

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**“Estudio actualizado de Normas y
Procedimientos para la Medición de Campos
Electromagnéticos de Radiofrecuencias”**

PRESENTADO POR:

OSCAR MAURICIO MORALES PERALTA

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE 2011

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**DIRECTOR
(INTERINO) :**

ING. JOSÉ WILBER CALDERÓN URRUTIA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título :

**“Estudio actualizado de Normas y
Procedimientos para la Medición de Campos
Electromagnéticos de Radiofrecuencias”**

Presentado por :

OSCAR MAURICIO MORALES PERALTA

Trabajo de Graduación Aprobado por :

Docente Director :

ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ

San Salvador, Noviembre 2011

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ

DEDICATORIA:

*Dedico este trabajo, a mi madre Mercedes Adilia Peralta de Morales,
a mis hermanos Adilia Sofia Morales Peralta y Jorge Eduardo Morales Peralta,
y en especial a la memoria de mi padre Oscar Mauricio Morales Ruiz
como una muestra de cariño y agradecimiento hacia ellos
por todos estos años que me apoyaron para seguir adelante.*

AGRADECIMIENTOS:

Quiero agradecer primero a Dios todo poderoso por haberme permitido culminar esta etapa importante de mi vida.

A mis padres, hermanos y demás familia que me apoyaron incondicionalmente durante estos años para poder obtener este logro.

También quiero agradecer a mis amigos más cercanos que estuvieron a mí lado durante todo este camino.

A mi asesor, por haberme dado su apoyo y permitirme terminar este trabajo.

A todos los profesores de la escuela de Ingeniería Eléctrica, por haberme permitido realizar mis estudios y por todas sus enseñanzas.

ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, 15 de noviembre de 2011, en la Sala de Lectura de la EIE, a las 4:00 horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. José Wilber Calderón Urrutia
Director Interino

Firma: Wilber Calderón



Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

1- Ing. Héctor Aníbal Ayala Alas

Firma: Héctor Aníbal Ayala Alas

2- Ing. Walter Leopoldo Zelaya Chicas

Firma: Walter Leopoldo Zelaya Chicas

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

“Estudio actualizado de Normas y Procedimientos para la Medición de Campos Electromagnéticos de Radiofrecuencias”

A cargo del los Bachiller:

Br. Oscar Mauricio Morales Peralta

Habiendo obtenido el presente Trabajo una nota final, global de: 8.6

(OCHO PUNTO SEIS)

CAPITULO 1:	
INTRODUCCIÓN -----	1
SECCIÓN 1. DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO -----	2
1.1 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.-----	2
1.2. PROPAGACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS EN EL AIRE.-----	4
1.2.1. REFRACCIÓN.-----	7
1.2.2. REFLEXIÓN.-----	7
1.2.3. DISPERSIÓN.-----	7
1.2.4 DIFRACCIÓN.-----	7
1.2.5 PROPAGACIÓN POR ONDA DIRECTA.-----	7
1.2.6 PROPAGACIÓN POR ONDA TERRESTRE.-----	8
1.2.7 PROPAGACIÓN POR ONDA DE CIELO O IONOSFÉRICA.-----	8
1.3 DIRECTIVIDAD DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.-----	9
1.3.1 ARREGLOS DE ANTENAS.-----	12
SECCIÓN 2. ASPECTOS TÉCNICOS RELEVANTES DE LAS EMISIONES DE AM Y FM COMERCIAL, TELEVISIÓN INALÁMBRICA Y TELEFONÍA MÓVIL CELULAR. -----	13
2.1 RADIO COMERCIAL AM.-----	13
2.2. RADIO COMERCIAL FM.-----	15
2.3 SISTEMAS INALÁMBRICOS DE TELEVISIÓN.-----	17
2.4 SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL.-----	19
2.4.1 GENERACIÓN CERO O 0G.-----	21
2.4.2 GENERACIÓN 1 O 1G.-----	21
2.4.3 GENERACIÓN 2G.-----	22
2.4.5 GENERACIÓN 2.5G.-----	22
2.4.6 GENERACIÓN 3G.-----	22
2.4.7 TECNOLOGÍA 4G.-----	23
2.4.8 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE UN SISTEMA DE TELEFONÍA MÓVIL GSM.-----	23
2.4.8.1 CAPACIDAD DE REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS.-----	24
2.4.9 SEGÚN SU LOCALIZACIÓN /RADIO DE COBERTURA:-----	26
2.4.10 SEGÚN TIPO DE ANTENA:-----	26
2.4.11 SEGÚN LA ESTRUCTURA DEL SOPORTE:-----	27
2.4.12 DEPENDIENDO DE LA POTENCIA TRANSMITIDA:-----	28
SECCIÓN 3. RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA NO IONIZANTE -----	32
3.1 TIPOS DE ESTUDIOS.-----	34
3.2 TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA [SAR]-----	36
3.3 EFECTOS DE LA RADIACIÓN NO IONIZANTE: EL CASO DE LA TELEFONÍA MÓVIL.-----	40
SECCIÓN 4. PREDICCIÓN TEÓRICA Y MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS. -----	41

4.1 MODELO PREDICTIVO PARA ESTACIONES DE RADIO AM. -----	42
4.2 ECUACIONES DE INTERÉS. -----	42
SECCIÓN 5. MEDICIÓN DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS -----	50
5.1 CAMPOS DE BAJA FRECUENCIA. -----	50
5.2 CAMPOS DE ALTA FRECUENCIA. -----	51
CAPITULO 2	
INTRODUCCIÓN-----	55
SECCIÓN 1. ORGANISMOS NORMALIZADORES.-----	58
1.1 ORGANISMOS O COMISIONES CIENTÍFICAS. -----	58
1.1.1 “EUROPEAN COMMITTEE FOR ELECTRO-TECHNICAL STANDARDIZATION (CENELEC)”. -----	58
1.1.2 “EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARD INSTITUTE (ETSI)”. -----	58
1.1.3 “SCENIHR”. -----	58
1.1.4 “AUSTRALIAN COMMUNICATIONS AND MEDIA AUTHORITY (ACMA)”. -----	58
1.1.5 ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD OMS O (WHO) POR SUS SIGLAS EN INGLÉS. -----	59
1.1.6 ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR) -----	59
1.2 ORGANISMOS TÉCNICOS-CIENTÍFICOS.-----	59
1.2.1 “AUSTRALIAN RADIATION PROTECTION AND NUCLEAR SAFETY AGENCY (ARPANSA)”-----	59
1.2.2 “INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION” (ICNIRP) -----	60
1.2.3 “THE ROYAL SOCIETY OF CANADA”-----	62
1.2.4 “AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE (ANSI)”-----	65
1.2.5 “INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE)” -----	65
1.2.6 UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (UIT) -----	67
SECCIÓN 2. EXPLICACIÓN DE LÍMITES.-----	68
SECCIÓN 3. NORMATIVAS BASADAS EN EL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN. -----	71
SECCIÓN 4. TABLAS COMPARATIVAS DE LÍMITES Y NORMATIVAS.-----	73
SECCIÓN 5. METODOLOGÍAS DE PREDICCIÓN Y/O MEDICIÓN. -----	77
5.1 FCC: METODOLOGÍA DE PREDICCIÓN TEÓRICA.-----	77
5.1.1 FCC: SERVICIO DE RADIO AM. -----	78
5.1.2 FCC: SERVICIO DE RADIO FM.-----	80
5.1.3 FCC: SERVICIO DE TELEVISIÓN INALÁMBRICA. -----	82
5.1.4 FCC: OTROS MÉTODOS DE PREDICCIÓN PARA SERVICIOS DE RADIO FM, TV Y TELEFONÍA MÓVIL.-----	82
5.1.5 FCC: MEDICIONES PRÁCTICAS. -----	83
5.2 IEEE: PREDICCIÓN TEÓRICA Y MEDICIONES DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.-----	84

5.2.1 CONDICIONES DE CAMPO LEJANO Y UNA SOLA FUENTE:-----	86
5.3 UIT: METODOLOGÍA DE PREDICCIÓN TEÓRICA Y DE MEDICIÓN.-----	88
5.4 NORMATIVA ESPAÑOLA -----	93
5.4.1 MÉTODOS TEÓRICOS DE PREDICCIÓN Y DISTANCIAS DE SEGURIDAD. ----	93
5.4.2 DISTANCIAS DE PROTECCIÓN -----	95
5.4.3 MÉTODOS PARA MEDICIONES PRÁCTICAS DE CAMPO. -----	99
5.4.3.1 FASE 1: EVALUACIÓN RÁPIDA DEL ENTORNO.-----	100
5.4.3.2 FASE 2: MEDIDA SELECTIVA EN FRECUENCIA. -----	102
CAPITULO 3	
METODOLOGÍA SUGERIDA -----	104
SECCIÓN 1. CONSIDERACIONES -----	104
SECCIÓN 2. GENERALIDADES -----	104
2.1 LIMITES DE EXPOSICIÓN SUGERIDOS-----	106
2.2 SERVICIO DE RADIO DIFUSIÓN AM COMERCIAL-----	107
2.3 SERVICIO DE RADIO DIFUSIÓN FM COMERCIAL-----	107
2.4 SERVICIO DE TELEVISIÓN INALÁMBRICA COMERCIAL-----	108
2.5 SERVICIO DE TELEFONÍA CELULAR -----	109
SECCIÓN 3. PREDICCIONES TEÓRICAS-----	109
3.1 CRITERIOS GENERALES. -----	109
3.2 ECUACIONES RECOMENDADAS. -----	110
3.3 ECUACIONES PARA SITIOS CON MÚLTIPLES FUENTES. -----	112
3.4 SERVICIO DE RADIO AM. -----	114
3.5 SERVICIO DE RADIO FM Y TELEVISIÓN.-----	116
3.6 SERVICIO DE TELEFONÍA CELULAR. -----	119
4.1 FASE 1: INSPECCIÓN DEL LUGAR -----	122
4.1.1 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DEL LUGAR.-----	123
4.2 CARACTERÍSTICAS DEL INSTRUMENTO. -----	125
4.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS INSTRUMENTOS. -----	125
4.3 FASE 2: MEDICIONES DE INMISIÓN O BANDA ANCHA. -----	126
4.3.1 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN -----	127
4.4 FASE 3: MEDICIONES DE EMISIÓN O FRECUENCIA SELECTIVA-----	130
4.4.1 PROCESO DE MEDICIÓN -----	131
CONCLUSIONES-----	138
BIBLIOGRAFÍA -----	139
ANEXOS -----	155

INDICE

Tabla 1.1: Cuadro de atribución de frecuencia [8].	3
Tabla 1.2: Frecuencias y potencias típicas para sistemas GSM y UMTS [8].	25
Tabla 1.3: Cuadro de atribuciones de frecuencia para operadores de telefonía celular en el país [8].	25
Tabla 1.4: Resumen de las características típicas de estaciones bases de sistemas celulares.	32
Tabla 2.1: Niveles de referencia establecidos por la ARPANSA. Exposición ocupacional [60].	60
Tabla 2.2: Niveles de referencia establecidos por la ARPANSA. Exposición al público en general [60].	60
Tabla 2.3: Niveles de referencia establecidos por la ICNIRP, exposición ocupacional [1].	61
Tabla 2.4: Niveles de referencia establecidos por la ICNIRP, exposición público en general [1].	62
Tabla 2.5: Niveles máximos establecidos por el Ministerio de Salud de Canadá. Exposición ocupacional [71].	63
Tabla 2.6: Niveles máximos establecidos por el Ministerio de Salud de Canadá. Exposición al público en general [71].	63
Tabla 2.7: Niveles máximos establecidos por la FCC. Exposición ocupacional [73].	65
Tabla 2.8: Niveles máximos establecidos por la FCC. Exposición al público en general [73].	65
Tabla 2.9: Niveles máximos establecidos por la ANSI / IEEE. Exposición en entorno ocupacional [13].	66
Tabla 2.10: Niveles máximos establecidos por la ANSI / IEEE. Exposición al público en general [13].	67
Tabla 2.11: Niveles límites de referencia establecidos por la ICNIRP Exposición ocupacional (Ambiente Controlado) [56.]	68
Tabla 2.12: Niveles límites de referencia establecidos por la ICNIRP Exposición al público en general [56].	68
Tabla 2.13: Límites exposición propuestos por Italia.	71
Tabla 2.14: Resumen de las entidades más importantes en cuento a normativas sobre la radiación no ionizante.	74
Tabla 2.15: Resumen de normas adoptadas por países latinoamericanos.	75
Tabla 2.16: Comparación de límites para el servicio de radio AM.	75
Tabla 2.17: Comparación de límites para FM y TV.	76
Tabla 2.18: Comparación para exposición para el público en general.	76
Tabla 2.19: Comparación para exposición para el público en general en términos de mW/cm^2.	76
Tabla 2.18: Límites de exposición para el público en general según diferentes regiones en España.	94
Tabla 2.19: Niveles de exposición para el público en general en zonas consideradas sensibles.	94
Tabla 2.20: Radio de la esfera de protección según normativa Catalana [6].	96
Tabla 2.21: Distancias de protección según la normativa de La Rioja [6].	97
Tabla 2.22: Dimensiones de los volúmenes de protección [6].	98
Tabla 3.1: Límites sugeridos por la ICNIRP para exposición Ocupacional [1].	106

Tabla 3.2: Límites sugeridos por la ICNIRP para exposición al público en general. -----	107
Tabla 3.3: límites para el servicio de radio AM [1]. -----	107
Tabla 3.4: límites para el servicio de radio FM. -----	108
Tabla 3.5: límites para el servicio de televisión. -----	108
Tabla 3.6: límites para el servicio de telefonía celular. -----	109
Tabla 3.7: formulario técnico para la recolección de datos necesario para los calculo predictivos y para las mediciones. -----	116
Tabla 3.8: formulario técnico 2 para la presentación de resultados de los calculo predictivos y de un sistema radioeléctrico de AM. -----	117
Tabla 3.9: formulario técnico 3 para las predicciones teóricas de densidad de potencia. -----	119
Tabla 3.10: formulario para recopilar información para calcular pérdidas de propagación para el servicio de telefonía celular. -----	120
Tabla 3.11: formulario para presentar resultados de predicciones teóricas para el servicio de telefonía celular. -----	121
Tabla 3.12: formulario técnico 6 para la inspección del sitio en evaluación para servicio de telefonía celular. -----	124
Tabla 3.13: formulario técnico 7 del croquis y ubicación de puntos. -----	124
Tabla 3.14: formulario para le presentación de resultados de la mediciones de banda ancha. -----	129
Tabla 3.15: formulario para le presentación de resultados de la mediciones de banda ancha. -----	130
Tabla 3.16: formulario para le presentación de resultados de la mediciones de banda estrecha. -----	135

INDICE

Figura 1.1: Características de una onda electromagnética. ----- 2

Figura 1.2: Representación del espectro electromagnético. ----- 4

Figura 1.3: esquema de una comunicación con línea vista directa. ----- 8

Figura 1.4: Esquema de una comunicación por onda terrestre. ----- 9

Figura 1.5: Características de una onda electromagnética plana.----- 9

Figura 1.6: Parámetro de radiación típico de una antena direccional en 2 dimensiones [69]. --11

Figura 1.7: Patrones de radiación en 3D de antenas [71].-----11

Figura 1.8: Esquema del patrón de radiación de una antena direccional, señalando los tipos de lóbulos. -----11

Figura 1.9: Polarización vertical-----12

Figura 1.10: Polarización horizontal.-----12

Figura 1.11: Arreglo de antenas típico de las estaciones de radio FM ubicadas en nuestro país. -----13

Figura 1.12: Distribución de frecuencias y canalización del servicio de radio AM comercial. --14

Figura 1.13: esquema de la modulación AM. -----15

Figura 1.14: Patrón de radiación típico del campo eléctrico, de una antena de monopolo vertical. -----15

Figura 1.15: Antena vertical, torre y caja de acople (sintonía) típicos de una estación de radio AM.-----16

Figura 1.16: Distribución de frecuencias en la banda de FM [59].-----16

Figura 1.17: Esquema de modulación en frecuencia FM [59]. -----17

Figura 1.18: Antena de dipolo y un patrón de radiación tipo de este tipo de antena para varias longitudes de dipolos [63].-----17

Figura 1.19: Arreglo de varias antenas para la transmisión FM ubicadas en el “Boquerón” del Volcán de San Salvador [63].-----18

Figura 1.20: Torres de estaciones de radio difusión comercial de FM ubicadas en sitios altos. -----19

Figura 1.21: Antenas tipo paneles para transmisión de señales de televisión, estas esta ubicadas en el “Boqueron” volcán de San Salvador [63]. -----19

Figura 1.22: Arreglo de antenas de UHF de sistemas de transmisión de televisión.-----20

Figura 1.23: Torres para sistemas de televisión utilizados en el país.-----20

Figura 1.24: Esquema general de un sistema de telefonía móvil. -----21

Figura 1.25: conjunto de celdas de un sistema celular. -----24

Figura 1.26: esquema básico de una red GSM.-----24

Figura 1.27: conjunto de células las que están del mismo color representan celda con frecuencias iguales. -----25

Figura 1.28: ejemplo de estación base en zona urbana.-----26

Figura 1.29: Estaciones base de telefonía celular en zonas rurales. -----26

Figura 1.30: Estación base con antena de tipo omnidireccional ubicada en la azotea de un edificio. -----27

Figura 1.31: Estación base tipo sectorial y modelo de antenas utilizadas.-----27

Figura 1.32: Torre auto soportada de sección transversal triangular de una estación base celular que puede estar en zona urbana o rural. -----28

Figura 1.33: estructura de una estación base urbana de tipo mástil o monoposte.	28
Figura 1.34: estación base con soporte tubular individual.	29
Figura 1.35: Ejemplos de macro células en azoteas de edificios y torres.	29
Figura 1.36: Antenas utilizadas en la micro células, la primera es direccional y la segunda es omnidireccional.	30
Figura 1.37: Esquema jerárquico de las estaciones base de un sistema celular.	30
Figura 1.38: Antena de doble banda GSM 1800/UMTS y su respectivo diagrama de radiación.	31
Figura 1.39: Transmisor modelo RBS 2206, compatible con tecnología GSM y UMTS, utilizados por en el país por Claro y Digicel.	32
Figura 1.40: Espectro electromagnético, dado por la UIT.	33
Figura 1.41: Cantidad disométrica y el rango de frecuencia para el cual es efectiva.	36
Figura 1.42: Representación de la cabeza de un hombre adulto por medio del SAM [17].	37
Figura 1.43: Representación del método de medida del SAR [17].	37
Figura 1.44: Esquema que muestra el diagrama polar de una antena isotrópica.	39
Figura 1.45: Esquema de una estación base de telefonía móvil con sus antenas.	40
Figura 1.46: Simulación de la radiación y calentamiento de la cabeza humana al realizar o recibir una llamada telefónica.	41
Figura 1.47: Curva para el cálculo de la intensidad de campo eléctrico y magnético recomendadas por la FCC para el servicio radio AM.	43
Figura 1.48: Curva para el cálculo de la intensidad de campo eléctrico del ejemplo.	43
Figura 1.49: Esquema 1 que describe las variables que intervienen el método Cost 231.	47
Figura 1.50: Esquema 2 que describe las variables que intervienen el método cost 231.	47
De acuerdo con el metodo las perdidas de propagacion se describen por la ecuacion.	47
Figura 1.51: Tendencia del comportamiento de la densidad de flujo magnético de acuerdo a la distancia de la fuente.	50
Figura 1.52: Partes típicas de un medidor de intensidad de flujo magnético.	51
Figura 1.53: Usos prácticos de un medidor de intensidad de campo magnético.	51
Figura 1.54: Tipos de medidores de RF de banda ancha marca comerciales.	53
Figura 1.55: Esquema típico de lectura en una pantalla de un analizador de espectro o receptor EMI.	53
Figura 1.56: Analizador de espectro portátil y de laboratorio.	54
Figura 1.57: Esquema de un sistema de monitoreo remoto de medición.	54
Figura 2.1: Representación esquemática de la diferencia entre niveles de restricción básica y niveles de referencia.	56
Figura 2.2: Representación de los límites para ambientes ocupacionales y para el público en general.	57
Figura 2.3: Fragmento de la tabla 2.4, limites de la ICNIRP para ambientes no controlados.	71
Figura 2.4: Distancia de seguridad para un límite de 41 V/m.	72
Figura 2.5: Distancia de seguridad para un límite de exposición de 6 V/m.	73
Figura 2.6: Distancia de seguridad para un límite de exposición de 0.3 V/m.	73
Figura 2.7: Limites de exposición para el público en general, expresados en densidad de potencia.	77

Figura 2.8: Tabla para determinar distancias de seguridad según la FCC [74].	78
Figura 2.9: Curvas para determinar la intensidad de campo eléctrico y magnético en las cercanías de una estación de radio AM, según la FCC [74].	79
Figura 2.10: Tabla para determinar la altura mínima de una antena del servicio de radio FM para que se cumplan las restricciones de la FCC [74].	81
Figura 2.11: Curvas para determinar la densidad de potencia emitida por una antena del servicio de radio FM según la FCC [74].	81
Figura 2.12: Curva obtenida de la recomendación UIT-R P.529-3 (figura 4). Para frecuencia de 400 MHz [75].	89
Figura 2.13: Zona de exposición según la UIT para estaciones o fuentes de emisión intensionales [74].	90
Figura 2.14: Esquema para las ecuaciones 2.6 y 2.7 obtenido de la recomendación [56]	91
Figura 2.15: Diagrama obtenido del documento de la [56].	92
Figura 2.16: Paralelepípedo de protección [6].	95
Figura 2.17: Esfera de protección.	96
Figura 2.18: Cilindro de protección.	97
Figura 2.19: Paralelepípedo de protección para una antena montada en una azotea.	98
Figura 2.20: Plano horizontal del diagrama de radiación de la antena.	99
Figura 2.21: Plano vertical del diagrama de radiación de la antena.	99
Figura 2.22: Formulario para recopilar información básica de la estación en evaluación [6].	100
Figura 2.23: Alturas para realizar las mediciones [6].	101
Figura 2.24: Formulario para presentar el resultado de la evaluación.	102
Figura 3.1: esquema que muestra la clasificación de zonas según la exposición de radiación RF.	105
Figura 3.2: geometría para el cálculo/medición de la exposición a campos de RF a nivel del suelo [18].	111
Figura 3.3: esquema para la predicción teórica de la densidad de potencia.	118
Figura 3.4: Esquema de los posibles casos resultantes en las mediciones.	131
Figura 3.5: Ejemplo para esquematizar el caso 1 [80].	133
Figura 3.6: Ejemplo para esquematizar el caso 2 [80].	133
Figura 3.7: Ejemplo para esquematizar el caso 3 [80].	133
Figura 3.8: esquema de la metodología para la evaluación de los niveles de emisiones radioeléctricas.	136
Figura 3.9: esquema de la metodología para la evaluación de los niveles de emisiones radioeléctricas.	136
Figura 3.10: esquema de la metodología para la evaluación de los niveles de emisiones radioeléctricas.	137

CAPITULO 1

DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO

INTRODUCCIÓN

Los campos electromagnéticos¹ han estado presentes en nuestra sociedad durante muchos años y son de gran importancia para el desarrollo de la industria al utilizar generadores y transformadores en las redes de distribución energía eléctrica o moviendo maquinas por medio de motores que funcionan básicamente con la inducción de campos electromagnéticos.

Recientemente los CEM, objeto de este estudio, tienen su utilización en otro campo de desarrollo social e industrial, las telecomunicaciones. En el entorno nacional los ejemplos más comunes de este tipo de emisiones radioeléctricas son: las transmisiones de radio, transmisiones de señales de televisión, comunicaciones satelitales y en años recientes, específicamente en la última década, las transmisiones de redes de microondas y señales de telefonía celular, todos estos servicios constituyen casi el 90% de los campos electromagnéticos a los que estamos expuestos cotidianamente.

El creciente desarrollo de las telecomunicaciones en nuestro país en los últimos años en especial de las comunicaciones móviles o *fenómeno celular* como se conoce en otros países, ha provocado que los campos electromagnéticos de RF se extiendan aun mas sobre grandes áreas del territorio nacional, esto ha creado cierta inquietud en la población ya que se pueden observar torres de telefonía celular por doquier, antenas en edificios o anuncios publicitarios, esta inquietud puede ser contraproducente si no hay una debida información en torno al asunto y a las posibles consecuencias en la salud, por esta razón este estudio se enfoca en este fenómeno.

Entonces si los CEM han estado presentes en nuestro medio, ¿por qué hasta ahora ha surgido cierta inquietud por parte de la población hacia dichos campos y sus posibles efectos a la salud?, esto quizá se deba a que el fenómeno celular es más evidente que los otros servicios de telecomunicaciones, ya que los servicios de radiodifusión y televisión generalmente instalan sus sistemas en sitios altos alejados de los centros urbanos al igual que los servicios satelitales, en cambio los servicios de telefonía celular por sus características y utilización sus instalaciones ubicadas en medio de los centros urbanos a la vista, con sus grandes torres y antenas instaladas en edificios provocan cierto grado de preocupación en las personas.

La preocupación por los efectos sobre la salud de los CEM no es nueva, las investigaciones de este fenómeno se vienen dando desde el año 50, estas primeras investigaciones se realizaron en torno a las señales provocadas por servicios de radares militares, años después se entendieron a los CEM provocados por las líneas de distribución de potencia hasta la actualidad que se estudian las señales provocadas por los servicios de telecomunicaciones inalámbricas.

En muchos países existen organizaciones que investigan los posibles efectos de los CEM en la salud humana publicando normativas, recomendaciones, estándares, etc. entorno al fenómeno, muchas de ellas son adoptadas por países como estándares para ser aplicados para mantener un control sobre este tipo de emisiones. Nuestro país no cuenta con una normativa propia, por lo que los organismos encargados de controlar las telecomunicaciones, se limitan a exigir el cumplimiento de normas internacionales, muchas de las cuales no se conocen a la perfección, o incluso se carece de la logística necesaria para su correcta regulación, por lo que se considera importante analizar la normativa

¹ A menos que se especifique lo contrario en todo el documento se utilizara la abreviación CEM para referirse a campos electromagnéticos.

internacional relacionada con este tema y su correspondiente adaptación a las condiciones de nuestro entorno, de tal forma que su aplicación en el país sea factible.

SECCIÓN 1. DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO

1.1 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.

Los campos electromagnéticos son fenómenos físicos originados por la diferencia de voltaje entre dos conductores y por la corriente que circule en dichos conductores. La diferencia de voltaje origina el “**campo eléctrico**”, mientras que la corriente origina el “**campo magnético**”. Si adicional a lo anterior se tiene la situación que los voltajes y corrientes son variables en el tiempo, entonces nos encontramos con la situación particular que dichos campos serán variables en el tiempo, esta particularidad es importante dado que la misma permite explicar la propagación de energía en el espacio o el aire tal como establecen las leyes de “Maxwell”, de las cuales podemos enunciar el siguiente concepto: un campo eléctrico variable en el tiempo origina un campo magnético variable en el tiempo, así mismos un campo magnético variable en el tiempo origina un campo eléctrico variable en el tiempo; esta secuencia se continua repitiendo a medida que nos alejamos de la fuente original del fenómeno. Y de esta manera se explica la transmisión de energía de forma inalámbrica entre dos puntos. La cantidad de energía que se transmite al espacio desde una fuente electromagnética se puede explicar de varias maneras, entre ellas se puede decir que: entre mayor sea el voltaje en la fuente mayor será la magnitud del campo eléctrico que radie, así mismo se puede decir que entre mayor sea la corriente en la fuente mayor será el campo magnético que origine [38]. Una tercera manera de explicar la transmisión de energía es por medio de la potencia transmitida desde la fuente.

El campo eléctrico se mide en unidades de voltios por metro $[V/m]$, mientras que el campo magnético se mide en amperios por metro $[A/m]$ [71].

Es importante notar que cualquier fuente de voltaje o corriente variable en el tiempo es capaz de producir campos electromagnéticos.

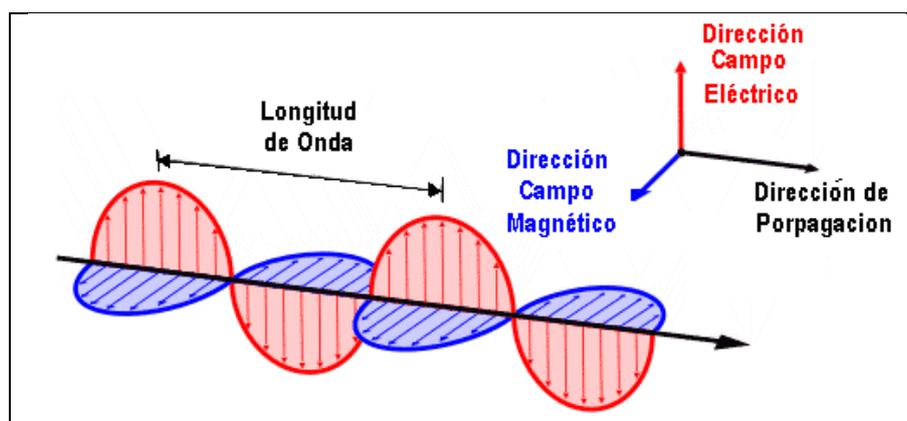


Figura 1.1: Características de una onda electromagnética.

Como se menciona antes, la transmisión de energía que interesan en el presente trabajo es la asociada a campos electromagnéticos variables en el tiempo; dicha variabilidad se describirá por medio de la frecuencia (f) a la cual se originen. Los valores de frecuencias (en términos de aplicaciones útiles) pueden ir desde unos pocos “hertz” hasta miles de millones de “hertz”. Se debe recordar que la frecuencia es el número de ciclos u oscilaciones

por segundo de una señal eléctrica, y dicha oscilación se mide o se describe en términos de ciclos por segundo o "hertz" [Hz].

El amplio rango de variación (en términos de frecuencia) que pueden tener las fuentes de emisiones electromagnéticas, obliga a limitar el campo de análisis del presente trabajo, para ello utilizaremos la clasificación dada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), misma que se muestra en la tabla 1.1

BANDAS CORRESPONDIENTES AL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	FRECUENCIAS	LONGITUDES DE ONDA
Banda VLF ("Very Low Frequencies" – Frecuencias Muy Bajas)	3 – 30 KHz	100000 – 10000 m
Banda LF ("Low Frequencies" – Frecuencias Bajas)	30 – 300 KHz	10000 – 1000 m
Banda MF ("Medium Frequencies" – Frecuencias Medias)	300 – 3000 KHz	1000 – 100 m
Banda HF ("High Frequencies" – Frecuencias Altas)	3 – 30 MHz	100 – 10 m
Banda VHF ("Very High Frequencies" – Frecuencias Muy Altas)	30 – 300 MHz	10 – 1 m
Banda UHF ("Ultra High Frequencies" – Frecuencias Ultra Altas)	300 – 3000 MHz	1 m – 10 cm
Banda SHF ("Super High Frequencies" – Frecuencias Súper Altas)	3 – 30 GHz	10 – 1 cm
Banda EHF ("Extremely High Frequencies" – Frecuencias Extremadamente Altas)	30 – 300 GHz	1 cm – 1 mm

Tabla 1.1: Cuadro de atribución de frecuencia [8].

