasta una altura de 2m. Esto significa realizar mediciones cada 20 cm a partir del suelo. Más detalles sobre la distribución espacial de los campos pueden obtenerse a partir de datos adicionales sobre la intensidad de campo, usando, por ejemplo un equipo de registro automático de datos o un promediador espacial, para trabajar con espaciamientos menores a 20 cm.

Notas:

- a) Los LEM's se refiere a valores de exposición en términos de intensidad de campo eléctrico y magnético, obtenidos por promedios espaciales sobre un área equivalente a la sección de corte vertical del cuerpo humano (área proyectada).
- b) Los LEM's se refieren a valores promedio en un período de 6 minutos para frecuencias hasta 300 GHz.
- c) Para exposiciones de campo-cercano a frecuencias menores que 300 MHz, los LEM aplicables están en términos de valor RCM de la intensidad del campo magnético y eléctrico. Por conveniencia a frecuencias mayores que 30 MHz, los LEM pueden ser expresados como la densidad de potencia de la onda plana equivalente (S).
- d) Para campos mezclados a de banda ancha en frecuencias para las cuales hay diferentes valores de LEM, la fracción del LEM (en términos de E^2 , H^2 o densidad de potencia (S), incluida dentro de cada intervalo de frecuencia; debe ser determinada y la suma de todas las fracciones no debe exceder la unidad.

- e) Para exposiciones a campos pulsados de radiofrecuencia en el intervalo de 100 kHz a 300 GHz, el valor pico (temporal) del LEM, en términos del campo E, es 100 kV/m.

3.8. Comentarios Finales

Desde la aparición de los aparatos celulares, en la década de los 80's, los organismos internacionales se dieron a la tarea de trabajar en la elaboración de una regulación específica sobre la exposición a los campos electromagnéticos. Instituciones tan importantes como la Comisión Internacional para la Protección de la Radiación No Ionizante (ICNIRP) junto con la organización mundial de la salud (OMS) han determinado valores límite que son los que actualmente han sido adoptados por la mayoría de los países que se han dado a la tarea de regular este tema.

Las referencias técnico-normativa que se ha presentado hasta ahora en este capítulo se consideran entre las más importantes del mundo y pueden brindarnos una base muy sólida para ampliar o mejorar los estudios normativos referente a los límites de exposición máximos a campos de RF realizados hasta la fecha en México.

La experiencia internacional y la posible afectación a la vida humana, debido a los campos electromagnéticos de RF, nos impone darnos a la tarea de investigar, desarrollar y establecer una Norma Oficial Mexicana que contenga los elementos necesarios que nos permitan garantizar la calidad de los servicios de telefonía celular sin tener que sacrificar la salud humana.

CAPITULO IV - Desarrollo del Anteproyecto de norma oficial mexicana sobre límites de exposición máxima para seres humanos a campos electromagnéticos de RF

4.1. Introducción

En forma amplia, la normalización tiene un papel primordial en los diferentes aspectos del desarrollo económico, social y cultural de toda población usuaria de productos y servicios que resultan de la aplicación de las tecnologías.

Se puede afirmar que, publicar e implantar una norma, equivale a establecer y operar un pacto plasmado en un documento técnico, mediante el cual los fabricantes, los distribuidores, los usuarios o consumidores y la Administración Pública, acuerdan las características que deberán reunir los productos o servicios involucrados. Luego entonces, el grado de facilidad para lograr dicho pacto, esto es, para normalizar, dependerá de qué tan rápido se puedan armonizar los intereses de los que producen con los de los que consumen y, a final de cuentas, con los intereses de la sociedad en la que están inmersos.

Hasta este punto hemos visto como los organismos internacionales han logrado llevar a cabo esta tarea. Analizando el tema de la radiación electromagnética de RF, la experiencia internacional nos ha mostrado que, a pesar de no se cuentan todavía con bases firmes sobre los efectos biológicos en los seres humanos, es posible normalizar hasta cierto punto los límites de exposición a campos de RF. La idea de establecer límites de exposición viene del sentido de *prevenir* oportunamente cualquier afectación en el ser humano, por mínima que esta pudiera resultar, a fin de garantizar el bienestar de todos los individuos.

Por otra parte, en este capítulo será de gran importancia definir la diferencia que existe entre las Normas Mexicanas (NMX) y las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), de tal forma que podamos reconocer que en las NOM's existen *objetivos legítimos*, los cuales por su definición y alcance, resultan de vital importancia. Podríamos definir a los objetivos legítimos como aquellos imperativos de la seguridad nacional, la seguridad y la protección de la vida y la salud humana, animal y vegetal y del medio ambiente, y a la prevención de prácticas que puedan inducir a error a los consumidores, incluyendo asuntos relativos a la identificación de bienes. Se deben considerar entre otros aspectos, cuando corresponda, factores fundamentales de tipo climático, geográfico, tecnológico, de infraestructura o justificación científica. Por ello, establecer límites de exposición a los campos de RF, responde a una necesidad de los objetivos legítimos que es, la seguridad y la protección de la salud humana.

El desarrollo de este anteproyecto de NOM será realizado de acuerdo a lineamientos establecidos en la Guía para la Redacción, Estructuración y Presentación de la Normas Oficiales Mexicanas, NOM-Z-13 de 1977.

4.2. Norma Mexicana NMX

Es aquella que elabore un organismo nacional de normalización, o la Secretaría, en los términos de esta Ley, que prevé para un uso común y repetido reglas, especificaciones, atributos, métodos de prueba, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado.

Las normas mexicanas son de aplicación voluntaria, salvo cuando en los casos en los que los particulares manifiesten que sus productos, procesos o servicios son conformes con las mismas y sin perjuicio de que las dependencias requieran en una norma oficial mexicana su observancia para fines determinados. Su campo de aplicación puede ser nacional, regional o local.

4.3. Norma Oficial Mexicana NOM

Se define como la regulación técnica de observancia obligatoria expedida por las dependencias competentes, conforme a las finalidades establecidas en el artículo 40, que establece reglas, especificaciones, atributos, métodos de prueba, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado y las que se refieran a su cumplimiento o aplicación.

De acuerdo a lo establecido en el Art. 40 Fracc. III de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, las normas oficiales mexicanas tienen como finalidad establecer las características y/o especificaciones que deban reunir los servicios cuando estos *puedan* constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana, animal, vegetal o el medio ambiente en general y laboral o cuando se trate de la prestación de servicios de forma generalizada para el consumidor.

4.4. Estructura de una NOM haciendo referencia a la "Guía para la Redacción, Estructuración y Presentación de las Normas Oficiales Mexicanas " (NOM-Z-13)

Esta guía establece una serie de reglas que deben cumplirse en la redacción, estructuración y presentación de Anteproyectos, Proyectos y Normas Oficiales Mexicanas. Los organismos encargados de la elaboración de los Anteproyectos, Proyectos y Normas, deben aplicar estas reglas desde la primera etapa de preparación hasta su edición.

Es el propósito de la Dirección General de Normas que esta Guía para la redacción, estructuración y presentación de las normas oficiales mexicanas, facilite y agilice en gran medida, el desarrollo de la normalización nacional; por tanto, todas aquellas instituciones, organismos, empresas, técnicos y partes interesadas en normalizar materias primas,

materiales, partes, productos terminados, etc., deben presentar a la Dirección General de Normas, bajo esta estructura, los proyectos de normas para su oficialización.

A continuación se presenta de forma esquemática la estructura general de una Norma Oficial Mexicana:

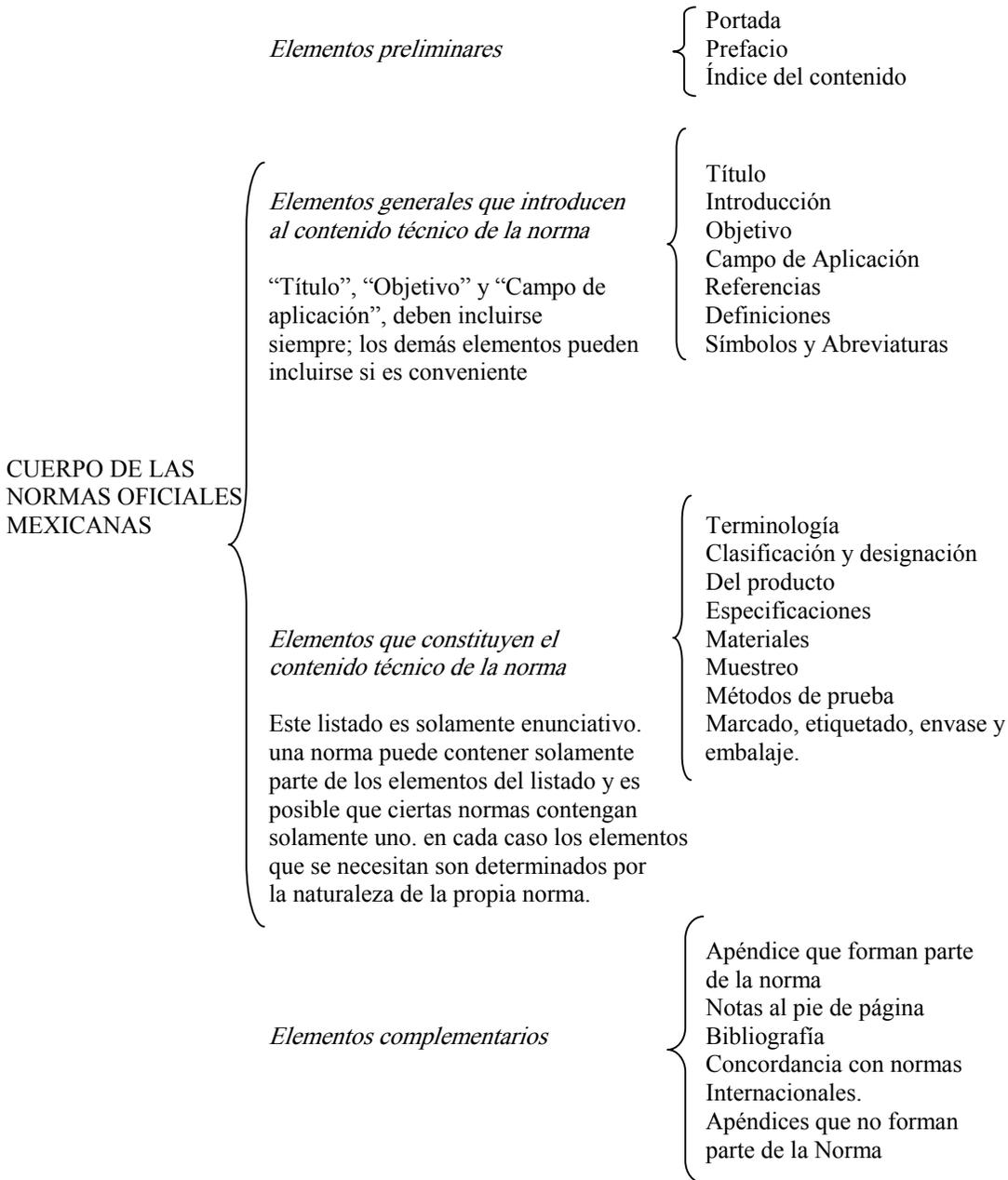


Diagrama 1. Estructura general de una NOM.

4.4.1. Descripción de los elementos generales de la norma

La redacción del **título** debe establecerse con gran cuidado y ser lo más concisa posible. No debe presentar ambigüedad y debe indicar específicamente el tema de la norma, evitando posibles confusiones con normas ya existentes o proporcionar detalles innecesarios. Cualquier aspecto adicional particular que se considere necesario, puede incluirse bajo los encabezados "Objetivo" y/o "Campo de Aplicación".

La **introducción** es un elemento opcional orientado a especificar el propósito que se desea obtener mediante la normalización considerada o a dar cualquier información que se requiera para el entendimiento de la norma.

El **objetivo** debe ser incluido al principio de cada norma para definir sin ambigüedad el tema y el propósito del documento, aún si el tema aparece claramente indicado en el título. Este elemento sirve también para complementar o ampliar la información dada por el título. No debe ser usado para señalar especificaciones.

El **campo de aplicación** debe ser incluido y su propósito es establecer los límites de aplicabilidad de la norma o partes de la misma. En algunos casos es conveniente combinar el "Campo de Aplicación" con el "Objetivo", bajo el título general "Objetivo y Campo de Aplicación".

Las **referencias** proporcionar una relación completa de otras Normas Oficiales Mexicanas que sea indispensable consultar para la aplicación de la norma. La relación no debe incluir documentos que se hayan utilizado exclusivamente como fuente bibliográfica de referencia en la preparación de la norma; estas fuentes deben aparecer al final de la norma bajo el título "Bibliografía" Capítulo 6 de esta Norma.

Las **definiciones, símbolos y abreviaturas** son elementos opcionales cuyo objetivo es brindar las definiciones necesarias para el entendimiento de la norma así como una relación de símbolos y abreviaturas utilizadas en la norma.

4.4.2. Descripción de los elementos que constituyen el contenido técnico de la norma

En la **terminología** debe describirse una relación por orden alfabético de términos empleados en el texto de la norma y que no hayan sido previamente incluidos en la correspondiente Norma Oficial Mexicana de terminología. Cada término de esta relación debe ser acompañado por su correspondiente definición.

Este elemento debe distinguirse del elemento *definiciones*, el cual da las definiciones necesarias sólo para el entendimiento de la norma que las contiene y generalmente se refiere a términos que tengan una acepción específica en la norma.

En la preparación de las normas referidas a terminología normalizada, se deben tomar en cuenta los avances obtenidos en la terminología básica oficial.

El elemento **especificaciones** establece:

- a) todas las especificaciones nominales requeridas para el producto cubierto por la norma, que pueden ser: formas geométricas y dimensiones, requisitos de seguridad y otros;
- b) Los valores límites o tolerancias de estas especificaciones;
- c) Los métodos de prueba (véase 3.3.6) para determinar o verificar los valores de estas especificaciones.

Deben incluirse los dibujos necesarios para aclarar el texto, especialmente en aquellas normas que se refieran a productos o elementos de difícil comprensión.

El **muestreo** especifica las condiciones y criterios de muestreo, así como los métodos para el tratamiento de las muestras. Puede ser situado al principio de los métodos de prueba, si así se considera conveniente.

Los **métodos de prueba** deben dar las instrucciones relativas al procedimiento normalizado que debe seguirse para determinar los valores de las especificaciones o para comprobar el cumplimiento de los requisitos establecidos, de tal forma que garantice la reproducibilidad de los resultados.

Las instrucciones relativas a los métodos de prueba deben subdividirse de la siguiente manera:

- a) Principio, resúmenes o fundamento
- b) Reactivos y materiales
- c) Aparatos y/o instrumentos especificando su precisión
- d) Preparación y conservación de las muestras o probetas
- e) Procedimiento
- f) Expresión de los resultados, incluyendo el método de cálculo y la precisión del método de prueba
- g) Informe de la prueba

De ser posible por su concisión y brevedad, el método de prueba debe incluirse en el contenido técnico de la norma. Si el método requiere un gran número de páginas debe ser presentado en un apéndice de la misma norma.

Cuando exista o resulte posible establecer un método de prueba común para diferentes materias primas, materiales o productos, es conveniente hacer referencia al mismo o elaborar una norma por separado a la cual se hará referencia en la norma en cuestión.

En lo referente al **marcado, etiquetado, envase y embalaje**, estos definen la forma en que deben hacerse las marcas e identificaciones que sean necesarias en un producto, incluyendo en los datos las disposiciones exigidas por las leyes y reglamentos en vigor, así también especifica los datos necesarios para la correcta utilización del material o producto e incluye las condiciones correspondientes a los símbolos para manejo, transporte, y uso de acuerdo con las leyes, reglamentos y disposiciones oficiales vigentes.

4.4.3. Descripción de los elementos complementarios

Los **apéndices** pueden ser:

- a) partes integrales del cuerpo de la norma, las cuales por conveniencia, se colocan después del texto principal o,
- b) elementos que proporcionan información adicional, colocados después del texto de la norma y de la cual no forman parte integral.

Ya sea que el apéndice corresponda a la categoría a ó b, debe ser claramente redactado y correctamente colocado en el documento; si es necesario, debe darse una explicación amplia en el prefacio.

Las **notas al pie de página** proporcionan información adicional sin que sean parte integral del cuerpo de la norma y se colocarán al pie de la página, donde se encuentre el párrafo que debe aclararse.

La **concordancia con normas internacionales** establece la concordancia de la Norma con otra u otras Normas Internacionales, como por ejemplo: ISO, IEC, CODEX ALIMENTARIUS y otros organismos cuyas normas sean de reconocimiento internacional.

Cuando la concordancia sea total se debe indicar: "Esta norma coincide totalmente con la Norma Internacional...".

Cuando la concordancia sea parcial, se debe indicar: "Esta norma coincide básicamente con la Norma Internacional... y difiere en los siguientes puntos...", se debe indicar claramente y en forma sucinta los puntos de discrepancia y la razón y fundamentos técnicos que motivan tales discrepancias.

Cuando no exista concordancia con ninguna norma internacional, debe indicarse:

"Esta norma no coincide con ninguna Norma Internacional", indicándose además el por qué no existe dicha concordancia, por ejemplo:

- a) por no existir Norma Internacional sobre el tema tratado o;

b) cuando exista Norma Internacional sobre el tema tratado, no es posible concordar con el concepto internacional por razones particulares del país.