Algunos ejemplos de servicios ubicados en los rangos de frecuencias descritos en la tabla anterior son:

- **Frecuencias muy bajas VLF:** El intervalo es usado típicamente en comunicaciones gubernamentales y militares.
- **Frecuencias bajas LF:** son aquellas en el intervalo de 30 a 300 kHz. Los principales servicios de comunicaciones que trabajan en este rango están la navegación aeronáutica y marina.
- **Frecuencias medias MF:** las ondas más importantes en este rango son las de radiodifusión de AM (530 kHz a 1605 kHz).
- **Frecuencias altas HF:** a estas se les conoce también como "onda corta". Es en este intervalo que se tienen varios servicios de radiocomunicaciones como radiodifusión, comunicaciones gubernamentales y militares. Además las comunicaciones en banda de radioaficionados y banda civil también ocurren en esta parte del espectro.
- **Frecuencias muy altas VHF:** es un rango usado para muchos servicios, como la radio móvil, comunicaciones marinas y aeronáuticas, transmisión de radio en FM (88 MHz a 108 MHz) y los canales de televisión del 2 al 12 [según norma CCIR (Estándar Europeo)].

- **Frecuencias ultra altas UHF:** incluye los canales de televisión de UHF, es decir, del 21 al 69 [según norma CCIR (Estándar Europeo)] y se usan también en servicios móviles de comunicación en tierra, en servicios de telefonía celular y en comunicaciones militares.
- **Frecuencias súper altas SHF:** son ampliamente utilizadas para comunicaciones vía satélite y radio-enlaces terrestres. Además, pretenden utilizarse en comunicaciones de alta tasa de transmisión de datos a muy corto alcance mediante UWB (Ultra-Wideband). También son utilizadas con fines militares, por ejemplo en radares basados en UWB.
- **Frecuencias extremadamente altas EHF:** los equipos usados para transmitir y recibir estas señales son más complejos y costosos, por lo que su utilización no están muy difundidos aún.

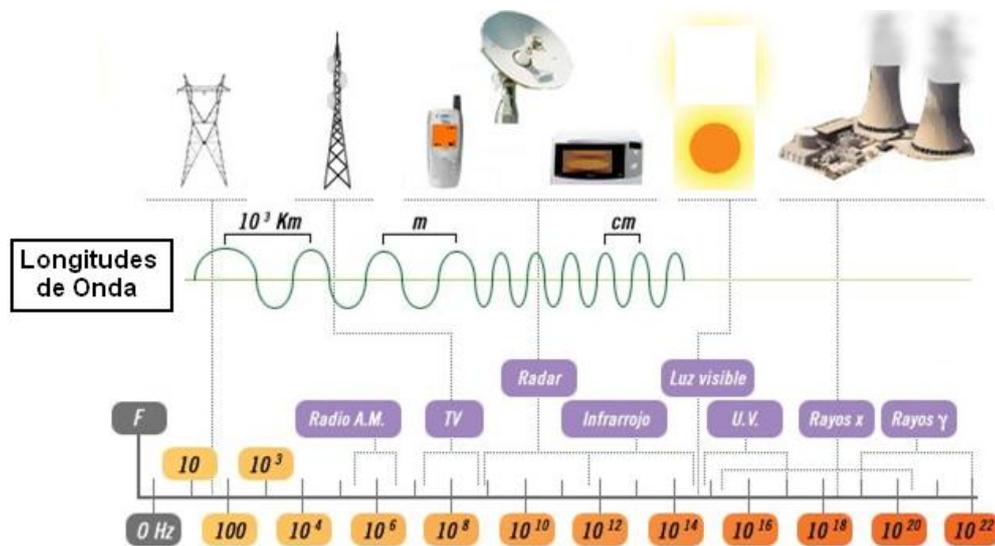


Figura 1.2: Representación del espectro electromagnético.

De todas las ondas electromagnéticas que conforma en espectro las analizadas en este trabajo son las de los servicios de radio AM y FM comercial, transmisión de televisión inalámbrica comercial y transmisiones de telefonía móvil celular, las cuales se ubica en el rango de frecuencias que van desde los 500 KHz hasta los 200 MHz [8]. Otro de los objetivos principales del presente trabajo, es analizar la normativa internacional que regula las emisiones previamente citadas; dicho análisis requiere la explicación de algunos conceptos adicionales tales como:

1.2. PROPAGACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS EN EL AIRE.

Una característica importante de los campos electromagnéticos variables en el tiempo es que sufren grandes atenuaciones conforme viajan de un punto a otro, una ecuación que nos da una idea respecto a dicha atenuación es la que se muestra en la ecuación 1.1.

$$L_{bf} (dB) = 32.5 + 20 \times \log(f) + 20 \times \log(d) \text{ ecuación (1.1)}$$

Donde:

L_{bf} : a la pérdida o atenuación en dB de una onda electromagnética que se propaga en el espacio libre.

f : es la frecuencia de la onda electromagnética dada en Mega Hertz.

d : es la distancia dada en kilómetros entre los puntos en los que se analice la propagación de la onda.

En el análisis de propagación de ondas electromagnéticas [71] se recomienda trabajar con cantidades relativas (como es el caso de los decibelios) en lugar de cantidades específicas (por ejemplo watts); debido a las grandes variaciones en amplitud derivadas de la propagación de las mismas. Los decibelios generalmente representan el logaritmo base 10 de cantidades lineales, al utilizar decibelios los cálculos se hacen más sencillos ya que es más fácil realizar sumas o restas de cantidades logarítmicas que multiplicar o dividir cantidades lineales.

Cuando se refiere una cantidad arbitraria a una cantidad fija de referencia, se obtiene una cantidad absoluta a partir de la relación entre dichas cantidades, cuando las cantidades relacionadas son potencias (como las utilizadas por los sistemas de telecomunicaciones) se obtiene por ejemplo la relación en watts y dB se le conoce como dBw y se describe por la siguiente ecuación:

$$1 \text{ dBw} = 10 \cdot \log_{10}(P_x / 1W) \text{ ecuación (1.2).}$$

Donde:

P_x = potencia en watts que se quiere convertir a decibelios.

Otra cantidad muy utilizada en telecomunicaciones son los dBm y representa la relación de una potencia arbitraria con 1 mW y se describe en la siguiente ecuación:

$$1 \text{ dBm} = 10 \cdot \log_{10}(P_x / 1mW) \text{ ecuación (1.3).}$$

Donde:

P_x = potencia en watts que se quiere convertir a dBm.

Como ya se vio, el término dBm conlleva la referencia a un nivel de potencia de 1 mW. Sin embargo hay otras cantidades de referencia utilizadas normalmente y son 1 W, 1 V, 1 μ V, 1 A y 1 μ A. estas designan una relación en decibelios de dBW, dBV, dB μ V, dBA y dB μ A respectivamente.

La ecuación 1 nos permite hacer conclusiones importantes, por ejemplo: entre mayor sea la frecuencia de la señal mayor será su atenuación cuando viaje de un punto A a un punto B; así mismo se puede decir que entre mayor sea la distancia entre dos puntos mayor será la atenuación en la señal que viaje entre ellos.

Es importante recalcar que la ecuación 1 define la atenuación de una onda electromagnética en cantidades logarítmicas (los dB o dBm son cantidades logarítmicas) lo anterior significa (entre otras cosas) que una atenuación de 3 dB equivale a que la potencia de la señal se ha reducido a la mitad. Las atenuaciones típicas que encontraremos para las distancia a analizar en el presente trabajo superan fácilmente los 60 dB.

Ejemplo. Si tomamos una emisión de radio de una estación AM comercial operando en la frecuencia de 1100 kHz con una emisión de potencia en su antena principal de 5000 watts al cabo de un kilómetro se habrá reducido en:

Datos iniciales:

Potencia de transmisión: $P_T = 5000$

Frecuencia de transmisión: $f = 1100$ kHz

De la ecuación 3 se obtiene.

$$P_T = 10 \cdot \log_{10}(5000 / 1\text{mW})$$

$$P_T = 66.98 \text{ [dBm]}$$

De la ecuación 1.1 se obtienen las pérdidas de propagación para una distancia de un kilómetro recorrida por la señal.

$$L_{bf} \text{ (dB)} = 32.5 + 20 \times \log(1.1) + 20 \times \log(1)$$

$$L_{bf} \text{ (dB)} = 33.32 \text{ dB}$$

Ahora que las dos cantidades están en decibelios las operaciones se hacen simples sumas o restas, para obtener la potencia resultante se resta las pérdidas en espacio libre a la potencia de transmisión.

$$P_x = P_T - L_{bf}$$

$$P_x = 66.98 - 33.32$$

$$P_x = 33.66 \text{ dBm}$$

Lo anterior implica que los 5000 watts al viajar 1 kilómetro se han reducido casi a la mitad en cantidades logarítmicas, lo que no es lo mismo en cantidades lineales, para transformar conocer el valor a watts, simplemente se despeja la ecuación 1.3 y se tiene.

$$P_x = 10^{(P \text{ [dBm]} / 10)}$$

La ecuación anterior da el resultado en miliwatts por que la potencia de referencia es 1 mW, entonces se obtiene la siguiente cantidad:

$$P_x = 2322.74 \text{ mW}$$

$$P_x = 2.322 \text{ W}$$

El resultado anterior muestra que la señal ha sufrido una gran atenuación después de 1 kilómetro, esto da una idea de que tan rápido se atenúa una señal electromagnética cuando viaja por el aire o espacio libre.

Ahora bien sin cambiamos de rango de frecuencia y utilizamos una de las empleadas por los sistemas de telefonía móvil celular como por ejemplo 952 MHz (una frecuencia más alta) luego de un kilómetro una señal de este tipo se atenuara en:

$$L_{bf} \text{ (dB)} = 32.5 + 20 \times \log(950) + 20 \times \log(1)$$

$$L_{bf} \text{ (dB)} = 92.05 \text{ dB}$$

Que es mucho mayor que la atenuación que sufre la señal analizada en el ejemplo anterior, esto demuestra cómo la frecuencia afecta las pérdidas en una señal cuando se propaga por el aire.

Otra cosa importante que se debe recalcar que la ecuación 1.1 describe la atenuación en espacio libre. No obstante, condiciones de propagación real no se tienen y por lo tanto deben considerarse otros tipos de atenuaciones tales como: atenuaciones por reflexión, difracción, atenuaciones atmosféricas, atenuaciones debido a árboles montañas etc. para analizar de mejor manera dicha propagación.

1.2.1. REFRACCIÓN.

Este efecto se da cuando una onda electromagnética que se propaga sufre una pequeña desviación en su trayectoria cuando atraviesa de un medio a otro con densidad distinta, en comunicaciones este efecto sucede cuando las ondas electromagnéticas atraviesan las distintas capas atmosféricas de la tierra.

1.2.2. REFLEXIÓN.

Este efecto se da cuando una onda electromagnética choca contra una superficie (obstáculo) que hace cambiar drásticamente la dirección de propagación, también puede darse una reflexión cuando la onda electromagnética atraviesa diferentes medios. En los servicios de telecomunicaciones bajo estudio la reflexión se da cuando las ondas chocan contra las paredes de edificios y calles.

1.2.3. DISPERSIÓN.

El efecto de la dispersión ocurre cuando las ondas electromagnéticas atraviesan gotas de agua (lluvia) en áreas despejadas, esto provoca que las ondas electromagnéticas tengan un mayor alcance; esto se puede notar cuando llueve hay veces que las estaciones de radio se sintonizan con mayor facilidad.

1.2.4 DIFRACCIÓN.

Se puede entender a la difracción como el esparcimiento de las ondas electromagnéticas en los límites de una superficie, esto quiere decir que para que exista la difracción tiene que haber un obstáculo, así es como este fenómeno permite que parte de la señal llegue al otro lado del objeto. Este fenómeno es de gran utilidad para las zonas donde grandes edificios o montañas se presentan como obstáculos de las señales. En los servicios de telecomunicaciones bajo estudio en este trabajo este fenómeno se da cuando las ondas chocan contra las esquinas de las paredes de los edificios, tejados, etc.

Si bien es cierto que dichos fenómenos provocan pérdidas en la señal que se propaga también son de gran importancia para las comunicaciones inalámbricas porque sus efectos provocan distintas formas de propagación, las cuales se suelen clasificar en tres tipos.

1.2.5 PROPAGACIÓN POR ONDA DIRECTA.

Para realizar este tipo de propagación es necesario que exista una línea vista "Line-Of-Sight" (LOS) entre el transmisor y el receptor. Los servicios de radio difusión y televisión tienen este tipo de propagación, en los servicios de telefonía celular solo en las cercanías de sus antenas se da este tipo de propagación.

Hay que aclarar que al referirse a línea vista, no implica que tenga que verse el transmisor desde el punto donde se encuentra el receptor o viceversa, sino que se refiere a que no hay obstáculos entre ellos aunque estén a grandes distancias entre sí. Al no existir obstáculos entre el transmisor y el receptor solo se presentan pérdidas por propagación en espacio libre. La figura 1.3 muestra la propagación por onda directa.

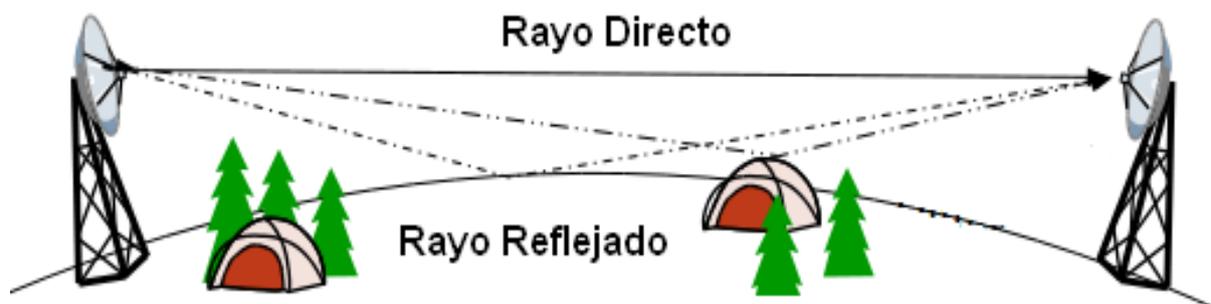


Figura 1.3: esquema de una comunicación con línea vista directa.

1.2.6 PROPAGACIÓN POR ONDA TERRESTRE.

Este tipo de propagación es posible gracias a la difracción. Las ondas electromagnéticas siguen la curvatura de la tierra por la cual la señal puede recorrer grandes distancias antes de que sea atenuada completamente por la superficie de la tierra. Gracias al efecto de la difracción la señal puede sobre pasar obstáculos. La figura 1.4 muestra un esquema de este tipo de propagación. La propagación por onda terrestre se da en sistemas cuyas frecuencias son inferiores a los Mega hertz, como las del servicio de radiodifusoras de AM.

1.2.7 PROPAGACIÓN POR ONDA DE CIELO O IONOSFÉRICA.

Esta forma de propagación es predominante para servicios de que se encuentran en los rangos de frecuencias entre los 3 y 30 MHz aproximadamente, aprovecha las características eléctricas de la ionosfera que actúa como reflectora de las ondas electromagnéticas permitiendo la propagación de las ondas electromagnéticas a distancias de hasta de decenas de miles de kilómetros.

Las características de propagación de las ondas electromagnéticas varían según la distancia desde el emisor, el campo de radiación que se encuentra cerca de una fuente no es igual que el campo de radiación que se encuentra a gran distancia, dichas variaciones dan origen a dos regiones.

Región de campo cercano: zona generalmente en la proximidad de una antena u otra estructura radiante, en la cual los campos eléctrico y magnético no tienen un carácter substancialmente de onda plana, y no cumplen con las restricciones de las ecuaciones de Maxwell.

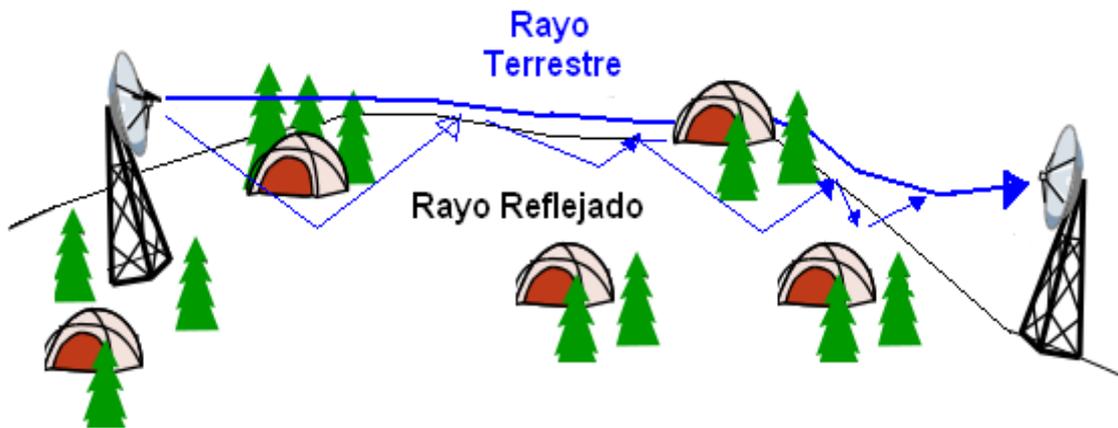


Figura 1.4: Esquema de una comunicación por onda terrestre.

Región de campo lejano: zona o región donde el campo eléctrico y magnético tienen un carácter predominante de onda plana (son ortogonales entre sí). Esta región se encuentra generalmente a una distancia relativamente alejada de la antena o fuente de emisión. Para fines prácticos esta distancia es tres veces la longitud de onda de la señal.

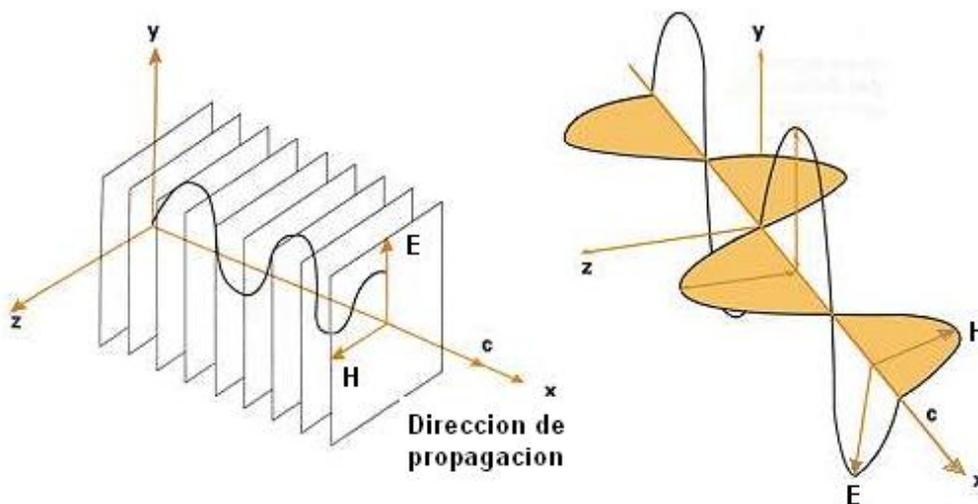


Figura 1.5: Características de una onda electromagnética plana.

Onda Plana: onda electromagnética que se propaga en una misma dirección, dicha dirección es perpendicular a sus campos.

1.3 DIRECTIVIDAD DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

En un sistema de transmisión el elemento que se encarga de emitir las ondas electromagnéticas al espacio es la antena, esta puede ser una antena simple o arreglos más complejos dependiendo del diseño que el sistema adopte. La mayoría de antenas utilizadas en las aplicaciones que se analizan en este trabajo presentan un comportamiento *directivo* lo que significa que concentran la emisión de energía en determinada zona; así mismo, dicha concentración implicará un aumento en la cantidad de energía radiada, lo que se asocia al concepto de ganancia del sistema radiante (o sistema de antenas).

Las antenas engloban varios conceptos que son necesarios para entender la forma en que ellas funcionan, alguno de estos conceptos se explican a continuación.

Patrón de radiación de una antena: es la grafica de la forma en la cual la antena radia energía al espacio. Normalmente los diagramas de radiación se representan de forma bidimensional, en dos planos, el vertical o campo eléctrico y el horizontal o campo magnético, estos planos son presentados en coordenadas rectangulares o en coordenadas polares. En la figura 1.6 y 1.7 se muestran algunos patrones de radiación de antenas utilizadas en los servicios analizados, omnidireccionales para radio AM y directivas para FM.

Directividad: es la capacidad de una antena de radiar más energía en una dirección específica que en otra. Usualmente se define directividad de una antena como la comparación de la energía radiada por ésta con respecto a otra que se toma como referencia. Usualmente la antena que se toma como referencia es la antena isotrópica.

La antena isotrópica: es una antena que radia igual energía en cualquier dirección; físicamente no se puede construir, no obstante matemáticamente si puede describirse su comportamiento.

Ganancia de una antena: su definición es similar al concepto de directividad con la diferencia de que la ganancia toma en cuenta las propiedades electromagnéticas del material con el cual está construida la antena.

Lóbulo de radiación principal: es donde se concentra la mayor cantidad de radiación de la antena.

Lóbulo de radiación secundario: este irradia energía pero en mucho menos cantidad que el lóbulo principal, en una antena puede haber más de un lóbulo secundario.

Ancho de haz: es el ángulo medido entre las caídas de 3 dB's del lóbulo principal de una antena, en este punto la potencia se ha disminuido a aproximadamente la mitad.

Polarización de la antena: la polarización de una antena corresponde a la dirección del campo eléctrico emitido por una antena. Esta polarización puede ser: vertical, horizontal elíptica, circular (hacia la derecha o hacia la izquierda). Los servicios de telecomunicaciones analizados en este trabajo solo utilizan polarización vertical y algunas veces horizontal.

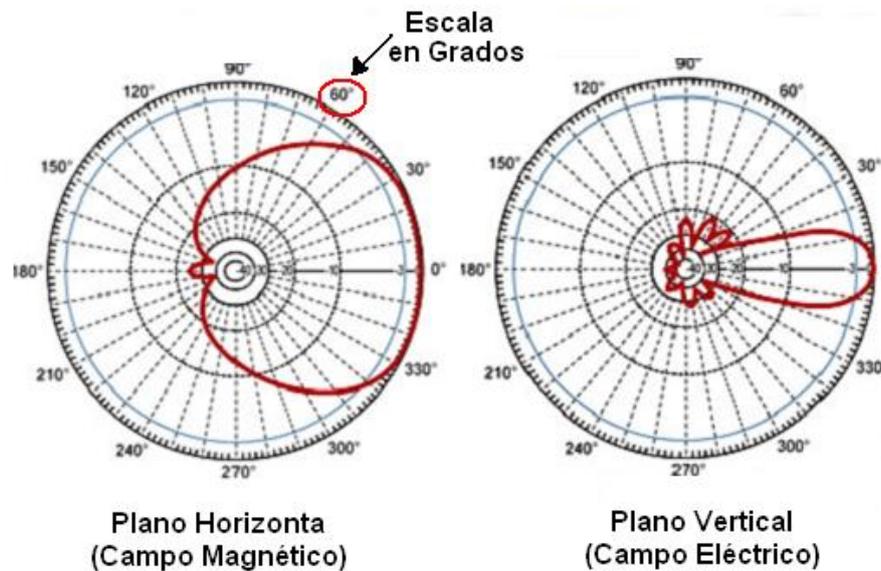


Figura 1.6: Parámetro de radiación típico de una antena direccional en 2 dimensiones [69].

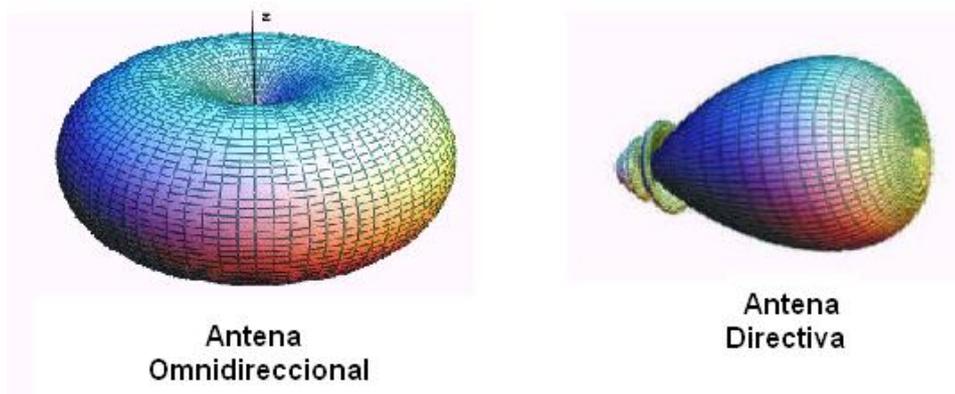


Figura 1.7: Patrones de radiación en 3D de antenas [71].

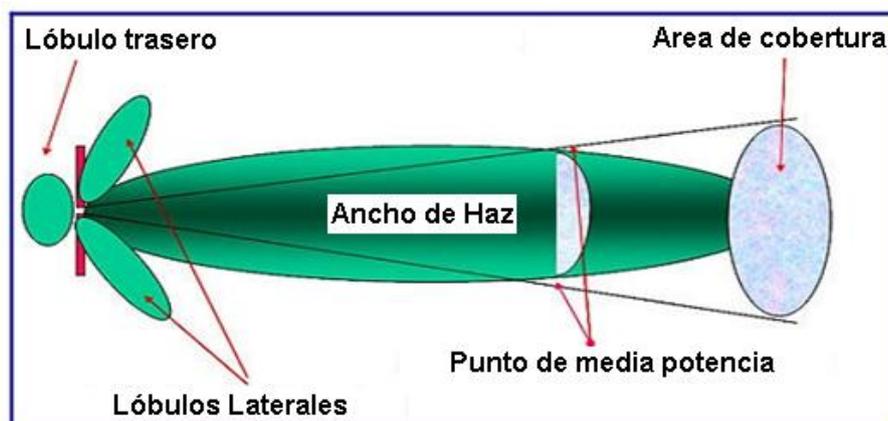


Figura 1.8: Esquema del patrón de radiación de una antena direccional, señalando los tipos de lóbulos.

Polarización Vertical: si el campo eléctrico permanece en la dirección vertical durante toda la trayectoria de una onda, para un dipolo el movimiento de los electrones dentro del alambre responde al campo eléctrico y por lo tanto define la polarización.

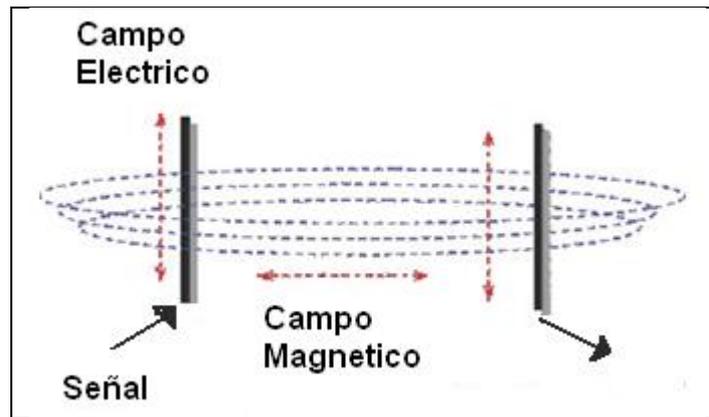


Figura 1.9: Polarización vertical

Polarización Horizontal: si el campo eléctrico permanece en la dirección horizontal durante toda la trayectoria de una onda, esto se logra colocando los dipolos de la antena de forma horizontal.

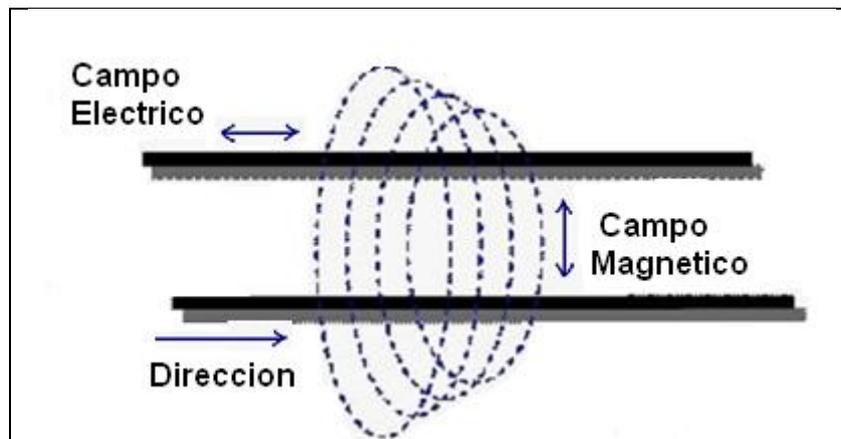


Figura 1.10: Polarización horizontal.

1.3.1 ARREGLOS DE ANTENAS.

En la práctica los sistemas de comunicaciones casi nunca se tienen una sola antena, en su lugar utilizan varias antenas y se les conoce como arreglos [18], en el país se pueden encontrar arreglos como los que muestra la figura 1.11, esto arreglos sirven para aumentar la directividad del sistema o aumentar la potencia de transmisión. Dichos arreglos montan las antenas en la misma estructura en diferentes configuraciones, ya sea en forma vertical u horizontal.

Cuando se construyen arreglos de antenas se debe asegurar que no exista interferencia entre las señales de las antenas, esto se logra colocándolas a ciertas distancias una de la otra, para el caso de colocarlas en forma vertical, esta distancia dependerá de la frecuencia de trabajo. Y para el caso de colocarlas en forma horizontal la distancia dependerá de la relación entre lóbulos frontales y lóbulo trasero. A esta distancia se le conoce como *aislamiento de antena* [71].

En los sistemas que se pueden encontrar en nuestro país los arreglos de antenas tiene el mínimo de interferencia entre si y no afectan en gran medida el cálculo o medición de sus campos electromagnéticos radiados.



Figura 1.11: Arreglo de antenas típico de las estaciones de radio FM ubicadas en nuestro país [63].

SECCIÓN 2. ASPECTOS TÉCNICOS RELEVANTES DE LAS EMISIONES DE AM Y FM COMERCIAL, TELEVISIÓN INALÁMBRICA Y TELEFONÍA MÓVIL CELULAR.

Los campos electromagnéticos analizados en este trabajo tienen su utilización en las telecomunicaciones y se les conoce como campos de *radiofrecuencia*², en el entorno nacional los ejemplos más comunes de este tipo de emisiones radioeléctricas son las transmisiones de radio comercial AM y FM, las transmisiones inalámbricas de señales de televisión y los sistemas de telefonía móvil celular, cada uno de estos sistemas radiantes tienen sus propias características de emisión, infraestructuras, potencias de transmisión, rangos de frecuencias, etc. muy particulares, esto hace que el tipo de medición y predicción teórica de sus emisiones de radiación requiera de un conocimiento técnico básico o avanzado sobre cada uno de ellos.

2.1 RADIO COMERCIAL AM.

La radio AM también conocida como de *media onda* es de tipo monofónica (un solo canal) debido a eso tiene una pobre calidad de audio. En nuestro país tiene un rango de frecuencias asignado por la UIT que va desde los *500 KHz a 1700 KHz* y cuyas respectivas longitudes de onda varían desde *576 m – 176 m*. En este rango cada estación de radio tiene asignado un ancho de banda de 10 KHz conocido como *canal* y se reservan 5 KHz de espacio entre canal para evitar interferencias, esto convierte la separación mínima entre dos emisoras de AM a 20 KHz (figura 1.12). La radio AM por su gran cobertura, en nuestro país es un servicio de tipo regional, esto significa que en todo el país no existen dos emisoras que utilicen la misma frecuencia.

² Este concepto se refiere a los campos comprendidos el rango de frecuencias que van desde los 100 KHz hasta los 3 GHz (este concepto se ampliara más adelante).

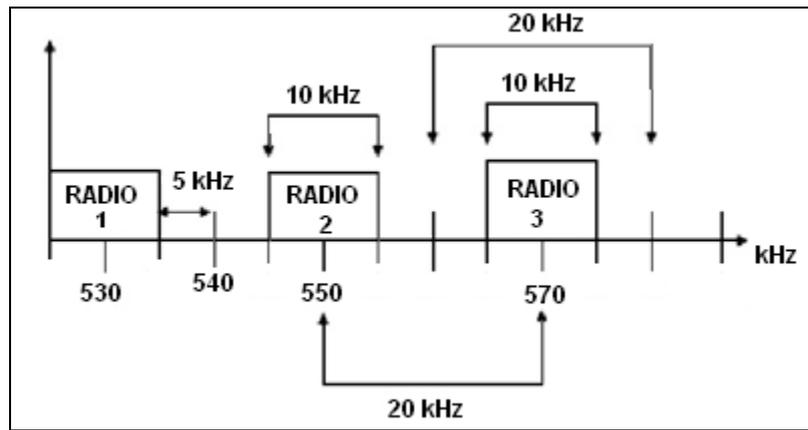


Figura 1.12: Distribución de frecuencias y canalización del servicio de radio AM comercial.

Generalmente la infraestructura de los servicios de radio AM se instalan en sitio altos como cerros, debido a esto el tipo de propagación es del tipo de onda directa y el alcance de la señal puede determinarse utilizando el siguiente principio: *en ausencia de interferencias y con una potencia de transmisión moderada el alcance de la onda de un transmisor de AM, es el equivalente a su longitud de onda en metros pero expresada en kilómetros.*

Por ejemplo, una emisora que transmita a una frecuencia de 600 kHz con una longitud de onda de 500 metros tendrá una cobertura aproximada de 500 kilómetros a la redonda, no obstante el alcance puede variar dependiendo de la potencia de transmisión. Estos sistemas emplean potencias que varían desde los pocos kilowatts hasta unas decenas de kilowatts, típicamente 1 kw, 5kw, 50kw, 100kw.

El transmisor es el alma de las estaciones de radio, todavía se utilizan transmisores analógicos, pero en la actualidad hay transmisores digitales, los transmisores son los encargados de realizar la modulación de la señal que se transmite.

Estos sistemas utilizan modulación en amplitud o AM, de ahí su nombre, este tipo de modulación es de baja calidad, es más sensible al ruido e interferencia y además utiliza potencias más altas que las que se utilizan en radiodifusión FM; hay que recordar que modular es la acción de modificar las características de una señal por las otra; la modulación AM es el proceso de cambiar la amplitud de una señal llamada portadora de frecuencia relativamente alta por la amplitud de una señal llamada modulante o también conocida como moduladora (que es la que tiene la información) como muestra el esquema de la figura 1.13, la resultante es una señal que transporta la información en su envoltorio. Una característica principal de este tipo de modulación es que aumenta la potencia de la señal que se quiere transmitir hasta en el 50%.

La mayoría de las antenas utilizadas en AM son simples alambres verticales llamadas *monopolos*, son omnidireccionales y el diagrama de radiación es aproximadamente circular, lo que quiere decir que irradia en todas las direcciones en el plano horizontal, las ganancias son bajas casi nulas, las alturas de estas antenas depende de la longitud de onda de la señal.

Por ejemplo una emisora que transmita a una frecuencia de de 560 kHz tendrá una antena de más de 250 metros. Mientras que en el otro extremo del dial, una antena en 1330 kHz tendrá una altura aproximada de 100 metros. Como se puede notar en el ejemplo las alturas de estas antenas a veces son muy grandes y poco eficientes su construcción, sin embargo existe otros modelos de antenas como el *monopolo plegado*, donde la altura que cuenta es la de cada monopolo vertical no tanto la de la torre.

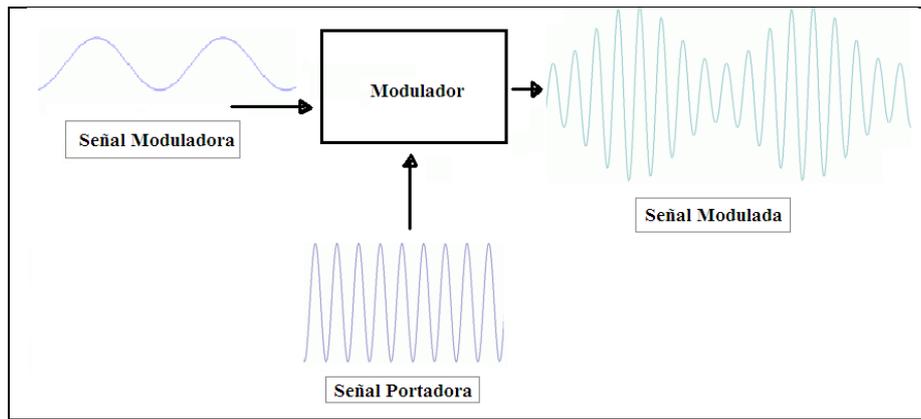


Figura 1.13: Esquema del modulación AM.

Del ejemplo anterior la antena de 100 metros de altura tendría 5 monopolos plegados de 20 m cada uno. Un aspecto importante de las antenas de AM es la polarización, esta debe ser lo suficientemente conductora para que la señal de la radio tenga buena calidad.

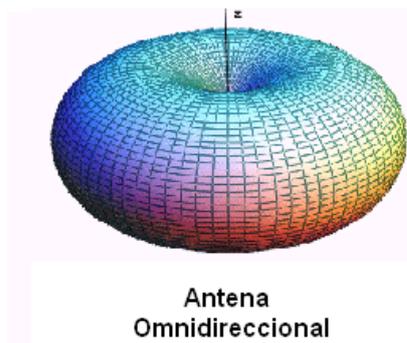
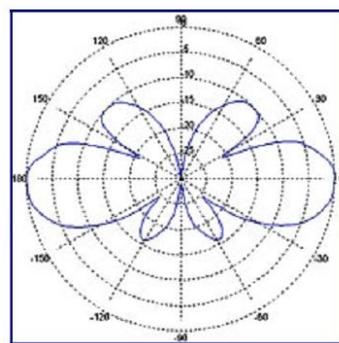


Figura 1.14: Patrón de radiación típico del campo eléctrico, de una antena de monopolo vertical.

Además antes de que el conductor o antena llegue a la torre generalmente pasa por lo que se llama *caja de sintonía* (figura 1.15) donde se encuentra una serie de bobinas que tiene la función de ajustar/acoplar la impedancia.

Las estructura o torres que soportan las antenas son de sección transversal triangular, están aisladas de sus bases de hormigón por medio de aisladores de cerámica.

2.2. RADIO COMERCIAL FM.

Es otro servicio de telecomunicaciones pero a diferencia de la radio comercial AM, esta es más popular, dejando a los servicios de radio AM relegados de tal manera que la mayoría de los aparatos de sonido, teléfono celulares, reproductores de música, actuales solo reciben señales de estaciones de radio de FM, las razones principales son: es relativamente más fácil conseguir los equipos, tiene mejor calidad en sonido, utilizan antenas más pequeñas para transmisión y recepción, las potencias³ de modulación son más bajas.

³ En esta parte se refiere a las potencias que se utilizan para modular la señal.



Figura 1.15: Antena vertical, torre y caja de acople (sintonía) típicos de una estación de radio AM.

En nuestro país el rango de frecuencias asignado por la UIT para el servicio de radio difusión FM está en el rango $87.5 \text{ MHz} - 108 \text{ MHz}$ y sus correspondientes longitudes de onda van $4 \text{ m} - 2.7 \text{ m}$. A cada estación de radio se le asigna un ancho de banda de 200 KHz y para evitar interferencias con estaciones adyacentes se reservan 100 KHz a ambos lados de cada canal, esto hace que la separación para cada estación sea de 400 KHz (figura 1.16).

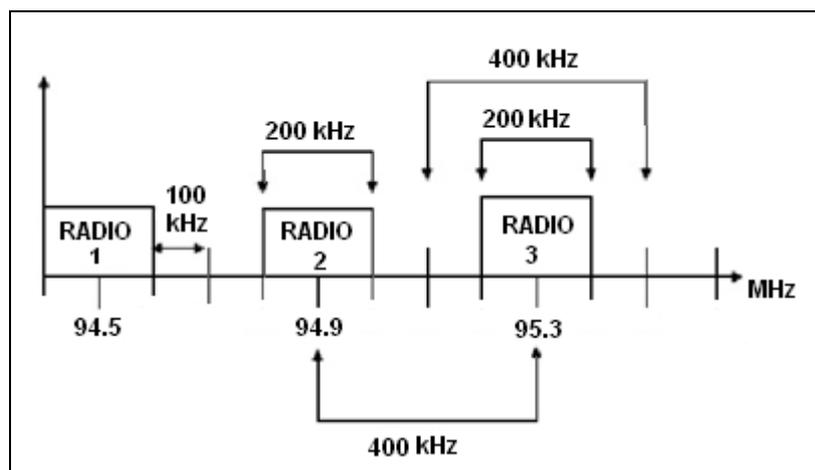


Figura 1.16: Distribución de frecuencias en la banda de FM [59].

Su cobertura es mucho menor que las de AM por utilizar frecuencias más altas, por eso son emisoras de tipo *local* ó *urbana*, esto significa que puede existir más de una estación que transmita a la misma frecuencia. Sus estaciones transmisoras se encuentran en sitios altos como cerros, por lo tanto el tipo de propagación se da por onda directa.

Los valores típicos de potencias nominales de transmisores pueden ser desde unos 10 watts , 100 watts , 500 watts , hasta unos 100 kilowatts , y están diseñados para diferentes tipos de sistemas y alcances de transmisión, como por ejemplo los transmisores con potencia pequeñas pueden utilizarse para estaciones en zonas urbanas con las antenas montadas sobre azoteas de edificios, y los transmisores con potencia altas, alrededor de los kilowatts , son para coberturas de varios kilómetros y estaciones ubicadas en zonas altas.

El transmisor además de dar la potencia al sistema, es el encargado de procesar la señal (modular) que llega desde los estudios, la modulación de la señal para este tipo de sistemas es la modulación en frecuencia FM, de ahí su nombre, y consiste en cambiar la frecuencia

de una señal llamada moduladora (que es la que contiene la información) por la frecuencia de una señal llamada portadora como muestra en el esquema de la figura 1.17. Luego de ser modulada la señal es enviada al elemento radiante del sistema, que es la antena, esta transmite la señal al espacio o el aire.

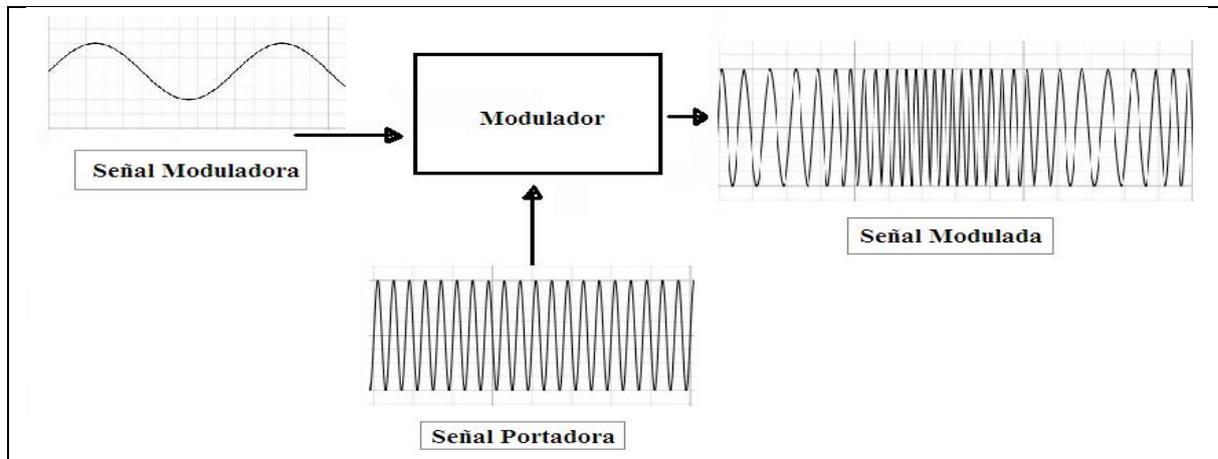


Figura 1.17: Esquema de modulación en frecuencia FM [59].

Las antenas que se emplean en las estaciones de radio FM son de tipo de “**dipolos**” (ver figura 1.18) y constan de varias partes o elementos, estos hacen que dichas antenas sean más directivas y tengan ganancias mucho más altas en comparación con las de AM.

Generalmente en las estaciones de transmisión de FM no se utiliza una sola antena para transmitir, sino que son arreglos de varias antenas montadas en torres, estos arreglos de antenas tienen varias funciones como aumentar la ganancia y directividad del sistema. Esto implica que el número de antenas utilizadas depende del tipo de sistema que se quiera implementar. Por ejemplo un arreglo de 4 antenas podría tener una ganancia de 6.64 dB, en cambio un arreglo de 6 antenas aumentaría su ganancia del sistema a posiblemente 8.14 dB y claro podría concentrar el haz de radiación en una dirección en específica.

Las torres donde se encuentran soportadas las antenas son estructuras metálicas de sección transversal triangular, que pueden tener alturas de entre unos 20 metros hasta unos 150 metros más o menos, la altura de las torres depende también del tipo de sistema y la cobertura que se requiera.

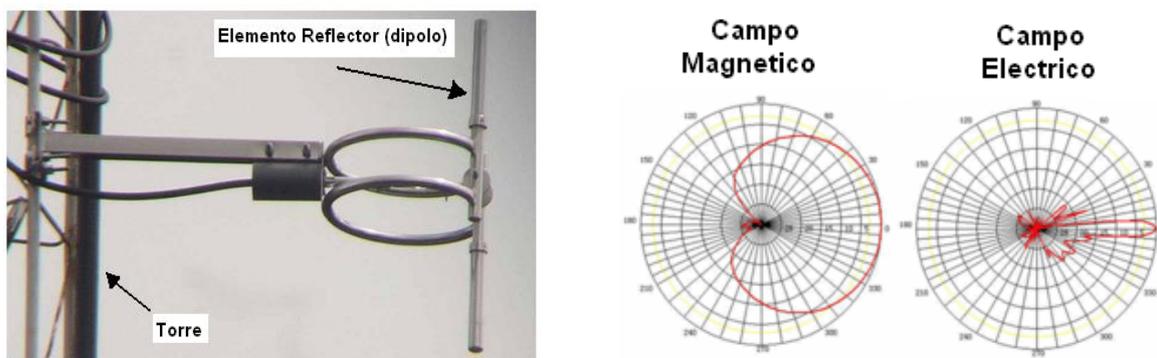


Figura 1.18: Antena de dipolo y un patrón de radiación tipo de este tipo de antena para varias longitudes de dipolos [63].

2.3 SISTEMAS INALÁMBRICOS DE TELEVISIÓN.

Se puede decir que la televisión es el medio de comunicación más importante ya que es accesible por casi todas las clases sociales y eso lo convierte en el medio de comunicación con más influencia sobre las personas.



Figura 1.19: Arreglo de varias antenas para la transmisión FM ubicadas en el “Boquerón” del Volcán de San Salvador [63].

La televisión a diferencia de la radiodifusión puede transmitir voz, música e imágenes, sin embargo al igual que los sistemas de radiodifusión es un medio de comunicación unidireccional⁴. En nuestro país este servicio utiliza dos bandas de frecuencias, la VHF que va desde los 30 MHz a los 300 MHz y sus correspondientes longitudes de onda van desde los 10 m a 1 m, donde se ubican los canales del 2 al 13, por convenio centro americano a El Salvador se la asignaron los canales pares 2, 4, 6, 8, etc. también utiliza la banda UHF que va desde los 300 MHz a los 3 GHz y sus correspondientes longitudes de onda van desde 1 m a 0.1 m, en esta banda se ubican los canales del 14 hasta el 83.

Las tipos de antenas utilizadas por estos sistemas son similares a las utilizadas en FM, son antenas de dipolos y al igual que en los sistemas anteriores se utilizan arreglos, además también para ciertos servicios como cable satelital se utilizan antenas de gran tamaño tipo parabólicas (estos servicio no son de interés en este trabajo).

Las estructuras que sostienen estas antenas son torres que algunas veces pueden similares a las utilizadas por las estaciones de FM, y otras veces se utilizan torres de mayor tamaño, pero siempre son de sección transversal de tipo triangular. Estas estructuras se ubican generalmente en sitios altos zonas alejadas de los centros poblacionales como cerros, colinas etc. parecido a las estaciones de radio, esto es para tener una visión despejada de la antena y evitar interferencias, por ende tiene un tipo de propagación por onda directa.

⁴ Este concepto se refiere a: cuando la comunicación se da en una sola dirección, que es del operador al cliente

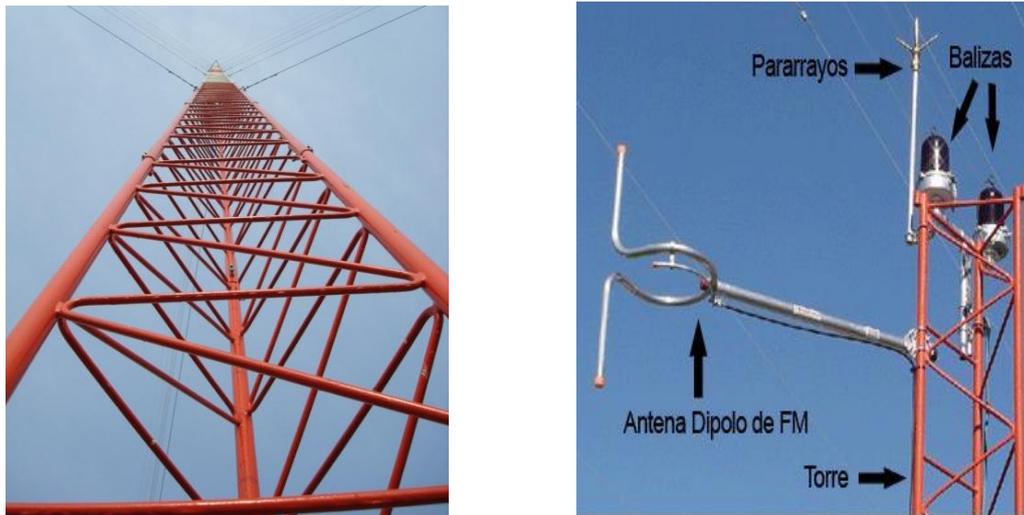


Figura 1.20: Torres de estaciones de radio difusión comercial de FM ubicadas en sitios altos [63].

Estos sistemas transmiten audio y video al mismo tiempo, utilizando modulaciones AM para video y FM para audio, las potencias de transmisión se dan típicamente como en los sistemas anteriores, aunque pueden existir variaciones dependiendo de la banda de frecuencias utilizadas.



Figura 1.21: Antenas tipo paneles para transmisión de señales de televisión, estas esta ubicadas en el “Boqueron” volcán de San Salvador [63].

2.4 SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL.

La característica principal de los sistemas de comunicación móviles es la comunicación bidireccional o *full duplex*⁵ y esta hace una diferencia de los sistemas estudiados anteriormente y como consecuencia los ha hecho más populares a tal grado que se puede escuchar la radio FM y ver televisión analógica en los teléfonos celulares actuales. Cada canal tiene un ancho de banda de 6 MHz, por ejemplo la banda de 180 -186 MHz ha sido asignada al canal 8 y la banda de 192 -198 MHz al canal 10 de la televisión nacional (este es de uso oficial y es asignado al Ministerio de Educación de nuestro país).

⁵ Este concepto se refiere a la comunicación simultánea desde el operador al cliente y viceversa.



Figura 1.22: Arreglo de antenas de UHF de sistemas de transmisión de televisión.



Figura 1.23: Torres para sistemas de televisión utilizados en el país.

Básicamente un sistema de comunicaciones móviles consta de usuarios que los que poseen las terminales móviles, un centro de control que es el cerebro del sistema y se encarga de administrar la red, y un conjunto de estaciones transmisoras que es la que proporciona el

servicio en un área determinada y es la interface para que el usuario se comunique con el centro de control.

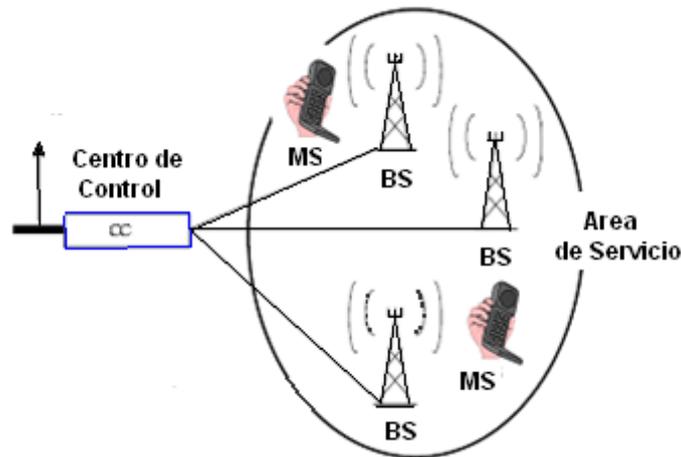


Figura 1.24: Esquema general de un sistema de telefonía móvil.

Las comunicaciones móviles se utilizaron por primera vez en EE.UU., utilizaban sistemas de radio que operaban a una frecuencia cercana a 2 MHz; los cuales tenían poca cobertura y la calidad de las transmisiones no era buena. El servicio se volvió popular (aunque era caro y no era de uso público totalmente) y se vio la necesidad de mejorarlo. La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) fue uno de los primeros organismos que intervino en este tipo de servicio considerado nuevo, asignando bandas de frecuencias para proporcionar un eficiente uso del mismo y creando normas. Con el tiempo de la telefonía móvil se fue desarrollando por etapas hasta llegar a como la conocemos en la actualidad, a estas se les conoce popularmente como *generaciones* o *G*.

2.4.1 GENERACIÓN CERO O 0G.

A esta tecnología se le conoció como *cerro G* o *0G* porque fueron los primero sistemas de telefonía móvil, esta generación se caracterizo principalmente por ser analógica y exclusivamente para transmitir voz, utilizaban modulaciones en AM y FM, los equipos conocidos como *radio-telefonos* eran grandes y caros y por lo tanto no eran accesibles para la persona promedio, solo existía una estación transmisora central por cada ciudad, esta proporcionaba el servicio hasta una distancia de hasta 60 Km de radio, debido a estas estaciones debían estar en el centro de la ciudad. Utilizaban 11 canales para transmisión y recepción, cada canal tenía un ancho de banda de 30 KHz, estos sistemas fueron llamados MTS por sus siglas en ingles "*Mobile Telephone System*" y se enlazaban a los sistemas de telefonía de línea fija existentes.

2.4.2 GENERACIÓN 1 O 1G.

Esta etapa inicio a principios de los 80, estos sistemas seguían siendo analógicos y las frecuencias se cambiaron a 450 MHz y 900 MHz, a 900 MHz los sistemas tenían más canales y por lo tanto podían proporcionar servicio a mas usuarios, por eso con el tiempo se dejo de usar la frecuencia de 450 MHz y solo se quedo la de 900MHz. La modulación utilizada todavía era FM, la comunicación seguía siendo estrictamente solo voz pero ya se podía transmitir y recibir simultáneamente, el servicio seguía siendo caro pero era más accesible al público, fueron los primeros sistemas de telefonía móvil basados en *células*

instalando múltiples estaciones transmisoras en las ciudades para proporcionar el servicio, esto provocó que las potencias de transmisión se redujeran.

2.4.3 GENERACIÓN 2G.

La segunda generación o 2G fue introducida debido a la necesidad de crear sistemas más eficientes y con mayor capacidad, en esta etapa la telefonía pasó de ser analógica y se convirtió en telefonía móvil digital. Las comunicaciones digitales ofrecieron una mejor calidad en las transmisiones, se simplificó la fabricación de los terminales (teléfonos móviles) siendo estos más baratos y accesibles al público promedio. Esta nueva tecnología permitió la transmisión de voz y datos digitales, estos últimos en pequeños volúmenes. En esta etapa nacieron varios estándares de comunicaciones móviles de los cuales el más utilizado es el estándar *GSM*. Este tiene cuatro versiones principales: *GSM-850* que opera en la banda de 850 MHz, *GSM-900* que opera en la banda de 900 MHz, *GSM-1800* que opera en la banda de 1800 MHz, *GSM-1900* que opera en la banda de 1900 MHz. Se instalaron más estaciones transmisoras dentro de zonas urbanas, estando estas cada vez más cerca, con ello se redujeron más la potencia de transmisión de dichas estaciones a alcances máximos de hasta 20 km o 30 km, pero se logró aumentar el número de canales y cobertura hacia los usuarios, aplicando la principal característica de estos sistemas que es la reutilización de frecuencias; esta técnica se explicará más adelante. Las antenas utilizadas se hicieron más directivas e inteligentes capaces de adaptar su ganancia y directividad de forma automática y en función del número de usuarios conectados al sistema. En esta etapa nació la telefonía celular como se conoce hoy en día.

2.4.5 GENERACIÓN 2.5G.

La generación 2 con sus nuevas tecnologías, costos de servicio relativamente baratos, la fabricación de teléfonos con más funciones, etc. fue tan relevante que se incrementaron masivamente el uso de celulares, esto provocó limitantes en el servicio, sobre todo en la transmisión de datos. La generación 2.5 ofreció a los usuarios la transmisión de datos en volúmenes moderados por medio de actualizaciones a la tecnología GSM pero siempre manteniendo su estructura básica. Se podría decir que esta etapa no está definida oficialmente, no obstante para los operadores es mucho más eficiente y factible actualizar sus redes de 2G a 2.5G para luego emigrar a la tecnología 3G. En resumen la generación 2.5G es una transición entre tecnología 2G y 3G.

2.4.6 GENERACIÓN 3G.

Esta generación ofrece mejoras a la tecnología GSM, la principal característica es que proporciona más ancho de banda a los usuarios y así acelera la transmisión de voz, datos, y accesos a internet. Los teléfonos con tecnología 3G son capaces de transmitir datos multimedia como video, fotos etc. con la 3G los países y operadores buscan la completa globalización de las comunicaciones móviles.

El nombre de esta tecnología 3G es conocido *UMTS* “*Universal Mobile Telecommunications System*” esta tecnología mantiene la estructura básica de la GSM y existen organismos de normalización que se encargan de dar especificaciones y requisitos para estos nuevos sistemas y hacer que la transición entre las tecnologías existentes pueda darse de forma más eficiente.

Esta tecnología necesita la construcción de estaciones transmisoras cada vez más cercanas entre sí con potencias son de alrededor de 20 watts, y una cobertura por estación de hasta 50 metros conocidas como micro células.

2.4.7 TECNOLOGÍA 4G.

La cuarta generación de la telefonía móvil está basada en la utilización de la tecnología del 3G junto con tecnologías como telefonía IP e internet inalámbrico. Así el 3G ofrecerá una movilidad prácticamente ilimitada y el internet inalámbrico ofrecerá más un ancho de banda permitiendo el tráfico de datos multimedia con mayor velocidad que la que ofrece el 3G. Sin embargo combinar esta tecnología trae inconvenientes, la tecnología 3G aun es cara y que el internet inalámbrico exige proximidad respecto a los puntos de acceso, esto quiere decir que al igual que la tecnología 3G esta requiere de mayor número de estaciones base para transmisión, instalándose dentro de edificios, en fachadas de edificios, dentro de centros comerciales, etc. esto implica que dichas estaciones transmisoras tendrán potencias de unos pocos watts alrededor de 10 watts y una cobertura de hasta 20 metros de radio. Otro aspecto importante que cabe mencionar sobre esta tecnología (aunque ya se está aplicando en países desarrollados con tecnología 3G) es que las antenas estarán disfrazadas de tal forma que se confundirán con el entorno y así evitar el impacto visual que estas causan.

Una ventaja de la 4G será la velocidad, mientras que las redes 3G proporcionan hasta 2 Mbps, la 4G alcanzará desde 20 a 100 Mbps en los tramos UMTS, y podría alcanzar hasta 1 Gbps en donde se implementen redes IP o Wi-Fi. En el país actualmente se encuentran instalados servicios celulares con tecnologías 2G y 2.5G y en San Salvador se está emigrando a la tecnología 3G, no obstante esta evolución llevara un buen tiempo. Por eso en este trabajo se enfoca a la tecnología GSM de 2G y 2.5G.

Lo expuesto en los párrafos anteriores demuestra que la telefonía celular se está desarrollando exponencialmente, sin embargo no importa el tipo de tecnología, siempre mantiene la estructura básica, múltiples estaciones transmisoras (células), una estación de control, y los usuarios. Lo que se puede resaltar es que cada vez se instalan mas estaciones transmisoras reduciendo las aéreas de cobertura del sistema pero aumentando la capacidad de este, a este concepto se le conoce como reutilización de frecuencias.

2.4.8 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE UN SISTEMA DE TELEFONÍA MÓVIL GSM.

En nuestro país los cuatro operadores de telefonía móvil celular trabajan con tecnología GSM; no obstante recientemente están incorporando tecnología UMTS; la tecnología GSM se basa en el concepto de celdas (células) circulares (figura 25) que se superponen para cubrir un área geográfica determinada, las celdas dividen el área en zonas más pequeñas de cobertura limitada, en cada celda existe una *estación base* (BTS) cada estación base posee varios transceptores⁶ y generalmente de 3 a 9 antenas montadas en una torre o poste, cada estación base posee un número de canales limitado y frecuencias asignadas para proporcionar el servicio, otro elemento de los sistema GSM es la *estación móvil* (MS), que se refiere al aparato receptor (teléfono celular) este es el que utiliza el usuario para acceder al servicio. Todas las estaciones base están conectadas a una *estación central de control* (BSC) que es la encargada de administrar la red y a dichas estaciones base, está a su vez se conecta con el *centro de conmutación móvil* (MSC) administrado por el operados y que se encarga de conectarse a la red de telefonía fija o a otros operadores, en ella se encuentra una base de datos la cual tiene la información de todos usuarios de la red.

⁶ Un transceptor es un equipo que posee el transmisor y el receptor incorporados en un solo aparato.

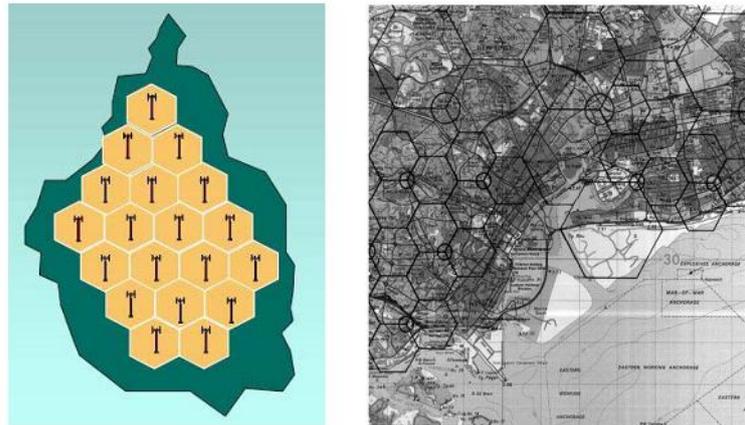


Figura 1.25⁷: conjunto de celdas de un sistema celular.