En la **bibliografía** deben indicarse las fuentes bibliográficas que han sido consultadas para el establecimiento de los fundamentos de la norma, considerando en primer término las normas básicas nacionales y las normas internacionales relacionadas;

4.4.4. Propuesta de Anteproyecto de NOM sobre los límites de exposición máxima para seres humanos a campos electromagnéticos de RF.

A fin de poder cumplir plenamente lo establecido en la NOM-Z-13 sobre la presentación y estructuración de las Normas Oficiales Mexicanas, este anteproyecto de NOM da inicio en la siguiente página, así mismo deberá tenerse en cuenta que, la numeración (incluidas las de tablas y figuras) y especificaciones a las que se hace referencia dentro del contenido de la misma, no forman parte de la numeración original de esta tesis.

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

Anteproyecto de NOM-SCT-XXX-2003, límites de exposición máxima para seres humanos a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia en los intervalos de frecuencia de 800 MHz a 900 MHz y de 1.8 GHz a 1.9GHz).

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Comisión Federal de Telecomunicaciones

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes, por conducto de la Comisión Federal de Telecomunicaciones, con fundamento en los artículos 36 fracción XII de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; artículos 1, 3 y 4 de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo; 7 fracción III de la Ley Federal de Telecomunicaciones; 1o., 38 fracción II y 40 fracciones III, VII, XI, XIII y XVI de la Ley federal sobre Metrología y Normalización; Reglamento Interior de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, artículo 38 bis fracción I; Decreto por el que se crea la Comisión federal de Telecomunicaciones, artículo segundo fracción I y Reglamento Interno de la Comisión Federal de Telecomunicaciones, artículos 15 fracción II y 22 inciso A fracción II.

ÍNDICE

0. Introducción

1. Objetivo y campo de aplicación

2. Referencias

3. Definiciones, símbolos y abreviaturas

4. Especificaciones

5. Métodos de prueba

5.1. Instrumentos de medición para mediciones de campos externos

5.2. Características eléctricas deseables en el desempeño de los instrumentos

5.3. Calibración de instrumentos de medición de campos externos

5.4. Medición de campos electromagnéticos (CEM) expuestos potencialmente peligrosos

6. Concordancia con normas internacionales

7. Bibliografía

Apéndices informativos

0. Introducción

La elaboración de este anteproyecto se ha llevado a cabo en respuesta a la creciente necesidad de contar con un instrumento regulador de vigencia legal y cobertura nacional, que proteja al trabajador, usuario y público en general que estando en la cercanía de fuentes pueda estar expuesto a radiaciones de radiofrecuencia (RF). Esa necesidad es consecuencia del uso extensivo y cada vez mas extendido de equipos, sistemas y otras fuentes emisoras de campos de RF, lo cual a su vez, es producto de la apertura económica y comercial que nuestro país ha tenido en los últimos años y del desarrollo acelerado de la tecnología que impacta prácticamente todos los aspecto de la vida moderna.

Al aumentar el empleo de quipos o sistemas de RF y el de los niveles de la radiación en el ambiente, aumentan también los riesgos de los efectos nocivos sobre personas expuestas a la radiación en circunstancias particulares. La difusión de efectos nocivos o accidentes aislados pueden generar temor justificado de la población, pero en algunos casos estos pueden llegara ser excesivos.

Este anteproyecto toma como base documentos oficiales publicados por entidades reconocidas internacionalmente como son: la Organización Mundial de la Salud (OMS), la International Radiation Protection Association (IRPA), la ANSI, la IEEE, entre otras. Y hace referencia a la exigencia del Art. 40 fracción III del la Ley Federal de Metrología y Normalización que indica que la finalidad de una norma oficial mexicana es establecer las características y/o especificaciones que deban reunir los servicios cuando estos puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana, animal, vegetal o el medio ambiente general y laboral.

Como se sabe, hasta el momento no se ha comprobado que exista un efecto nocivo de la radiación producida por las antenas de telefonía celular sobre el ser humano, sin embargo tampoco se ha podido garantizar lo contrario, por tal motivo deben tomarse medidas de seguridad preventivas que garanticen la seguridad de las personas y otros seres vivos.

Actualmente la normatividad en el ámbito internacional ha sido asumida por los entes reguladores de las telecomunicaciones en las naciones mas desarrollas y también en las naciones en vías de desarrollo como es el caso de México.

Como primer punto de trabajo, se ha recolectado información de diversos organismos, lo cual ha permitido conocer y evaluar un conjunto de normas para los límites de máximos admisibles para las radiaciones *No Ionizantes* utilizadas a nivel internacional, entre las cuales destacan por su fundamental contenido y difusión. las siguientes instituciones:

- UIT Organización Internacional de Telecomunicaciones que a través de un Comité de Trabajo apoya el proyecto Internacional de Campos Electromagnéticos de la Organización Mundial de la Salud.
- FCC Comisión Federal de Telecomunicaciones de los Estados Unidos.

- **ETSI** Instituto de Estandarización de Telecomunicaciones de la Comunidad Europea.
- **MPT** Ministerio de Correos y Telecomunicaciones del Japón.

Así mismo en el ámbito mundial existen organismos del sector salud y otros sectores que vienen realizando estudios epidemiológicos y biológicos sobre los efectos de la radiación en el ser humano, entre los cuales se encuentran:

- **OMS** Organización Mundial de la Salud, con sede en Suiza.
- **IARC** Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (International Agency for Research on Cancer, en Francia).
- **NIOSH** Instituto Nacional de Salud Ocupacional de los Estados Unidos, Oficina de Efectos de Agentes Físicos.
- **ICNIRP** Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones no Ionizantes.

1. Objetivo y campo de aplicación

El objetivo de este anteproyecto de NOM es el de establecer los límites de exposición máxima para seres humanos a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia emitidos por las radiobases de telefonía celular y PCS en México. Este anteproyecto contiene las especificaciones que deben cumplirse para exposición ocupacional y no ocupacional de seres humanos que se encuentran expuestos a campos de radiofrecuencia en el intervalo de 800 MHz a 900 MHz con tecnología Celular y de 1,8 GHz a 1,9 GHz en el caso de Servicio de Comunicación Personal (PCS).

Este anteproyecto es aplicable a todo el equipo de Radiofrecuencia (RF), que forme parte de una radio base, compuesto por antenas y sistemas de filtros que son los responsables de la interface de radio entre el suscriptor y la radiobase en si.

Esta norma es aplicable también a cualquier área de riesgo en donde el ser humano pueda estar expuesto a campos electromagnéticos de radiofrecuencia, como es el caso de operadores de estaciones de RF, y público en general, incluyendo:

- a) Exposiciones parciales o de todo el cuerpo.
- b) Exposición ocupacional, así como también la exposición no ocupacional (público en general).

2. Referencias

Para la correcta aplicación de esta Norma debe consultar siguiente Norma Oficial Mexicana vigente:

NOM-008-SCFI Sistema General de Unidades de Medida.

3. Definiciones

- 3.1. **Antena.** Dispositivo para radiar o recibir energía de radio frecuencia (RF).
- 3.2. **Campo magnético.** Es la región del espacio circundante a una carga movible (p. Ej. en un conductor) definido en cualquier punto por la fuerza que experimentará otra carga movible hipotética. Un campo magnético ejerce una fuerza en partículas cargadas sólo si éstas están en movimiento, y las partículas cargadas producen campos magnéticos sólo cuando éstas están en movimiento.
- 3.3. **Campos mezclados.** Sobreposición de dos o más campos electromagnéticos de frecuencia diferente.
- 3.4. **Campo pulso-modulado .** Campo electromagnético producido por la modulación de amplitud de una portadora de onda continua por uno o más pulsos.
- 3.5. **Campo retransmitido.** Campo electromagnético resultante de corrientes inducidas en un secundario, predominantemente conductor, objeto de ondas electromagnéticas incidentes en éste, y que contiene una o más estructuras radiantes primarias o antenas. Los campos retransmitidos son llamados a veces "reflejados" o más correctamente "campos dispersados". El objeto de dispersión es llamado a veces un "rerradiador" o "radiador secundario". Véase 3.30
- 3.6. **Corriente de contacto.** Corriente que fluye entre un objeto energizado, aislado y conductivo (metálico) y tierra hacia un circuito eléctrico que representa la impedancia equivalente del cuerpo humano.
- 3.7. **Densidad de energía (Campo Electromagnético) (W).** Energía electromagnética contenida en un volumen infinitesimal dividido por ese volumen. (j/m^3).
- 3.8. **Densidad de flujo magnético (B).** Cantidad de vector de campo que produce una fuerza (F) que actúa sobre una o más cargas en movimiento. El producto vectorial de la velocidad (v) (con la cual una carga de prueba infinitesimal (q) se esta moviendo) con (B), es la fuerza que actúa sobre la carga de prueba dividida por (q).

$$\frac{F}{q} = (v \times B)$$

La densidad de flujo magnético está expresada en unidades de tesla (T).

- 3.9. **Densidad de potencia (S).** Potencia por unidad de área normal a la dirección de propagación, expresada generalmente en unidades de Watts por metro cuadrado (W/m^2) o, por conveniencia, en unidades como miliWatts por centímetro cuadrado (mW/cm^2) o microWatts por centímetro cuadrado ($\mu W/cm^2$). Para ondas planas, la densidad de potencia (S), la intensidad de campo eléctrico (E) y la intensidad de campo magnético (H), están relacionadas por la impedancia del espacio libre, 377 ohms, como sigue:

$$S = \frac{E^2}{377} = 377 H^2$$

- 3.10. **Densidad de potencia de onda plana equivalente.** Término usado comúnmente, que es asociado con cualquier onda electromagnética, igual en magnitud a la densidad de potencia de una onda plana que tiene la misma intensidad de campo eléctrico (E) y de campo magnético (H).
- 3.11. **Densidad de potencia pico.** Densidad de potencia instantánea máxima que ocurre cuando la potencia es transmitida.
- 3.12. **Densidad de potencia promedio (temporal).** Densidad de potencia instantánea integrada en una fuente con periodo de repetición. Donde E y H están expresadas en unidades de V/m y A/m, respectivamente, y S en unidades de W/m^2 . A pesar de que muchos instrumentos de prueba indican unidades de densidad de potencia, las cantidades medidas son E o E^2 o H o H^2 .
- 3.13. **Dispositivos de RF.** Dispositivos que intencionadamente generan y/o utilizan energía de RF y son capaces de producir campos de RF que deben ajustarse a los valores límites en áreas accesibles a operadores y/o directamente al público.
- 3.14. **Espectro de radiofrecuencia (RF).** El espectro radioeléctrico es el medio o espacio por donde se propagan las ondas radioeléctricas. Ampliando este concepto, podemos decir que se trata de un conjunto de radiofrecuencias cuyo límite se fija convencionalmente por debajo de 300 GHz.
- 3.15. **Exposición continua.** Exposición de duración mayor que al tiempo promediado.
- 3.16. **Exposición de tiempo corto.** Exposición con duración menor que al tiempo promediado.
- 3.17. **Exposición ocupacional.** Aplica a humanos expuestos a campos de RF como consecuencia de realizar sus tareas labores en forma regular.

- 3.18. **Exposición no-ocupacional.** Exposición a la radiación de RF que recibe una persona y que no es consecuencia directa de la actividad que desempeña en el transcurso.
- 3.19. **Exposición parcial del cuerpo.** Exposición que resulta cuando campos de RF son recibidos por el cuerpo de una manera no-uniforme. Los campos que son no-uniformes en volúmenes comparables con el cuerpo humano pueden ocurrir debido a: fuentes de alta direccionalidad, ondas estacionarias, fuentes retransmitidas o en el campo cercano. Véase manchas de calor de RF.
- 3.20. **Exposición.** Ocurre siempre y donde quiera que una persona, esté expuesta a campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos o corrientes de contacto, y que originan procesos fisiológicos en el cuerpo y otros fenómenos naturales.
- 3.21. **Factor de trabajo.** Cociente de la duración de un pulso sobre el periodo de un tren de pulsos periódicos. Un factor de trabajo de 1.0 corresponde a la operación de ondas continuas.
- 3.22. **Frecuencia.** Es el número de ciclos sinusoidales producidos por ondas electromagnéticas en un segundo; usualmente es expresado en hertz (Hz)
- 3.23. **Ganancia de la antena.** Es el incremento en potencia transmitida o recibida por una antena direccional comparada con una antena patrón, la cual es usualmente una antena isotrópica ideal. La ganancia es un radio de potencia y puede expresarse en decibeles (dB) o como un simple número.
- 3.24. **Límite de exposición máxima (LEM).** Valores referidos a la raíz cuadrática media de las intensidades de campo magnético y eléctrico, sus cuadrados, o las densidades de potencia equivalentes a una onda plana asociada con estos campos y las corrientes inducidas y de contacto a los cuales una persona puede estar expuesta sin efecto nocivo y con un factor de seguridad aceptable.
- 3.25. **Manchas de calor de RF.** Área localizada, donde la radiación de RF es relativamente más intensa y que se manifiesta por sí misma en dos modos principales:
- a) Por la presencia de campos magnéticos o eléctricos intensos inmediatamente adyacentes, a objetos conductivos que están sumergidos en campos ambientales de intensidad más baja (frecuentemente referida como retransmisión), y
 - b) Por las áreas localizadas, que no necesariamente están cerca de objetos conductivos, en las cuales existe una concentración de campos provocados por reflexiones y/o haces estrechos producidos por antenas de alta ganancia u otras fuentes altamente direccionales.

En ambos casos, los campos están caracterizados por cambios muy rápidos de intensidad con la distancia. Las manchas de calor de RF están asociadas normalmente con exposiciones no uniformes del cuerpo (exposición de cuerpo parcial). Esto no se asocia en realidad con un lugar caliente dentro del cuerpo absorbente.

3.26. **Potencia efectiva radiada isotropicamente (EIRP).**- Es la potencia que tendrá que ser transmitida por una antena isotrópica para producir la misma densidad de potencia en cualquier punto dado a lo largo del eje de la antena direccional. Matemáticamente, EIRP es la ganancia de una antena de transmisión multiplicada por la potencia de la red entregada a la antena por el transmisor conectado. Este término aplica a antenas direccionales.

3.27. **Potencia promedio (temporal) (P_{avg}).** Promedio temporal de la tasa de transferencia de energía.

$$P_{avg} = 1/t_2 - t_1 \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt$$

3.28. **Profundidad de penetración.** (Para una onda electromagnético plana incidente en la frontera de un medio). Distancia medida desde la frontera del medio en la dirección de propagación, al punto en que la intensidad de campo de la onda S ha reducido a $1/e$ (38,8%) de su valor inicial.

3.29. **Radiación electromagnética.** Es la propagación de la variación en el tiempo de los campos eléctricos y magnéticos a través del espacio a la velocidad de la luz.

3.30. **Radiación secundaria.** Campo electromagnético resultante de corrientes inducidas en un cuerpo, por un objeto conductor, por un dieléctrico, por ondas electromagnéticas incidentes en ese objeto, o por una o más fuentes principales.

3.31. **Radiofrecuencia (RF).** Aunque el espectro de RF esta definido formalmente en función de la frecuencia que se extiende desde 3 kHz a 300 GHz para propósitos de esta norma, el intervalo de frecuencia de interés es de 100 kHz hasta 300 GHz.

3.32. **Región de campo cercano.** Generalmente es la región en la proximidad de una antena u otra estructura radiante, en la cual los campos magnéticos y eléctricos no tienen un carácter substancialmente de onda plana, pero varían considerablemente de punto-a-punto. La región de campo cercano está subdividida en la llamada "región central" del campo cercano, la cual es más cercana a la estructura radiante que contiene toda o casi toda la energía almacenada, y la región de campo cercano secundario donde el campo de radiación predomina sobre el campo reactivo pero carece substancialmente del carácter de onda plana y es complicado en estructura.

3.33. **Región de campo lejano.** Aquella región del campo de una antena, donde la distribución de campo angular es esencialmente independiente de la distancia de la antena. En esta región (también llamada la región de espacio libre), el campo

tiene un carácter de onda plana predominante, por ejemplo: distribuciones locales uniformes de Intensidad de campo eléctrico e Intensidad de campo magnético, en planos transversales a la dirección de propagación.

- 3.34. **Tiempo promediado.** Periodo de tiempo sobre el cual la exposición se promedia para propósitos de cumplir con un LEM. Para los tiempos de exposición menores que el tiempo promediado, el LEM en cualquier intervalo de tiempo igual al tiempo promediado, se calcula como:

$$LEM' = LEM [T_{avg}/T_{exp}]$$

Donde T_{exp} es el tiempo de la exposición en el mismo intervalo expresado en la misma unidad de T_{avg} .

4. Especificaciones

4.1 Límites de Exposición Máxima (LEM) para exposición no-ocupacional

Los LEM para exposición no-ocupacional en los intervalos de radiofrecuencia de 100 kHz a 300 GHz distinguiendo, con sombreado, aquellos para los intervalos de frecuencia de PCS (1.9 GHz) y Celular (800 y 900 MHz), en términos del valor RCM de la intensidad de campo magnético (H), eléctrico (E), y la densidad de potencia en el espacio libre de la onda plana equivalente (S), no deben exceder los mostrados en la Tabla 1.