2.4.8.1 CAPACIDAD DE REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS.

A cada operador de una red móvil celular se le asigna un número limitado de frecuencias, estas son distribuidas a lo largo de las células en su red y son conocidos como canales lo cual limita la capacidad de la red.

Para solucionar esto los operadores asigna la misma frecuencia a varias células, así una estación base puede tener más de una frecuencia para lo que implica más ancho de banda para proporcionar el servicio, mayor velocidad para datos, etc. en la figura 1.27 se puede ver un esquema que describe esta técnica, las celdas del mismo color utilizan las mismas frecuencias.

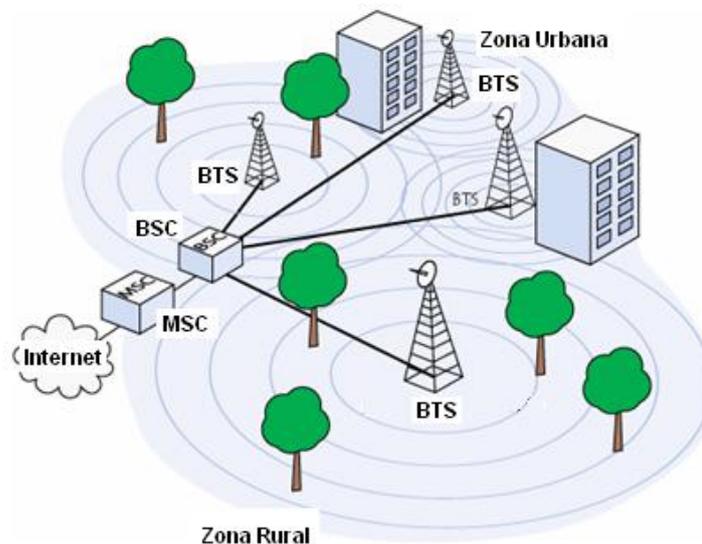


Figura 1.26: esquema básico de una red GSM.

Sin embargo la reutilización de frecuencias presenta el problema de la interferencia, entonces las estaciones que utilizan las mismas frecuencias deben estar separadas una distancia tal que evite este problema. Otro inconveniente que presenta esta técnica es que las células deben estar más cerca entre sí, esto es mayor número de celdas en un área más frecuencias reutilizadas, este es el secreto detrás de las tecnologías actuales.

⁷ Figura obtenida del documento *Descripción de un sitio celular GSM y parámetros de calidad de Telcel*. Publicado por el Instituto Politécnico Nacional de México.

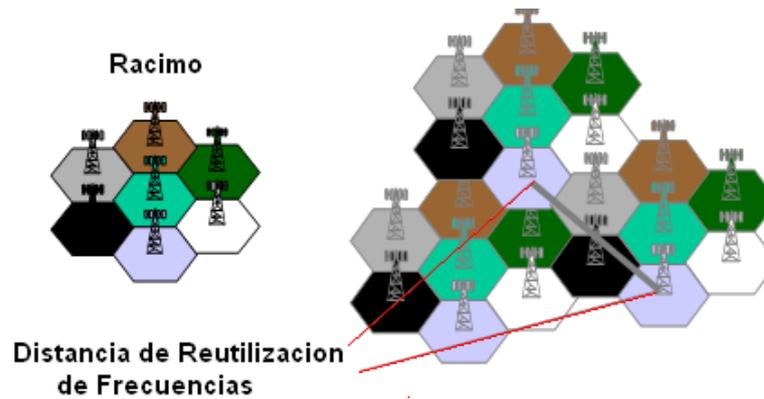


Figura 1.27: conjunto de células las que están del mismo color representan celda con frecuencias iguales.

En la tabla 1.2 se muestran las frecuencias asignadas por la UIT para el servicio de telefonía celular móvil, en nuestro país las frecuencias verdaderas utilizadas por los operadores se muestran en la tabla 1.3.

SISTEMA	BANDA DE FRECUENCIAS	POTENCIAS DE TRANSMISIÓN BTS	MODULACIÓN	COBERTURA
GSM	850 MHz 900 MHz 1800 MHz 1900 MHz	≈ 1 [W] – 40 [W]	GSMK	0.1 [Km] a 35 [Km]
UMTS/2000	2000 MHz 2200 MHz	10 [W] – 20 [W]	QPSAK	0.1 [Km] a 15 [Km]

Tabla 1.2: Frecuencias y potencias típicas para sistemas GSM y UMTS [8].

OPERADOR	MARCA	TECNOLOGÍA	RANGO DE FRECUENCIAS PRACTICO [MHz]
Telemovil de El Salvador	Tigo	GSM	800 – 835 870 – 880
Telefonica	Movistar	GSM	835 – 845 y 1710 – 1785 880 – 890 y 1805 – 1880
CTE Telecom SA de CV	Claro	GSM	1850 – 1910 1805 – 1850
Digicel	Digicel	GSM	890 – 915 935 – 960

Tabla 1.3: Cuadro de atribuciones de frecuencia para operadores de telefonía celular en el país [8].

De todo lo que se ha hablado se puede concluir que los servicios de telefonía móvil celular son bastante complejos, y en función de muchos aspectos y características como infraestructura, equipos utilizados, localización, etc. a continuación se describen sus características más importantes.

2.4.9 SEGÚN SU LOCALIZACIÓN /RADIO DE COBERTURA:

a. Estación base urbana: estas estaciones base normalmente están situadas en las afueras de zonas urbanas y/o dentro de ellas, poseen coberturas típicas de aproximadamente 0.10 km hasta 3km (figura 1.28).

b. Estación base rural: se trata de estaciones base que utilizan como soporte torres con una altura entre 20 y 40 metros situadas en las afueras de los núcleos urbanos o en las proximidades de carreteras, con coberturas típicas de 10 km hasta 30 Km (figura 1.29).

2.4.10 SEGÚN TIPO DE ANTENA:

a. Estaciones base omnidireccionales: utilizan antenas que emiten por igual en todas las direcciones del plano horizontal. Sin embargo, en el plano vertical la energía se concentra en un haz de unos 10° de apertura. En la figura 1.30 se puede ver una antena de tipo tambor, que son utilizadas para la conexión de la estación base con la estación central de control.



Figura 1.28: ejemplo de estación base en zona urbana.



Figura 1.29: Estaciones base de telefonía celular en zonas rurales.

b. Estaciones base Sectoriales: En éstas se utilizan antenas que concentran la energía en un haz de 60° a 90° en el plano horizontal para cada sector. En el plano vertical, la energía se concentra en un haz de 10° aproximadamente.

La sectorización de las células es otra técnica para aumentar la cantidad de usuario, por eso la mayoría de estaciones base que se ven en zonas urbanas son de tipo sectorial.

2.4.11 SEGÚN LA ESTRUCTURA DEL SOPORTE:

a. Mástil con triángulo o torre auto soportada: se utilizan en zonas rurales y urbanas. Cada sector de la estación base se sitúa en un lado del triángulo.

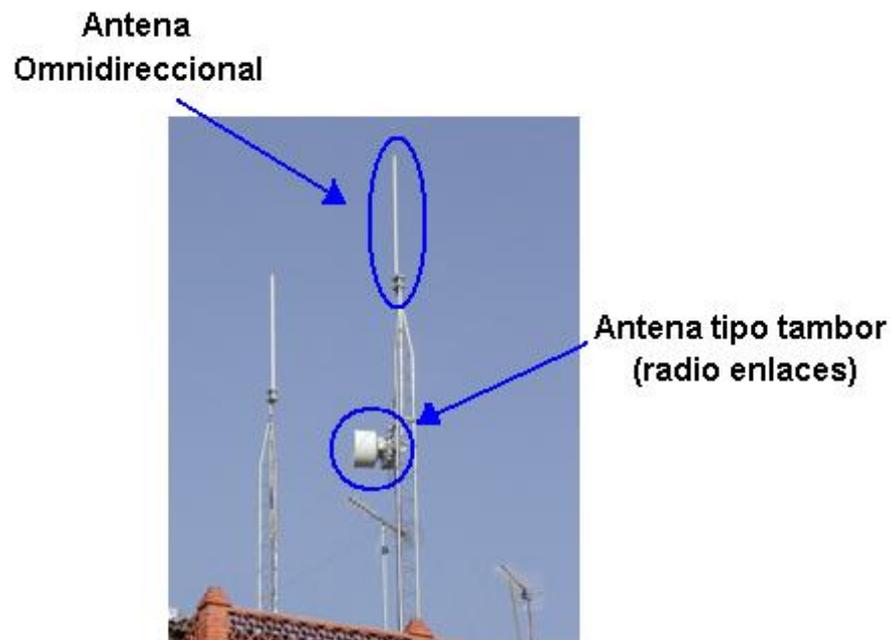


Figura 1.30: Estación base con antena de tipo omnidireccional ubicada en la azotea de un edificio.

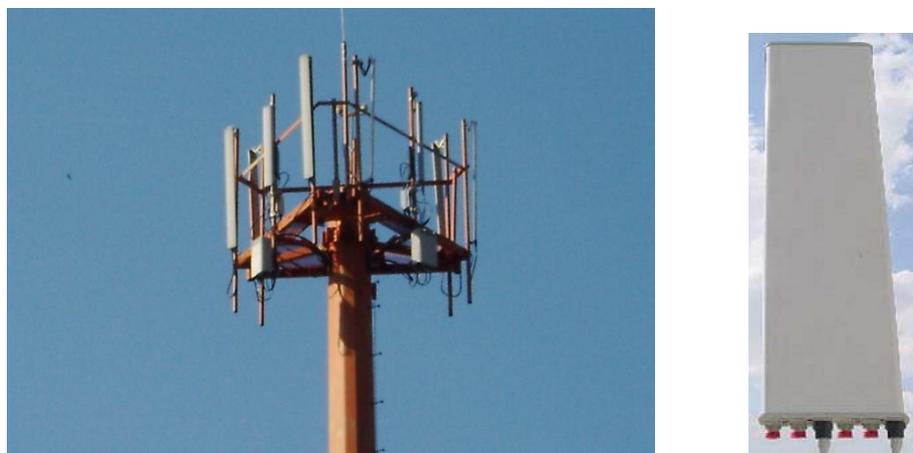


Figura 1.31: Estación base tipo sectorial y modelo de antenas utilizadas.

b. Mástil tubular: conocido como monoposte, este tipo de estructuras generalmente se utilizan en zonas urbanas, las antenas se sitúan directamente sobre el mástil.

c. Soporte tubular: se utilizan en zonas urbanas pero están construidas sobre azoteas de edificios, la estructura puede tener varios soportes tubulares, uno para cada sector o las tres antenas en un solo soporte.



Figura 1.32: Torre auto soportada de sección transversal triangular de una estación base celular que puede estar en zona urbana o rural [63].

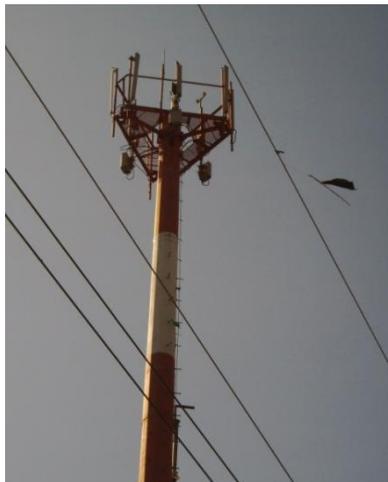


Figura 1.33: estructura de una estación base urbana de tipo mástil o monoposte.

2.4.12 DEPENDIENDO DE LA POTENCIA TRANSMITIDA:

a. Macro células: La potencia emitida por estas estaciones suele ser de 20 [watts] hasta 40 [watts]. Se utilizan para proporcionar cobertura a áreas extensas de entre 1 – 30 km. Por ello, las antenas se instalan a una altura con respecto al suelo comprendida entre 15 y 40 metros. También pueden encontrarse este tipo de estaciones en azoteas de edificios en estructuras tipo mástil.



Figura 1.34: estación base con soporte tubular individual [63].



Figura 1.35: Ejemplos de macro células en azoteas de edificios y torres [63].

b. Micro células: La potencia es generalmente pequeña, en torno a unos pocos watts, típicamente entre 10 y 20 watts. Las micro células proporcionan cobertura a nivel de calles con radios de cobertura de entre 10 a 50 metros, las antenas se instalan a una altura entre 3 y 6 metros en las fachadas de edificios, suelen tener antenas más pequeñas que las utilizadas en las macro células.

c. Pico células: son las estaciones que menos potencia emiten suelen ser de menos de 1 watt, se instalan para proporcionar cobertura dentro de edificios y las antenas se instalan en paredes o techos. En El Salvador todavía no es común la instalación de pico células.

En resumen se puede realizar un esquema donde se distingue la jerarquía de las estaciones base de telefonía celular o células, como se ve en la figura 1.37.



Figura 1.36: Antenas utilizadas en la micro células, la primera es direccional y la segunda es omnidireccional [63].

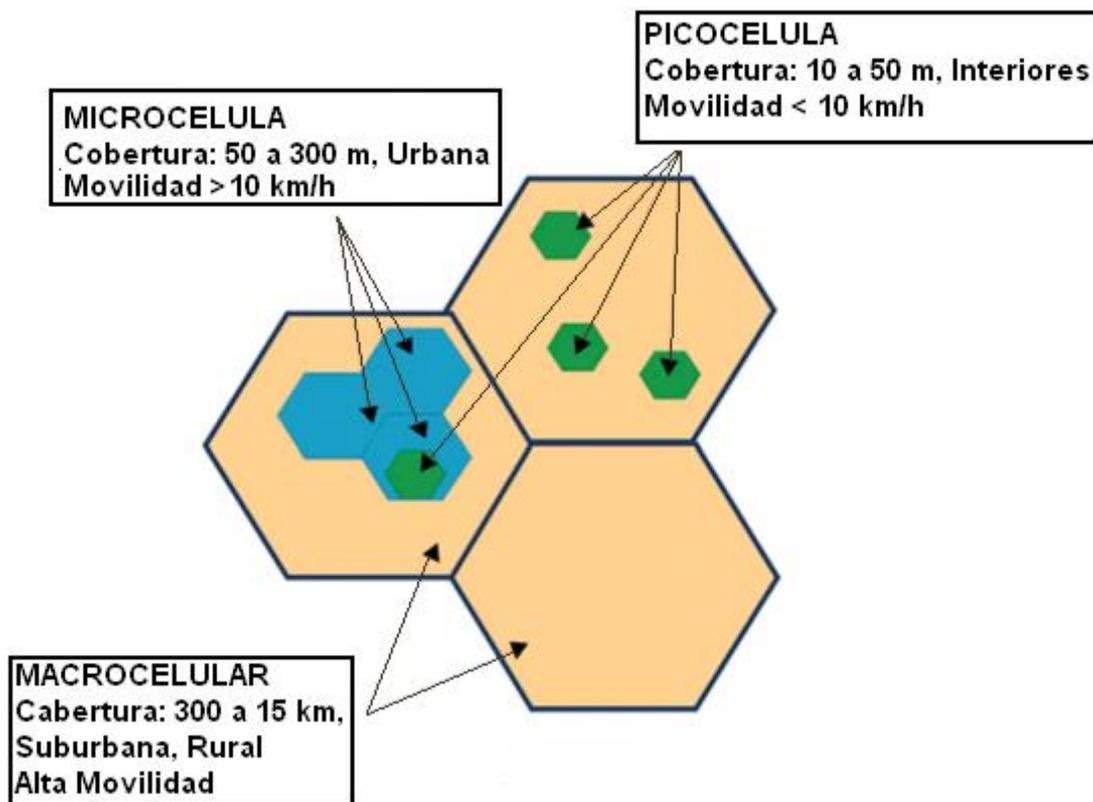


Figura 1.37: Esquema jerárquico de las estaciones base de un sistema celular.

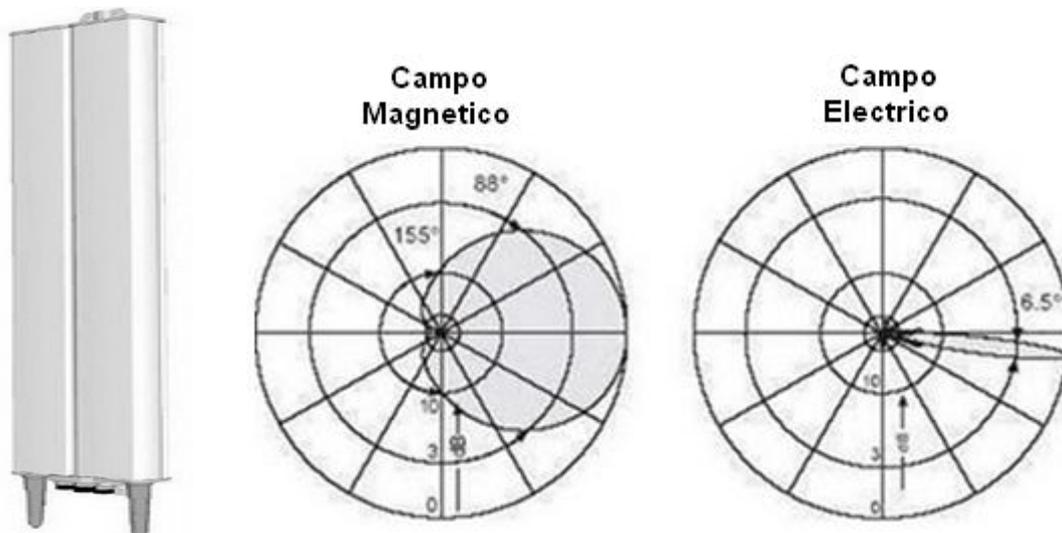


Figura 1.38: Antena de doble banda GSM 1800/UMTS y su respectivo diagrama de de radiación.

Otra parte importante de estos sistemas son las antenas utilizadas, en la mayoría de los casos son arreglos de antenas al igual que en los servicios de radio y televisión, cada antena está conectada a dos transceptores, típicamente las antenas utilizadas en las estaciones base del entorno nacional tienen las siguientes características: ganancias de entre 15 dBi a 17 dBi, tamaño de entre 0.5 metros hasta 1. metros de altura y entre 0.15 a 0.30 metros de ancho, son compatibles con tecnología GSM y UMTS (las actuales), se puede ajustar la inclinación de las antenas (lo que se le conoce como el tilt) mecánicamente o electrónicamente, así como su ganancia, de aquí su nombre de antenas inteligentes, esto se hace con el fin de dirigir el haz de radiación en direcciones específicas, estas antenas transmiten campos de RF, generalmente están montadas en torres o mástiles sobre edificios a una altura de 20 a 50 metros sobre el nivel del suelo, están diseñadas para transmitir las señales de radio en un haz casi plano a fin de optimizar la cobertura, esto hace que la radiación emitida en sus cara inferior y superior sea notablemente baja, este dato es relevante, ya que la percepción del público es que la exposición es mayor directamente debajo de las antenas lo cual no es cierto, lo mismo pasa cuando hay antenas instaladas sobre edificios, la exposición en los cuartos que se encuentran directamente debajo de las antenas es menor que en la zona frente a la antena.

Los transceptores que se utilizan son más robustos que lo utilizados en las estaciones FM y AM, y por ende consumen más potencia y generalmente utilizan su propia sub-estación de transformadores, en zonas rurales lejos de redes eléctricas las estaciones base utilizan paneles solares, estos son como gabinetes y están diseñados para ser utilizados en interiores y exteriores. En estos aparatos se realiza todo el procesamiento de la señal como la modulación, el control de potencia ya que no es constante en estos sistemas porque depende del tráfico. Este control de potencia se realiza por medio de algoritmos ya establecidos, por ejemplo si un usuario está cerca de la estación base hay una señal que es enviada desde esta a al teléfono celular que le indican que baje su potencia de transmisión y si se el usuario se encuentra más alejado la estación base le indica al teléfono celular que transmita con mucha más potencia. De igual manera si el tráfico es poco la estación base transmite con menos potencia que cuando el tráfico es mayor, donde es posible que la estación transmita con la potencia máxima.

Todos estos elementos explicados clasifican a las estaciones base de telefonía celular, en la tabla 1.4 se resumen las características mencionadas:

TIPO	POTENCIAS DE TRANSMISIÓN [dBm]	TIPOS DE ANTENAS	GANANCIAS DE ANTENAS [dBi]	COBERTURA [Km]	UBICACIONES
Macro células	43 – 45	Sectoriales	17	0.3 – 20	Urbanas / Rurales
Micro células	30 – 40	Sectoriales/ Omnidireccionales	8	0.05 – 0.3	Urbanas
Pico células	14 – 17	Omnidireccionales	8	0.01 – 0.05	Urbanas/ dentro de edificios

Tabla 1.4: Resumen de las características típicas de estaciones bases de sistemas celulares.

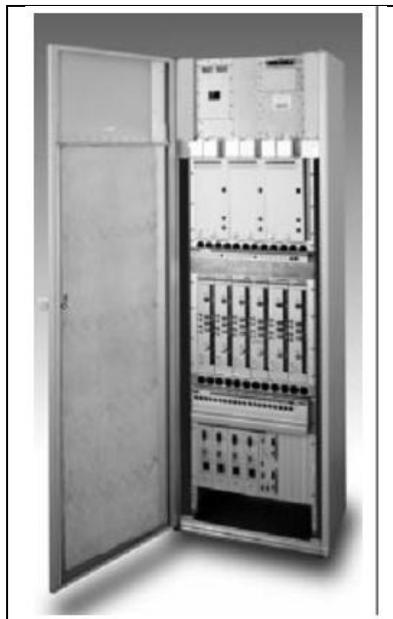


Figura 1.39: Transmisor modelo RBS 2206, compatible con tecnología GSM y UMTS, utilizados por en el país por Claro y Digicel.

De lo explicado anteriormente se puede deducir que los servicios de telefonía móvil celular son sistemas mucho más complejos que los servicios de radio y televisión. Estos sistemas por tener una función en las telecomunicaciones más importante que los servicios anteriores, por encontrarse en medio del entorno cotidiano de la población, son razones por las cuales la clasificación, predicción y medición de sus emisiones electromagnéticas son de mucha importancia y requieren de conocimientos más amplios.

SECCIÓN 3. RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA NO IONIZANTE

En párrafos anteriores se dio una clasificación de los campos electromagnéticos según sus frecuencias de trabajo y aplicación, ahora se abordara la misma clasificación gestionada por la UIT pero desde otra perspectiva, esto es así porque en esta sección del documento interesa estudiar y clasificar a las ondas electromagnética no solo de acuerdo a su frecuencia sino también a la energía las mismas; cabe recordar que estas dos características están relacionadas.

Cuando se habla de propagación de ondas electromagnéticas nos referimos a lo que se conoce como “**radiación electromagnética**” y esta se puede definir como: la cantidad de energía almacenada en una región del espacio que podemos atribuir a la presencia de un campo electromagnético, y su exposición a esta puede o no ser perjudicial para la salud humana.

La Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT); ya antes mencionada; es la organización más importante a nivel mundial en lo que concierne a las tecnologías de: la información y la telecomunicación. Esta organización clasifica las ondas electromagnéticas según su energía, en lo que se conoce como: **Espectro Electromagnético**. Dando dos categorías principales, las cuales se describen a continuación:

La porción **ionizante** (RI): corresponde a señales electromagnéticas con frecuencias extremadamente altas, estas son capaces de transmitir a sistemas biológicos (tejidos vivos) energía suficiente como para romper enlaces atómicos y dividir moléculas en iones, de ahí su nombre. Esto quiere decir que si un ser vivo se expone a la radiación de estas ondas en una situación no controlada, estas son capaces de provocar daños irreversibles en él.

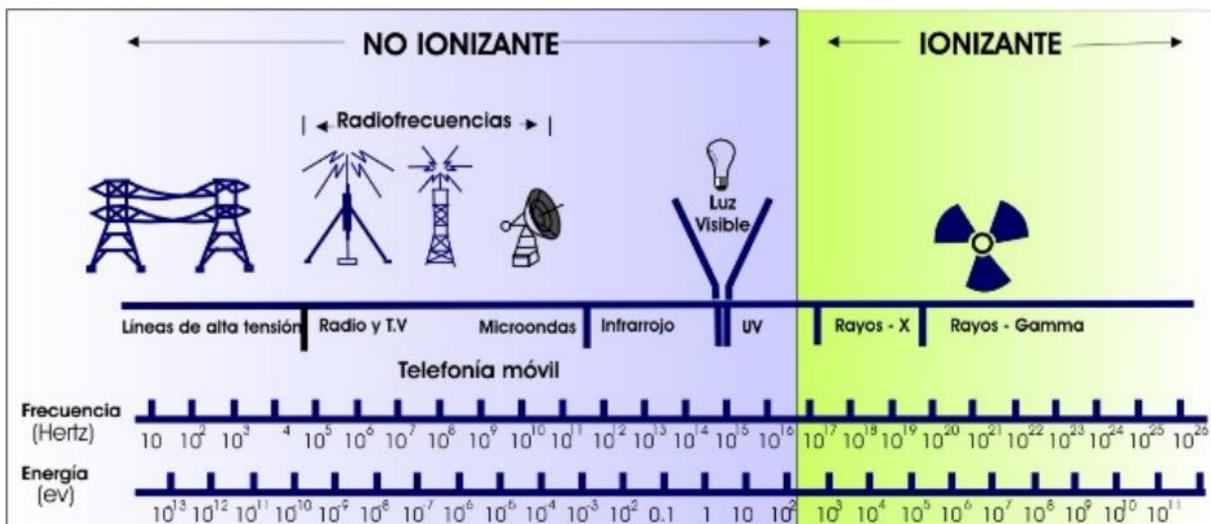


Figura 1.40: Espectro electromagnético, dado por la UIT [56].

La porción **no-ionizante** (RNI) son aquellas señales cuyas frecuencias están en el rango de bajas hasta altas, pero que no sobrepasan el nivel de energía necesaria para ionizar la materia y, por tanto, no afectan a la estructura de las moléculas. Incluso las RNI de alta intensidad como las microondas no son capaces de provocar ionización en sistemas biológicos. Esto no quiere decir que la exposición no controlada a este tipo de emisiones no puede crear algún daño a los seres vivos.

Como se puede observar en la figura 1.40, en la porción de radiación no ionizante se encuentran los servicios de radio comercial, televisión abierta y telefonía móvil celular, objeto de estudio, a esta sub-categoría se le conoce como: “**ondas de radio o de radiofrecuencia RF**”. Ya se ha mencionado que los sistemas de comunicación analizados en el presente trabajo, ubican sus instalaciones cerca y/o dentro de núcleos poblacionales, exponiendo al público en general a sus emisiones de radiación electromagnética despertando inquietud en cuanto a si sus niveles de emisión son nocivos para la salud. Esta inquietud provocó que varias organizaciones comenzaran a estudiar el fenómeno de las emisiones de radiación no ionizante proveniente de las estaciones de radiocomunicaciones o dicho de otra manera emisiones de radiofrecuencia, dándole prioridad en la última década a los servicios de telefonía móvil celular.

La principal organización que estudia este fenómeno es la “Organización Mundial de la Salud (OMS)”, que lleva más de una década realizando investigaciones en conjunto con el “Comité Internacional para las Radiaciones No-Ionizantes (INIRC)”. Estas organizaciones científicas realizan estudios de los efectos de la radiación no ionizante en seres vivos, con el objeto de clasificar y obtener información que relaciones estas emisiones con enfermedades.

3.1 TIPOS DE ESTUDIOS.

Los estudios de la radiación no ionizante y sus efectos comenzaron en la década de los 60, a comienzos de los años 70 surgieron estudios de los efectos sobre la salud de las radiaciones electromagnéticas de las redes o transformadores de alta tensión, también llamados “campos electromagnéticos de baja frecuencia (ELF por sus siglas en inglés)”, realizado por el “National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS)”⁸ de Estados Unidos de Norteamérica. Posteriormente los estudios abarcaron campos magnéticos de frecuencias más altas como los servicios de radio AM; muchos de estos estudios se pueden encontrar en la página web de la Organización Mundial de la Salud en su Proyecto sobre campos electromagnéticos⁹.

Entre los años 1988 y 1990 la “Asociación Internacional para la Protección contra la Radiación (IRPA)” junto con el “Comité Internacional para las Radiaciones No-Ionizantes (INIRC)”¹⁰, publicaron las primeras recomendaciones para este tipo de emisiones, en esa misma década otras organizaciones como “Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)” comenzaron el estudio de la radiación electromagnética.

El objetivo principal de estos estudios es el de comprobar relaciones significativas entre los campos electromagnéticos y ciertas enfermedades, los resultados obtenidos se basan en:

- **Estudios Experimentales:** estos se realizan en laboratorios con células aisladas o animales.
- **Estudios Clínicos:** estos son llevados a cabo en personas que voluntariamente que permiten monitorear sus organismos mientras se someten a campos electromagnéticos como los existentes en un entorno real.
- **Estudios Epidemiológicos:** son análisis a partir de información de historiales médicos de grupos de personas expuestas y no expuestas a campos electromagnéticos.

Siendo estos últimos los únicos que pueden proporcionar datos significativos para comprobar si es posible que los campos electromagnéticos no ionizantes sean perjudiciales para la salud humana. Se debe entender por efecto biológico sobre la salud como: *un detectable impacto en la salud de un individuo expuesto a un agente externo, sin embargo un efecto biológico podrá o no resultar en una consecuencia adversa a la salud.*

Para evaluar los efectos de campos electromagnéticos sobre la salud, los diferentes organismos especializados en esta rama, se han basado en la manera en que los campos electromagnéticos interactúan con el tejido vivo (en este caso el cuerpo humano), y se pueden clasificar en dos tipos:

⁸ “Testing Electromagnetic Fields for Potential Carcinogenic Activity”

⁹ <http://www.who.int/peh-emf/en/>

¹⁰ “Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)”. *Health Physics* 74 (4): 494-522; 1998.

1. **Acoplamiento a campos eléctricos y magnéticos:** este acoplamiento puede producir tensiones; para el caso de campos eléctricos; o circulación de corrientes eléctricas; para el caso de campos magnéticos; a través del cuerpo, y que en ciertos niveles de intensidad pueden afectar el funcionamiento normal de las actividades biológicas del mismo.

Los campos electromagnéticos que provocan este tipo de consecuencia son los que poseen frecuencia bajas como los conductores de las instalaciones eléctricas residenciales; sin embargo está comprobado que estos campos son tan débiles en el entorno diario que no son capaces de afectar en ninguna forma el cuerpo humano; pero cerca de sub-estaciones con transformadores de gran tamaño y líneas de distribución eléctrica los campos son tan intensos que podrían originar este tipo de efecto en el cuerpo humano.

La otra manera en que los campos electromagnéticos interactúan con la materia viva es la siguiente:

2. **Absorción de energía:** esta absorción de energía se da debido a que el cuerpo humano se comporta como una antena receptora con campos electromagnéticos de frecuencias relativamente altas, aproximadamente 100 KHz en adelante. Esta energía absorbida, dependiendo de la cantidad, puede o no provocar un incremento de temperatura que afecte las funciones biológicas normales del cuerpo humano.

Este efecto es causado principalmente por los campos electromagnéticos utilizados en los servicios de telecomunicaciones, señales que se encuentran en el rango de los 300 KHz a los 300 GHz, o sea campos electromagnéticos de radiofrecuencia. Las investigaciones sobre estos campos clasifican los efectos de la siguiente manera:

Efecto térmico: cuando en el organismo se deposita la suficiente radiación electromagnética como para provocar un aumento medible en la temperatura.

Efecto atérmico: cuando en el organismo se deposita la suficiente energía electromagnética como para provocar un incremento en la temperatura, pero los procesos termorreguladores del cuerpo son capaces de controlar este incremento.

Efecto no térmico: cuando la energía electromagnética depositada en el organismo no provoca un incremento en la temperatura aun sin que los procesos termorreguladores del mismo actúen.

Estos efectos se deben medir de alguna manera, y la forma que utilizan los investigadores para medir dichos efectos es mediante cantidades llamadas "**cantidades biológicamente efectivas o cantidades disométricas**". Antes de continuar es preciso definir que una cantidad disométrica es un dato que mide la interacción de una sustancia con tejido vivo.

Las cantidades disométricas más utilizadas para medir la interacción de la radiación no ionizante con el cuerpo humano son las siguientes:

- Densidad de Corriente Eléctrica.
- SAR (Specific Absorption Rate).
- SA (specific Energy Absorption).
- Densidad de potencia [S].

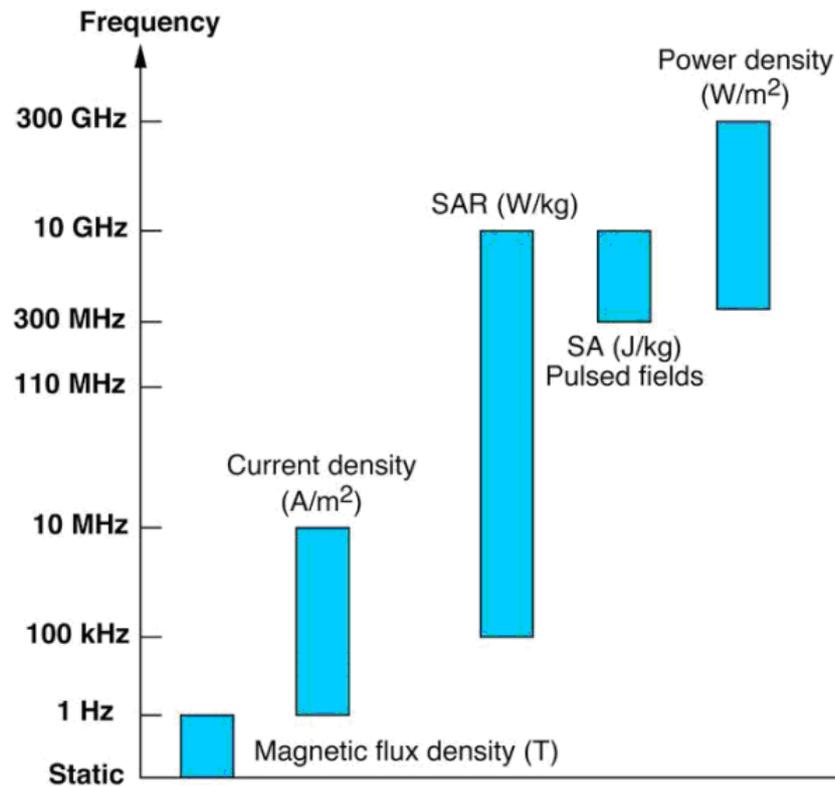


Figura 1.41: Cantidad disométrica y el rango de frecuencia para el cual es efectiva.

En la figura 1.41 se puede observar que para el rango de frecuencias en el que se encuentran las señales de radio frecuencias, las cantidades disométricas utilizadas para medir sus efectos son el SAR, y la densidad de potencia [S]; de dichas cantidades se hablarán en párrafos siguientes.

3.2 TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA [SAR]

Esta es la cantidad disométrica en la que se basan la mayoría de estudios relacionados con la radiación no ionizante, por lo que la mayor parte de las aplicaciones que utilizan radiación electromagnética hacen referencia a esta cantidad para representar sus niveles de emisión.

El SAR se define como: la tasa promedio en que la energía de los campos electromagnéticos es absorbida en lo tejido humano y sus unidades de medida son los watts por kilogramo [W/kg].

Las especificaciones para la medición del SAR están estandarizadas por el “European Committee for Electrotechnical Standardization CELENEC”, standard EN 50360 y el “Institute of Electrical and Electronic Engineers IEEE”, Standard IEEE P1528. El procedimiento para medir el SAR en laboratorios utiliza un maniquí llamado “**Maniquí Específico Antropomórfico**” (SAM, Specific Anthropomorphic Mannequin por sus siglas en ingles, figura 42), el cual representa la cabeza de un hombre adulto basada en una muestra del personal del servicio militar de los E.E.U.U.



Figura 1.42: Representación de la cabeza de un hombre adulto por medio del SAM [17].

El SAM es llenado con un líquido que tiene propiedades dieléctricas similares a la de los tejidos de la cabeza humana.

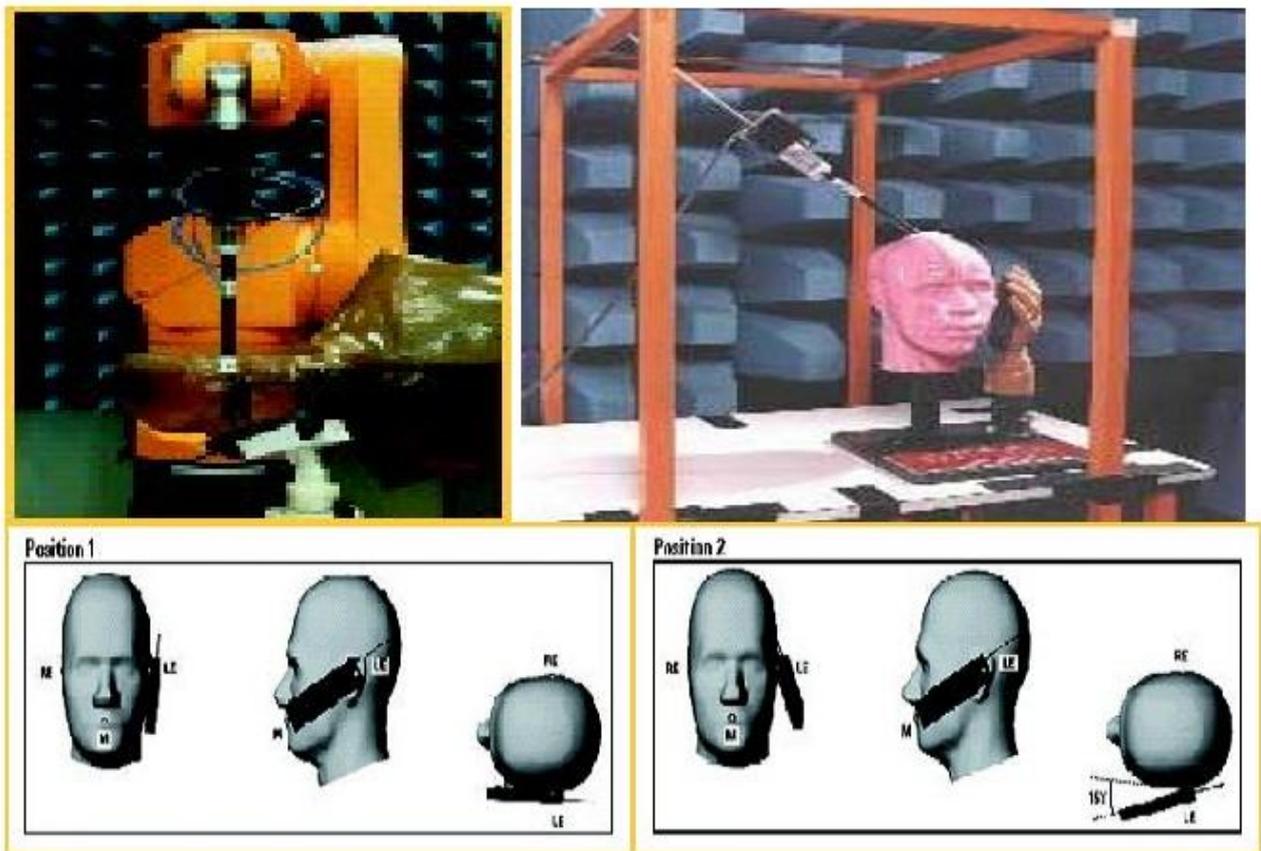


Figura 1.43: Representación del método de medida del SAR [17].

El SAM es sometido a radiación electromagnética, como por ejemplo la irradiada por un teléfono celular, luego un brazo robótico con una punta de prueba especializada mide el campo eléctrico dentro del maniquí, luego se realiza un escaneo de varios puntos dentro y fuera de la cabeza para determinar cambios de temperatura y así determinar los niveles de radiación que causan elevación de temperatura considerables.

Las pruebas realizadas en laboratorios dan como resultado valores límites del SAR para diferentes rangos de frecuencia, estos límites están medidos en ciertas partes del cuerpo consideradas vulnerables, en la tabla 1.5 se muestra estos valores.

TIPO DE EXPOSICIÓN	RANGO DE FRECUENCIAS	SAR Promedio en todo el cuerpo [w / kg]	SAR Localizados en cabeza y tronco [w / kg]
OCUPACIONAL	100 KHz– 10 MHz	0.4	10
	10 MHz– 10 GHz	0.4	10
PUBLICO EN GENERAL	100 KHz-10 MHz	0.08	2
	10 MHz– 10 GHz	0.08	2

Tabla 1.5: Límites para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos para frecuencias hasta 10GHz [1].

Los valores límites en la tabla 1.5 están basados en la respuesta que tiene el cuerpo a un incremento de temperatura de más de 1 °C como resultado a la exposición de radiación bajo condiciones controladas, estas pruebas dan como respuesta un SAR de cuerpo entero promedio de 0.4 W/kg como valor que provee protección adecuada para una exposición ocupacional, y un factor de protección de 5 es aplicado al dato anterior para una exposición al público en general dando un valor límite de SAR de cuerpo entero promedio de 0.08 W/kg. Se utiliza el criterio anterior para los valores límite en cabeza y tronco [1]. Significan que para una exposición de radiación, para el público en general, la cantidad de energía absorbida por una persona no debe sobrepasar los 0.08 W/kg.

La forma de medición¹¹ del SAR ha creado polémicas en ciertos sectores de la medicina especialmente la neurología, que creen que la suposición en la que está basado este método y la regularización de la FCC; la cual consiste en que el cerebro puede disipar calor a una tasa de 1°C por hora; no proporciona datos válidos, por que el cerebro no tiene receptores de calor y la parte del cerebelo cerca de un teléfono celular se calienta de forma no homogénea, a diferencia de como lo hace el líquido dentro del maniquí utilizado, esto quiere decir que puede tener una parte más caliente que otra aunque sean puntos cercanos, y dicho sea de paso el estándar de seguridad creado por la FCC, fue desarrollado por ingenieros, y no por médicos [69].

El principal inconveniente de esta medición es que solo se puede realizar en laboratorios y no existe un aparato portátil que pueda medir el SAR en ambientes prácticos; por ejemplo en los alrededores de una estación base de telefonía celular; en consecuencia a esta desventaja cuando se hacen mediciones de sistemas radioeléctricos los valores de SAR se traducen a otro parámetro que puede cuantificar la radiación, y es medible con aparatos portátiles apropiados, dicha cantidad disométrica es la “**Densidad de Potencia**” cuyas unidades pueden ser [W/m²] o [mW/cm²] que es la unidad de medida adoptada por la mayoría de los entes internacionales que establecen normas que rigen este tipo de emisiones.

Dicha cantidad disométrica se puede definir como la proporción de energía por unidad de área que es radiada desde una fuente (antena).

¹¹ La información se puede hallar en el tomo 10, Pág. 1 y 6 del Boletín de “Planetary Association for Clean Energy”. <http://www.laleva.cc/portugal/antenas/saude.html>

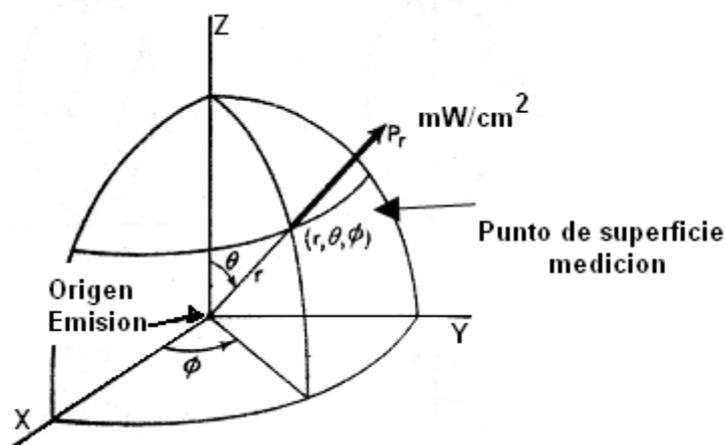


Figura 1.44: Esquema que muestra el diagrama polar de una antena isotrópica.

En lo referente a los niveles permitidos de densidad de potencia existe una gran controversia debido a que varios entes reguladores han tomado diferentes criterios para establecer dicho nivel. Por ejemplo el Comité Federal de Comunicaciones (FCC), ha tomado como base la posibilidad de que los campos electromagnéticos produzcan calor en los tejidos vivos, y por ende los límites que estos proponen establece se basan en que un determinado aumento de la temperatura no produzca alteraciones en las células vivas.

Por otro lado algunos países europeos han tomado como base estudios sobre cómo los campos electromagnéticos afectan a las células nerviosas; ya que estas son activadas por impulsos eléctricos; además aplican también el principio de precaución dando origen a normativas más estrictas, siempre dirigidas a las emisiones radioeléctricas, en la tabla 1.6 se muestran algunos límites.

Como puede observarse en la tabla 1.6, los límites de los países europeos son más restrictivos que los de la FCC, y sin embargo muchos países toman esta como normativa aplicable.

PAÍS	DENSIDAD DE POTENCIA ADMISIBLE
Austria	0.0001 [mW / cm ²]
Italia	0.01 [mW / cm ²]
Suecia	0.0022 [mW / cm ²]
Suiza	0.0042 [mW / cm ²]
Rusia	0.0024 [mW / cm ²]

Tabla 1.6: Restricciones para la radiación electromagnética no ionizante de algunos países [70] europeos.

Los estudios sobre el fenómeno de la radiación electromagnética abarcan una amplia gama de servicios, pero la última década el más investigado en ha sido el servicio de telefonía celular móvil, una de las principales razones es que este servicio instala sus infraestructuras en medio de zonas urbanas, por ejemplo cerca de escuelas y hospitales, provocando

inquietud en la población sobre si las emisiones de dicho servicio cumplen con la normativa y son o no perjudiciales para la salud.

3.3 EFECTOS DE LA RADIACIÓN NO IONIZANTE: EL CASO DE LA TELEFONÍA MÓVIL.

Los efectos de la radiación provenientes de antenas del servicio de telefonía celular son del tipo térmico, pero las características particulares de estos sistemas, tales como: comunicación "full-duplex", transmisión de potencia variable, instalaciones ubicadas en zonas urbanas, entre otras, han provocado que las organizaciones estudien este servicio de forma exclusiva, proporcionando documentación más extensa sobre el asunto, más que para los otros servicios estudiados.

La radiación proveniente de las antenas del servicio telefónico móvil es del tipo no ionizante, y están en la categoría de ondas de radiofrecuencia, así que están regidas por las normas y niveles de exposición dados por entes reguladores internacionales.

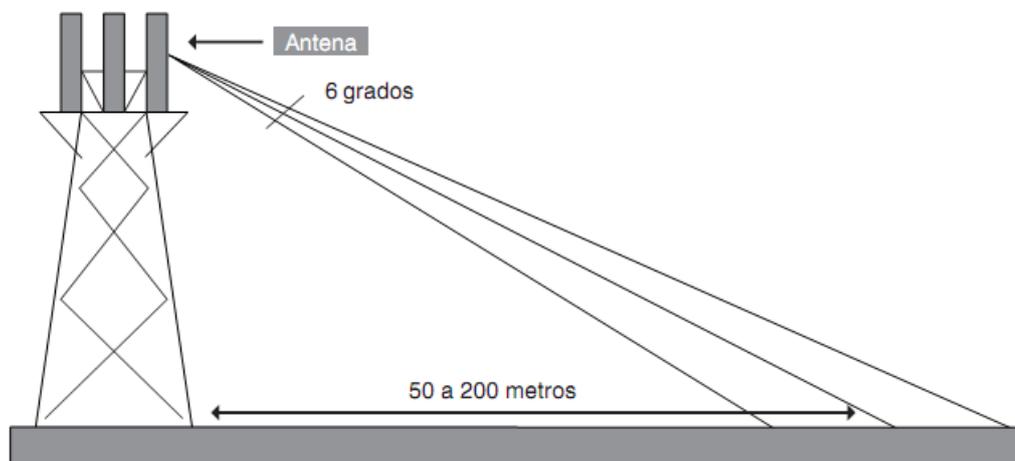


Figura 1.45: Esquema de una estación base de telefonía móvil con sus antenas.

En lo que concierne a mediciones efectuadas, la FCC [74] presentó valores que están muy por debajo de los estándares de seguridad internacionales vigentes, las mediciones fueron efectuadas a nivel de tierra en la base de una torre de 45 metros, los resultados dieron como dato promedio 0.002 mW/cm^2 para el sistema trabajando a máxima potencia.

Lo anterior pudiera suponer que las emisiones provenientes de una estación base de telefonía celular no son tan perjudiciales como se supondría. Pero qué hay del aparato receptor o teléfono móvil, este emite radiación también, entonces cuando una persona atiende o realiza una llamada con él; aunque las potencias de estos aparatos es muy baja, entre 1 micro watts hasta 0.25 watts; se expone a campos de radiofrecuencia más intensos que los niveles que se encuentran en un entorno general, estos campos pueden transferir energía en forma de calentamiento al cerebro (ver figura 1.45), como resultado dichos estudios se han enfocado en el efecto de los aparatos celulares para encontrar datos que vinculen este tipo de radiación con algún tipo de patología.

A pesar de que estos estudios han sido a corto plazo, recientes informes publicados por la OMS en conjunto con la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer¹² (IARC, en inglés) han señalado que los campos electromagnéticos generados por las ondas de radiofrecuencias de los teléfonos celulares son "posiblemente cancerígenos" para los seres

¹² PRESS RELEASE N° 208 - 31 May 2011: The WHO/International Agency for Research on Cancer (IARC) has classified radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans (Group 2B)

humanos y se clasifican, por ello, en la categoría "2B". El grupo "2B" incluye los agentes de los que se tiene una "evidencia limitada de carcinogénesis en humanos" y están incluidos el café, colorantes, el diesel de uso marino, cloroformo, alcohol etílico, entre otros [3].

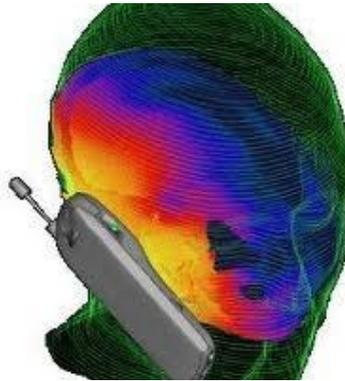


Figura 1.46: Simulación de la radiación y calentamiento de la cabeza humana al realizar o recibir una llamada telefónica [17].

Para emitir esa información, la agencia se basó en un estudio; hasta 2004; que detectó un incremento de un 40% en el riesgo de glioma (glioma es el proceso de crecimiento anormal de células en el cerebro en la medula espinal) entre usuarios intensivos: aquellos que utilizan su teléfono celular por más de 30 minutos diarios. No obstante Christopher Wild, director de la IARC, aseguró será necesario que se realice una "investigación adicional" en el largo plazo.

En conclusión se deberían tomar medidas prácticas para reducir la exposición, tales como utilizar dispositivos de manos libres o enviar mensajes de texto.

SECCIÓN 4. PREDICCIÓN TEÓRICA Y MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.

El cálculo de los niveles de radiación electromagnética producidos por una estación radio eléctrica es importante ya que permite cuantificar teóricamente dichos campos, son importantes en el diseño de sistemas radiantes¹³ ya que permite predecir las pérdidas por propagación, además ayudan a hacer conclusiones antes de realizar mediciones prácticas, como por ejemplo si el cálculo resulta en un valor considerado elevado, se realiza la medición práctica.

Evidentemente los resultados de cálculos teóricos no proporcionan datos exactos (algunos proporcionan resultados más exactos que otros) sino que son aproximaciones, ya que la mayoría de métodos y ecuaciones utilizadas no toman en cuenta los efectos que se dan en la propagación de una señal en un entorno real. No obstante las aproximaciones dan una idea de los niveles esperados.

Las ecuaciones que se utilizan para la predicción teórica se derivan de una matemática compleja (que no es objetivo de este trabajo explicar), como los teoremas y ecuaciones de "Maxwell" y "Ampere". Las ecuaciones y métodos que se describen a continuación han sido desarrolladas por organismos normalizadores, que se basan en los teoremas antes mencionados, y por medio de procedimientos matemáticos, simulaciones, mediciones y análisis en laboratorio, elaboran métodos sencillos de aplicar y ecuaciones fáciles de manipular.

A lo largo de este trabajo se ha venido restringiendo el estudio de los campos

¹³ Se entenderá por sistema radiante a una estación transmisora de radiación electromagnética.

electromagnéticos, de igual manera se hace con el cálculo de dichos campos, restringiéndose a los servicios descritos anteriormente los cuales son: radio AM, radio FM, televisión inalámbrica y telefonía celular.

4.1 MODELO PREDICTIVO PARA ESTACIONES DE RADIO AM.

Para el servicio de radio AM cuyas frecuencias bajas provoca que la predicción teórica del campo electromagnético en las cercanías de sus antenas se vuelva un poco difícil, ya que no cumplen con la condición de ondas planas, sin embargo la FCC recomienda en su suplemento A del *boletín 65*, curvas como la que se muestra en la figura para calcular la intensidad de campo magnético y eléctrico versus la distancia medida en metros. Estas se basan en datos proporcionados por la UIT y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA por sus siglas en inglés).

Las curvas están clasificadas para estaciones típicas del servicio de radio AM cuyas alturas de antenas sean de: 0.1, 0.25, 0.5 o 0.625 longitudes de onda (λ) y que transmiten con una potencia de 1000 watts.

Entonces para estaciones que transmiten a diferentes potencias nada más se debe multiplicar el dato obtenido de la curva por la raíz cuadrada de la potencia a la que dicha estación transmite. Por ejemplo si se tiene una situación donde la estación de radio AM transmite a una potencia de 100 Kw, cuya antena tiene una altura de 0.25 de su longitud de onda y se quiere conocer el valor de campo eléctrico a una distancia de 10 metros.

Primer paso consiste en referirse a la curva que corresponde a 0.25λ (figura 1.47), luego leer el valor de campo eléctrico en la curva correspondiente a una distancia de 10 m el cual es de 8 V/m. entonces este se multiplica por la raíz cuadrada de 100 dando como resultado una intensidad de campo eléctrico teórico de 80 V/m.

4.2 ECUACIONES DE INTERÉS.

Cuando el campo electromagnético cumple la condición de ser una onda plana (región de campo lejano) se pueden relacionar los parámetros de densidad de potencia, campo magnético y campo eléctrico con la siguiente ecuación.

Esto implica que si se calcula una de las tres cantidades las otras dos pueden derivarse utilizando dicha ecuación [73].

$$S = \frac{E^2}{3770} = 37.7 * H^2 \quad \text{ecuación (4)}$$

Donde:

S: densidad de potencia [mW / cm²].

E: intensidad de campo eléctrico [V / m].

H: intensidad de campo magnético [A / m].

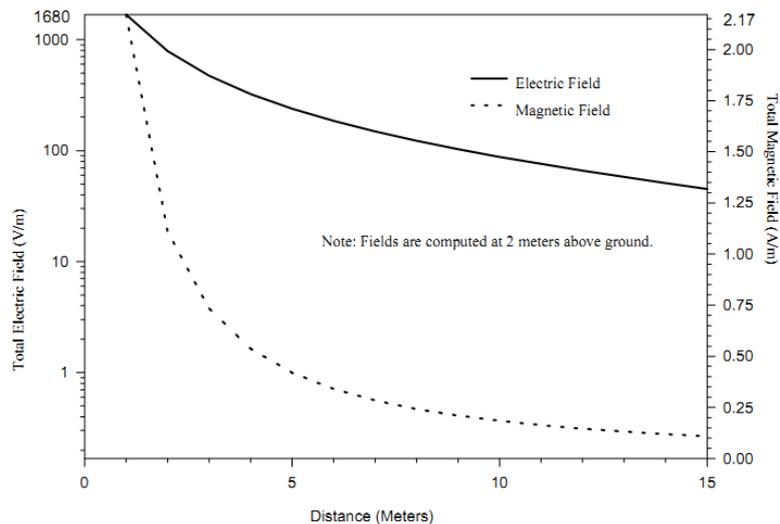


Figura 1.47: Curva para el cálculo de la intensidad de campo eléctrico y magnético recomendadas por la FCC para el servicio radio AM [74].

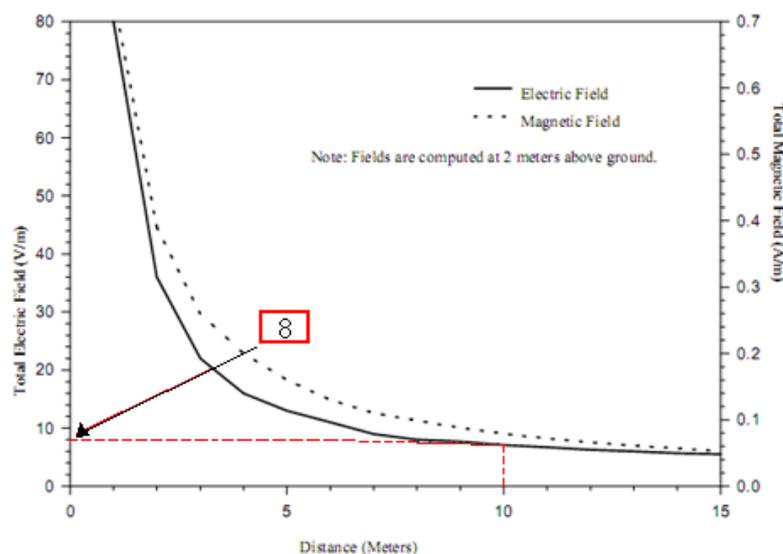


Figura 1.48: Curva para el cálculo de la intensidad de campo eléctrico del ejemplo [74].

Para el caso de una sola fuente de emisión de radiación electromagnética la FCC recomienda utilizar la siguiente ecuación para calcular la densidad de potencia, en un punto a cierta distancia de la fuente de emisión.

$$S = \frac{PG}{4\pi R^2} = \frac{PIRE}{4\pi R^2} \quad \text{ecuación (1.5)}$$

Donde:

S: densidad de potencia (las unidades depende de P y R).

P: potencia en la entrada de la antena (potencia del transmisor en watts, mW o μW).

G: ganancia isotrópica de la antena (unidades en watts, mW o μW).

R: distancia medida desde el centro de la antena (unidades pueden ser m o cm).

En la ecuación anterior la multiplicación de la ganancia de la antena por la ganancia del transmisor se le conoce como PIRE o potencia isotrópica irradiada. Además se debe tener

cuidado con las unidades de las variables, ya que si se quiere la densidad de potencia en mW/cm^2 el PIRE debe estar en mW y R debe estar en cm .

Ejemplo de utilización de la ecuación anterior, suponiendo una estación de radio FM con potencia a la entrada de la antena de 1000 watts, una ganancia de antena de 30 watts, con una altura desde el suelo hasta el centro de la antena de 30 metros. Se quiere calcular la densidad de potencia a una distancia de 100 metros desde la base de la torre de la antena.

Datos iniciales:

$$P=1000 \text{ W.}$$

$$G= 30 \text{ W.}$$

$$h= 30 \text{ m.}$$

$$d= 100 \text{ m}$$

Para el cálculo de R se utiliza el teorema del triángulo rectángulo, entonces $R=\sqrt{(d^2+h^2)} = 104.4 \text{ m}$. De la ecuación anterior.

$$S = \frac{(1000)(30)}{4\pi(104.4)^2} = 0.22 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Otra cosa que es importante notar de la ecuación anterior es que la ganancia de la antena esta en unidades de watts, entonces si G viene dada en unidades de decibelio (lo cual sucede en la mayoría de los casos) la conversión necesaria se describe en la siguiente ecuación.

$$G = 10^{(G[\text{dB}]/10)} \quad \text{ecuación (1.6)}$$

La ecuación anterior no toma en cuenta ciertos efectos de propagación, para eso la FCC recomienda usar la siguiente ecuación para tomar en cuenta el peor de los casos.

$$S = \frac{PG}{\pi R^2} = \frac{\text{PIRE}}{\pi R^2} \quad \text{ecuación (1.7)}$$

En el caso de servicios de radio FM y televisión inalámbrica, la FCC junto a la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norte América (EPA), recomiendan utilizar la siguiente ecuación.

$$S = \frac{0.64 * \text{PIRE}}{\pi R^2} \quad \text{ecuación (1.8)}$$

La cual incorpora reflexiones en tierra de la señal aumentando así la intensidad de la densidad de potencia.

Otra expresión útil para el cálculo teórico del campo eléctrico se describe de la siguiente forma.

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot \text{PRA}}}{d} \quad \text{ecuación (1.9)}$$

Donde:

E: la intensidad de campo eléctrico dado en V/m .

d: la distancia desde la fuente de emisión al punto dada en metros.

PRA: el producto de la potencia del transmisor por la ganancia de la antena referida al dipolo

dado en watts.

Generalmente la ganancia de la antena es la isotrópica, y es la que aparece en las hojas de datos del fabricante, la relación entre estas ganancias viene dada por.

$$G_{dipolo} = G_{isotropica} - 2.15 \quad \text{ecuación (1.10)}$$

Donde:

$G_{isotropica}$: está dada generalmente en dB.

G_{dipolo} : está dada en dB.

Cuando existe más de una fuente de emisión de radiación electromagnética se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$S_T = \sqrt{\sum_i S^2} \quad \text{ecuación (1.11)}$$

$$E_T = \sqrt{\sum_i E^2} \quad \text{ecuación (1.12)}$$

Para ilustrar la utilización de las ecuaciones anteriores y además comprobar que el efecto total de la contribución de varios campos electromagnéticos es, fundamentalmente, debido a las fuentes cercanas y menor para las fuentes lejanas (aunque estas emitan con mucha más potencia) en un punto dado. Si en un punto donde se quiere predecir teóricamente el campo electromagnético total debido a.

1. Un sistema de telefonía celular que opera a 900 MHz a 20 metros de distancia, con un PRA de 200 watts,
2. Una estación de radio difusión de FM cuya frecuencia es de 94.9 MHz, que se encuentra a una distancia de 500 metros del punto en evaluación, con un PRA de 2 Kw.
3. Una estación de radio AM situada a 2 km de distancia, que opera a 1 MHz y con una potencia PRA de 10 kw.