Los siguientes valores de las tablas se presentan de acuerdo a lo establecido en la NOM-008-SCFI

TABLA 1. Límites de exposición máxima para exposición no-ocupacional

Intervalo de frecuencia	E (V/m)	H (A/m)	Densidad de potencia de onda plana Equivalente (S_{eq}) (W/m^2)
Hasta 1 Hz	-----	$3,2 \times 10^4$	-----
1 Hz -8 Hz	10 000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	-----
8 Hz -25 Hz	10 000	$4000 / f$	-----
0,025 kHz -0,8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	-----
0,8 kHz -3 kHz	$250 / f$	5	-----
3 kHz -150 kHz	87	5	-----
0,15 MHz -1 MHz	87	$0,73 / f$	-----
1 MHz -10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0,73 / f$	-----
10 MHz -400 MHz	28	0,073	2
400 MHz -2000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$f / 200$
2 GHz -300 GHz	61	0,16	10

Nota: f es la frecuencia en MHz

4.2 Límites de Exposición Máxima (LEM) para exposición ocupacional

Los LEM para exposición ocupacional en los intervalos de radiofrecuencia de 100 kHz a 300 GHz distinguiendo, con sombreado, aquellos para los intervalos de frecuencia de PCS (1.9 GHz) y Celular (800 y 900 MHz), en términos del valor RCM de la intensidad de campo magnético (H), eléctrico (E), y la densidad de potencia en el espacio libre de la onda plana equivalente (S), no deben exceder los mostrados en la Tabla 2.

TABLA 2. Límites de exposición máxima para exposición ocupacional

Intervalo de frecuencia	E (V/m)	H (A/m)	Densidad de potencia de onda plana Equivalente (S_{eq}) (W/m^2)
Hasta 1 Hz	-----	$1,63 \times 10^5$	-----
1 Hz -8 Hz	20 000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	-----
8 Hz -25 Hz	20 000	$2 \times 10^4 / f$	-----
0,025 kHz -0,8 kHz	$500 / f$	$20 / f$	-----
0,8 kHz -3 kHz	610	24,4	-----
3 kHz -150 kHz	610	$1,6 / f$	-----
0,15 MHz -1 MHz	$610 / f$	$1,6 / f$	-----
1 MHz -10 MHz	61	0,16	10
10 MHz -400 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$f/40$
400 MHz -2000 MHz	137	0,36	50

Nota: f es la frecuencia en MHz

Estas especificaciones deben verificarse con lo establecido en los Métodos de Prueba (véase 5.4)

5. Métodos de Prueba

5.1 Instrumentos de medición para mediciones de campos externos. Los medidores de peligros de radiación de RF (monitores, instrumentos de investigación) son comúnmente el medio preferido para la medición y evaluación de peligros potenciales de RF. Un monitor de RF como el que se muestra en la figura 1, puede ser dividido en tres partes básicas: la sonda (sensor), el conductor y el instrumento de medición. La sonda consiste de una antena en combinación con un sensor o detector. El diseño y características de dicha sonda determinan en gran medida el desempeño y aplicación de la unidad. La potencia de salida detectada en una sonda con una respuesta en frecuencia plana es una medición directa de la intensidad de campo EM. Una excepción es la sonda de medición de peligros especialmente diseñada, la cual tiene una cierta forma de respuesta en frecuencia que corresponde a una Guía de Protección Contra Radiofrecuencia (RFPG, por sus siglas en inglés) particular, es decir, la potencia de salida detectada es considerada apropiadamente ponderada a cada frecuencia. El “conductor” se refiere a esa parte del instrumento que

lleva la señal detectada al instrumento de medición. Para lograr esto sin causar perturbaciones de campo, el conductor puede tomar la forma de cables de alta resistencia, o si dichos conductores son metálicos, estos deberán ser orientados cuidadosamente para reducir al mínimo el acoplamiento con el campo. Los conductores también pueden ser una fibra óptica [B4, B5, B29]. Los instrumentos de medición incluyen circuitería de acondicionamiento de la señal y dispositivos de lectura.

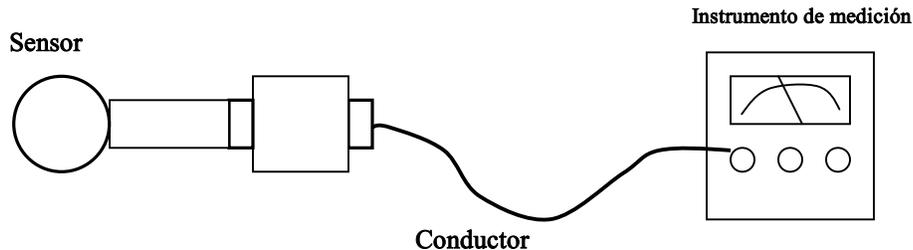


FIGURA 1. Componentes básicos de un instrumento de investigación de RF

Para hacer válidas las mediciones de campo cercano, deben satisfacerse las siguientes condiciones:

1. La sonda deberá responder a un parámetro en particular del campo electromagnético y no tener respuestas no esenciales (por ejemplo, deberá responder al campo E sin tener respuestas no esenciales del campo H).
2. En las dimensiones de la sonda en su medio circundante deberán ser menor a una longitud de onda en la frecuencia de operación más alta.
3. La sonda no deberá producir una dispersión significativa de los campos electromagnéticos incidentes.
4. La respuesta de la sonda deberá ser isotrópica (independiente de la orientación), no direccional y sin polarización. Si se conoce la polarización de la cantidad medida (E o H) o si se tiene alguna disposición para rotar la sonda para encontrar la orientación de la máxima potencia de salida, es de gran utilidad emplear una sonda con una respuesta no isotrópica.
5. El conductor desde el sensor al medidor no deberá interactuar significativamente con el campo o conducir corriente de RF desde el campo al sensor.

5.2 Características eléctricas en el desempeño de los instrumentos

5.2.1 Estabilidad. El instrumento deberá mostrar la estabilidad suficiente para permitir mediciones exactas de campos de exposición de RF por periodos de tiempo que sean consistentes con los tiempos normalmente requeridos para la medición en particular. En la práctica, el instrumento deberá ser capaz de operar por un mínimo de 10 a 30 minutos sin

la necesidad de volver a llevar a cero el medidor (en ausencia de radiación de RF) en el intervalo necesario para la medición. Durante el proceso de llevar a ceros el medidor, la circuitería automática de electrónica a cero puede utilizarse para evitar el requerimiento de blindar la sonda sensitiva del ambiente de campos de RF. Esto es deseable particularmente cuando se desarrollan investigaciones de RF en ambientes difíciles tales como en torres de comunicación/ radiodifusión, donde no se dispone de un área libre de RF o donde el investigador, al escalar una torre, no es capaz de moverse libremente o usar ambas manos para reinicializar el nivel cero del instrumento. El instrumento deberá ser insensible a variaciones térmicas dentro del intervalo donde se encuentren normalmente los extremos de la temperatura. Las especificaciones del instrumento deberán indicar la desviación máxima del cero para cada intervalo.

5.2.2 Consideraciones de precisión y exactitud. Cuando se utilice el instrumento en diversos tipos de campos de diferentes frecuencias, el instrumento deberá proporcionar los datos de calibración que permitan al usuario evaluar la máxima incertidumbre al determinar la intensidad de campo de RF o la densidad de potencia. Los datos de calibración también deberán incluir la sensibilidad del instrumento a frecuencias más allá del intervalo útil previsto (respuesta fuera de banda). No debe emplearse un medidor sensible a los campos fuera de banda en un medio en donde dichos campos puedan presentarse a otros niveles insignificantes. Es deseable pero difícil de lograr que las incertidumbres de la calibración de la intensidad de campo absoluto (exactitud) no sean mayores a ± 1 dB. Las incertidumbres de ± 2 dB o incluso mayores pueden ser aceptables si los niveles están claramente por debajo de los límites de la RFPG, pero conforme se aproximen a los límites de la RFPG, la certeza en la medición toma mayor importancia. En cualquier caso, el factor de incertidumbre deberá conocerse e incluirse en el reporte de medición. Las especificaciones del instrumento deberán indicar la habilidad del mismo para responder a campos de amplitud modulada (AM), tales como las señales pulsadas de radar, así como una multiplicidad de señales que pudieran iluminar simultáneamente la sonda sensora. La lectura del instrumento deberá permitir una resolución (precisión) dentro del 5 % o menos de valor de la escala total de la intensidad de campo medida.

5.3 Calibración de instrumentos de medición de campos externos

5.3.1 Método para medir el campo en el espacio libre. Existen diversas variaciones de este método, pero el objetivo es establecer un campo de calibración conocido en el espacio libre. El arreglo experimental más común para utilizarse en las frecuencias de microondas se muestra en la Fig.2. La densidad de potencia W en un punto sobre el eje a una distancia d desde una antena transmisora está dado por:

$$W = \frac{P_T G}{4\pi d^2}$$

donde P_T es la potencia total entregada a la antena y G es la ganancia efectiva de la antena con respecto a una antena isotrópica. La ganancia normalmente se determina previamente, y P_T y d son medidos como parte del procedimiento regular de calibración.

El método más conveniente para determinar P_T es por medio de un acoplador direccional dual, como el que se indica en la Fig. 2. La potencia incidente P_i y la potencia reflejada P_r se monitorean en los extremos del acoplador y la P_T es obtenida de la relación $P_T = P_i - P_r$

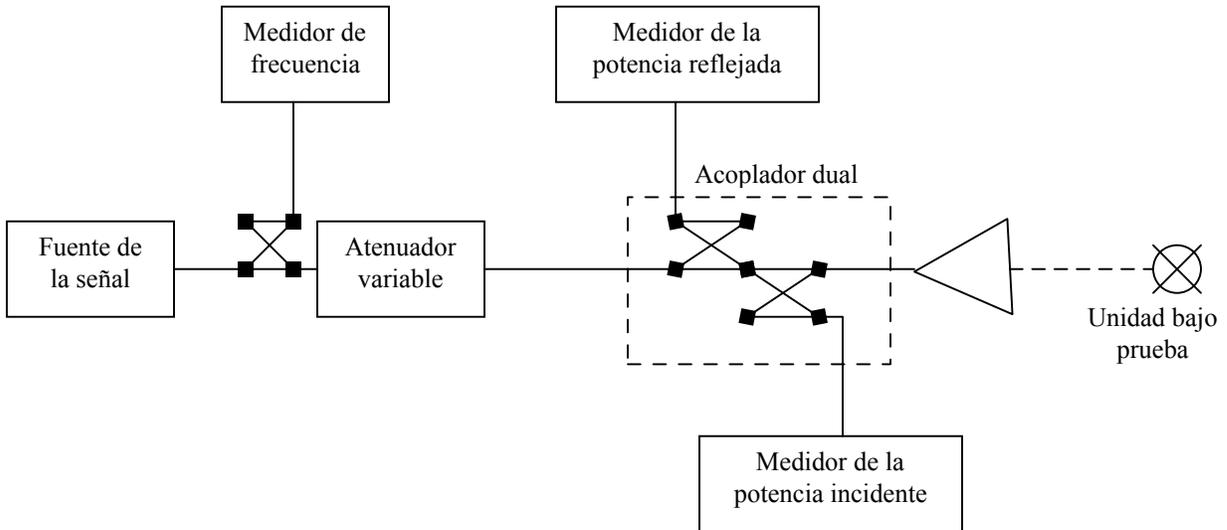


Fig. 2 Método de calibración normalizado para medir el campo en el espacio libre

Los acopladores de banda ancha de alta calidad junto con los métodos para calibrarlos y usarlos están disponibles para determinar una P_T [B6, B12, B13, B16, B17]. Los métodos ya mencionados son para calibrar los medidores de potencia, sin embargo las mismas técnicas pueden emplearse en antenas si se realizan las correcciones para los efectos por mal acoplamiento de impedancia. El método de Bramall permite el uso de un bolómetro calibrado de baja potencia para proporcionar determinación exacta de los niveles de potencia transmitidos altos. La P_T puede calcularse dentro de un 1 o 2 % si se incluyen las correcciones por mal acoplamiento (como deberá de ser para las mediciones exactas)¹. Una forma de computar los efectos por mal acoplamiento emplea la técnica de la ecuación de potencia [B12, B13], la cual también permite el uso de acopladores direccionales que no están restringidos en términos de directividad y no requieren conectores de precisión. La técnica de la ecuación de potencia y el método de acoplador en cascada fueron combinados [B3] para la determinación precisa de la potencia absoluta transmitida desde la antena utilizada para calibrar los instrumentos de campo cercano.

¹ Se pretende que las incertidumbres indicadas aquí incluyan todas las fuentes de error significativas conocidas a fin de proporcionar límites de aproximadamente 95% de confianza. Sin embargo, las incertidumbres citadas de la literatura publicada deberá interpretarse como se indica en los artículos originales.

Alternativamente, pueden emplearse los analizadores de redes automáticos modernos con microprocesadores integrados para correcciones en tiempo real de los sistemas de error, para calcular P_r así como P_T/P_r . Todas las componentes utilizadas en el sistema que esta siendo calibrado deberán emplear conectores y adaptadores coaxiales de guía de onda de precisión. Esto incluye acopladores y adaptadores coaxiales de alta potencia y guía de onda direccional que se utilizan durante la generación efectiva de densidades de potencia calibradas en el campo lejano.

Lo anterior supone que el dispositivo que esta siendo calibrado es lo suficientemente pequeño y se encuentra lo suficientemente lejos de la antena transmisora que la cantidad energía reflejada al sistema de transmisión es insignificante. Si no se puede cumplir esta condición, es posible obtener una corrección para el efecto de la energía reflejada variando d , observando las variaciones senoidales en P_r , y después promediando P_r a lo largo de por lo menos un ciclo completo.

5.3.2 Método utilizando una sonda patrón.- Este método es el más simple, y puede el mejor método para calibrar los medidores de peligros para uso general de campo. El principio de este método es tener una sonda estable y segura que haya sido calibrada con exactitud (por medio de alguna de las técnicas descritas anteriormente) para usarse como “patrón de transferencia”. La sonda patrón se utiliza para medir la intensidad de campo producida por un dispositivo arbitrario generador de campos de RF, por ejemplo, una antena o una celda TEM, a lo largo de una región particular en el espacio (o en un sistema de guía de onda). Después se coloca una sonda no calibrada en la misma región dentro del campo que ocupa la sonda patrón, y la lectura del medidor de la sonda no calibrada se compara con el valor medido y conocido del campo con base en los datos obtenidos con la sonda patrón. El transmisor y el dispositivo generador de campo utilizados durante este proceso deberán generar un campo que tenga la magnitud deseada y que sea constante con el tiempo, y el campo deberá ser uniforme en toda la región donde la sonda desconocida sea colocada. Las exactitudes de entre ± 2 a 3 dB son fácilmente alcanzables con este método e incluso es posible mejorar la exactitud si se tiene el debido cuidado. Las ventajas de esta aproximación son prácticas, confiables y simples. Una fuente potencial de error es la posible diferencia en el patrón de recepción de las dos sondas cuando se utiliza el patrón transferencia para calibrar otra sonda. También en el campo cercano de un radiador, el tamaño del sensor de la sonda es importante. Idealmente la sonda patrón y la desconocida deberá nominalmente ser idénticas y la calibración deberá ser llevada a cabo dentro de un campo relativamente libre de variaciones espaciales debidas a las interacciones multitrayectoria entre la sonda, el radiador, la cámara anecóica y otras componentes generadoras de campo, y gradientes de campo cercano. En las celdas TEM o en los sistemas de transmisión de placas paralelas, el acoplamiento capacitivo entre la sonda y el centro de la placa y paredes de la celda pueden crear errores de calibración.

La sonda patrón de transferencia deberá ser estable, robusta, y que no se quemé fácilmente; deberá de tener un intervalo dinámico grande, cubrir un intervalo amplio de frecuencia, y poseer una respuesta isotrópica.

Las organizaciones que no puedan justificar la construcción y mantenimiento de una facilidad de calibración podrían adquirir una sonda de patrón de transferencia calibrada por un laboratorio acreditado. Este patrón de referencia secundario puede utilizarse para calibrar un sistema generador de campo en las facilidades del usuario. El sistema, en turno, puede ser utilizado para calibrar otras sondas. El patrón de transferencia deberá recalibrarse a intervalos apropiados al patrón en particular, con base en la experiencia de la estabilidad del factor de calibración con el tiempo.