Con la ayuda de la ecuación siguiente se calcula el valor de campo eléctrico para cada fuente.

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot PRA}}{d}$$

Obteniéndose las siguiente resultados.

- Telefonía celular 3.9 V/m.
- Radio FM 0.5 V/m.
- Radio AM 0.3 V/m.

El campo eléctrico en el punto en evaluación total debido a las fuentes es.

$$E_T = \sqrt{\sum_i E^2} = \sqrt{3.9^2 + 0.5^2 + 0.3^2} = 3.95 \text{ V/m}$$

Como se puede comprobar la contribución al campo electromagnético se debe casi en su totalidad al servicio de telefonía celular a pesar que este transmite con mucho menos potencia que los otros.

Es importante aclarar que las ecuaciones descritas toman en cuenta el *peor de los casos*, esto quiere decir que se asume que la fuente de emisión radia con su máxima potencia en dirección del punto donde se desea calcular o predecir la intensidad de la radiación electromagnética.

4.4 MODELOS DE PROPAGACIÓN.

Los modelos de propagación tienen por finalidad determinar en qué proporción el medio de propagación afecta la energía de la onda electromagnética transportada por él entre el transmisor y el receptor. Debido a la complejidad de los mecanismos¹⁴ que intervienen en la propagación, es imposible cuantificar de forma exacta los efectos de cada uno de ellos, dichos modelos, lo que se pretende es conseguir una estimación razonable de estos efectos.

Como ya se explicó con anterioridad¹⁵ el modelo de propagación en espacio libre puede ser aplicado a sistemas de televisión y radio FM. No obstante al servicio de telefonía celular se pueden aplicar dicho modelo siempre y cuando cumpla con las condiciones de este y además las ecuaciones antes descritas (exceptuando las curvas para el servicio de radio AM). Sin embargo por ser este un servicio cuyos sistemas se encuentran en medio de las zonas urbanas existen modelos para calcular las pérdidas de propagación, el más conocido y utilizado es el método "cost 231" y se explica a continuación.

4.4.1 MÉTODO "COST 231".

Este método proporciona con más exactitud las pérdidas de propagación para sistemas de telecomunicación que se encuentran totalmente en suelo urbano, ya que incorpora formas para calcular los efectos de las estructuras que pueden afectar la señal como: edificios, calles, etc. El método es aplicable cuando el rayo directo entre el transmisor y el receptor están obstruidos por obstáculos. Este método es recomendado por la UIT para enlaces del servicio telefónico celular, ya que la infraestructura de estos, se encuentra dentro de suelos urbanos. Sin embargo el método puede ser aplicado a otros servicios de telecomunicaciones siempre y cuando cumplan las características y condiciones que el método establece. El método COST 231 [24] se basa en los esquemas que se muestra a continuación:

¹⁴ Mecanismos de propagación se refieren a los diversos fenómenos físicos que afectan a la propagación de la onda electromagnética en un entorno determinado.

¹⁵ Sección 1.2 de este capítulo.

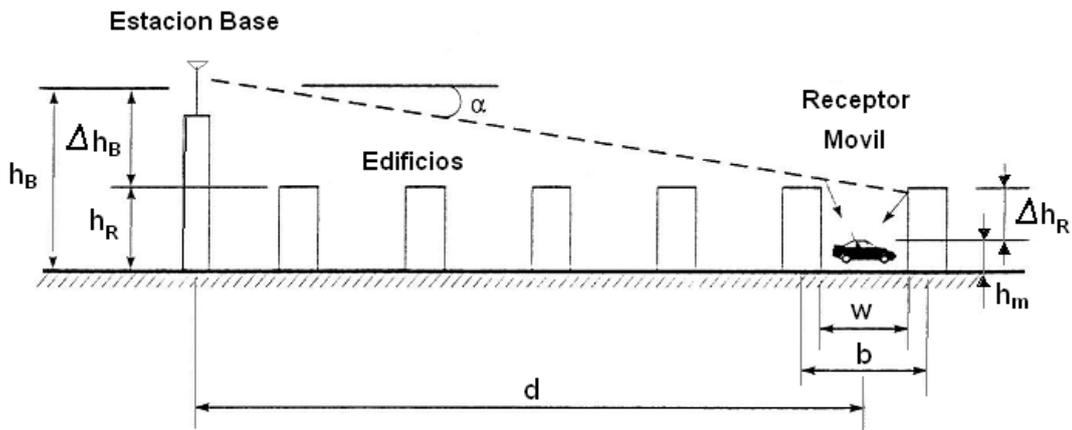


Figura 1.49: Esquema 1 que describe las variables que intervienen el método Cost 231 [24].

Donde:

- h_B [m]: Altura sobre el suelo de la antena de la estación base (transmisor fijo).
- h_m [m]: Altura sobre el suelo de la antena del estación móvil (teléfono o aparato receptor).
- h_R [m]: Altura media de los edificios, (condición: $h_R > h_m$).
- w [m]: ancho de la calle donde se encuentra el receptor.
- b [m]: Distancia entre los centros de los edificios.
- d [m]: Distancia entre la el transmisor y el receptor.
- α [grados]: Angulo de inclinación del rayo.
- ϕ [grados]: Angulo del rayo con el eje de la calle.
- $\Delta h_B = h_B - h_R$ [m]: Altura de la antena de la estación base sobre la altura media de los edificios circundantes.
- $\Delta h_R = h_R - h_m$ [m]: Altura media de los edificios sobre la altura de la antena del receptor.

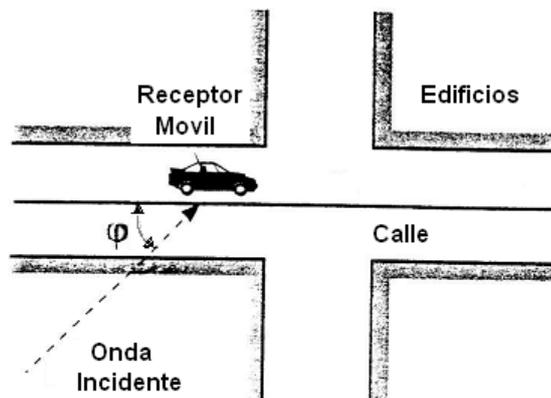


Figura 1.50: Esquema 2 que describe las variables que intervienen el método cost 231 [24].

De acuerdo con el metodo las perdidas de propagacion se describen por la ecuacion.

$$L_b[dB] = L_{bf} + L_{rts} + L_{msd} \text{ ecuación (1.13)}$$

Donde:

L_{bf} : son las perdidas en condiciones de espacio libre, y estan dasdas por.

$$L_{bf}[dB] = 32.45 + 20 \log(f) + 20 \log(d)$$

f: esta dada en MHZ.

d: esta dada en Km.

L_{rts} : son las pérdidas por la difracción en tejados y calles en los alrededores del receptor, y se calcula por medio de la ecuación.

$$L_{rts}[dB] = 10\log(f) + 20\log(\Delta h_R) + L_{ori} - 10\log(w) - 8.2 \quad \text{ecuación (1.14)}$$

Si $L_{rts} \leq 0$, se toma $L_{rts} = 0$.

El valor de L_{ori} toma en cuenta el ángulo entre el rayo y el eje de la calle, y se describe de la siguiente manera.

$$L_{ori} = \begin{cases} 0.354\varphi - 10 & 0 < \varphi < 35^\circ \\ 2.5 - 0.075(\varphi - 35^\circ) & 35^\circ \leq \varphi \leq 55^\circ \\ 4 - 0.114(\varphi - 55^\circ) & 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \end{cases} \quad \text{ecuación (1.15)}$$

L_{msd} proporciona el cálculo de la difracción debido a los edificios próximos al receptor, y se describe por la ecuación siguiente.

$$L_{msd}[dB] = L_{bsh} + K_a + k_d \log(d) + k_f \log(f) - 9\log(b) \quad \text{ecuación (1.16)}$$

Los parámetros en esta ecuación se calculan como sigue:

$$L_{bsh}[dB] = -18\log(1 + \Delta h_B) \quad \text{ecuación (1.17)}$$

Si $\Delta h_B < 0$ entonces se toma $L_{bsh} = 0$.

$$k_a = \begin{cases} 54 & \text{para } \Delta h_B \geq 0 \\ 54 - 0.8\Delta h_B & \text{para } \Delta h_B < 0 \text{ y } d \geq 0.5 \\ 54 - 0.8\Delta h_B * d/0.5 & \text{para } \Delta h_B < 0 \text{ y } d < 0.5 \end{cases} \quad \text{ecuación (1.18)}$$

$$K_d = \begin{cases} 18 & \text{para } \Delta h_B \geq 0 \\ 18 - 15\Delta h_B/h_R & \text{para } \Delta h_B < 0 \end{cases} \quad \text{ecuación (1.19)}$$

Para ciudades de tamaño medio y vegetación moderada se tiene.

$$k_f = -4 + 0.7 \left(\frac{f}{925} - 1 \right) \quad \text{ecuación (1.20)}$$

Para ciudades densamente pobladas.

$$k_f = -4 + 1.5 \left(\frac{f}{925} - 1 \right) \quad \text{ecuación (1.21)}$$

Si $L_{msd} < 0$, se toma $L_{msd} = 0$.

Si se desconocen los datos del medio urbano, pueden utilizarse los siguientes valores por defecto.

$$b = 20 \text{ a } 50 \text{ m.}$$

$$w = b / 2.$$

$$h_R = 3 \cdot (\text{número de pisos}) + \text{ático (m).}$$

$$\text{ático} = 3 \text{ m (inclinado), } 0 \text{ m (plano).}$$

$$\varphi = 90^\circ.$$

Las condiciones para los parámetros dentro de las cuales es aplicable este modelo, es el siguiente.

$$800 \leq f \leq 2000 \text{ MHz}$$

$$4 \leq h_B \leq 50 \text{ m}$$

$$1 \leq h_m \leq 3 \text{ m}$$

$$0.02 \leq d \leq 5 \text{ km}$$

Como se puede ver en las restricciones del método, este no se podría aplicar a servicios donde las torres transmisoras están fuera de las zonas urbanas.

Para ejemplificar la aplicación del método, se supondrá una condición con las siguientes características. Un sistema de telefonía móvil celular en suelo densamente poblado que opera en la frecuencia de 900 MHz, con los siguientes datos.

$$f = 900 \text{ MHz} \quad h_R = 20 \text{ m} \quad h_m = 2 \text{ m} \quad h_B = 30 \text{ m} \quad d = 2 \text{ Km}$$

$$w = 15 \text{ m} \quad b = 40 \text{ m} \quad \varphi = 37^\circ$$

Se tiene:

$$\Delta h_B = 10 \text{ m}$$

$$\Delta h_R = 18 \text{ m}$$

$$L_{ori}[dB] = 2.5 + 0.075(37 - 35) = 2.65$$

$$L_{rts}[dB] = 10 \log(900) + 20 \log(18) + L_{ori} - 10 \log(15) - 8.2 = 29.58$$

$$k_f = -4 + 1.5 \left(\frac{900}{925} - 1 \right) = -4.04$$

$$k_d = 18$$

$$k_a = 54$$

$$L_{bsh}[dB] = -18 \log(1 + 10) = -18.75$$

$$L_{msd}[dB] = -18.75 + 54 + (18) \log(2) + (-4.04) \log(900) - 9 \log(40) = 14.31$$

$$L_{bf}[dB] = 32.45 + 20 \log(900) + 20 \log(2) = 97.56$$

Por lo tanto las pérdidas para este sistema y con las condiciones antes descritas tendrán un valor de.

$$L_b[dB] = 97.65 + 29.58 + 14.31 = 141.54$$

SECCIÓN 5. MEDICIÓN DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

La forma práctica de obtener el valor de la intensidad de un campo electromagnético generado por alguna fuente, es mediante instrumentos de medición, estos poseen características diferentes de acuerdo a la frecuencia del campo electromagnético que van medir, zonas donde se van realizar las medidas, etc. lo anterior quiere decir por ejemplo que no se puede utilizar un mismo instrumento para medir campos electromagnéticos producidos por una subestación eléctrica y los producidos por una subestación de radio difusión FM.

Para fines de medición los campos electromagnéticos se clasifican en: campos de baja frecuencia y campos de alta frecuencia. En los campos de bajas frecuencias se pueden encontrar los campos producidos por las líneas de alta tensión de tendidos eléctricos, instalaciones eléctricas residenciales, electrodomésticos como: televisores, monitores de computadoras etc. generalmente se consideran campos de baja frecuencia hasta los 100 KHz. En la clasificación de campos de alta frecuencia se encuentran los producidos por las antenas de radio difusión comercial de los servicios de AM y FM, estaciones de transmisión de señales de televisión, antenas de telefonía celular, antenas satelitales, etc. entre otros.

5.1 CAMPOS DE BAJA FRECUENCIA.

La medición de estos campos electromagnéticos se hace estando relativamente cerca de la fuente de emisión (cables de alta tensión, electrodomésticos) y se miden en términos de densidad de flujo magnético, dicha densidad se suele caracterizar en unidades de microTeslas (μT) o en nanoTeslas (nT) (un tesla (T) es una unidad de la inducción magnética en el sistema MKS, fue nombrada así en honor de “Nikola Tesla”) y algunas veces en miliGauss (Un gauss (G) es una unidad de campo magnético del Sistema CGS de la inducción, fuerza magnética y la intensidad del campo magnético, nombrada en honor del matemático y físico alemán “Carl Friedrich Gauss”). Un gauss es igual a 0.1 microteslas.

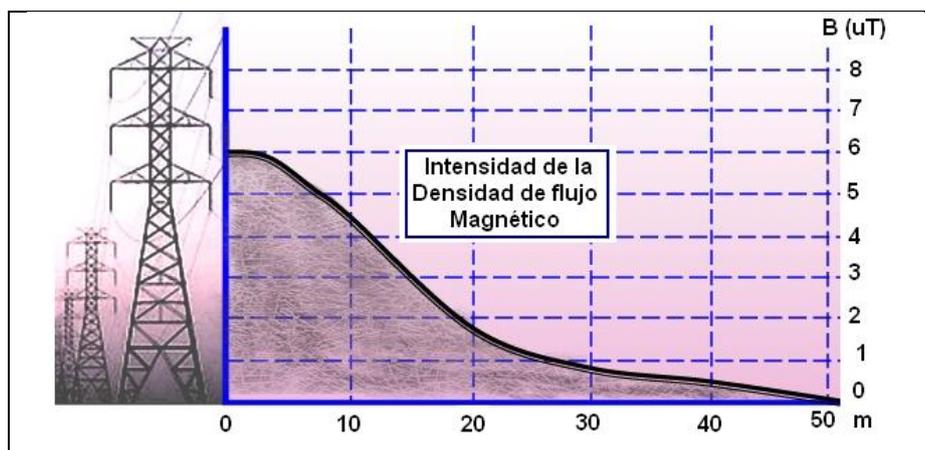


Figura 1.51: Tendencia del comportamiento de la densidad de flujo magnético de acuerdo a la distancia de la fuente¹⁶.

Los instrumentos que se utilizan para medir la intensidad de campo magnético se llaman *magnetómetros* (también conocidos como teslámetros o gaussímetros), estos como su nombre lo indica presentan las mediciones en unidades de tesla o gauss. La mayoría de medidores de intensidad comerciales típicamente constan de: un sensor que es el que detecta el campo magnético (dicho sensor esta o debe estar calibrado y en algunos modelos

¹⁶ Diagrama obtenido de la página web del proveedor de equipo de medición PCE Inst.

el sensor esta interno en el aparatos), el sensor es el que determina el rango de frecuencias que se mide, una unidad o CPU interna que es la que realiza los cálculos, una pantalla digital para presentar los resultados, en la pantalla se encuentra un indicador de la unidades en las que se están presentando las mediciones.

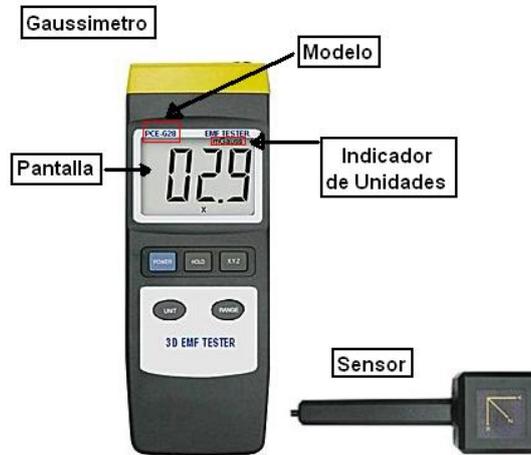


Figura 1.52¹⁷: Partes típicas de un medidor de intensidad de flujo magnético.



Figura 1.53¹⁸: Usos prácticos de un medidor de intensidad de campo magnético.

5.2 CAMPOS DE ALTA FRECUENCIA.

Dentro de los campos electromagnéticos considerados de alta frecuencia están los utilizados en los servicios de telecomunicaciones cuyos sistemas se encuentran cerca de zona poblacionales, dentro de ellas, etc. y sus ondas electromagnéticas nos rodean. Estos campo pueden o no ser dañinos, en todo caso es necesario cuantificarlos y esto solo es posible por medio de aparatos diseñados para dicha tarea, entre ellos se pueden mencionar los analizadores de espectro, medidores de densidad de potencia, etc. La complejidad en la medición de dichos campos radica en que pueden presentarse muchos inconvenientes como: el punto de medición el campo magnético y eléctrico no cumplen una relación sencilla entre sí, etc. esto provoca que el tipo de instrumentación utilizada también sea compleja y variada, y generalmente su medición consta procedimientos elaborados por organismos técnicos como la FCC, UIT, etc.

¹⁷ Figura obtenida de la página “web” del proveedor de equipo de medición PCE Inst.

¹⁸ Fotografías obtenida de la página “web” del proveedor de equipo de medición PCE Inst.

La medición de la intensidad (radiación) de campos electromagnéticos de alta frecuencia se hace con el objeto de saber si en un lugar o zona específica dichos campos cumplen con los límites internacionales, para ello se necesita: saber cuál es la intensidad de radiación en ese punto debido a la contribución de todas las fuentes de emisiones cercanas, saber cuál es la intensidad de radiación debido a una sola fuente de emisión específica. Para ello organismos normalizadores han estandarizado métodos que especifican las etapas de medición.

La primera fase de medida es la más rápida pero la menos exacta, en esta se obtiene el nivel total de la contribución de varias fuentes de radiación electromagnéticas en un punto de medición específico, pero no se puede caracterizar información detallada de cada una de ellas. En esta etapa se utilizan medidores de banda ancha, estos instrumentos detectan la radiación electromagnética y pueden medir rangos amplios de frecuencia, típicamente constan de: una sonda (sensor) de tipo isotrópica¹⁹ para medir el campo eléctrico y magnético por separado, esta sonda es la que define el rango de frecuencias de medición y una unidad de procesamiento de medidas que es la que se encarga de analizar y almacenar los datos obtenidos.

La mayoría de estos medidores pueden presentar sus resultados en tres diferentes unidades, en V/m, en A/m y en W/m².

La medición con este tipo de instrumentos generalmente se hace en forma remota, quiere decir que el aparato se instala en un pedestal tipo trípode y el usuario debe estar a 2 metros de él para evitar interferencias con la medición. Las mediciones en esta etapa (o proceso) se les conocen como mediciones de inmisión²⁰.

Cuando se quiere conocer la radiación producida por una única fuente, se realizan mediciones conocidas como: mediciones de emisión²¹. En esta etapa de medición se utilizan varios tipos de instrumentos como: analizadores de espectro, analizadores EMI. Estos medidores al igual que los anteriores cuentan con una unidad de procesamiento y almacenamiento de datos, las antenas utilizadas para obtener las mediciones son directivas (deben orientarse en dirección de la fuente de emisión) a diferencia de los medidores de banda ancha.

Los analizadores de espectro; como su nombre lo indica; se utilizan para medir las componentes espectrales en detalle, estos equipos tienen una gran exactitud pero necesitan mayor tiempo para realizar las mediciones y son sintonizables para escoger un rango de frecuencia en específico, la figura 1.55 muestra un ejemplo de lo que se podría observar pantalla de un analizador de espectro, las unidades en las que se están mostrando son V/m, sin embargo hay equipos cuyas mediciones las muestran dBv (decibelios referenciados a un voltio) en este caso se deben realizar transformaciones matemáticas para obtener las unidades de V/m.

¹⁹ La característica de un sensor isotrópico es que puede medir el campo electromagnético independientemente de su orientación de este.

²⁰ Es la radiación resultante del aporte de todas las fuentes de radiofrecuencia cuyos campos están presentes en el punto de medición.

²¹ Intensidad de radiación producida por una única fuente de radiofrecuencia.



Figura 1.54²²: Tipos de medidores de RF de banda ancha marca comerciales.

Los analizadores de espectro pueden ser tanto portátiles como se muestra en la figura 1.56 y de laboratorio como se ve en la figura 1.57.

Los analizadores EMI son un tipo especial de analizadores de espectro, poseen todas las características de los mismos, antenas directivas, selección de rangos de frecuencias, muestran las componentes espectrales, etc. sin embargo estos cuentan con un preselector de frecuencias a la entrada para poder ajustar el nivel de atenuación en cada puntos de frecuencias específicos, lo cual no se puede hacer en un analizador de espectro normal, este atenúa el nivel para todo el rango de frecuencias analizado.

La preselección también permite proteger al equipo de saturaciones debido a señales que están fuera del rango de medida evitando así la obtención de medidas erróneas.

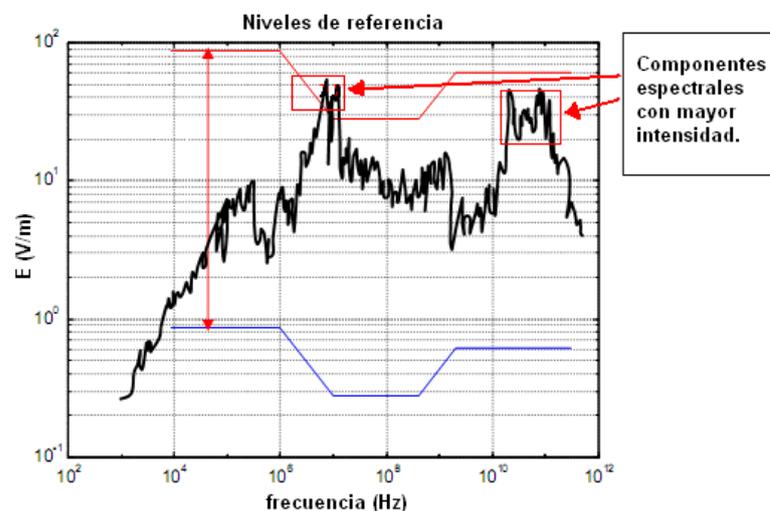


Figura 1.55: Esquema típico de lectura en una pantalla de un analizador de espectro o receptor EMI.

Los métodos de medición que utilizan los aparatos antes descritos son de aplicación puntual o repetitiva, sin embargo hay momentos en que se necesita de mediciones durante periodos largos de tiempo, para ello se utilizan sistemas de monitoreo que pueden estar activos durante las 24 horas del día, los 7 días de la semana. Estos sistemas proporcionan la

²² Fotografía obtenida del proveedor de equipo <http://www.viaindustrial.com/>.

información generalmente por vía Internet y se utilizan en su mayoría para sistemas de telefonía móvil un ejemplo de estos se puede ver en la figura 1.57.

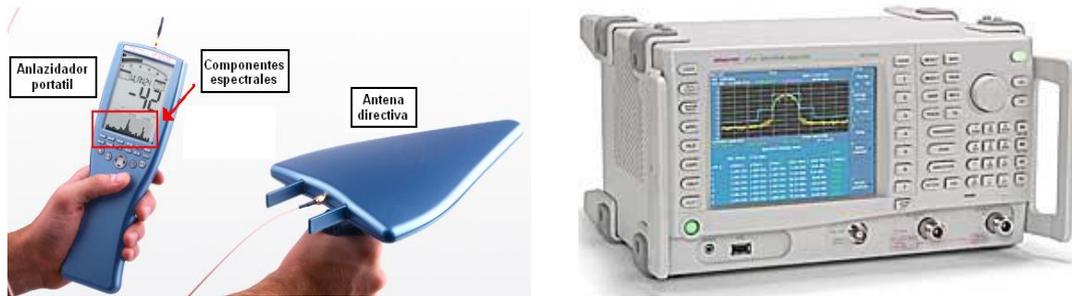


Figura 1.56²³: Analizador de espectro portátil y de laboratorio.



Figura 1.56: Esquema típico de un sistema de medición utilizando analizadores de espectro o receptores EMI.

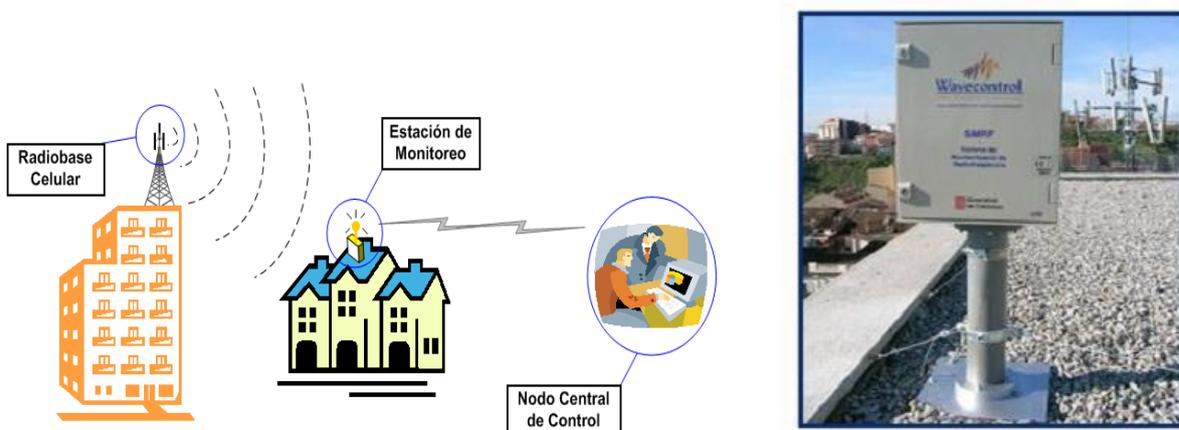


Figura 1.57²⁴: Esquema de un sistema de monitoreo remoto de medición.

²³ Analizador de espectro portátil marca “SPECTRAN”, obtenida del proveedor de equipos <http://www.aaronia.es/>

²⁴ Figura obtenida del documento Introducción a las Mediciones de Radiación No Ionizantes, de la Consultora Federal de Comunicaciones (CFC) de Argentina.

CAPITULO 2

ORGANISMOS NORMALIZADORES

INTRODUCCIÓN

Desde que se despertó la preocupación por los posibles efectos de los campos electromagnéticos²⁵ no ionizantes sobre la salud humana, aproximadamente durante los últimos 30 años, muchas organizaciones internacionales tales como, instituciones normalizadoras, organismos científicos y/o técnicos, inclusive los propios operadores y fabricantes de equipos, investigan este fenómeno. El resultado de dichas investigaciones ha sido la publicación de normas y recomendaciones sobre el tema. En esta parte del documento hablaremos sobre dichos organismos, sus normativas y recomendaciones, así como también se hace una comparación de dichas normas para ver si una tiene ventaja sobre otras, cuales son las más adoptadas por países a nivel mundial, etc. Cabe destacar que en estos momentos en El Salvador no existe una normativa clara que establezca límites de exposición o métodos de medición a campos electromagnéticos de radio frecuencia.

Es extensa la documentación sobre la radiación electromagnética y sus efectos²⁶ ya que es un fenómeno muy estudiado y dicha documentación está constante actualización. Toda esta documentación por su contenido se puede clasificar de la siguiente forma:

- **De carácter general:** esta documentación es el resultado de investigaciones realizadas por entidades científicas y van dirigidas a informar solamente.
- **Recomendaciones:** son resultado de investigaciones científicas realizadas por entidades privadas o gubernamentales, esta documentación presenta información no solo de carácter general sino también información preventiva ante la exposición a este tipo de radiación, y algunos incorporan información técnica, sin embargo no son tomadas como estándares de obligado cumplimiento, no obstante países o industrias las adoptan para implementar una normativa propia.
- **De carácter Técnico-Científico:** son publicadas por grupos de científicos, ingenieros, etc. que son expertos en la materia, en esta documentación se encuentra información sobre niveles que limitan la exposición a la radiación electromagnética, métodos para medir dicha radiación, etc. Pueden ser utilizadas para que las autoridades gubernamentales establezcan reglamentos de obligado cumplimiento para las empresas que ofrecen los servicios ya sea de telefonía celular u otros servicios relacionados con las emisiones electromagnéticas no ionizantes específicamente.

De la clasificación anterior la documentación de mayor interés es la que especifica límites para la exposición a los campos electromagnéticos, que es la de carácter técnico-científico, esta ha sido desarrollada por grupos de expertos que han analizado numerosos estudios científicos sobre los efectos biológicos de dicha radiación, identificando a que niveles de exposición se

²⁵ A menos que se especifique otra cosa, en este capítulo cuando aparezcan los términos radiación, radiación electromagnética o campos electromagnéticos se refieren específicamente a radiación y/o campos electromagnético(as) no ionizante.

²⁶ Esto se aborda en la sección 3 del capítulo 1.

observan estos efectos en las personas, dichos límites se basan en factores tales como: las condiciones ambientales, la posible variación en la sensibilidad térmica de ciertos grupos de la población como ancianos, niños, enfermos, individuos de distintas tallas, etc. que pueden influir en la manera en que las personas absorben o reaccionan ante la energía electromagnética. Estos límites de exposición se basa en:

- **Restricciones básicas:** son los niveles de exposición a los campos electromagnéticos a los cuales se pueden observar efectos térmicos en las personas, estos niveles se miden en términos del SAR [17].
- **Niveles de referencia:** estos niveles están por debajo de las restricciones básicas, y se miden en términos de intensidad de campo eléctrico, la intensidad de campo magnético y densidad de potencia. Estos niveles proporcionan los límites que aparecen en las normas, recomendaciones, etc. Y son utilizados para comparar las medidas experimentales y verificar que se cumplen las restricciones básicas.

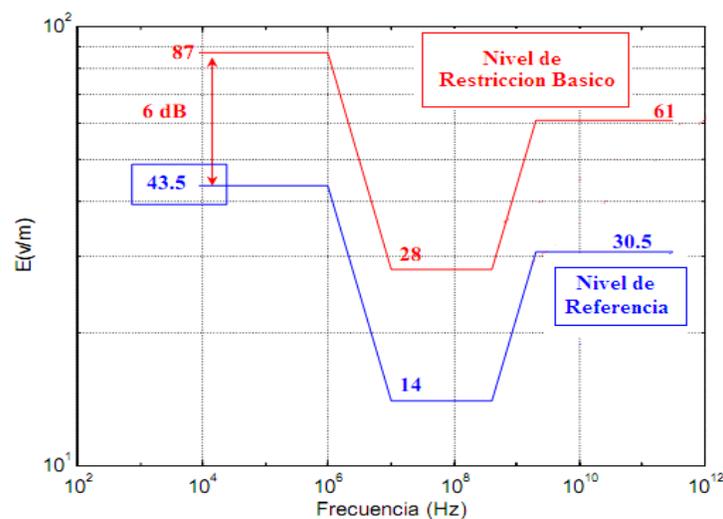


Figura 2.1: Representación esquemática de la diferencia entre niveles de restricción básica y niveles de referencia [6].

El cumplimiento de los niveles de referencia asegura el cumplimiento de las restricciones básicas, pero lo contrario no es cierto, sin embargo la superación de los niveles de referencia no implica que no se cumplan las restricciones básicas. Además la documentación que especifica límites toma en cuenta dos tipos exposición según el entorno donde se encuentren las personas sometidas a dichos campos:

- **Exposición controlada u ocupacional:** en este entorno las personas están conscientes de la exposición y permanecen lapsos cortos de tiempo bajo ella, debido a esto pueden tener un control de la misma y tomar medidas de seguridad necesarias, generalmente esta exposición se da en ambientes de trabajo. Ejemplo, el personal de mantenimiento de una estación de radio FM que al realizar trabajos preventivos en las cercanías de las antenas están expuesto a radiaciones de campos RF.

- **Exposición no controlada o para público en general:** es a la que cotidianamente están sometidas las personas y se da debido a la radiación emitida por estaciones de radio FM, estaciones de telefonía celular, estaciones de televisión inalámbrica, accesos a internet inalámbrica, etc. Generalmente la gente no es consciente de esta exposición y no puede ejercer control sobre ella y por consiguiente tampoco puede tomar medidas de seguridad.

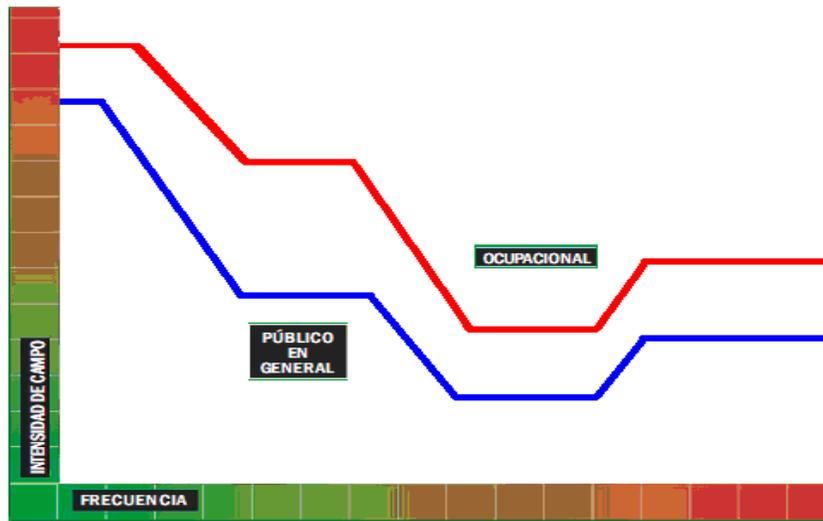


Figura 2.2: Representación de los límites para ambientes ocupacionales y para el público en general [5].

De lo anterior se puede concluir algo muy importante, en la exposición ocupacional las personas están sometidas a radiación no ionizante periodos cortos de tiempo en cambio en la exposición no controlada las personas están expuestas a dicha radiación periodos largos de tiempo (por no decir las 24 horas del día) debido a esto las normativas incorporan un factor de reducción en los límites de exposición para proteger al público en general, específicamente en un factor de **10** para derivar el límite de exposición ocupacional y un factor de **50** para derivar el límite de exposición para el público en general.

Por ejemplo, suponiendo que un efecto X en el cuerpo humano comienza a ser evidente a un valor de campo eléctrico de 200 V/m (esto es solo para ilustrar), el límite que se sugeriría en la normativa para la exposición no controlada es:

$$V_L = 200 \div 50$$

$V_L = 4 \text{ V/m}$: que es un nivel 50 veces menor

Un punto importante sobre la documentación que incluye límites de exposición es que estos están basados en los efectos de la exposición corto plazo²⁷, ya que estiman que la información científica disponible sobre los efectos a la exposición de radiación a largo plazo es considerada incompleta para establecer límites cuantitativos.

²⁷ Resultados de estudios que tiene un poco más de 10 años de investigación.

SECCIÓN 1. ORGANISMOS NORMALIZADORES.

Existen múltiples organismos y/o comisiones internacionales de tipos científicas, técnicas, sanitarias, etc. que analizan el fenómeno de la radiación no ionizante y su interacción con cuerpo humano, sin embargo de acuerdo al tipo de información que publican estos pueden clasificarse como organizaciones científicas y normalizadoras.

1.1 ORGANISMOS O COMISIONES CIENTÍFICAS.

Estos organismos solo investigan la interacción de la radiación no ionizante y el cuerpo humano o son parte de otros organismos, no emiten normativas ni límites de exposición, aunque algunos publican recomendaciones las cuales son guías no técnicas para disminuir la exposición, no obstante sus estudios y resultados sirven de base a otras organizaciones que publican normativas técnicas. Algunos de los comités científicos más reconocidos se enumeran a continuación.

1.1.1 “EUROPEAN COMMITTEE FOR ELECTRO-TECHNICAL STANDARDIZATION (CENELEC)”.

En español *Comité Europeo de Estandarización Electrotécnica* se fundó en 1973 como una organización sin fines de lucro y ha sido reconocido por la Comisión Europea de Normalización²⁸ en su campo. Elabora estándares que se aplican en toda Europa, aunque la mayoría tienen ámbito internacional, ya que se desarrollan de forma conjunta con la “*International Electrotechnical Commission*”.

1.1.2 “EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARD INSTITUTE (ETSI)”.

El Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones es una organización no lucrativa que se dedica a desarrollar estándares de Telecomunicaciones en función de las necesidades del mercado. Está formada por miembros de 59 países de todo el mundo y representa a la administración, a los operadores de redes, a los proveedores de servicios, a los fabricantes, a distintas entidades dedicadas a la investigación y a los usuarios.

1.1.3 “SCENIHR”.

Es el Comité Científico de la Unión Europea sobre Nuevos Riesgos Emergentes identificados en la Salud que Sustituyó al antiguo Scientific Committee on Toxicity Ecotoxicity CSTE and the Environment. En materia de campos electromagnéticos tiene como actividades principales el seguimiento de la información científica disponible y la valoración de los nuevos riesgos.

1.1.4 “AUSTRALIAN COMMUNICATIONS AND MEDIA AUTHORITY (ACMA)”.

En español Autoridad Australiana en Comunicaciones y Medios de Comunicación fue creada en julio de 2005 como resultado de la fusión de la “Australian Broadcasting Authority” y la “Australian Communications Authority”.

La ACMA regula la radiodifusión, las radiocomunicaciones y las telecomunicaciones, también se encarga de los estándares sobre los contenidos de Internet.

²⁸ Escribir algo de la CEN

Asimismo, administra las leyes correspondientes a la protección de los usuarios tanto en salud como en privacidad del servicio. La ACMA toma como límites de exposición, los de la ICNIRP.

1.1.5 ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD OMS O (WHO) POR SUS SIGLAS EN INGLÉS.

Esta organización se fundó en el año 1948. Es una agencia especial de la “Organización de las Naciones Unidas” encargada de investigaciones sobre enfermedades, epidemias, etc. todo referente a la salud, como su nombre lo indica, y está formada por 191 países. La OMS colabora activamente con otros organismos internacionales entre los que destaca la ICNIRP, la UIT y la Comisión Europea. No publica normativas técnicas, sino que investigaciones relacionadas con la radiación electromagnética no ionizante.

1.1.6 ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR)

Es una organización sin fines de lucro creada en 1986 y es miembro del Comité Europeo de Normalización (CEN) y del CENELEC. Es el organismo legalmente responsable del desarrollo, difusión y regulador de las normas técnicas en España.

1.2 ORGANISMOS TÉCNICOS-CIENTÍFICOS.

Las organizaciones de este tipo elaboran normativas donde se puede encontrar información como: límites de exposición a campos electromagnéticos, métodos de medida y evaluación de los mismos, así como también recomendaciones, legislaciones, etc. sin embargo la mayoría de estos organismos no estudian el fenómeno de la radiación no ionizante, no obstante la información que publican está basada en estudios e investigaciones realizadas por organismos científicos. Cabe mencionar que muchas de las publicaciones realizadas no llegan a ser normativas técnicas de obligado cumplimiento, sino que se quedan en recomendaciones, la razón es que los organismos que las han realizado no la tienen la suficiente validez técnica o respaldo científico para exigir su cumplimiento. Sin embargo, entidades como el CENELEC a nivel Europeo o la FCC en América desarrollan normativas de obligado cumplimiento.

En el listado a continuación se encuentran descritos los organismos técnico-científicos más importantes a nivel mundial y cuyas normativas sirven de base a muchos países para adoptar las propias

1.2.1 “AUSTRALIAN RADIATION PROTECTION AND NUCLEAR SAFETY AGENCY (ARPANSA)”

Es una agencia gubernamental australiana cuyo objetivo es la protección de la salud y la seguridad de las personas y del entorno de los efectos de las emisiones radioeléctricas.

La ARPANSA es responsable de regular todas las entidades relacionadas con actividades nucleares o de emisiones radioeléctricas, y de llevar a cabo políticas de protección de las mismas y sus normas o estándares son aplicadas en países como España, Australia entre otros. Esta entidad es de carácter regulador, sin embargo tiene una normativa técnica referente a la radiación no ionizante y se encuentra en el documento “**Radiation Protection Standard – Maximum Exposure Levels to Radiofrequency Fields – 3 kHz to 300 GHz [60]**” publicado en Mayo de 2002, en este se establecen límites de exposición a los campos electromagnéticos, tanto para entornos ocupacionales como para entornos no controlados basados en las

recomendaciones de la ICNIRP. No establece métodos de medición o cálculos teóricos para los campos electromagnéticos.

Los límites que esta institución propone son los que se muestran en las tablas 2.1 y 2.2.

RANGOS DE FRECUENCIAS	INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO E [V/m]	INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO H [A/m]	DENSIDAD DE POTENCIA S [W/m ²]
100 kHz – 1 MHz	614	1.63 / f	---
1 – 10 MHz	614 / f	1.63 / f	1000/f ²
10 – 400 MHz	61,4	0.163	10
400 MHz – 2 GHz	3,07 · f ^{0.5}	0,00814 · f ^{0.5}	f / 40
2 GHz – 300 GHz	137	0.364	50

Tabla 2.1: Niveles de referencia establecidos por la ARPANSA. Exposición ocupacional [60]

RANGOS DE FRECUENCIAS	INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO E [V/m]	INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO H [A/m]	DENSIDAD DE POTENCIA S [W/m ²]
100 kHz – 150 kHz	86.8	4.86	---
150 kHz – 1 MHz	86.8	0.729 / f	---
1 MHz – 10 MHz	86,8 / f ^{0.5}	0.729 / f	---
10 MHz – 400 MHz	27.4	0.0729	2
400 MHz – 2 GHz	1.37 · f ^{0.5}	0,00364 · f ^{0.5}	f / 200
2 GHz – 300 GHz	61.4	0,163	10

Tabla 2.2: Niveles de referencia establecidos por la ARPANSA. Exposición al público en general [60].

Donde la frecuencia f viene expresada en [MHz].

1.2.2 “INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION” (ICNIRP)

Es una comisión científica independiente con sede en Alemania, creada por la “International Radiation Protection Association (IRPA)²⁹” con el objetivo de tener una entidad que se dedicara exclusivamente a la investigación de la radiación no ionizante en beneficio de las personas y del medio ambiente.

²⁹ Es una organización que se encarga de gestionar actividades para la protección contra la Para conocer acerca de esta institución se puede visitar esta dirección

- Los valores de intensidad de campo magnético, intensidad de campo eléctrico y densidad de potencia indicados en esta normativa son los suficientes para que estos efectos no se produzcan.

La ICNIRP es la organización no gubernamental oficialmente reconocida por la Organización Mundial de la Salud y la Oficina Internacional del Trabajo OIT, en materia de radiaciones no ionizantes. A pesar de ser una institución de tipo científica sus recomendaciones son tomadas en cuenta como normativa técnica. Dichas recomendaciones se encuentran publicadas en el documento **“Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz) [1]”**. Estas recomendaciones no están dirigidas a producir estándares o normativas de tipo técnico, sino que su principal objetivo es establecer recomendaciones para limitar la exposición a los antes mencionados campos electromagnéticos. Tampoco se trata sobre métodos usados para medir cualquiera de las cantidades físicas que caracterizan a los campos electromagnéticos, tampoco propone procedimientos para predecir teóricamente dichos campos.

Cabe mencionar que varios países latino-americanos han adoptado su normativa para aplicar una propia, esta entidad no realiza experimentos ni pruebas con radiación electromagnética no ionizante para proponer sus límites de exposición, sino que están basados solamente en datos proporcionados por otras organizaciones incluyendo la OMS. Las cantidades disométricas que aparecen en las tablas de límites, son derivadas de otras cantidades como el “SAR”, con el objeto de poder evaluar de forma práctica dichos límites en cualquier situación de exposición particular, los valores medidos o calculados pueden ser comparados con estos límites.

RANGOS DE FRECUENCIAS	INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO E [V/m]	INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO H [A/m]	DENSIDAD DE POTENCIA S [W/m ²]
0 Hz – 1 Hz	---	1.63*10 ⁵	---
1 Hz – 8 Hz	20000	1.63*10 ⁵ / f	---
8 Hz – 25 Hz	20000	2*10 ⁴ / f	---
0.025 kHz – 0.82 kHz	500 / f	20 / f	---
0.82 kHz – 65 kHz	610	24.4	---
0.065 MHz – 1 MHz	610	1.6 / f	---
1 MHz – 10 MHz	610 / f ^{0.5}	1.6 / f	---
10 MHz – 400 MHz	61	0.16	10
400 MHz – 2 GHz	3 * f ^{0.5}	0.008 * f ^{0.5}	f / 40
2 GHz – 300 GHz	137	0.36	50

Tabla 2.3: Niveles de referencia establecidos por la ICNIRP, exposición ocupacional [1].

Donde:

La frecuencia f viene expresada en la misma unidad que la columna del margen de frecuencias (para ambas tablas).

RANGOS DE FRECUENCIAS	INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO E [V/m]	INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO H [A/m]	DENSIDAD DE POTENCIA S [W/m ²]
0 Hz – 1 Hz	---	$3.2 \cdot 10^4$	---
1 Hz – 8 Hz	10000	$3.2 \cdot 10^4 / f$	---
8 Hz – 25 Hz	10000	$40000 / f$	---
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	$87 / f^{0.5}$	$0.73 / f$	---
10 MHz – 400 MHz	28	0.73	2
400 MHz – 2 GHz	$1.375 \cdot f^{0.5}$	$0.0037 \cdot f^{0.5}$	$f / 200$
2 GHz – 300 GHz	61	0.16	10

Tabla 2.4: Niveles de referencia establecidos por la ICNIRP, exposición público en general [1].

1.2.3 “THE ROYAL SOCIETY OF CANADA”

Es una entidad de carácter técnico-científico, fue fundado en el año 1882 y sus normativas e investigaciones incluyen el fenómeno de la radiación electromagnética no ionizante. Referente a esto ha publicado una normativa técnica que se contempla en el documento “**Limits of Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Energy in the Frequency Range from 3 kHz to 300 GHz [71]**”, esta es aplicable solo a nivel nacional. En este documento se presentan límites de seguridad a la exposición de radiación electromagnética o ionizante. Estos límites son derivados de una revisión a publicaciones científicas realizadas por otras organizaciones referentes al impacto que tiene la energía electromagnética de radiofrecuencia en la salud humana, también se basan en los límites que sugiere la normativa de la ICNIRP. Para la medición y predicción teórica de campos electromagnéticos toman como base los métodos sugeridos por la FCC.

Los efectos en los que se basa esta normativa, al igual que en las anteriores, son el calentamiento en los tejidos debido a la absorción de energía y la electroestimulación de células por la inducción de corrientes, hay que mencionar que los límites indicados en esta normativa son los suficientemente bajos para que estos efectos no se produzcan. Los límites que esta entidad propone se describen a continuación, tanto para ambientes controlados como no controlados.

RANGOS DE FRECUENCIAS	INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO E [V/m]	INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO H [A/m]	DENSIDAD DE POTENCIA S [W/m ²]
0.003 MHz – 1.0 MHz	600	4.9	---

1 MHz – 10 MHz	600 / f	4.9 / f	---
10 MHz – 30 MHz	60	4.9 / f	---
30 MHz – 300 MHz	60	0.163	10*
300 MHz – 1500 MHz	$3.54 \cdot f^{0.5}$	$0.0094 \cdot f^{0.5}$	f / 30
1.5 GHz – 100 GHz	137	0.364	50
15 GHz – 150 GHz	137	0.364	50
150 GHz – 300 GHz	$0.354 \cdot f^{0.5}$	$0.354 \cdot f^{0.5}$	$0.333_{E}10^{-4} \cdot f$

Tabla 2.5: Niveles máximos establecidos por el Ministerio de Salud de Canadá. Exposición ocupacional [71].

* La densidad de potencia es aplicada a frecuencias mayores a 100 MHz.

RANGOS DE FRECUENCIAS [MHz]	INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO E [V/m]	INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO H [A/m]	DENSIDAD DE POTENCIA S [W/m ²]
0.003 MHz – 1.0 MHz	280	2.19	---
1 MHz – 10 MHz	280 / f	2.19 / f	---
10 MHz – 30 MHz	28	2.19 / f	---
30 MHz – 300 MHz	28	0.073	2*
300 MHz – 1500 MHz	$1.585 \cdot f^{0.5}$	$0.0042 \cdot f^{0.5}$	f / 150
1.5 GHz – 100 GHz	61.4	0.163	50
15 GHz – 150 GHz	61.4	0.163	50
150 GHz – 300 GHz	$0.158 \cdot f^{0.5}$	$4.21_{E}10^{-4} \cdot f^{0.5}$	$6.67_{E}10^{-5} \cdot f$

Tabla 2.6: Niveles máximos establecidos por el Ministerio de Salud de Canadá. Exposición al público en general [71].

* La densidad de potencia es aplicada a frecuencias mayores a 100 MHz.

Donde: la frecuencia f está dada en MHz.

1.2.4 “FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION” (FCC)

En español Comisión Federal de las Comunicaciones, es una agencia gubernamental independiente de los Estados Unidos. Se estableció en 1934, y se encarga de regular las comunicaciones por radio, televisión, cable y satélite, desarrolla programas de regulación y

estándares de obligado cumplimiento para Estados Unidos, es la organización técnica más importante a nivel americano en cuanto a normativas, así también en países Europeos toman como base sus publicaciones para crear normativas propias, también realiza investigaciones en diferentes ramas de las telecomunicaciones. En cuanto a radiación no ionizante en específico para los servicios de telecomunicaciones la FCC tiene varias publicaciones la cuales son.

El informe técnico **“OET Bulletin 65: Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields”**, la FCC especifica límites de exposición a campos electromagnéticos en el rango de frecuencias entre 300 kHz y 300 GHz, tanto para la exposición en ambientes controlados como para no controlados, basándose en los límites recomendados por la ICNIRP, sugiere ecuaciones para la predicción teórica de la densidad de potencia para campos RF, especifica características para la instrumentación necesaria para medir de forma práctica dichos campos.

Para servicios específicos como la radio AM, FM y televisión la FCC en su documento que es un complemento del anterior **“OET Bulletin 65, supplement A: Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields - Additional Information for Radio and Television Broadcast Stations”**, en este se encuentran tablas para calcular distancias de seguridad³⁰ para instalaciones de radiodifusión AM, para establecer estas distancias la FCC se baso en simulaciones y mediciones, clasificando las estaciones según su potencia de transmisión, para la radio difusión FM y televisión se proporcionan atablas para calcular alturas mínimas³¹ siguiendo el mismo procedimiento anterior. Además de las tablas también se presentan curvas para calcular la intensidad de campo eléctrico y magnético para estaciones de radio AM.

El documento **“OET Bulletin 65, supplement B: Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields - Additional Information for Amateur Radio Stations”**, sirve de guía para el servicio de radio no comercial aficionados, se presentan limites de exposición, métodos de predicción por medio de formulas, y tablas para determinar distancias de seguridad.

Otro documento referente a radiación RF **“OET Bulletin 65, supplement C: Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields”**, la información contenida en este suplemento proporciona una guía adicional para la evaluación de los dispositivos de transmisión móvil y portátil que operan con frecuencias debajo de los 1.5 GHz, y así puedan cumplir de las restricciones de la FCC. La evaluación de los dispositivos móviles se da por medio de la Tasa de Absorción específica SAR. Para el objeto de este documento este suplemento no es de importancia, pero se menciona por que cae dentro de la documentación de normativa técnica referente a la radiación electromagnética no ionizante.

Límites de exposición dados en el Boletín 65, para ambientes controlados y no controlados se muestran a continuación.

RANGOS DE FRECUENCIAS	INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO E [V/m]	INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO H [A/m]	DENSIDAD DE POTENCIA S [W/m²]
0.3 MHz – 3 MHz	614	1.63	1000

³⁰ Se refiere a la menor distancia que hay entre la fuente de emisión y un punto donde la intensidad del campo electromagnético está por debajo del límite establecido en la norma.

³¹ Se refiere a la altura que hay entre el suelo y la antena principal transmisora para la cual se cumplen las restricciones de esta norma.

3 MHz – 30 MHz	1842 / f	4.89 / f	9000/f²
30 MHz – 300 MHz	61,4	0.163	10
300 MHz – 1500 MHz	---	---	f / 30
1.5 GHz – 100 GHz	---	---	50

Tabla 2.7: Niveles máximos establecidos por la FCC. Exposición ocupacional [73].

RANGOS DE FRECUENCIAS	INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO E [V/m]	INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO H [A/m]	DENSIDAD DE POTENCIA S [W/m²]
0.3 MHz – 3 MHz	614	1.63	1000
3 MHz – 30 MHz	824 / f	2.19 / f	1800/f²
30 MHz – 300 MHz	27.5	0.073	2
300 MHz – 1500 MHz	---	---	f / 150
1.5 GHz – 100 GHz	---	---	10

Tabla 2.8: Niveles máximos establecidos por la FCC. Exposición al público en general [73].

1.2.4 “AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE (ANSI)”

En español Instituto Nacional Americano de Estándares, es una organización privada sin fines de lucro fundada en 1918 que administra y coordina la estandarización para productos, servicios y procesos en los Estados Unidos. La ANSI es miembro de la Organización Internacional para la Estandarización *ISO* por sus siglas en inglés y de la “International Electrotechnical Commission (IEC)”. La organización también coordina estándares del país estadounidense con estándares internacionales, de tal modo que los productos de dicho país puedan usarse en todo el mundo. Junto con la IEEE han publicado normativas referentes a la exposición de campos electromagnéticos no ionizante.

1.2.5 “INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE)”

Es una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas, además promueve los procesos de ingeniería mediante la creación, desarrollo, integración y aplicación del conocimiento de las tecnologías electrónicas y de la información para el beneficio de la humanidad.

Es la mayor asociación internacional no lucrativa formada por profesionales, como ingenieros electricistas, ingenieros en electrónica, científicos de la computación, ingenieros en informática, ingenieros en biomédica, ingenieros en telecomunicación, etc. La sección de la IEEE que estudia lo relacionado a seguridad y campos electromagnéticos es el “Committee on Man and Radiation (COMAR)”, es un comité científico que no publica normativas, ni límites de

exposición, pero sus estudios sirven de base para que la IEEE publique sus normativas referentes a este fenómeno. La normativa mas importante en cuanto radiación electromagnética de RF esta en el documento “**C95.1-2005: IEEE Standard for Safety levels with Respect to Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz**”, en este se establecen límite para la exposición humana a radiación electromagnética RF tanto para un ambiente controlado como para el público en general. Otro documento de importancia es el estándar “**C95.3-2002: IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Radio Frequency Electromagnetic Fields With Respect to Human Exposure to Such Fields, 100 kHz-300 GHz**”, en el se establecen criterios y generalidades para medir y evaluar campos electromagnéticos, sugiere el tipo de instrumentación a utilizar para medir dichos campos. Estos métodos están basados en los sugeridos por la FCC.

Tabla con los valores limites propuestos por la IEEE y ANSI, estos son los límites que aparecen el estándar C95.1.

RANGOS DE FRECUENCIAS [MHz]	INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO E [V/m]	INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO H [A/m]	DENSIDAD DE POTENCIA S [W/m ²]
0.1 – 1.0	1842	16.2 / f _M	(9E10 ³ , 1E10 ⁵ / f _M ²)**
1.0 – 30	1842 / f _M	16.2 / f _M	(9E10 ³ / f _M ² , 1E10 ⁵ / f _M ²)
13 – 100	61.4	16.2 / f _M	[10, 1E10 ⁴ / f _M ²]
100 – 300	61.4	4 / f _M	10
300 – 3000	---	---	f _M / 30
3000 – 30000	---	---	100
30000 – 300000	---	---	100

Tabla 2.9: Niveles máximos establecidos por la ANSI / IEEE. Exposición en entorno ocupacional [13].

Donde:

1. ** Estos valores de densidad de potencia equivalente, aunque no son apropiados para condiciones de campo cercano, ya que no proporcionan un valor verdadero, puede ser usado como dato predictivo.

2. La frecuencia f_M esta expresada en **MHz** y f_G en **GHz**.

RANGOS DE FRECUENCIAS [MHz]	INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO E [V/m]	INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO H [A/m]	DENSIDAD DE POTENCIA S [W/m ²]
0.1 – 1.34	614	16.2 / f _M	(1E10 ³ , 1E10 ⁵ / f _M ²)**
1.34 – 3	823.8 / f _M	16.2 / f _M	(1.8E10 ³ / f _M ² , 1E10 ⁵ / f _M ²)

3.0 – 30	823.8 / f _M	16.2 / f _M	(1.8E10 ³ / f _M ² , 1E10 ⁵ / f _M ²)
30 – 100	27.5	158.3 / f _M ^{1.668}	[2.94E10 ⁷ / f _M ^{3.336}]
100 – 400	27.5	0.0729	2
400 – 2000	---	---	f _M / 200
2000 – 5000	---	---	10
5000 – 30000	---	---	10
30000 – 1E10 ⁵	---	---	10
1E10 ⁵ – 3E10 ⁵	---	---	90 f _G – (700 / 200)

Tabla 2.10: Niveles máximos establecidos por la ANSI / IEEE. Exposición al público en general [13].

1.2.6 UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (UIT)

Por sus siglas en inglés “ITU”, es la organización más importante de las Naciones Unidas (ONU) en lo que concierne a las tecnologías de la información y la comunicación. En cuanto a las radiocomunicaciones, la UIT se encarga de desempeñar un papel fundamental en la investigación y la gestión del espectro de frecuencias radioeléctricas con el fin de garantizar la utilización racional y económica del mismo.

Referente a la radiación de campos RF la UIT tiene dos publicaciones importantes, la recomendación “**UIT-T K.52: Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición a los campos electromagnéticos [56]**”, el cual es una serie de criterios, técnicas y procedimientos para evaluar los riesgos de instalaciones de telecomunicaciones; por ejemplo procedimientos para clasificar el tipo de estación radiante; y su cumplimiento con las restricciones (límites) de seguridad. Los límites establecidos en esta normativa son los recomendados por la ICNIRP, esta normativa no es de obligado cumplimiento.

Otro documento importante es “**UIT-T K.61: Directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen los límites de exposición de las personas [58]**”, se recomiendan métodos informáticos, no teóricos, que pueden emplearse para determinar la intensidad de campos electromagnéticos provenientes de instalaciones de telecomunicaciones con el fin de verificar que dichos campos no rebasen los límites recomendados en la norma anterior. Límites de exposición se muestran en las tablas 2.11 y 2.12.

RANGOS DE FRECUENCIAS	INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO E [V/m]	INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO H [A/m]	DENSIDAD DE POTENCIA S [W/m ²]
1 Hz – 8 Hz	20000	1.63*10 ⁵ / f	---
8 Hz – 25 Hz	20000	2*10 ⁴ / f	---
0.025 kHz – 0.82 kHz	500 / f	20 / f	---

0.82 kHz – 65 kHz	610	24.4	---
0.065 MHz – 1 MHz	610	1.6 / f	---
1 MHz – 10 MHz	$610 / f^{0.5}$	1.6 / f	---
10 MHz – 400 MHz	61	0.16	10
400 MHz – 2 GHz	$3 * f^{0.5}$	$0.008 * f^{0.5}$	f / 40
2 GHz – 300 GHz	137	0.36	50

Tabla 2.11: Niveles límites de referencia establecidos por la ICNIRP Exposición ocupacional (Ambiente Controlado) [56.]

RANGOS DE FRECUENCIAS	INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO E [V/m]	INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO H [A/m]	DENSIDAD DE POTENCIA S [W/m ²]
1 Hz – 8 Hz	10000	$3.2 * 10^4 / f$	---
8 Hz – 25 Hz	10000	40000 / 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	$87 / f^{0.5}$	0.73 / f	---
10 MHz – 400 MHz	28	0.73	2
400 MHz – 2 GHz	$1.375 * f^{0.5}$	$0.0037 * f^{0.5}$	f / 200
2 GHz – 300 GHz	61	0.16	10

Tabla 2.12: Niveles límites de referencia establecidos por la ICNIRP Exposición al público en general [56].

SECCIÓN 2. EXPLICACIÓN DE LÍMITES.

Todos los organismos que presentan límites para la exposición a radiación electromagnética no ionizante se basan en la forma de como interactúa dicha radiación con el cuerpo humano, de acuerdo a esto, los límites se establecen para prevenir dos tipos de efectos, el térmico y el de electroestimulación. Otro aspecto que cabe destacar es que los valores de la intensidad de campo eléctrico, intensidad de campo magnético y densidad de potencia que aparecen en las tablas, son derivadas de cantidades del SAR y de mediciones en laboratorios.

La electroestimulación se produce cuando el voltaje inducido a través de una membrana celular eléctricamente excitable es suficientemente alto como para dar lugar a la formación de un potencial de acción y producir movimientos involuntarios en músculos (reflejos). Cabe destacar que el efecto de la electroestimulación disminuye a medida que la frecuencia aumenta. El efecto de calentamiento de tejidos; que ya se explico en párrafos anteriores; se da por la absorción de energía en el cuerpo.

Los límites de exposición que aparecen en las recomendaciones, normativas, estándares, etc. para un ambiente controlado también conocido como ocupacional son utilizados para garantizar la seguridad de trabajadores que están expuestos a radiación, los límites para un ambiente no controlado o para el público en general son utilizados para garantizar la seguridad de personas que cotidianamente están expuestas a radiación no ionizante, por ejemplo en centros comerciales, escuelas, etc. y como se mencionó anteriormente los límites para ambientes no controlados son menores que los límites para ambientes controlados.

Las tablas constan de cuatro columnas, en la primera se listan las frecuencias (o rangos de frecuencias) cuyas unidades están indicadas en la primera casilla como se puede ver en la tabla 2.9 o dadas por la nomenclatura que acompaña al valor numérico, por ejemplo para la casilla 4 de la tabla 2.5 el límite inferior del rango está en unidades de Mega Hertz (MHz).

En la segunda columna se indican valores de intensidad de campo eléctrico en unidades de voltios por metro, estos son los límites de exposición, y significa que cualquier cálculo teórico o medición práctica de cualquier fuente de radiación no ionizante, no debe exceder este valor para cumplir con esta normativa.