5.3.3 Evaluación de los instrumentos de investigación de campo. Para determinar exactamente los campos eléctricos y magnéticos, deberán definirse con cierto detalle las características de los instrumentos de medición a utilizarse. Una serie de pruebas, desarrolladas apropiadamente, definen las incertidumbres en el peor caso que puedan ocurrir cuando dicho instrumento es utilizado para hacer mediciones de la intensidad de campo. Las pruebas también indican qué procedimientos operacionales pueden emplearse para minimizar los errores de medición. En [B15] pueden encontrarse detalles sobre las pruebas para instrumentos de microondas (para frecuencias mayores a 0,9 GHz), así también, en [B21] pueden encontrarse detalles para las evaluaciones del desempeño de la sonda de campo eléctrico y magnético a la frecuencia de 27 MHz. Los parámetros de prueba mínimos que deberán observarse son los siguientes:

- 1) *Calibración absoluta.*- Deberá desarrollarse en intensidades de campo que generen indicaciones que igualen o excedan la lectura a media escala del instrumento.
- 2) *Linealidad del instrumento.*- Las mediciones deberán realizarse a un 25, 50, 75 y 100 por ciento de la escala total, sobre cada intervalo del dispositivo de lectura del instrumento.
- 3) *Respuesta modulación-amplitud.*- Esta prueba deberá adaptarse a las condiciones de uso del instrumento deseado. Por ejemplo, si la modulación de interés proviene de fuentes de alimentación sin filtro, tales como las empleadas en los calentadores industriales de microondas, sería apropiada una modulación de 60 o 120 Hz con un factor de trabajo del 50%. Si el instrumento es para ser utilizado alrededor de equipo de radar, deberán utilizarse factores de trabajo tan bajos como 0,001 durante el proceso de evaluación.
- 4) *Respuesta en frecuencia.*- Deberá determinarse la respuesta del instrumento sobre la banda de frecuencia de interés. La respuesta deberá ser relativamente plana sobre el intervalo de frecuencia de diseño, (± 1 a 3 dB).
- 5) *Respuesta fuera de banda.*- La sensibilidad del instrumento, sonda, cable y lector de datos, deberá ser evaluada para la exposición a campos a frecuencias lejanas del intervalo útil específico del instrumento. Esto es importante cuando los instrumentos son utilizados en campos de frecuencia mezclada.

- 6) *Respuesta de campo cercano.*- Deberá investigarse la respuesta de un instrumento a campos de impedancias muy altas y muy bajas (E/H) para determinar la respuesta del instrumento a campos extraños. Por ejemplo, la respuesta del campo H de un instrumento de campo E, o la respuesta de un campo E de un instrumento de un campo H, deberá evaluarse con dispositivos generadores de campo apropiados.
- 7) *Elipticidad de la polarización.*- Deberá definirse la variación de la respuesta cuando la sonda es rotada alrededor del eje de su manija.
- 8) *Isotropía del patrón de recepción.*- Pueden ocurrir variaciones en la respuesta cuando la manija de una sonda es rotada a través del plano E de tal forma que en cierta posición la manija queda en paralelo con el campo E durante la prueba.
- 9) *Cable de captación.*- Es importante hacer una prueba para detectar y cuantificar señales extrañas captadas por la manija de la sonda.
- 10) *Respuesta a la temperatura.*- Deberán determinarse los cambios en la respuesta del instrumento para una intensidad de campo dada sobre el intervalo de temperatura de interés.
- 11) *Respuesta de la fuente de tensión.*- Algunos instrumentos de investigación de medición de peligros comercialmente disponibles utilizan una o más baterías incluyendo paquetes individuales con algunas terminales de tensión separadas. Se ha encontrado que algunas desviaciones de la posición de la tensión nominal de una o de más baterías puede causar errores en la exactitud total del instrumento [B15]. Por lo tanto, es importante probar adecuadamente la tensión de las baterías para aquellas que habrán de operar en medidores de investigación de RF.
- 12) *Interferencia por radiofrecuencia.*- La respuesta del dispositivo de lectura del instrumento y del cable deberá ser determinada con la sonda, el cable y el dispositivo de lectura expuestos a los campos E y H cuyas magnitudes se encuentran dentro del intervalo de uso de la sonda durante las investigaciones típicas de peligros.
- 13) *Ruido y corrimiento de frecuencia.*- Deberá determinarse la estabilidad del instrumento a corto y largo plazo con respecto a la escala total del instrumento sobre cada intervalo de medición, en la ausencia de los campos EM.

Basados en todas las pruebas anteriores, puede desarrollarse un análisis de error para el peor caso. Como en cualquier experimento, deberá tenerse cuidado al diseñar cada una de las pruebas para medir sólo el parámetro de interés, mientras que el resto de los parámetros permanecen constantes.

5.4 Medición de campos electromagnéticos (CEM) expuestos potencialmente peligrosos

5.4.1 Consideraciones Preliminares

5.4.1.1 Fuente y características de propagación. Antes de efectuar una investigación de campos EM (Electromagnéticos) potencialmente peligrosos, es importante determinar tantas características conocidas de las fuentes de estos campos como sea posible y estimar sus características de propagación probables. Dicho conocimiento permitirá realizar una mejor estimación de la intensidad de campo esperada y por ende, una selección adecuada de los instrumentos y procedimientos de prueba. La lista de verificación de las características de la fuente podría incluir lo siguiente:

- 1) Tipo de generador de RF (Radiofrecuencia) y potencia de salida.
- 2) Frecuencia(s) de la(s) portadora(s), señal, factor de trabajo, anchura del pulso, frecuencia de repetición del pulso, etc.
- 3) Características de Modulación, por ejemplo, valor pico y promedio, forma de la onda, etc
- 4) Intermitencia, por ejemplo, haces exploradores o factores de trabajo operacionales.
- 5) Número de fuentes: si más de una fuente está presente, ¿son todas o algunas de ellas señales coherentes? ¿Es probable que las intensidades adicione linealidad o creen patrones de interferencia (ondas estacionarias, etc)?
- 6) Frecuencias no esenciales, incluyendo armónicos radiados.

Una lista de verificación de características de propagación puede incluir lo siguiente:

- 1) La distancia entre la fuente y el sitio de prueba
- 2) Tipo de antena y propiedades, incluyendo la ganancia, anchura del haz, orientación, programa de exploración, tamaño físico en relación con el área que se está investigando (por ejemplo, campo cercano, etc.)
- 3) Polarización de los campos eléctricos (E) y magnéticos (H) (lineal, elíptico)
- 4) Existencia de objetos absorbentes o dispersores con posible influencia en el campo de distribución del lugar de prueba.

Una revisión a dicha lista de verificación es una necesidad si el investigador quiere evitar algunas situaciones simples, pero a menudo sorprendidas. Por ejemplo, es necesario conocer la localización de la fuente y la trayectoria de propagación de RF durante la investigación con sondas de mano. Sólo así se podrá realizar una adecuada valoración del efecto de la presencia del cuerpo del investigador y se evitarán errores de medición. Otro caso común en situaciones de fuga es la posibilidad de que los niveles de los campos EM puedan ser peligrosos para el investigador y produzcan IRF (interferencia por radiofrecuencia) en la electrónica de los instrumentos si éstos no fueron diseñados para operar en presencia de tales campos.

5.4.1.2 Estimación de la Intensidad de Campo Esperada. Si los campos son campos lejanos o campos cercanos radiantes de una antena, entonces para obtener la estimación de la intensidad de campo se puede utilizar el material sobre cálculos teóricos de campos de exposición (Apéndice A). Alguna bibliografía general [B18, B19, B24] sobre antenas e investigaciones peligrosas son de utilidad.

Las curvas en el Apéndice C pueden utilizarse si se desean valores más conservadores sobre el eje de la densidad máxima de potencia (W_m) para las distribuciones de apertura trapezoidal. No obstante, siempre debe tenerse en mente que las ecuaciones en el Apéndice A y las curvas en el Apéndice C sólo son adecuadas para obtener densidades aproximadas de potencia para propósitos de estimación. Para valores más definitivos se requerirán mediciones más cuidadosas.

El acrecentamiento del campo debido a reflexiones del terreno podría incrementar W hasta un factor de 4 y hasta más si es que hay efectos de convergencia. Por otro lado, se tiene que reconocer que esas mediciones de campo en la ausencia de una persona podrían ser engañosas y relativamente peligrosas. Por ejemplo, la magnitud de la onda estacionaria se reduce con una persona expuesta enfrente de un plano reflector debido a la absorción de su cuerpo.

En el caso de bajas frecuencias o de antenas de abertura pequeña, se vuelve relevante la existencia de campos cercanos reactivos potencialmente peligrosos. Éstos campos se pueden calcular con exactitud sólo para antenas de geometría simple bien definidas, y dado que las geometrías del radiador en pocas ocasiones son simples o bien definidas para las fuentes de bajas frecuencias (1MHz-300MHz) de uso comercial, por lo general se requiere de mediciones de E y H (campo eléctrico y magnético respectivamente).

En todos los casos se puede utilizar la propiedad general [B20], la cual establece que los campos reactivos predominan a distancias d cercanas a las fuentes donde $2\pi d/\lambda \ll 1$. Las amplitudes de los campos cercanos reactivos disminuyen según $1/d^2$ o más rápido, en tanto que la radiación de las amplitudes de campos lejanos disminuyen según $1/d$. Para estimar los valores de campo E y H en bajas frecuencias, los textos generales [B20] pueden utilizarse ocasionalmente, y para estimar tanto campos cercanos como lejanos de estas fuentes se puede utilizar literatura específica [B7, B9, B10, B11, B14, B28] sobre las características de propagación de varias antenas transmisoras y de comunicación.

5.4.1.3 Determinación del tipo de instrumento requerido. Aunque la mayoría de los instrumentos diseñados para campos potencialmente peligrosos son en esencia de banda ancha, no hay ninguno que cubra por completo el intervalo de frecuencia en cuestión ni todos los parámetros de interés potencial. Algunas consideraciones generales en la selección de un instrumento incluyen lo siguiente:

1) *Frecuencia.* Las frecuencias deberán determinarse antes de tal manera que se seleccionen instrumentos y métodos de medición adecuados. La presencia de varias frecuencias establece el uso de un dispositivo de banda ancha con una respuesta RMS verdadera.

2) *Tiempo de Respuesta.* Al iniciar una investigación es recomendable utilizar un instrumento para medir peligros con un tiempo de respuesta (integrador de constante de tiempo) de un segundo o menos (la posición “rápida” en algunos instrumentos comerciales). Esto permite una medición aproximada o la detección de campos pulso-modulados o intermitentes, como los creados por el haz explorador de un radar. Algunos instrumentos de investigación que tienen la característica de “fijador de picos” pueden proporcionar una indicación exacta de las ráfagas de energía de RF rápidas moderadas (de duración mayor a varios milisegundos). Una vez localizada la zona de máxima intensidad de campo, deberá usarse una constante de tiempo más lenta (3 s ó más) para obtener el valor del tiempo promedio de la intensidad de campo. Si el medidor de peligroso todavía indica que existe un campo intermitente, deberá utilizarse otros medios de registro y promediación, entre otros, los sistemas de registro de datos, que pueden ser utilizados con medidores de peligros de RF.

3) *Limitaciones de potencia pico.* Para proteger las sondas de mano contra daños en algunos campos pulsados con factor de trabajo bajo, semejantes a aquellos asociados con los radares, es necesario tener un conocimiento de las limitaciones de la potencia pico del instrumento.

4) *Polarización.* El conocimiento de la polarización de los campos permite que el investigador use una sonda no-isotrópica para investigaciones peligrosas; de no contarse con dicho conocimiento, el empleo de una sonda isotrópica es altamente recomendable, tanto para asegurar la exactitud como el desempeño del proyecto en un tiempo razonable.

5) *Intervalo dinámico.* Antes de medir las emisiones de una fuente de RF deberán estimarse las intensidades de campo máximas anticipadas. Para evitar la destrucción de los elementos sensibles de la sonda o de los conductores de alta resistencia conectados a dichos elementos, se deberá usar un instrumento de investigación capaz de soportar la exposición continua a las intensidades de campo (E^2 ó H^2) de por lo menos diez veces el valor predeterminado. Además, se requiere de la sensibilidad adecuada para garantizar una relación señal-ruido razonable cuando se están midiendo las intensidades de campo mínimas esperadas.

6) *Capacidades en la medición de campos cercanos.* Si se presenta alguna situación de fuga o si se tienen que medir los campos proximidad una fuente, deberá tenerse cuidado al

seleccionar el instrumento apropiado (véase 5.4.3.6).

5.4.2 Precauciones de seguridad. El personal deberá tomar precauciones de seguridad apropiadas mientras dirige las investigaciones; el grado de cuidado ejercido deberá incrementarse en proporción a los niveles de potencia asociados al sistema que se está investigando. La naturaleza de las precauciones variará para investigaciones de fugas comparadas con mediciones de sistemas radiantes deliberados (antenas).

5.4.2.1 Peligros no asociados directamente con la investigación. Antes de discutir las precauciones directamente relacionadas con el proceso de investigación, es pertinente considerar los peligros potenciales, además de la exposición de RF, los cuales podrían estar relacionados con el equipo electrónico o el sistema que se está investigando.

1) *Alta tensión.* El equipo eléctrico y electrónico puede representar peligros de descargas potenciales y mortales. Al trabajar con este equipo, deberá recordarse tomar precauciones de rutina tales como no desactivar los sistemas de protección, extremar el cuidado en los conductores y las terminales de alta tensión que se encuentran expuestas por necesidad, así como evitar trabajar a solas cerca de sistemas de alta tensión. Es necesario señalar que, en muchos sistemas de alta potencia una de las principales causas de fuga de RF pueden ser los electrodos de alta tensión de los tubos de vacío del transmisor.

Se aconseja precaución adicional cuando se efectúen mediciones en la cercanía de estructuras conductoras, tales como grúas de gran altitud o cables largos suspendidos verticalmente que se localizan cerca de fuentes de alta potencia o de bajas frecuencias de RF. En tales circunstancias, pueden existir grandes tensiones de circuito abierto sobre las estructuras que están expuestas a un ambiente de campos de RF; dichas tensiones pueden alcanzar niveles de varios kilovolts y tienen el potencial de provocar un arco voltaico a un cuerpo aterrizado, causando fuertes sobresaltos y en algunos casos serias quemaduras de RF. Se deberán extremar precauciones apropiadas para evitar el contacto con objetos “aterrizados” inapropiadamente en campos de RF intensos.

2) *Peligros de rayos X.* Generalmente existe el potencial para la emisión de rayos X en los sistemas de alta potencia que utilizan transmisores de tensión alta u otros tubos de vacío de potencia alta (mayores a 20 KV). Por ello, primero se aconseja dirigir una investigación de emisiones de rayos X antes de dirigir una investigación de RF en las cercanías de dichos transmisores. Deberá tenerse cuidado de que el instrumento de investigación de rayos X no sea susceptible a IRF (Interferencia por Radiofrecuencia).

3) *Campos Magnéticos de DC.* Los sistemas de muy alta potencia pueden incluir fuentes de estática intensa y campos magnéticos de baja frecuencia. El personal a cargo de la investigación debe evitar la cercanía prolongada a dichas fuentes, incluso cuando no existan normas definitivas en torno a la exposición a campos estáticos. Se tiene noticia de casos en que las herramientas de trabajo han salido volando de los bolsillos de los trabajadores causando daño al personal.

4) *Peligros indirectos de RF.* Es importante recordar que la presencia de campos de RF puede provocar peligros, o por lo menos efectos indeseados, además de aquellos derivados de la exposición de tejido corporal. Ya que las investigaciones pueden ser dirigidas no sólo en condiciones controladas de laboratorio, sino también cerca de transmisores móviles, en locales industriales y hasta en casas, se deberá estar consciente de las siguientes posibilidades:

- a) Peligros serios están asociados con la exposición potencial a dispositivos electroexplosivos (EED's), gas combustible o materiales flamables a campos EM (campos electromagnéticos). Para establecer distancias seguras de exposición para EED's relativos a varios transmisores véase [D1] del Apéndice D.
- b) En general es importante advertir que la interferencia potencial de campos EM a los sistemas o dispositivos electrónicos, a menudo se presenta en niveles muy por debajo de aquellos causantes de daño corporal. Este tipo de interferencia puede ser sólo una molestia, por ejemplo, los efectos causados por la operación a baja elevación de un radar sobre un televisor o sobre dispositivos electrónicos para el hogar puede ser más seria, como causar la posible reprogramación o "alteraciones" en los dispositivos médicos controlados por microprocesadores, tales como los marcapasos o provocar errores en computadoras digitales que controlan procesos industriales. De cualquier modo, esa interferencia es indeseable y se debe ser muy cuidadoso a la hora de trabajar con los sistemas operativos, particularmente en los modos anormales de operación que pueden ser útiles para fines de investigación. Antes de comenzar una investigación, se debe hacer una clara evaluación del impacto de los problemas de interferencia potencial.

5) *Quemaduras (asociadas con los campos de potencia alta)* Se deberá tener cuidado para prevenir las quemaduras por RF que pudieran resultar por la manipulación de objetos conductores expuestos a campos o a cables de RF con conectores expuestos [B22]. Además, deberán seguirse precauciones rutinarias en la operación de sistemas de calefacción de RF y selladores de plástico durante las investigaciones, como por ejemplo, evitar la manipulación de cargas de prueba, barras selladoras y líquidos supercalentados.

6) *Modos de Operación Anormales.* Se debe estar conciente de que los sistemas electrónicos tienen el potencial de trabajar en modos de operación anormales en los cuales las frecuencias no esenciales y la radiación por fuga no intencionada son generadas a niveles de potencia significativos. Para evitar estas situaciones, el investigador no deberá intentar operar un sistema sin la presencia de personal calificado que verifique la normalidad de la operación.

5.4.2.2 Precauciones durante el proceso de investigación. Se requieren estrictas precauciones a la hora de investigar un sistema radiante como un radar de alta potencia. Dichas precauciones incluyen lo siguiente:

- 1) Basados en los parámetros conocidos del sistema, el proceso de investigación podría

planearse de manera tal que se limite la exposición de todo el personal a niveles por debajo de los especificados en la GPRF (Guía de Protección Contra Radiofrecuencia) en la versión más reciente (véase [D2] del Apéndice D). Esta limitación no sólo se relaciona con la densidad de potencia, sino también con la duración de la exposición. Si el personal de investigación se expone en exceso a intensidades de campo, como las especificadas en las guías de exposición continua, deberá ser acompañado por personal que pueda asegurarse que la duración de la exposición no exceda el tiempo recomendado por la GPRF para exposiciones en campos de nivel más alto. En tales situaciones, lo más apropiado es dirigir la investigación con equipo emisor de radiación operando a un nivel de potencia reducido y usar una escala de potencia para registrar los niveles de campo correspondientes que existirían durante la operación a máxima potencia.

2) La operación de antenas móviles o de exploración se deberá realizar bajo las más estrictas precauciones de seguridad. Dichas precauciones van desde aquellas para evitar lesiones por colisiones contra las estructuras móviles o rotatorias, hasta aquellas para evitar el inicio de la operación de los generadores de RF con las antenas dirigidas hacia el personal. Antes de comenzar la investigación, las antenas deberán ajustarse lejos de la posición de mayor peligro potencial con los investigadores aproximándose desde fuera de la trayectoria del haz hacia el haz. Además, si se van a tomar mediciones mientras la antena está explorando, primero se deberá determinar si el tiempo de respuesta del instrumento es lo suficientemente rápido para responder al haz exploratorio.

3) Antes de iniciar la investigación o dirigir la operación del sistema en cuestión, se deberá llevar a cabo un examen teórico de los patrones de radiación.

4) Las antenas no deberán apuntarse hacia estructuras metálicas, y los objetos metálicos no deberán estar inadvertidamente localizados cerca de las antenas. Estos no sólo crean situaciones de dispersión y multitrayectorias sino que son también una fuente potencial de quemaduras por RF. Sin embargo, si el área normal de transmisión incluye dichos objetos metálicos, se deberán realizar mediciones en aquellas áreas con esos objetos presentes. La presencia de estructuras secundarias tales como torres, retenida de alambre, bardas, superficies reflejantes, etc. puede intensificar los campos y producir puntos calientes de RF. Se debe tener una cierta tolerancia para evitar esos efectos cuando se realice una investigación. Durante la investigación el investigador debe estar en constante comunicación con el operador de la fuente de RF para que dicha fuente sea controlada de acuerdo con los requerimientos de la investigación.

Las siguientes precauciones deberán tomarse en cuenta cuando se realicen investigaciones de fuga:

1) Existe la posibilidad de fuga en el sitio donde se encuentre el generador de RF, a lo largo de cualquier línea de transmisión o guía de onda que transporten potencia desde el generador (particularmente en las uniones de las guías de onda), y en todas las puertas de acceso y paneles del gabinete que guarda al generador. Normalmente, la energía que se fuga decae en sentido inverso al cuadrado de la distancia. Por consiguiente, al dirigir una investigación, se deberá comenzar aproximando el generador, la antena o cualquier otra

estructura no deseada radiante o causante de fuga a una distancia “segura”. El instrumento de investigación debe ser colocado en un intervalo “alto” para alertar al investigador de una posible sobreexposición (por ejemplo, mayor a $10\text{mW}/\text{cm}^2$).

2) Existe la posibilidad de quemaduras por RF, por lo que se deberá evitar el contacto con cualquier estructura metálica que este sobre o cerca de un punto donde pudieran existir altas intensidades de campo.

3) Al abrir las puertas o paneles de acceso para insertar o remover una carga de prueba (por ejemplo, en un horno de microondas o en una cámara de prueba de exposición a RF), primero se debe apagar el equipo y se deberá dejar operando el dispositivo de seguridad del sistema.

4) Al verificar la posible inoperatividad de los dispositivos de seguridad en la puerta de acceso del gabinete de RF, se deberán determinar los niveles de fuga mientras la fuente esté encendida y la puerta cerrada. Entonces el investigador puede abrir la puerta lentamente para observar cualquier incremento en la fuga y una posible falla en el dispositivo de seguridad.

5) No se deben insertar objetos extraños (especialmente los metálicos) en ninguna abertura o puerta del gabinete de RF. Esto aplica particularmente en el caso de los sistemas industriales de alta potencia que usan bandas conductoras que transportan materiales a través de las puertas de los gabinetes de RF.

6) Con la fuente apagada, el investigador deberá inspeccionar visualmente todas las guías de onda flexibles que transportan alta potencia. Esta inspección deberá determinar signos de fatiga, envejecimiento, daños en las uniones, carencia de apoyo adecuado, etc.

5.4.3 Procedimientos de medición para campos externos

5.4.3.1 Consideraciones generales. Antes de hacer mediciones deberá estimarse la intensidad de campo esperada y determinar el tipo de instrumento requerido, como se vio anteriormente. En el Apéndice A se brindan aproximaciones adicionales y ecuaciones para calcular la intensidad de campo en diversas situaciones. Los procedimientos de medición a usarse pueden variar, dependiendo de la información disponible sobre la fuente y la propagación.

Si la información es la adecuada, entonces el investigador, después de haber calculado las intensidades de campo esperadas y haber seleccionado un instrumento, puede proceder con la investigación. El investigador deberá usar una sonda de alta potencia con el interruptor de intervalo en la escala más sensible. En las áreas de alta intensidad de campo, por ejemplo, el haz principal de una antena direccional, etc., deberá aproximarse desde cierta distancia para evitar que la sonda se queme. Entonces el investigador procederá a aproximarse gradualmente a las regiones de intensidad de campo más alta.

Deberá tenerse extremo cuidado para evitar la sobreexposición del investigador y de su instrumento.

Por otro lado, si la información no está bien definida (por ejemplo, informes de fuerte interferencia intermitente) puede entonces ser difícil realizar una investigación de peligros sin antes realizar una medición empírica de los mismos. Una verificación de campos potencialmente peligrosos de frecuencia, modulación, distribución dentro de un área, etc., puede requerir del uso de varios instrumentos. Algunos de esos instrumentos pueden ser: analizadores de espectros o medidores de intensidad de campo, los cuales proporcionan información en el dominio de la frecuencia como medio para analizar las características de modulación de la amplitud, y que poseen un intervalo dinámico amplio, por ejemplo 60 dB de potencia. Después de se realice este procedimiento preliminar, se puede continuar con una investigación más seria con instrumentos de investigación isotrópicos para medir peligros.

5.4.3.2 Condiciones de campo lejano, una sola fuente. La medición de un campo de onda plana linealmente polarizado cuya localización de fuente, frecuencia y polarización son conocidas, se puede efectuar con un medidor de intensidad de campo sintonizable con una exactitud aceptable, que cubra el intervalo de frecuencia de interés. Este instrumento se usa con una antena convencional calibrada, como por ejemplo una antena tipo corneta o dipolo de ganancia patrón. Alternativamente se puede usar una sonda de medición de peligros isotrópica.

Las reflexiones multitrayectoria pueden crear distribuciones de campo altamente no uniforme, particularmente a frecuencias que excedan de 300 MHz. Para dictaminar el nivel de exposición en cualquier punto específico, deberá realizarse una serie de mediciones en un área cuadrada cuyos lados sean aproximadamente de uno o dos metros de extensión. El promedio espacial del campo dentro del área deberá considerarse como el nivel apropiado de comparación con cualquier guía de protección que se esté empleando como criterio. Las mediciones cercanas a objetos metálicos deberán realizarse con el filo de la sonda a por lo menos 3 “longitudes de la sonda”, es decir 20 cm del objeto.

Mientras se esté montando o sosteniendo la antena o la sonda de medición deberá tenerse el cuidado de evitar reflexiones o perturbaciones del campo producidas por las estructuras de apoyo o por el cuerpo del operador. Para evitar perturbaciones de campo, cuando sea necesario, deberán cubrirse con material absorbente de apropiada calidad las porciones metálicas del dispositivo de medición o de la estructura de soporte. De ser posible, los cables interconectados de la sonda deberán orientarse normales hacia el campo eléctrico. Cuando esto no sea práctico o cuando algunos severos efectos multitrayectoria produzcan campos que originen direcciones múltiples, los cables metálicos deberán cubrirse con absorbente, a menos que las pruebas demuestren que la posición del cable no afecte la medición. Los accesorios dieléctricos deberán ser lo más pequeños posible (en la sección transversal de reflexión mínima) y deberán ser de material con una constante dieléctrica baja, o ser menor a un cuarto de la longitud de onda en grosor efectivo T_E . El grosor efectivo se calcula de la siguiente forma:

$$T_E = T(\epsilon_r)^{1/2}$$

donde T es el grosor físico y ϵ_r es la permitividad relativa. Las placas dieléctricas planas (uniformes) ($\epsilon_r > 2$) pueden alterar significativamente los campos de onda plana si el grosor efectivo es mayor a 0,1 de la longitud de onda. Para la máxima exactitud, las fuentes de error pueden ser computadas para que de esta manera las intensidades de campo verdaderas puedan evaluarse con menos de ± 2 dB de incertidumbre. Para obtener este nivel de exactitud a frecuencias por encima de los 300 MHz, una medición de exploración o muchas mediciones de puntos fijos por longitud de onda deberán efectuarse para obtener la información de las variaciones en la intensidad de campo en el área, debidas a las multitrayectorias y a otras reflexiones.

5.4.3.3 Campo lejano, fuentes complejas. Cuando se midan los campos de fuentes distantes o múltiples de frecuencia, polarización o dirección de propagación desconocidas, se requerirá una sonda isotrópica de banda ancha. Ya que los efectos de la onda estacionaria y las interacciones del campo de fuente múltiple deberán computarse, es necesario explorar un volumen de espacio en la zona de interés. El área deberá dividirse en una cuadrícula con cuadros de un metro y las mediciones deberán tomarse en cada intersección de la cuadrícula. También deberá explorarse el plano vertical en cada punto de intersección de la cuadrícula.

En el caso de fuentes múltiples de polarizaciones desconocidas, no se podrá usar una sonda de eje simple (dipolo lineal) para proveer datos exactos en un intervalo razonable, por lo que las mediciones tendrían que efectuarse con una sonda de tres orientaciones ortogonales para asegurar que todas las componentes del campo sean computadas. Si debe emplearse una sonda de eje simple o una antena linealmente polarizada, habría que asegurarse de que el campo que se está midiendo sea invariante en el tiempo. Aunque se use una sonda isotrópica, esta deberá estar relativamente libre de errores de medición causados por las reflexiones de la sonda, cables, estuche de lectura de datos y el investigador. El uso de cables largos (algunos metros) de alta resistencia o cables interconectados de fibra óptica de la sonda, minimizará los problemas de reflexión mencionados arriba.

5.4.3.4 Campos cercanos. Debido a la presencia de grandes gradientes de campo en el campo cercano de un reradiador pasivo o un radiador activo, su medición requiere del uso de una sonda con un arreglo eléctricamente pequeño de tres dipolos ortogonales y, para frecuencias por debajo de los 300 MHz, un arreglo de tres lazos ortogonales eléctricamente pequeños a fin de proporcionar un desempeño satisfactorio en la resolución de esos gradientes espaciales. De otra manera, un valor promediado espacialmente se medirá con una sonda grande (una con un área efectiva mayor a un cuarto de longitud de onda en la sección transversal). Además, un arreglo de antena pequeña produce perturbaciones mínimas en el campo y no se modifican las características de radiación de la fuente (alteración de campos cercanos reactivos). Como la polarización de los campos

en situaciones de campo cercano son generalmente desconocidas, en la mayoría de los casos deberá usarse una sonda isotrópica. Si la frecuencia y la polarización son conocidas, no se requerirá de un instrumento de banda ancha; en su lugar se puede emplear una sonda de banda estrecha de respuesta uniforme en el plano simple (similar a algunos instrumentos de investigación comerciales con dos dipolos ortogonales como los utilizados en las investigaciones de hornos de microondas). Véase también 5.4.3.6

5.4.3.5 Instrumentos de medición de campos externos.- Consideraciones de uso. Ya han sido mencionados los efectos dispersores del operador, el cable, la estructura de soporte y del dispositivo indicador. Estos problemas son los más significativos cuando un campo espacialmente uniforme (onda plana) ilumina todos esos objetos así como el sensor de la sonda con la misma intensidad de campo aproximada. Esto produce reflexiones que se relacionan directamente con la sección transversal de dispersión de varios objetos y su distancia desde la sonda. Las dispersiones producidas por el cuerpo del operador pueden introducir errores de más de 2dB en la densidad de potencia de la onda plana equivalente [B8]. Las reflexiones de los cables del gabinete alineadas con el campo eléctrico de onda plana incidente y colocado a aproximadamente 30 cm atrás del sensor de una sonda isotrópica puede causar variaciones en la medición de $\pm 1,5$ dB a 915MHz y $\pm 0,75$ dB a 2450MHz [B1,B3]. Estos efectos se vuelven más significativos a frecuencias más bajas donde la longitud del cable y la longitud de onda de RF son comparables. La magnitud de las reflexiones de un cable, del operador u otros objetos se incrementa en tanto que la frecuencia decrece en una relación geométrica fija entre la sonda y el cable. Por consiguiente, deberá tenerse mayor cuidado a frecuencias por debajo de los 1000 MHz para evitar grandes errores cuando se están efectuando mediciones en campos espacialmente uniformes. La orientación del cable perpendicular hacia el campo eléctrico incidente, o el cubriéndolo con absorbente, reducirá este problema. Sin embargo, deberá tenerse en mente que la mayoría de los absorbentes no son efectivos a bajas frecuencias. Por ello, son preferibles los instrumentos acoplados con fibra óptica para frecuencias por debajo de los 300 MHz.

La IRF (interferencia por radiofrecuencia) también se vuelve un problema significativo en las bajas frecuencias porque es más difícil blindar la circuitería del dispositivo de lectura de datos y los cables a frecuencias por debajo de los 500 MHz. Se puede hacer una prueba operacional del sistema blindando totalmente la punta sensora de una sonda de campo eléctrico con papel metálico. Este procedimiento permite la determinación de la existencia de IRF o acoplamiento capacitivo entre el cable, el dispositivo de lectura y objetos radiantes cercanos durante la medición. De igual manera, el reorientar las terminales de la sonda en el campo, con el elemento sensor de la sonda fijo, no deberá alterar la lectura significativamente (± 6 dB) si la IRF no es problemática. Es común encontrar grandes errores en las lecturas de instrumentos isotrópicos más antiguos cuando éstos se usan para medir los campos eléctricos y magnéticos por debajo de los 1000 MHz, especialmente cuando el dispositivo de lectura de datos y el cable de la sonda están expuestos a un campo de la misma magnitud que la que ilumina la sonda [B2, B23]. Esto a menudo se debe a juntas defectuosas de IRF en el dispositivo de lectura de datos o por un diseño deficiente del sistema de IRF. Para conectar la sonda al dispositivo de lectura de datos, los

fabricantes de instrumentos de investigación para medir peligros emplean cables de fibra óptica, cables de alta resistencia o cables coaxiales con doble blindaje y cables de señal para minimizar los efectos de la IRF. Asimismo, una sonda autónoma (antena activa) con antena integrada, sensor y lector de datos en el mismo bastidor puede minimizar el problema de la IRF que de otra manera se inducirían en los cables o en el lector de datos[B5].

La linealidad de los instrumentos como una función de la relación de la potencia pico a la potencia promedio de los campos de amplitud modulada deberá considerarse al efectuar las mediciones en situaciones desconocidas. El factor de trabajo de los pulsos o la forma de la onda de amplitud modulada puede ser cuantificada usando una antena convencional con salida coaxial, por ejemplo, antena periódica logarítmica, dipolo, atenuador coaxial y detector diódico. La salida del detector puede ser alimentada a través del cable coaxial a un osciloscopio con un ancho de banda adecuado. El factor de trabajo de fuentes pulsadas y la forma de onda de la amplitud modulada podrán ser entonces observadas y la relación del pico a la potencia promedio o a la densidad de energía podrá ser dictaminada. No es necesario mantener la operación de ley cuadrática del detector para la evaluación del 100% de formas de ondas rectangulares de amplitud modulada. Para otros tipos de formas de onda de pulso modulado, sólo se puede estar seguro de que tanto el pico como las intensidades de campo promedio son correctas si se opera el detector en la región de ley cuadrática [B27]. Así, por medio de la detección de ley cuadrática, la relación del pico y la densidad de potencia equivalente promedio (E^2 ó H^2) puede cuantificarse.

La medición de los efectos de un campo que varía lentamente en el tiempo generado por una antena de radar rotatoria o por un horno de microondas con modo de operación más agitado, puede ser acomodado usando una constante de tiempo adecuada de la pantalla de datos. Algunos instrumentos cuentan con constantes de tiempo “rápida y lenta”. Cualquier variación periódica observable de la intensidad de campo, indicada por el instrumento en el modo de operación rápido, deberá considerarse como modulación de campo de baja frecuencia y utilizarse la constante de tiempo lenta. Deberá tenerse cuidado de evitar generar errores en las variaciones lentas en señales reflejadas (debido a objetos móviles en el campo) para una modulación real de una fuente variable en el tiempo. Esto quiere decir que deberá eliminarse cualquier movimiento del operador, la sonda u objetos circundantes durante el procedimiento de medición cuando existan campos variables en el tiempo.

Siempre está presente en cierto grado, (típicamente del 2% a 20%) una elipticidad (condición de recepción no isotrópica), en el patrón de recepción de sondas isotrópicas o multiejes. Sólo si se toma en cuenta la elipticidad de un instrumento, se podrán tomar datos exactos. En aquellos campos donde no existan componentes en la dirección de la manija de la sonda, deberá efectuarse una rotación de la sonda alrededor del eje de la manija durante la investigación (si el investigador desea eliminar este error) en cada punto fijo de interés dentro del volumen espacial que se está investigando. Deberán registrarse los valores mínimos y máximos y computar el valor promedio. Esto se puede hacer manualmente en situaciones de campo cercano, por ejemplo, en investigaciones de hornos de microondas, sin introducir error, si la mano del investigador está en un área de intensidad de campo mínima con respecto al campo en el sensor (punta de la sonda). En situaciones donde exista una iluminación uniforme sobre todo el cuerpo de la sonda (desde

la punta hasta la manija), por lo general se cometen grandes errores debido a la presencia de la mano del operador mientras se efectúa esta rotación; y estos errores son provocados por la elipticidad de la sonda. En este caso, si se requiere de datos exactos, la sonda deberá ser sostenida por un soporte dieléctrico y los límites de error asociados con la elipticidad de la sonda deberán asignarse a la medición en vez de intentar rotar la sonda manualmente.

5.4.3.6 Interacción de las sondas de medición de peligros de RF con objetos dispersores pasivos cercanos (rerradiadores) y radiadores activos. Pueden resultar grandes errores cuando las mediciones se hagan con sondas de medición de peligros colocadas cerca de objetos conductores o de alta constante dieléctrica, (dispersores o “rerradiadores pasivos”). En esta sección se tratarán dos situaciones: una ocurre cuando una sonda de medición de peligros con una antena “eléctricamente grande” (mayor a 0,25 longitud de onda) se coloca cerca de objetos perturbadores de campo, tales como el cuerpo de una persona, objetos conductores grandes como un polo de metal o un almacén metálico; la otra situación que provoca errores, ocurre cuando las mediciones se efectúan con la antena de la sonda menor a unas cuantas “longitudes de antena” ó “longitudes de la sonda” desde un radiador activo de RF como por ejemplo, el de una antena monopolo de un radiotransmisor móvil, o de un horno de microondas con fuga. (El término *longitud de sonda / antena* se discute en el cláusula 5.4.3.6 inciso D).

El desempeño inadecuado de una sonda de medición de peligros ubicada cerca de rerradiadores pasivos o de radiadores activos se debe a varios factores incluyendo los siguientes:

- 1) Reflexiones de un objeto rerradiador que produce ondas estacionarias (o patrones de interferencia en los campos EM) que se extienden a una distancia de varias longitudes de onda desde dispersor. Cuando una sonda no está bien acoplada (a través de los campos cercanos reactivos del rerradiador), se pueden emplear las técnicas de la cláusula 5.4.3.2 para minimizar los errores de medición. Estas técnicas eliminan los efectos de las ondas estacionarias por medio del uso del promedio espacial. Cuando la sonda está debidamente acoplada al rerradiador, se pueden utilizar los datos de la cláusula 5.4.3.6 inciso A;
- 2) Un objeto perturbador (se trate de un radiador activo o de un rerradiador pasivo) “carga” o distorsiona las características de medición de la combinación antena/detector de la sonda [B2]. Esto sucede cuando la antena es grande comparada con la longitud de onda de la energía de RF que se está midiendo (en la cláusula 5.4.3.6 inciso A se trata esa situación);
- 3) Una sonda eléctricamente grande en el campo cercano reactivo de un radiador activo altera los campos que están siendo radiados por la fuente y los promedios espaciales de los campos cercanos no-uniformes que se están midiendo. Esta promediación ocurre sobre el área efectiva de la apertura de la antena de la sonda, es decir, por la longitud del dipolo o por el diámetro del lazo.

A) Los efectos de la distancia de separación entre la sonda de investigación y los radiadores pasivos cercanos en la exactitud de la medición. Se puede realizar un análisis para determinar el grado de interacción de la sonda (o acoplamiento) con objetos cercanos tales como rerradiadores pasivos o dispersores, incluyendo al personal expuesto. Cuando la sonda está bien acoplada a un rerradiador, un error por carga-sonda tiene el efecto de alterar el acoplamiento de la impedancia entre la antena de la sonda y su detector. A pesar de que este error de carga depende de dos parámetros eléctricos de los circuitos equivalentes de la antena y el detector, la relación de la “impedancia de la fuente” de la antena a su “impedancia de carga (sobre el detector)” es el crítico. La “impedancia de la fuente” se refiere a la impedancia de salida compleja (a la frecuencia de interés) de la antena: la “impedancia de carga” es la impedancia compleja del detector de RF que se coloca en las terminales de salida de la antena. Para cualquier tipo de detector, como diodos o termoacopladores, si la magnitud de la impedancia compleja de la carga (detector) es “alta” (alrededor de diez veces mayor que la impedancia de la fuente de la antena), la sonda será menos susceptible a la degradación por desempeño debido a la pequeña distancia de separación entre ella y un objeto perturbador de campo grande.

Para cuantificar los efectos de la sonda al rerradiador pasivo se han desarrollado ciertos análisis y cálculos específicos ya tratados anteriormente. También se han hecho estimaciones para cuantificar los errores causados cuando las mediciones de la intensidad de campo se hacen con una sonda de medición de peligros que está en cercana proximidad a un rerradiador pasivo grande. Se han llevado a cabo un profundo análisis para la situación en la que una sonda de medición de peligros basada en un dipolo se usa para medir un campo de onda plana cerca de un plano conductor infinito [B26]. Se estudió analíticamente y se confirmó experimentalmente el efecto de la proximidad de un plano conductor a una sonda para medir campo eléctrico. La degradación de la medición se cuantifica en términos de la distribución de intensidad de campo verdadera (incluyendo la onda estacionaria) a lo largo de una trayectoria normal y cercana a un reflector grande. Se estudiaron dos casos en lo referente a sondas de dipolo-diodo de longitudes totales igual a 0,2 y 0,4 longitudes de onda. Hay que hacer notar que en [B26] los resultados se expresan en términos de la media longitud de la antena dipolo en tanto que en la siguiente los resultados serán relativos a la “longitud de antena de la sonda” total.

La combinación del desempeño de la antena/detector se analizó como una función de distancia entre la antena y el plano reflector y los resultados cuantificaron el error de la sonda respecto al campo eléctrico verdadero (incluyendo la onda estacionaria grande asociada con el reflector). Los errores relacionados con la medición del campo E se examinaron para una impedancia muy alta (circuito abierto), cargas a la terminal de la antena (detectores) y en cargas de impedancia muy baja (corto circuito). El error de medición por la combinación dipolo/detector fue determinado analizando el comportamiento del circuito equivalente de la antena de la sonda y el detector. El análisis realizado por Smith usando las conjeturas anteriores arrojó un error fraccional ΔV en la medición del campo E, que se define de la siguiente manera:

$$\Delta V = \frac{|V| - |V_0|}{V_0} \quad \text{Ec. 1}$$

donde:

V_0 = tensión del detector del campo E en ausencia de un dispersor

V = tensión medida en presencia de un dispersor

En tanto que las sondas con impedancia de carga compleja (detector) de por lo menos diez veces mayor a la impedancia de la fuente (antena) son menos susceptibles a errores inducidos por objetos perturbadores de campo cercano, una capacitancia baja, un detector diódico de impedancia alta a través de las terminales de la antena, reducirá los errores en el peor caso con un factor de alrededor de dos veces.

El análisis de los resultados y las conclusiones de los errores de medición debidos a la interacción entre una sonda y un dispersor pasivo cercano se presentan mas adelante. En la Tabla 3 se incluyen ciertos datos seleccionados de [B26]. Nótese que los errores en la densidad de potencia equivalente o intensidad de campo cuadrática en la Tabla 3 se han calculado usando las relaciones mostradas en la Ec. 2. Para el error de densidad de potencia equivalente se asumió que la sonda de medición de peligros de RF es de ley cuadrática. Por esto, el error fraccional encontrado al medir la densidad de potencia equivalente con o sin el plano reflector presente se puede calcular desde la Ec. 1 y expresarse como se indica a continuación:

$$\Delta W = \frac{V^2 - V_0^2}{V_0^2} \quad \text{Ec. 2}$$

donde:

ΔW = error cuadrático de la intensidad de campo (o error de densidad de potencia equivalente), y

V y V_0 se definen arriba.

Las siguientes tendencias se describen en [B26]. A frecuencias entre 300 MHz y 3 GHz y distancias de separación de entre 0,2 y 0,5 longitudes de onda, los errores de medición de la intensidad de campo resultaron ser menores al 13% (28% para la intensidad de campo cuadrática o densidad de potencia equivalente) para antenas que tienen menos de 20cm de longitud. Faltan datos para las antenas dipolo que se usan por debajo de los 30MHz, que son menores a 200 cm. Por consiguiente, los análisis prácticos de error en la sonda de medición de peligros no se pueden obtener de [B26] para frecuencias de los 30MHz o por debajo.

TABLA 3. Errores de medición para mediciones de intensidad de campo hechas en cercana proximidad a un rerradiador pasivo eléctricamente grande (en [B25])

Frecuencia	Long. sonda	Distancia de separación	Errores de Medición		
			(IC) ²	(IC ²) ³	Separación longitud antena-sonda
(MHz)	cm/long. de onda	cm/long. de onda	%	%	cm
300	20/0,2	20/0,2	10	21	1
3000	2/0,2	2/0,2	10	21	1
3000	4/0,4	5/0,5	13	28	1,25

Los resultados totales presentados arriba indican que los errores de medición para el peor caso sobre un intervalo de frecuencia de 300 MHz a 3000 MHz no son mayores a un 10% (21% para la intensidad de campo cuadrática) bajo las siguientes condiciones para el peor caso:

- 1) La impedancia del detector (carga) es baja con respecto a la impedancia de la fuente de la antena (es decir, el detector demanda una corriente de RF relativamente alta de la antena receptora). En contraste, un detector diódico de impedancia alta y baja capacitancia reducirá los errores en la carga de la sonda en un factor de aproximadamente dos veces.
- 2) El objeto perturbador (rerradiador pasivo) puede tener alguna sección transversal dispersora, es decir, su tamaño puede ser mucho más grande que varias longitudes de onda a la frecuencia en que se está midiendo. Dispersores pequeños introducirán errores de medición menores.
- 3) La longitud eléctrica del dipolo es menor o igual a 0,4 longitudes de onda de punta a punta.
- 4) La distancia entre la sonda y el objeto perturbador es mayor a 20 cm a 300 MHz (0,2 longitudes de onda) y mayor a 2 cm (0,2 longitudes de onda) a 3000 MHz.

Se puede esperar un conjunto de errores de medición con valores similares para una antena de lazo eléctricamente pequeña (sonda de campo H) debidos al efecto de “carga” de impedancia desde un plano conductor cercano. En este caso, el diámetro del lazo representará la longitud de la antena de la sonda.

B) Establecimiento de la distancia de separación mínima entre una sonda de investigación y un radiador activo. La exactitud de los datos medidos puede ser afectada cuando se usa una sonda de campo cercano para graficar gradientes espaciales grandes

² Intensidad de campo

³ Intensidad de campo cuadrática o densidad de potencia equivalente

muy cerca de los elementos radiantes de un emisor de RF (una antena o una fuente de fuga). Estos gradientes pueden hacer variar la amplitud del campo significativamente sobre el volumen del espacio que es ocupado por las antenas de la sonda, provocando por consiguiente un error de medición debido al promedio espacial. Conforme la distancia de separación entre la sonda y el radiador se incrementa, el campo a través de todo el volumen ocupado por las antenas de las sondas llega a ser más uniforme. Basados en el hecho de que los gradientes de campo más grandes se asocian con el campo E reactivo o cuasiestático cerca de un dispositivo radiante, es posible predecir la distancia mínima entre la sonda de campo cercano y un radiador activo que evitará errores de medición significativos. Por ejemplo, los campos cercanos a un dipolo eléctricamente pequeño disminuyen inversamente con el cubo de la distancia de separación d entre el radiador y el punto de medición (véase Ec. B1). Un análisis de la magnitud de las componentes del campo E indica que el componente reactivo del campo ($1/d^3$) domina a distancias de menos de 0,15 longitudes de onda de la fuente. Subsiguientes revisiones de los datos a distancias menores de 0,15 longitudes de onda aportan datos que definen el intervalo de la distancia de separación sobre la cual el campo E^2 varía a menos de un factor de ± 3 dB. Empleando esto como criterio y la Ec. B1, un análisis simplificado del peor caso usando el término simple $1/\omega d^3$ en la expresión para E_θ da como resultado una distancia de separación mínima de 5 “longitudes de la antena-sonda de recepción” (véase Tabla 3), por ejemplo, aproximadamente 20 cm o más en instrumentos de campo cercano típicamente comerciales donde el tamaño de los elementos sensores son pequeños comparado con los 20 cm. Por lo anterior, la longitud de la antena es igual a la dimensión de punta a punta de un dipolo simple o al diámetro de un lazo. Una estimación del peor caso de la “longitud de la sonda-antena” se puede obtener rápidamente siguiendo el procedimiento descrito en la cláusula 5.4.3.6 inciso D.

Deberá tenerse en cuenta que el análisis para el peor caso descrito arriba da como resultado errores que son significativamente mayores que los errores actuales encontrados para muchos tipos de radiadores. Específicamente, muchas fuentes de radiación, como una cuarteadura en la puerta de un horno de microondas, no producen componentes “radiales” con el decremento de $1/d^3$ en la distancia de separación, incluso en su región de campo cercano reactivo.

C) Conclusiones sobre el espaciamiento mínimo entre una sonda de RF y una fuente radiante o un rerradiador pasivo. Los análisis presentados en 5.4.3.6 incisos A y B, pueden aplicarse en un problema de medición de campo cercano. Este problema involucra las incertidumbres del peor caso que se presenta cuando se realiza una medición a una distancia mínima desde un radiador activo o desde un rerradiador pasivo. La Tabla 4 contiene información a este respecto en términos de intervalos para los cuales las dimensiones de la sonda y frecuencias son válidas para la técnica de análisis particular. De igual manera, la distancia mínima de separación esta expresada con relación a la longitud de onda y en términos de la longitud de la sonda-antena (la máxima dimensión de una antena simple o el arreglo de antenas ortogonales de la sonda de medición de peligros).

TABLA 4. Errores asociados para el peor caso, con la distancia de separación mínima a la fuente del RF

Método de Análisis	Distancia de Separación		Intervalo de Frec MHz	Error dB
	Long.de antena	Long. de onda		
Célula TEM	1	<0,25	<500	1
Rerradiador Pasivo	1-1,25	0,2-0,5	300-5000	1
Radiador Activo (1/d ³)	5	<0,15	<<470	3

Con la información de la Tabla 4 se pueden hacer estimaciones en lo referente a los errores que resultarán si las distancias de separación mínimas de la sonda a la fuente o al objeto dispersor no se sobrepasan. El error más significativo se debe al gradiente del campo radial sobre la antena de la sonda alineada con él. Este error es un peor caso extremo y en muchas situaciones no se producirá este error tan grande, incluso en distancias de separación más pequeñas. Por lo general, en una sonda de medición de peligros típica con un arreglo de dipolos o lazos de 5 cm o 10 cm, una separación de entre 3 y 5 longitudes de sonda asegurará un error máximo de 3 dB a frecuencias por debajo de los 500 MHz, en tanto que el máximo error a frecuencias más altas puede ser más bajo debido a que los gradientes en las componentes radiales son menos pronunciados a distancias mayores a 0,15 longitudes de onda. Por consiguiente, en la mayoría de los casos cuando se utilizan instrumentos de investigación de campo cercano apropiados, una distancia de separación mínima razonable será de 20 cm.

D) Estimación del tamaño físico de las antenas de la sonda de medición de peligros.

A pesar de que la longitud de los dipolos o el diámetro de los lazos en la mayoría de los instrumentos de investigación no son obvias se puede estimar el tamaño máximo de las antenas sensoras de la sonda. Como la sonda de investigación tiene antenas que son físicamente más pequeñas que la del radomo dieléctrico u otro objeto físico que las rodea, la dimensión del radomo de la antena puede ser usada para aproximar las dimensiones máximas de las antenas contenidas en él. De esta manera el diámetro del radomo esférico puede ser usado como una estimación del peor caso del tamaño de las antenas cubiertas. Esto a su vez puede ayudar a determinar la distancia mínima de separación que deberá usarse entre la sonda de investigación y cualquier objeto circundante.

Varias sondas de banda ancha de medición de peligros de RF con sensores termoacoplados tienen elementos de antena que son casi tan grandes como el diámetro del radomo que los contiene. Algunas sondas de medición peligros tipo antena activa que se diseñaron para trabajar por debajo de los 200 MHz y utilizan electrónica activa para acoplar las impedancias de sus antenas monopolar eléctricamente cortas con la circuitería de detección de RF. Este tipo de instrumento es equivalente a un dipolo asimétrico, con un elemento (monopolo) saliendo desde el centro de una caja metálica. Dicha caja contiene la circuitería acopladora de impedancia con electrónica activa y también sirve como un “plano de tierra” o como segundo elemento del dipolo. Aunque la longitud total del

dipolo es mayor a la suma de la longitud del monopolo de la antena receptora y la altura de la caja contenedora de la circuitería, la longitud combinada deberá usarse para definir la longitud equivalente del dipolo.

Estos Métodos de Prueba habrán de corroborar los valores de las especificaciones del inciso 4.0

6. Bibliografía

[B1] Bassen, H., "A Broadband, Miniature, Isotropic Electric Field Measurement System," *IEEE Electromagnetic Compatibility Symposium Record*, IEEE 75CH1002-5 EMC, Oct. 1975.

[B2] Bassen, H. and R. Peterson, "Complete Measurement of Hazardous Electromagnetic Fields with Electro Optical Crystals, Biological Effects of EM Waves," vol. II, *Selected Papers of USNC/ URSI Annual Meeting*, Boulder, CO, Oct. 1975, DHEW Publication (FDA) 77-8011, pp. 310-323, Dec. 1978.

[B3] Bassen, H. and W. Herman, "Precise Calibration of Plane-Wave Microwave Power Density Using Power Equation Techniques," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-25, no. 8, pp. 701-706, Aug. 1977.

[B4] Bassen, H. and R. Hoss, "An Optically Linked Telemetry System for Use in Electromagnetic Field Measurement Probes," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. EMC-20, no. 4, pp. 483-488, Nov. 1978.

[B5] Rassen, H. and S. Smith, "Electric Field Probes—A Review," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. AP-31, no. 5, pp. 710-718, Sep. 1983.

[B6] Bramall, K. E., "Accurate Microwave High Power Measurements Using a Cascaded Coupler Method," *Journal of Research*, National Bureau of Standards (U.S.) 75C, p. 185, July-Dec. 1971.

[B7] Chang, D. C, R. D. Halbgewachs, and C. W. Harrison, Jr., "The Electromagnetic Field Very Near to a Monopole," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. EMC-17, pp.97-105, May 1975.

[B8] Chatterjee, I., O. P. Gandhi, and M. Haggmann, "Numerical and Experimental Results for Near field Electromagnetic absorption in Man," *IEEE Transactions an Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-30, no. 11, pp. 2000-2005, Nov. 1982.

[B9] Cleveland, R., "Evaluating Compliance with FCC-Specified Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Radiation," *FCC-OST Bulletin No. 65*, Federal Communications Commission, Washington, DC, Oct. 1985.

[B10] Damelin, J., "VHF-UHF Radiation Hazards and Safety Guidelines," Report no. 7104, *Federal Communication Commission*, Washington, DC, July 1974.

[B11] Davidson, A. L., "Mobile Antenna Gain at 900 MHz," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. VT-24, pp. 54-58, Nov. 1975.

[B12] Engen, G. F., "An Improved Method for Microwave Power Calibration with Application to the Evaluation of Connectors," *Journal of Research*, National Bureau of Standards (U.S.) 75C, p. 89, Apr.-June 1971.

[B13] Engen, G. F., Theory of UHF and Microwave Measurements Using the Power Equation Concept, *National Bureau of Standards Technical Note 637*, Apr. 1973.

[B14] Hankin, N. N., "An Evaluation of Selected Satellite Communication System as Source of Environmental Microwave Radiation," Report no. EPA-520/2-74-008, Environmental Protection Agency, Washington, DC, Dec. 1974.

[B15] Herman, W. and D. Witters, "Microwave Hazard Instruments, An Evaluation of Narda 8100, Holaday 1500, and Simpson 380 M," HHS Publication (FDA) 80-8122, June 1980.

[B16] Hudson, P. A., "A High Directivity Broadband Coaxial Coupler," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-14, p. 293, June 1966.

[B17] Hudson, P. A. and L. F. Saulsbury, "An Adjustable-Slot-Length UHF Coaxial Coupler with Decade Bandwidth," *IEEE Transactions on Microwave, Theory and Techniques*, vol. MTT-19, p. 781, Sep. 1971.

[B18] John, W., "The Calibration Problem of Dipole Probes for Nearfield Measurement at Microwave Radiators" *Nachrichtentechn*, Z28, no. 3, pp. 89-92, 1975.

[B19] Jordan, E. E., *Electromagnetic Waves and Radiating Systems*, Prentice-Hall, New York, 1950.

[B20] King, R. W. P., *Electromagnetic Engineering*, vol. I, McGraw-Hill, New York, 1945.

[B21] Nesmith, B. and P. Ruggera, "Performance Evaluation of RF Electric and Magnetic Field Measuring Instruments" Report FDA 81-8185, Food and Drug Administration, Rockville, MD 20857, 1982.

[B22] Rogers, S. J., "Radiofrequency Burn Hazards in the MF/HF Band," in *Proceedings of a Workshop on the Protection of Personnel Against Radiofrequency Electromagnetic Radiation*, U.S. School of Aerospace Medicine Review 3-81, U.S. Air Force, Aerospace Medical Division, Brooks Air Force Base, TX 78235, pp. 76-89, 1981.

[B23] Ruggera, P. E, "H-Field Instrumentation and Calibration Below 500 MHz," *Biological Effects of EM Waves, vol 2: Selected Papers of USNC/URSI Annual Meeting, Boulder, CO, Oct. 1975, DHEW Publication (FDA) 77-8011, pp. 281-296, Dec. 1976.*

[B24] Silver, S., *Microwave Antenna Theory and Design*, M.I.T. Radiation Laboratory Series, no. 12, McGraw-Hill, New York, 1950.

[B25] Smith, G., "The Electric-Field Probe Near a Material Interface with Application to Probing of Fields in Biological Bodies," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-27, no. 3, pp. 270-278, Mar. 1979.

[B26] Stuchly, M. and A. Kraszewski, "Exposure of Human Models in the Near Field of and Far Field-A Comparison," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. BME-32, no. 7, pp. 702-711, 1985.

[B27] Swicord, M., "Problems of Power Measurement Using Non-Square-Law Detectors," BRH/DEP Report No. 72-2, Aug. 1971.

[B28] Tell, R. A., "Near-Field Radiation Properties of Simple Linear Antennas with Applications to Radiofrequency Hazards and Broadcasting," Technical Report No. ORP/EAD 78-4, U.S. Environmental Protection Agency, Las Vegas, NV, (NTIS Order no. PB 292647), June 1978.

[B29] Wyss, J. C. and S. T. Sheeran, "A Practical Optical Modulator and Link for Antennas," *Journal of Lightwave Technology*, vol. LT-3, no. 2, pp. 316-321, Apr. 1985.

7. Concordancia con normas internacionales

Esta norma oficial mexicana es equivalente al siguiente documento normativo internacional:

- § ANSI/IEEE C95.3-1991, "IEEE Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields – RF and Microwave" (Sección 4 y 5).
- § International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), "Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz)," *Health Physics* 74: 494-520 (1998) (Niveles de referencia para la exposición a campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo en ambientes ocupacional y no-ocupacional, Tablas 6 y 7).

APÉNDICES INFORMATIVOS

Estos apéndices no forman parte de esta norma pero se incluyen como información adicional.

APÉNDICE A

CÁLCULOS TEÓRICOS DE LOS CAMPOS DE EXPOSICIÓN

A1. Consideraciones Técnicas sobre las características de una fuente de RF

A pesar de que por diversos factores es complicado predecir los niveles de la densidad de potencia en la vecindad de las fuentes de RF, se pueden hacer estimaciones útiles. La calidad de dichos cálculos dependerá de la aproximación analítica que se utilice, así como también de la exactitud de los valores de la potencia pico, la duración del pulso, la velocidad de repetición del pulso, los patrones de radiación de la antena, la colocación de la antena y velocidad de exploración, empleados en el cálculo teórico. Las correcciones para los efectos de campo cercano también pueden ser apropiadas. Los parámetros de operación listados abajo deben especificarse adecuadamente para poder calcular la potencia radiada promedio de la antena, y la densidad de potencia resultante en un punto distante.

Para todas las fuentes (pulsadas o de onda continua (CW)) deben conocerse o estimarse el tipo y el tamaño de la antena, la ganancia, el patrón de radiación incluyendo las anchuras de los haces planos de E y H y la distribución del lóbulo lateral, la altura de la antena sobre el suelo, la frecuencia de operación, la orientación del haz de la antena (en todos los casos posibles) y la atenuación de la línea de transmisión que conecta el generador de RF con la antena. Para el cálculo de los niveles de la densidad de potencia esperada de fuentes pulso moduladas, deben emplearse los posibles valores máximos de la potencia pico, la duración del pulso y la velocidad de repetición del pulso que se aproxima pero no sobrepasa el factor de trabajo de un transmisor. En caso de fuentes múltiples, se debe considerar la contribución de cada fuente, cuando se estime el efecto combinado.

A2. Antenas – Sobre el eje

El campo enfrente de una antena puede caracterizarse en las siguientes tres regiones:

1. *Región de campo cercano reactivo.*- Esta es la región del espacio que rodea inmediatamente a la antena o fuente de fuga, en donde predominan los componentes reactivos (no radiadores) y la energía es almacenada en el campo. La región de campo cercano reactivo se extiende hasta una distancia de

- aproximadamente una longitud de onda de la antena excepto para el caso de antenas eléctricamente grandes (cuyo tamaño físico es mayor, en cualquier dimensión, a varias longitudes de onda).
2. *Región de radiación de campo cercano (Región de Fresnel).*- En esta región, que comienza a una cierta distancia de la antena en donde la región de campo reactivo ha disminuido a una cantidad insignificante, la ganancia de la antena y la distribución angular del campo radiado varía proporcionalmente con la distancia desde la antena. Esto es porque las relaciones de fase y amplitud de varias ondas que llegan al punto de observación desde diferentes áreas de la antena cambian con la distancia. Para antenas tipo reflector, como las de disco parabólico, la radiación en cierta medida es más compleja en su patrón de distribución.
 3. *Región de campo lejano (Fraunhofer).*- Esta región está suficientemente lejos de la fuente donde las relaciones de fase y amplitud de las ondas que llegan desde diferentes áreas de la antena no cambian considerablemente con la distancia. La ganancia de la antena y el patrón angular son esencialmente independientes de la distancia, y la densidad de potencia es inversamente proporcional al cuadrado desde la distancia de la fuente. Aunque la transición del campo cercano radiante es gradual, comúnmente se asume que para antenas con excitación de equifase la región de campo lejano comienza a una distancia de aproximadamente $2a^2/\lambda$ y se extiende hasta el infinito (a es la mayor dimensión de la apertura lineal y λ es la longitud de onda a la frecuencia de interés). Este criterio no es el adecuado para todos los tipos de antenas y no debe ser aplicado arbitrariamente.

Para calcular un valor aproximado de la densidad de potencia máxima W en la región de campo lejano y de Fresnel de una antena, utilice la siguiente ecuación:

$$W = \frac{GP_T}{4\pi d^2} = \frac{A_e P_T}{\lambda^2 d^2} \quad \text{Ec. A1}$$

donde G es la ganancia de la antena de campo lejano (relación de potencia), P_T es la potencia total de la antena, d es la distancia a la antena, λ es la longitud de onda y A_e es el área efectiva de antena. Si no se conoce G se puede obtener entonces una aproximación útil para W sustituyendo el área de la apertura física (A) por A_e en la ecuación A1. Dado que A generalmente es mayor que A_e , el valor estimado de W será en cierta medida mayor que el valor actual.

Para estimar W a distancias mayores de $0,5a^2/\lambda$ puede utilizarse la ecuación A1, donde A es la mayor dimensión de la apertura. A distancias más cortas, los valores supuestos por la ecuación A1 son demasiado grandes y entonces se debe emplear la estimación de campo cercano. Para antenas reflectoras y de corneta comúnmente utilizadas, la densidad máxima de potencia esperada W_m en el campo cercano radiante puede estimarse mediante A1 y A2.

$$W_m = \frac{4P_T}{A} \quad \text{Ec. A2}$$

Para aberturas cuadradas con amplitudes trapezoidales uniformes de coseno y coseno cuadrado, y para aberturas circulares con extensiones trapezoidales desde uniformes hasta de $(1-q^2)^3$ [B2], los valores supuestos por la ecuación A2 estarán dentro de un intervalo de ± 3 dB del valor verdadero (en la ausencia de reflexiones).

Si un cálculo indica que la densidad de potencia aproximada es substancialmente menor que los especificados en la GPRF (Guía de Protección Contra Radiofrecuencia), entonces usualmente no hay ninguna necesidad de realizar más cálculos ya que la ecuación A2 proporciona la densidad de potencia máxima que puede existir sobre el eje del haz de una antena que está enfocado en el infinito en sin reflexiones (una antena enfocada a una distancia menor podría producir una densidad de potencia mayor en la región de su punto focal, sin embargo esta condición no es común).

Si el cálculo de la ecuación A2 revela un valor de densidad de potencia que sea igual o mayor que los especificados en la GPRF, entonces se debe asumir que este valor puede existir en cualquier punto de la región de radiación de campo cercano y entonces debe ponerse atención a los campos de exposición en la región de campo lejano.

Las ecuaciones A1 y A2 no incluyen los efectos de reflexiones de tierra. Cuando el haz principal es dirigido hacia un plano de tierra o una superficie reflejante pueden resultar valores de la densidad de potencia que excedan el valor del espacio libre por un factor de 4 veces.

Pueden resultar valores aun mayores si la forma de la superficie reflejante es tal que produce efectos de enfoque. Después de considerar las fuentes de error mencionadas arriba, se debe calcular la distancia a la frontera de la zona potencialmente peligrosa (en la presencia de reflexiones) de la siguiente forma:

$$r = \sqrt{GP/\pi W} \quad \text{Ec. A3}$$

A3. Antenas- fuera del eje

Es más difícil calcular la densidad de potencia fuera del eje del haz principal porque se requiere de la solución de ecuaciones matemáticas complejas. Una aproximación revela que el haz colimado en el campo cercano radiante cae fuera con el incremento de la distancia aproximadamente 12 dB por unidad del radio de la antena. Algunas antenas no tienen formas simples o iluminaciones trapezoidales. En tales casos, la fórmula de arriba no se aplicará directamente ya que se requiere de un análisis más complejo. El Manual Técnico de Peligros de Radiación Electromagnética del Departamento de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos [B3] da los resultados de tales cálculos en forma de curvas normalizadas. Sin embargo, no se garantiza un alto orden de exactitud cuando se calcula la

densidad de potencia esperada debido a que muchos parámetros físicos en el ambiente crean variaciones significativas en los valores predichos por cálculos idealizados.

A4. Corrección de Exploración

En el caso de antenas exploradoras, la densidad de potencia promedio en un punto fijo será reducido por el valor del ancho del haz efectivo del patrón de la antena dividido entre el ángulo de exploración (número de grados de rotación de la antena durante una exploración). Esto asume que se está utilizando una velocidad rotacional constante y que la antena gira en una dirección, en lugar de parar después de una exploración e invertir la dirección. Por consiguiente, la distancia potencialmente peligrosa disminuye en por lo menos la raíz cuadrada de esta relación (si el periodo de rotación es menor que el tiempo promedio especificado la GPRF). El ancho del haz efectivo de la antena en el campo lejano será, en general, un poco diferente del ancho del haz de 3 dB. El valor exacto depende del factor de forma del patrón de radiación y de los lóbulos laterales asociados.

En la zona de Fresnel, el ángulo efectivo del ancho del haz variará con la distancia. El promedio de la densidad de potencia W de la antena exploradora se da aproximadamente por la siguiente relación:

$$W = (4P/A)(A/2\pi r)(360/\theta) \quad \theta < (a/2\pi r)360 \quad \text{Ec. A4}$$

y

$$W = 4P/A \quad \theta > (a/2\pi r)360 \quad \text{Ec. A5}$$

donde:

θ = ángulo de exploración, en grados.

P = potencia promedio transmitida.

A = área efectiva de la antena.

a = diámetro o ancho de la antena

r = distancia desde la antena

APÉNDICE B

INTENSIDAD DE CAMPO

La intensidad de campo esperada en un punto r puede expresarse matemáticamente como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} E_r &= \frac{I_0 h}{4\pi} e^{-jkr} \left(\frac{2\eta}{d^2} + \frac{2}{j\omega\epsilon d^3} \right) \cos\theta \\ E_\theta &= \frac{I_0 h}{4\pi} e^{-jkr} \left(\frac{j\omega\mu}{d} + \frac{1}{j\omega\epsilon d^3} + \frac{\eta}{d^2} \right) \sin\theta \\ H_\phi &= \frac{I_0 h}{4\pi} e^{-jkr} \left(\frac{kj}{d} + \frac{1}{d^2} \right) \sin\theta \end{aligned} \quad \text{Ec. B1}$$

donde:

$$k = 2\frac{\pi}{\lambda} \text{ (1/m)}$$

η = Impedancia del espacio libre (377Ω)

ϵ = Permitividad del espacio libre (F/m)

μ = Permeabilidad del espacio libre (H/m)

h = Longitud del dipolo (m)

I_0 = Corriente de la antena (A)

ω = Frecuencia angular (rad/seg)

λ = Longitud de onda (m)

d = Distancia desde el centro del dipolo hasta el punto de interés

θ = Ángulo entre el eje del dipolo y el vector unitario de dirección desde el centro del dipolo hasta el punto r.

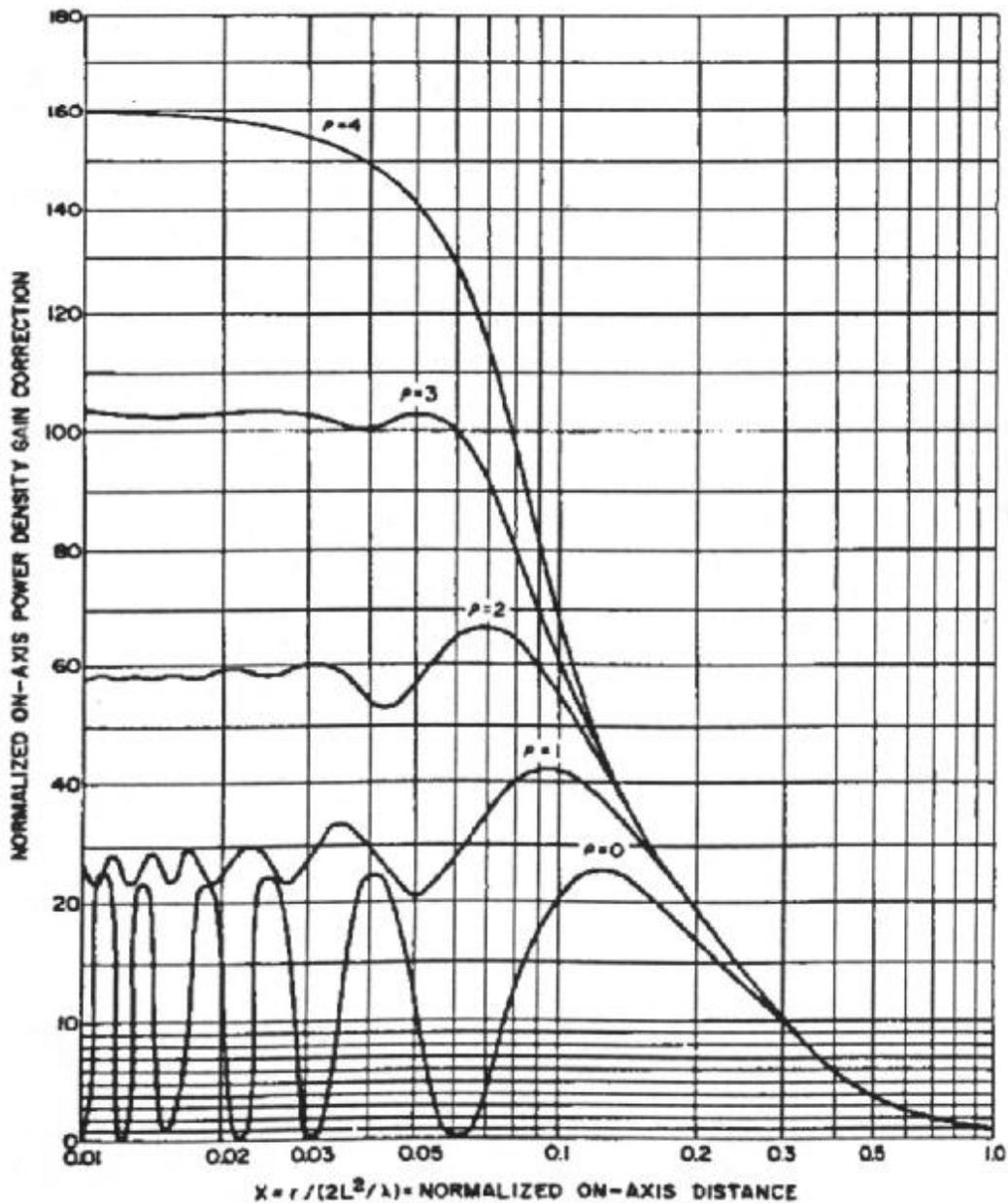
Cuando la distancia d es mucho más pequeña que la longitud de onda λ , el término $(1/d^3)$ es dominante. Aquí, las condiciones de campo cercano reactivo producen que la mayor parte de la energía depositada en objetos dieléctricos disipadores. El acoplamiento en la situación de campo cercano reactivo puede ser analizado como un problema de campo electromagnético cuasiestático. El acoplamiento capacitivo (campo eléctrico) proporciona el medio primario para inducir energía desde los campos eléctricos que rodean al radiador

hacia el objeto expuesto. Los campos magnéticos también puede inducir energía de RF (a través de corrientes internas) produciendo así una absorción adicional de RF.

APÉNDICE C

Curvas de la Densidad de Potencia

C1. Curvas de la Densidad de Potencia Normalizada



APÉNDICE D
NOTAS RELATIVAS A LA APLICACIÓN DE ESTA NORMA

[D1] ANSI/IME 20-1978, Safety Guide for the Prevention of Radio Frequency Radiation Hazards on the Use of Blasting Caps.

[D2] IEEE Std C96.1-1991, IEEE Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz.⁶

CONCLUSIONES

1. La evidencia presentada en esta tesis demuestra que, actualmente sí existe un marco regulatorio en el ámbito internacional que se ha dado a la tarea de establecer límites de exposición seguros para los seres humanos. Esto confirma que existe una preocupación manifiesta por parte de *la comunidad internacional que aunque no a podido comprobar que exista algún efecto nocivo de la radiación producida por las antenas de telefonía celular sobre el ser humano, sí ha manifestado que no es posible garantizar lo contrario*, por tal motivo deben tomarse medidas de seguridad preventivas que garanticen la seguridad de las personas y otros seres vivos.
2. De acuerdo a la experiencia internacional, sí existen métodos de medición normalizados que permitan realizar las mediciones de la radiación electromagnética en unidades de intensidad de campo eléctrico, intensidad de campo magnético o densidad de potencia. El contar con un método de medición normalizado es de gran importancia ya que este permite garantizar que las mediciones serán repetibles, predecibles, uniformes y confiables; así también se puede garantizar la seguridad del evaluador o investigador que este realizando las pruebas.
3. Se pudo observar que el tema de la radiación puede ser planteado desde diferentes puntos de vista y por consecuencia puede ser regulado por una o varias dependencias. El(los) objetivo(s) buscado(s), con el establecimiento de límites de exposición, pueden plantearse de diferentes formas: la protección de la salud de la población en general; de algunos sectores (escuelas, hospitales) o de las personas que trabajan en las fuentes de radiación; regular los equipos, los sistemas o el servicio; proteger las vías generales de comunicación y sus usuarios (del servicio, equipo o sistema). Lo importante es que cualquiera que sea él o los objetivos elegido(s), una vez establecida la norma, la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL) deberá darse a la tarea de vigilar su cumplimiento.
4. El anteproyecto de NOM-126-SCT1 presentado en 1995 no brinda los elementos necesarios para contar con un método de medición normalizado y más importante aun, los límites ahí propuestos ya parecen obsoletos ante aquellos presentados por la comunidad internacional. Esto nos deja claro que las investigaciones realizadas a la fecha advierten que es posible establecer límites cada vez más estrictos que garanticen cada vez más la seguridad del ser humano. A continuación se presenta un cuadro comparativo que contiene los límites establecidos por diferentes entidades tanto nacionales como internacionales, a fin de brindar un indicador sobre los niveles de radiación, en términos del campo eléctrico.

País	Norma o documento de referencia	E (V/m) 950 MHz	E (V/m) 1850 MHz
Internacional	Council Recommendation 1999/519/EG	42	59
Internacional	ICNIRP Guidelines, April 1998	42	59
Austria	ÖNORM S1120	49	61
Alemania	26. Deutsche Verordnung	42	59
Países Bajos	Health Council	51	83
Switzerland	Verordnung 1999	4	6
USA	IEEE C95.1	34	48
China	Draft: National Quality Technology Monitoring Bureau	49	61
Japón	Radio-Radiation Protection Guidelines, 1990	49	61
Canadá	Minister of Public Works and Government Services of Canada. Cat H46-2/99-237E	49	61
México	NOM-126-SCT1-1995	50	69
Internacional	K.52 Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields	42	59

Nota Importante: Con sombreado se resaltan los límites más estrictos (establecidos por Suiza) y aquellos que pretendían ser adoptados por México en 1995. El anteproyecto de NOM que se presenta en esta tesis ha adoptado los límites de exposición establecidos por la ICNIRP. La exposición a niveles de radiación iguales o menores a dichos límites ha demostrado no causar efectos adversos sobre la salud de la población en general. Sin embargo no se han presentado conclusiones definitivas sobre los efectos biológicos que se presentan por debajo de estos límites, por lo que la ausencia de conocimientos justifica la precaución.

5. Aunque no era el objetivo de esta tesis involucrarse con el análisis de los efectos producidos por la radiación electromagnética, sí fueron estudiados algunos documentos relativos a este tema; documentos tales como:
 - § Moulder's Report: Cell Phones and Cancer: What Is the Evidence for a Connection?.- J. E. Moulder,^a L. S. Erdreich,^b R. S. Malyapa,^c J. Merritt,^d W. F. Pickard^e and Vijayalaxmi
 - § Resumen y recomendaciones del informe Stewart del Reino Unido
 - § A Report on Non-Ionizing Radiation.- Microwave News, Vol. XXI No. 5 Octubre del 2001.
 - § Campos electromagnéticos y Salud.- Parlamento Europeo, Nota informativa No. 05/ 2001

§ Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz).- ICNIRP Guidelines 1998.

§ Conclusions of the Group of experts on health hazards and recommendations for reducing exposure of the population to RF EMF – Francia.

De dichos documentos se desprenden las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- a) Tratar de reducir el nivel de exposición promedio del público en general al nivel más bajo posible sin descuidar o comprometer la calidad del servicio. Es decir, bajar la potencia de los transmisores tanto como sea posible sin dañar o empobrecer la calidad del servicio ofrecido.
 - b) El objetivo de reducir la exposición del público en general a un mínimo es particularmente importante por todas aquellas personas que son potencialmente más sensibles, incluyendo niños y gente enferma. Por esta razón se recomienda que los edificios potencialmente más “sensibles” (hospitales, centros de cuidado para personas de la 3ª edad y escuelas) que se encuentren localizados a menos de 100m de una radiobase, no deberán estar o localizarse directamente en el camino que sigue la trayectoria del haz principal de transmisión.
 - c) Teóricamente los niños son una población de alto riesgo y no por que sus órganos sensibles (de la cabeza, por ejemplo) sean más propensos a recibir grandes cantidades de radiación, sino más bien por que el hecho de exponerlos desde muy temprana edad a la radiación electromagnética “generará” una mayor acumulación de exposición que cualquier otro adulto.
 - d) Los cálculos realizados a la fecha indican que instalar varias antenas en el mismo lugar tiende a concentrar los campos electromagnéticos en el espacio, y por lo tanto, esto conduce a una exposición más heterogénea para la población.
 - e) Establecer límites de exposición a los campos electromagnéticos proporcionará protección contra los efectos de salud adversos conocidos. Un efecto de salud adverso causa un deterioro detectable en la salud del individuo expuesto o de su descendencia; por otro lado, un efecto biológico puede o no resultar en un efecto de salud adverso. Es decir, Cuando una entidad biológica se expone a un CEM, se produce una interacción entre la potencia del campo y la corriente eléctrica y las cargas del tejido corporal. El denominado efecto biológico es el resultado de esa interacción.
 - f) Para proteger la salud a largo plazo se deberán establecer límites precisos en la “Distancia de seguridad” y “Potencia”, con “garantías” documentadas por la experimentación real y previa.
6. El siguiente paso, una vez aprobado el anteproyecto de NOM, será plantear un análisis de la manifestación del impacto regulatorio (MIR). En México el desarrollo

de una MIR ayuda a mejorar la elaboración y la calidad de los anteproyectos regulatorios que implican costos de cumplimiento para los particulares y hace posible la discusión objetiva de las ventajas y desventajas de un anteproyecto, también facilita la participación efectiva de los sectores productivos y del público en general en la formulación y revisión de los anteproyectos. Así también deberá estudiarse y elaborarse el procedimiento de evaluación de la conformidad, que como tal, habrá de determinar el grado de cumplimiento con las normas oficiales mexicanas, normas oficiales, normas internacionales u otras especificaciones, prescripciones o características. Esta evaluación comprende en otras cosas, los procedimientos de muestreo, prueba, calibración, certificación y verificación.

BIBLIOGRAFÍA

Federico Kuhlmann y Antonio Alonso Concheiro
Información y telecomunicaciones, Fondo de Cultura Económica, México 1997

William C.Y. Lee
Mobile cellular telecommunications, Mc. Graw-Hill, Dnc, 2ª . Edición 1995

Alberto Garcia Dominguez
Cálculo de antenas, Alfaomega marcombo, 2ª. Edición 1995

Domingo Lara Rodríguez, David Muñoz Rodríguez y Salvador Rosas Garcia
Sistemas de Comunicación móvil, una introducción, Alfaomega 1992

Simon R. Sannders
Antennas and propagation for wireless communication systems, John Wiley & Sons, LDT. 1999

Maria José Salmerón Domínguez
Radiación, propagación y antenas, Ed. Trillas 1981

Ángel Cardama Aznar, Luis Jofre Roca, Robert Jordi Romeu y Sebastián Blanch Boris
Antenas, Alfaomega Ediciones UPC 2000

Warren L. Stutzman and Gary A. Thiele
Antenna theory and design, Ed. Wiley 1981

Asesoría en redes y telecomunicaciones S.A. de C.V.
Material de Curso: Introducción a las comunicaciones Inalámbricas. México, 2001

Asesoría en redes y telecomunicaciones S.A. de C.V.
Material de Curso: Comunicaciones Inalámbricas y diseño celular. México, 2001

Asesoría en redes y telecomunicaciones S.A. de C.V.
Material de Curso: Nuevas tendencias en telecomunicaciones. México, 2001

Asesoría en redes y telecomunicaciones S.A. de C.V.
Material de Curso: Tecnologías inalámbricas emergentes. México, 2001

J. E. Moulder,^a L. S. Erdreich,^b R. S. Malyapa,^c J. Merritt,^d W. F. Pickard^e and Vijayalaxmi Moulder's Report: Cell Phones and Cancer: What Is the Evidence for a Connection?

Resumen y recomendaciones del informe Stewart del Reino Unido

Microwave News.- *A Report on Non-Ionizing Radiation*, Vol. XXI No. 5 Octubre del 2001

Parlamento Europeo.- *Campos electromagnéticos y Salud*; Nota informativa No. 05/ 2001

Conclusions of the Group of experts on health hazards and recommendations for reducing exposure of the population to RF EMF – Francia.

REFERENCIAS NORMATIVAS

Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz).- ICNIRP Guidelines 1998.

Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic fields.- OET Bulletin 65 (Edition 97-01).

Safety Code 6 Limits of Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 3 kHz to 300 GHz.- Minister of Public Works and Government Services of Canada. Cat H46-2/99-237E. ISBN 0-662-280326.

K.52 Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields. ITU-T 2000

IEEE Recommended practice for the measurement of potentially hazardous electromagnetic fields- RF and Microwave. Std. C.95.3-1991

A local government official's guide to transmitting antenna RF emission safety: Rules, procedures and practical guidance. FCC 2000

Proyecto NOM-126-SCT1-1995. México

Ley Federal de Metrología y Normalización. NYCE 1997

NOM-Z-13-1977.- Guía para la redacción, estructuración y presentación de las Normas Oficiales Mexicanas.

SITIOS DE INTERNET

<http://www.cft.gob.mx>

<http://www.celtel.net/organiza2.htm>

<http://www.eie.ucr.ac.cr/ie0513/l-97/bfedrtl4.htm>

<http://www.ansi.org/>

<http://www.amta.org.au/>

<http://www.who.int>

http://www.who.int/peh-emf/publications/facts_press/sfact/nd193.htm

<http://www.fda.gov/cdrh/>

<http://www.mcw.edu/gcrc/cop/cell-phone-health-FAQ/toc.html>

<http://www.cwta.ca/>

<http://www.ebea.org/menu.html>

<http://www.icnirp.de/>

http://www.lafacu.com/apuntes/informatica/redes_inalamb/default.htm

<http://ants.dif.um.es/asignaturas/typc/trabalum/1996-97/movil/movil.htm>

<http://www.ieee.org/>

<http://www.telefonica-data.com/infovia-plus/apli/educ/rdsi/introp.htm>

<http://www.fcc.gov/oet/rfsafety/>

<http://www.etsi.org/aboutetsi/home.htm>

<http://www.setsi.mcyt.es/normali/normaliz/etsi.htm>

<http://www.icnirp.de/Explorer/chairman.htm>

<http://www.fmre.org.mx/>

<http://www.citel.oas.org/>

<http://www.acm.org/crossroads/espanol/xrds7-2/cellular.html>

<http://www.die.uchile.cl/docencia/el55a/guias/INALAMBRICA.htm>