La columna tres es donde se indican los valores límites para campos magnéticos, las unidades en las que están son los Amperio por metro, y al igual que la columna anterior representan valores que no deben superarse para cumplir con la norma.

La columna 4 muestra los valores de densidad de potencia cuyas unidades son los watts por metro cuadrado, algunos límites como por ejemplo para telefonía celular cuyos rangos oscilan entre los 400 MHz y 2000 MHz se dan en unidades de mW/cm^2 .

Se puede observar además que la frecuencia está dividida en rangos para los cuales se asignan diferentes límites, esta clasificación es así por las investigaciones y estudios demuestran que las ondas electromagnéticas según sus frecuencias provocan efectos diferentes en el cuerpo, dichos efectos son medibles de acuerdo a este criterio criterios que toman encuentran:

- Para frecuencias menores a 1 Hz aparece el efecto de pequeñas corrientes circulantes en el cuerpo; alrededor de los microamperios; la intensidad de campo magnético es la que puede cuantificar, ya que estos campos electromagnéticos se consideran estáticos, a estas frecuencias puede aparecer el efecto de electroestimulación, inclusive señales de hasta 60 Hz (que no son campos electromagnéticos estáticos). Para que estos campos puedan provocar este tipo de efecto deben de tener grandes potencias como por ejemplo los producidos por las líneas de transmisión de distribución eléctrica, los campos magnéticos producidos por las instalaciones eléctricas residenciales no son capaces de causar efectos considerables de este tipo.
- Entre 1 kHz y hasta aproximadamente 100 kHz; rango que la UIT reserva para ciertos servicios de comunicaciones militares, marítimas; se dan el efecto de absorción de energía y el efecto de la electroestimulación, este último es el más evidente. Aproximadamente entre 65 kHz y 10 MHz; donde están los servicios de onda corta, radio comercial AM; el efecto de calentamiento de tejidos causado por la absorción de corrientes inducidas, es más evidente que la electroestimulación. Sin embargo están presentes los dos. Los parámetros que pueden medir esto son la intensidad de campo eléctrico y magnético, en estos rangos de frecuencias dichas cantidades no son equivalentes, o sea que una cantidad no puede ser derivada de otra, esto se debe a que el campo electromagnético en las cercanías de la fuente de emisión no se comportan como ondas planas y por eso se deben medir individualmente, según se requiera una o ambas cantidades.

- Para frecuencias superiores a 10 MHz; donde se pueden encontrar servicios de telecomunicaciones como la radio comercial FM, telefonía celular, televisión inalámbrica VHF; el efecto de calentamiento por absorción energía en el cuerpo es el único debido a las frecuencias relativamente altas de las señales el efecto de electroestimulación ya no está presente, este efecto es medible por medio del SAR pero para ser calculada o medible de forma práctica por medio de equipos portátiles, se utiliza la densidad de potencia, para estas frecuencias la intensidad de campo eléctrico y magnético que aparecen en las tablas son equivalentes y pueden derivarse una a partir del cálculo o medición de otra. Ejemplo.

$$S \text{ [W/m}^2\text{]} = E^2 \div 377 \quad \text{ecuación (23)}$$

$$S \text{ [W/m}^2\text{]} = 377 \times H^2 \quad \text{ecuación (24)}$$

$$E = 377 \times H \quad \text{ecuación (25)}$$

Donde:

S: Densidad de potencia.

E: Campo eléctrico en V/m.

H: Campo magnético A/m.

Por ejemplo si se toma el valor de 61 V/m de la tabla 2.11 y se aplican las ecuaciones anteriores, se obtienen las otras dos cantidades.

$$S = (61)^2 \div 377$$

$$S \approx 10 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

De la ecuación 3:

$$H = 61 \div 377$$

$$H \approx 0.16 \text{ [A/m]}$$

Para entender mejor el uso de estas tablas se puede realizar un ejemplo. Suponiendo una estación de radio comercial FM, que opere en la frecuencia de 94.9 MHz, con una potencia irradiada (PIRE) de 1000 watts, se quiere saber cual es límite de radiación que esta emisora debe cumplir según la ICNIRP.

Primero hay que consultar la tabla que es para la exposición del público en general, el rango de frecuencias donde entra este servicio es el de 10 MHz a 400 MHz, el valor límite de densidad de potencia que corresponde es el de 2 W/m² (ver figura 2.3), esto significa que cualquier medición en los alrededores de la instalación debe estar por debajo de este valor para cumplir con la normativa establecida por la ICNIRP.

RANGOS DE FRECUENCIAS	INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO E [V/m]	INTENSIDAD DE CAMPO MAGNETICO H [A/m]	DENSIDAD DE POTENCIA S [W/m ²]
10 MHz – 400 MHz	28	0.073	2
Rango de frecuencias en donde se encuentra el servicio de radio FM comercial.	$1.375 * f^{0.5}$	$0.0037 * f^{0.5}$	$f / 200$
	61	0.16	10

Figura 2.3: Fragmento de la tabla 2.4, límites de la ICNIRP para ambientes no controlados.

SECCIÓN 3. NORMATIVAS BASADAS EN EL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN.

En las tablas anteriores se puede notar que los límites son bastante parecidos, sin embargo existen varios países con niveles de exposición más restrictivos, de los cuales se puede destacar Italia cuyos límites se muestran en la tabla 2.13, países como este declaran que *mientras haya incertidumbre científica en cuanto a los efectos de la radiación no ionizante sobre la salud sus restricciones se basaran en el principio de precaución o de evitación prudente*. Este principio abarca muchos campos de la salud, pero referente a exposiciones a campos electromagnéticos se puede definir como: medidas que no tienen respaldo científico pero son adoptadas para reducir la exposición a radiación no ionizante al estar muy por debajo de los límites de las normativas internacionales asegurando la exposición innecesaria del público en general a dicha radiación.

RANGO DE FRECUENCIAS [MHz]	INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO E [V/m]	INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO H [A/m]	DENSIDAD DE POTENCIA S [W/m ²]
0.1 MHz – 300 GHz	6	0.016	0.10

Tabla 2.13: Límites exposición propuestos por Italia.

Sin embargo la aplicación de límites arbitrarios trae consigo una serie de especulaciones por parte de operadores de servicio de telefonía celular y los gobiernos de países donde no se adoptan este tipo de medidas afirman que: *los límites de exposición recomendados internacionalmente tienen una fuerte base científica, mientras que la adopción de límites menores se convierte en un ejercicio puramente arbitrario desprovisto de fundamento científico [70]*.

Por ejemplo en la figura 2.3 se muestra la distancia de cumplimiento de una estación base típica que opera a 900 MHz, montada sobre techo, calculada para el límite fijado por la ICNIRP de 41 V/m, es 2.3 metros en dirección de su máxima radiación.

Si se reduce el límite de exposición por ejemplo a 6 V/m como el propuesto por el gobierno italiano, la distancia de cumplimiento para la misma estación base que opera a 900 MHz, montada sobre un techo, será de 33 metros en dirección de la máxima radiación como se muestra en la figura 2.4.

Si se reduce el límite de exposición aun mas por ejemplo a 0.3 V/m la distancia de cumplimiento para la misma estación base, será de 165 metros en dirección de su máxima radiación o lóbulo principal (figura 2.5).

Los operadores del servicio de telefonía celular móvil mantienen que disminuir los límites de exposición puede provocar que las distancias de seguridad sean demasiado grandes y difíciles de manejar ya que las personas que viven cerca de estas estaciones radiantes tendrían que alejarse³², o construir dichas estaciones en lugares alejados, para los sistemas de radio y televisión no es mucho problema, pero para sistemas de telefonía celular sería un gran inconveniente ya que las coberturas se verían afectadas. Aplicar límites reducidos puede provocar que las potencias con las que se transmite tengan que ser disminuidas y como consecuencia se tengan que instalar más estaciones para el caso de telefonía celular o más repetidoras para el caso de los servicios de radio y televisión.

No obstante se puede concluir que en países donde todavía no se cuenta con normativa propia o no se adoptado una internacional, se debería de tomar en cuenta este principio antes de elegir alguna normativa técnica, o también, aplicar la reducción de niveles de exposición solo en ciertas áreas de los servicios que emiten radiación electromagnética. Como por ejemplo para limitar la exposición en escuelas y hospitales.



Figura 2.4: Distancia de seguridad para un límite de 41 V/m [34].

³² Las figura 2.3, 2.4 y 2.5 fueron obtenidas del documento desarrollado por la GSMA, www.gsmworld.com/health y la MMF www.mmfi.org.

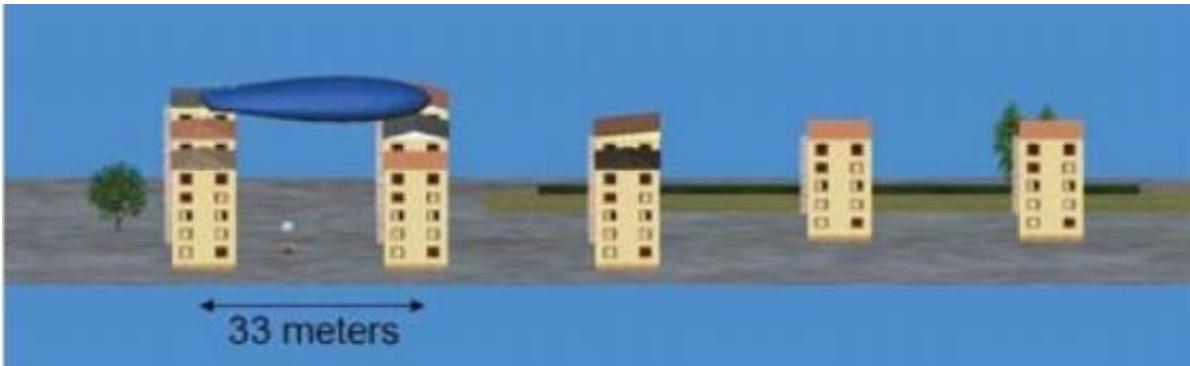


Figura 2.5: Distancia de seguridad para un límite de exposición de 6 V/m [34].

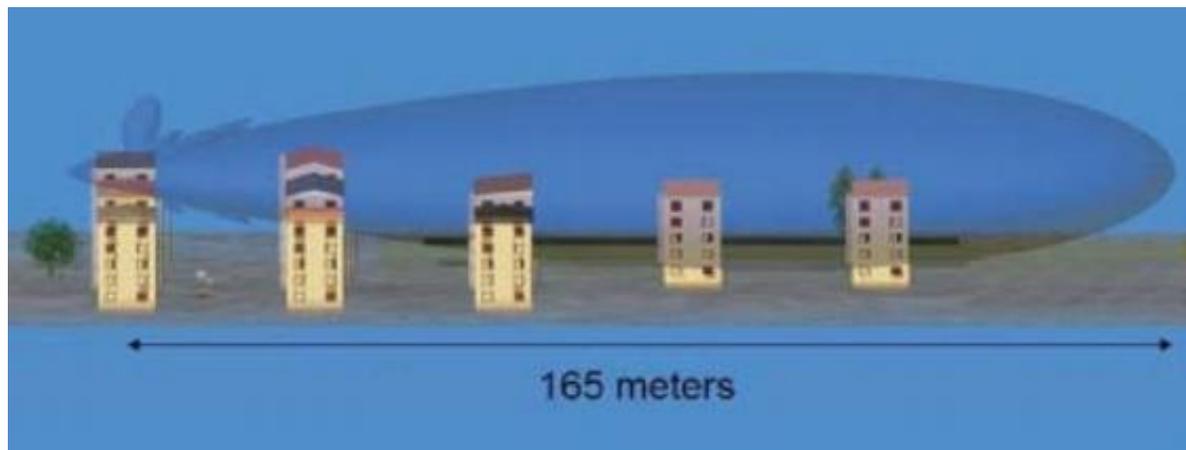


Figura 2.6: Distancia de seguridad para un límite de exposición de 0.3 V/m [34].

SECCIÓN 4. TABLAS COMPARATIVAS DE LÍMITES Y NORMATIVAS.

Dado que existen varios organismos que emiten normativas nace la pregunta: que límites adoptar, cuales son los más restrictivos, que procedimientos de medición es el más práctico, etc. Las respuestas a estas preguntas dependen de varios factores, en esta sección se analizarán un poco éstos. Por ejemplo las recomendaciones de la ICNIRP son las más adoptadas a nivel mundial por que cuentan con el respaldo de la OMS, sus límites son más restrictivos que los de la IEEE y la FCC, etc. Estos son criterio por los cuales muchos países a nivel latinoamericano han adoptado sus recomendaciones. En la tabla 2.14 se presenta un resumen de las entidades más importantes, descritas anteriormente.

En América Latina, varios países están adoptando una normativa propia basándose en las que proponen los organismo antes mencionados, en la tabla 2.15 se muestra un resumen de estos. La mayoría de ellos adoptan como límites los recomendados por la ICNIRP ya que la información es gratis a diferencia de la normativa de la IEEE, y son más restrictivos que los que proponen la FCC. Esto es una ventaja que tiene la ICNIRP sobre las anteriores.

ENTIDAD	CLASIFICACIÓN	REALIZA INVESTIGACIONES PROPIAS SOBRE EL FENÓMENO	ANALIZA INFORMACIÓN Y RESULTADOS DE INFESTACIONES REALIZADAS POR OTRAS ENTIDADES	PUBLICA LIMITES	PROPONES METODOLOGÍA PARA MEDICIÓN
ICNIRP	Científico	No	Si	Si	No
ANSI/IEEE	Normalizador / Técnico-científico	Si	Si	Si	Si
FCC	Técnico-científico y Normalizador	Si	Si	Si	Si
ARPANS A	Científico y Normalizador	Si	Si	Si	No
CANADA	Científico y Normalizador	Si	Si	Si	No
UIT	Normalizador	No	Si	Si	Si

Tabla 2.14: Resumen de las entidades más importantes en cuanto a normativas sobre la radiación no ionizante.

Como el principal objetivo de este trabajo son las emisiones de los servicios de radio AM, FM, TV y telefonía celular, y de estos servicios interesa conocer los límites para exposición al público en general, a continuación se presentan tablas donde se encuentran valores límites para estos servicios, según el rango o frecuencias de operación, con el fin de tener un visión más clara sobre este asunto.

Para el caso de la radio comercial AM donde los campos en las cercanías de las antenas de sus estaciones no cumplen con la condición de ondas planas, los límites se dan en términos de la intensidad de campo eléctrico magnético y eléctrico. En la casilla donde se encuentran los límites, valor de la izquierda corresponde al límite para la menor frecuencia del rango correspondiente a este y el valor de la derecha corresponde al límite para la mayor frecuencia de dicho rango (ver tabla 2.16).

En cuanto al servicio de telefonía celular y dado que en los últimos años los organismos normalizadores se han dedicado de lleno a investigar el fenómeno de la telefonía celular, debido al gran desarrollo que este ha tenido, se ha hecho una comparación de límites en términos de densidad de potencia para las diferentes frecuencias de operación de dicho servicio. En la tabla 2.18 se puede observar que los límites más restrictivos son los de la ICNIRP e IEEE.

PAÍS	FUENTE TÉCNICA (NORMA/ESTÁNDAR)	AÑO DE ADOPCIÓN	ENTIDAD REGULADORA
ARGENTINA	Recomendaciones de la ICNIRP	2000	Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CNC)
BRASIL	Recomendaciones de la ICNIRP	2002	“Agência Nacional de Telecomunicações” (ANATEL)
COLOMBIA	UIT T K-52	2002	Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRCCOM)
ECUADOR	Recomendaciones de la ICNIRP	2004	Súper Intendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL), Norma técnica aprobada en 2004
PERÚ	Recomendaciones de la ICNIRP	2003	Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
COSTA RICA	Recomendaciones de la ICNIRP	2002	Ministerio de Ciencia y Tecnología (MICIT)
MEXICO	Recomendaciones de la ICNIRP	2005	Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL)

Tabla 2.15³³: Resumen de normas adoptadas por países latinoamericanos.

	SERVICIO DE RADIO AM	
RANGO DE FRECUENCIAS	500 kHz – 1.7 MHz	
	E [V/m]	H [A/m]
ICNIRP/UIT	87 – 66.7	1.4 – 0.4
ANSI/IEEE	1842	95.3
FCC	614	1.6
ARPANSA	86.8 – 51.1	1.4 – 0.4

Tabla 2.16: Comparación de límites para el servicio de radio AM.

³³ Datos obtenidos del artículo “Normas y estándares aplicables a los campos electromagnéticos de radiofrecuencias en América Latina: guía para los límites de exposición y los protocolos de medición” publicado por Jorge Skvarca y Aníbal Aguirre del departamento de ingeniería y la Universidad de Buenos Aires Argentina.

	SERVICIO DE RADIO FM	SERVICIO TELEVISIÓN	
FRECUENCIAS	87.5 MHz – 108 MHz	54 MHz – 216 MHz Banda VHF	512 MHz – 806 MHz Banda UHF
	S [W/m ²]	S [W/m ²]	S [W/m ²]
ICNIRP/ UIT	2	2	2.56 – 4.03
ANSI / IEEE	2	2	2.56 – 4.03
FCC	2	2	3.4 – 5.3
ARPANSA	2	2	2.56 – 4.03

Tabla 2.17: Comparación de límites para FM y TV.

Dado que las pérdidas de propagación en el servicio celular son relativamente grandes, es mejor manejar los valores descritos en la tabla anterior, en términos de mW/cm² o μW/cm².

	SERVICIOS DE TELEFONÍA MÓVIL			
	850 MHz	900 MHz	1800 MHz	1900 MHz
ICNIRP/UIT	4.25 W/m ²	4.5 W/m ²	9 W/m ²	9.5 W/m ²
ANSI/IEEE	4.25 W/m ²	4.5 W/m ²	9 W/m ²	9.5 W/m ²
FCC	5.66 W/m ²	6 W/m ²	12 W/m ²	12.66 W/m ²
ARPANSA	4.25 W/m ²	4.5 W/m ²	9 W/m ²	9.5 W/m ²

Tabla 2.18: Comparación para exposición para el público en general.

	SERVICIOS DE TELEFONÍA MOVIL			
	850 MHz	900 MHz	1800 MHz	1900 MHz
ICNIRP/UIT	0.425 mW/cm ²	0.45 mW/cm ²	0.9 mW/cm ²	0.95 mW/cm ²
ANSI/IEEE	0.425 mW/cm ²	0.45 mW/cm ²	0.9 mW/cm ²	0.95 mW/cm ²
FCC	0.566 mW/cm ²	0.6 mW/cm ²	0.12 mW/cm ²	0.1266 mW/cm ²
ARPANSA	0.425 mW/cm ²	0.45 mW/cm ²	0.9 mW/cm ²	0.95 mW/cm ²
CANADA	0.566 mW/cm ²	0.6 mW/cm ²	0.10 mW/cm ²	0.10 mW/cm ²

Tabla 2.19: Comparación para exposición para el público en general en términos de mW/cm².

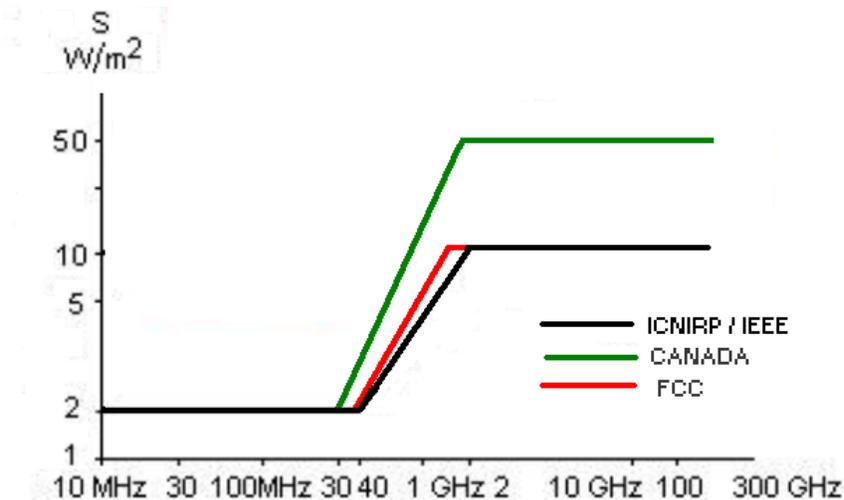


Figura 2.7³⁴: Límites de exposición para el público en general, expresados en densidad de potencia.

SECCIÓN 5. METODOLOGÍAS DE PREDICCIÓN Y/O MEDICIÓN.

La predicción teórica de campos electromagnéticos es complicada por tratarse de un fenómeno de la naturaleza y ningún método o ecuaciones puede proporcionar datos exactos, sin embargo ciertas organizaciones proporcionan ecuaciones y/o métodos que pueden utilizarse para obtener aproximaciones considerables de la radiación electromagnética en un punto dado a cierta distancia de una fuente de emisión.

En esta sección se describen metodologías sugeridas por organismos normalizadores para la predicción teórica y medición práctica para campos electromagnéticos de radiofrecuencia, que se consideran importantes para este trabajo.

Hay que mencionar, antes de proseguir, que los procedimientos o métodos que se describen a continuación no son una simple traducción de la normativa citada, sino que se ha procurado modificarlos de forma tal que no pierdan la estructura y finalidad pero sean más específicos, detallados y de fácil comprensión.

5.1 FCC: METODOLOGÍA DE PREDICCIÓN TEÓRICA.

La FCC en el *suplemento A* de su *boletín 65* propone métodos teóricos y gráficos de predicción para los servicios de radio AM, FM y televisión, en el caso de radio AM en el documento se encuentran tablas para calcular las distancias de seguridad según la frecuencia de operación de la estación de radio, también hay gráficas para predecir la intensidad de campo eléctrico y magnético según la potencia de transmisión y altura de la antena de la estación radiante. Para el caso del servicio FM hay tablas que calculan la altura mínima de sus antenas y un procedimiento para el cálculo de la densidad de potencia según la potencia de transmisión, altura de la antena y el número de antenas que forman el arreglo. Para el servicio de TV, la FCC propone tablas para calcular la altura mínima para sus antenas de acuerdo a la potencias de transmisión de la estación. A continuación se ampliarán más estos métodos.

³⁴ Esta gráfica está basada en datos proporcionados por el artículo *NTP 234: Exposición a radiofrecuencias y microondas*. Publicado por el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales junto con el Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo, ambas entidades Españolas.

5.1.1 FCC: SERVICIO DE RADIO AM.

La FCC considera que los límites de exposición para el servicio de radio AM no son muy restrictivos como para otras frecuencias, debido a que los campos electromagnéticos emitidos por sus antenas (monopolos) disminuyen rápidamente con la distancia, y aunque sus potencias de transmisión son altas los límites de máxima exposición normalmente solo pueden ser excedidos estando relativamente cerca de la antena y debido a que en las cercanías de las antenas los campos electromagnéticos no cumplen con la condición de ondas planas, para poder evaluar el cumplimiento de los límites, se deben calcular la intensidad de campo magnético y eléctrico individualmente. Con todas estas consideraciones la FCC sugiere lo utilizar las tablas 1 al 4, del *suplemento A del boletín 65* [74] para determinar la distancia mínima (distancia de seguridad) para la cual el campo eléctrico y magnético no sobre pasan los límites de exposición que dicha entidad propone. Las tablas son como la que muestra la figura 2.17, para utilizar estas tablas se deben seguir este procedimiento.

- Primero se debe recopilar información de la estación AM bajo evaluación, la información mínima que se requiere es la siguiente: potencia de transmisión en kilowatts, frecuencia en kHz a la que opera la estación y altura de la antena o torre en metros.
- Con esta información utilizar las tablas del 1 al 4 del *suplemento A del boletín 65* [74] para obtener la distancia de seguridad en unidades de metros.

El uso de las tablas puede describirse de la siguiente manera:

- La altura de la antena de la estación sirve para escoger que tabla se va a utilizar, ya que cada tabla está diseñada para distintas alturas, estas alturas están en términos de la longitud de onda de la frecuencia de operación, así la tabla 1 es para alturas de antenas de 0.5λ la tabla 2 para alturas de 0.625λ , etc.

Frequency (kHz)	Transmitter Power (kW)			
	50	10	5	1
Predicted Distance for Compliance with FCC Limits (meters)				
535-740	4	3	2	1
750-940	4	2	2	1
950-1140	4	2	2	1
1150-1340	4	2	2	1
1350-1540	4	2	2	1
1550-1705	4	2	2	2

Figura 2.8: Tabla para determinar distancias de seguridad según la FCC [74].

- Ya ubicados en la tabla correspondiente a la altura de la estación a evaluar, la fila marcada en verde corresponde a las potencias de transmisión, de nuevo si la potencia

de la estación no está en esta fila hay que utilizar una potencia mayor, por ejemplo si fuera 30kW se debería utilizar la potencia de 50kW. Luego la columna marcada con azul corresponde a las frecuencias de operación, en esta columna se debe ubicar la frecuencia de nuestra estación, ya con los dos datos identificados en la tabla se determina la distancia de seguridad que correspondiente.

Para predecir teóricamente la intensidad de campo eléctrico y magnético en las cercanías de una estación de radio AM la FCC [74] sugiere utilizar las curvas que muestran las figuras 1 a la 4 del *suplemento A del boletín 65*, asegurando que los datos obtenidos con estas curvas cumplen con los límites establecidos en su normativa.

Las curvas al igual que las tablas descritas anteriormente están clasificadas para alturas de antenas de 0.625λ , 0.5λ , 0.25λ y 0.1λ , esto significa que la figura 1 es para estaciones con alturas de antenas (dadas en metros) de 0.1λ , la figura 2 para alturas de 0.25λ , etc. en la figura 2.8 se muestra una de estas curvas, el eje de la izquierda marcado con azul corresponde a valores de intensidad de campo eléctrico en unidades de voltios sobre metros, el eje horizontal corresponde a la distancia en metros desde la antena, el eje de la derecha marcado con rojo corresponde a valores de intensidad de campo magnético en unidades de amperios sobre metros, la parte central marcada con amarillo es donde están las curvas que sirven para ubicar los valores correspondientes.

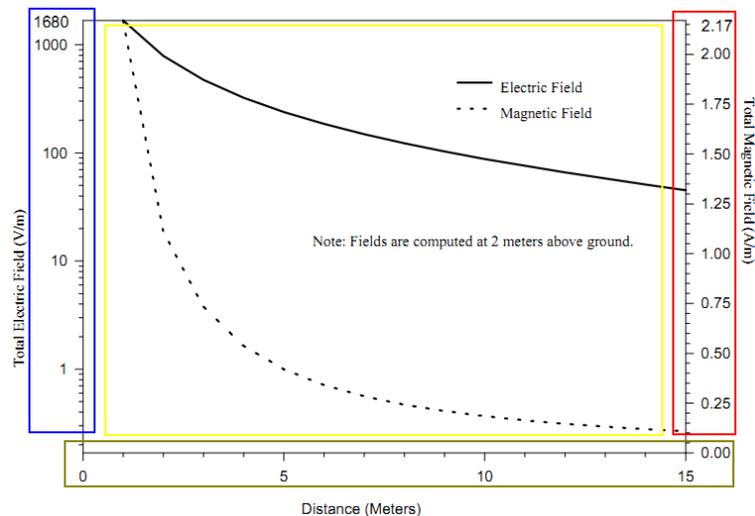


Figura 2.9: Curvas para determinar la intensidad de campo eléctrico y magnético en las cercanías de una estación de radio AM, según la FCC [74].

Se puede concluir que la información necesaria para utilizar estas curvas es la misma que se necesita para utilizar las tablas anteriores, entonces el uso de estas curvas se puede describir de la siguiente manera:

- Recopilar información de la estación a evaluar, la cual debe ser: potencia de transmisión en kW, altura de la antena o torre, la frecuencia de operación y la distancia desde la torre al punto donde se quiere predecir teóricamente el campo magnético o eléctrico.
- Con el dato de la altura se escoge la figura que se va a utilizar, si la altura que se tiene como dato de la estación no corresponde a ninguna de las cuatro figuras, se puede tomar la altura inmediata inferior.

- Teniendo la figura que se va a utilizar, y la distancia desde la antena, se ubica esta en el eje horizontal y se traza una línea vertical hasta la curva que represente ya sea el campo eléctrico o magnético según el caso o ambos y desde ese punto se traza una línea horizontal hasta el valor correspondiente de dichos campos.
- Otro dato importante acerca de estas figuras es que están calculadas para potencias de transmisión de 1kW. Entonces para estaciones que transmitan a diferentes potencias los valores obtenidos de dichas curvas se deben multiplicar por la raíz cuadrada del valor de potencia, pero sin unidades, de la estación en evaluación. Por ejemplo si la estación opera a 10kW los datos obtenidos de las curvas se multiplicarían por $\sqrt{10}$ o sea 3.16.

5.1.2 FCC: SERVICIO DE RADIO FM.

En los sistemas de radio FM, las antenas utilizadas son diferentes a la de los sistemas AM, son arreglos de varias antenas montadas en una torre, espaciadas distancias en función de la longitud de onda, las frecuencias más altas que las utilizadas en AM hacen que los campos en las cercanías de las antenas cumplan con la condición de onda planas, estas y otras características hacen que su predicción teórica y medición se diferente, por eso la FCC en su documentación propone lo siguiente.

Las tablas 5 y 6 del *suplemento A del boletín 65* [74] se utilizan para determinar la altura mínima a la que debe estar la antena desde el nivel del suelo, la tabla 5 es para ambientes controlados y la tabla 6 es para ambientes no controlados, en la figura 2.9 se puede ver una de estas tablas, la fila que está marcada con verde corresponde al número de elementos que consta la antena, en la columna marcada con rojo es la correspondiente a las potencias de transmisión, y la casilla marcada de azul representa las alturas en metros, se puede ver que hay dos valores el superior representa la altura para antenas de dipolos no comerciales y el valor inferior es la altura para antenas de marcas comerciales. El uso de esta es similar a las anteriores, se puede describir de la siguiente forma.

- La información requerida sobre la estación debe ser: potencia de transmisión en kW, número de dipolos (elementos) de la antena. Escoger la tabla que se va a utilizar, ya sea para ambientes controlados o no controlados.
- Con esta información se ubica en la fila superior la casilla que corresponda al número de elementos de la antena de la estación en evaluación, luego ubicar en la columna de la izquierda la potencia de transmisión de la estación y obtener la altura correspondiente.

Para predecir teóricamente la densidad de potencia radiada por un arreglo de n elementos (antenas) en las cercanías de una estación de radio FM la FCC sigue utilizando las curvas de las figuras 6 a la 15 del *suplemento A del boletín 65* [74], en la figura 2.9 se muestra una de estas curvas, el eje marcado con rojo representa la densidad de potencia normalizada; esto se explicará más adelante; el eje horizontal representa la distancia en metros desde la torre, y las curvas corresponden al número de elementos del cual consta el arreglo de antenas.

Total H+V ERP (kW)	Number of Bays					
	2	4	6	8	10	12
	Meters from Center of Radiation					
0.5	5.2	8.1*	11.5*	14.9*	18.3*	21.7*
	4.7*	8.1*	11.5*	14.9*	18.3*	21.7*
3	9.7	9.7	11.5*	14.9*	18.3*	21.7*
	5.7	8.1*	11.5*	14.9*	18.3*	21.7*
10	16.2	16.0	15.9	15.8	18.3*	21.7*
	8.6	8.1*	11.5*	14.9*	18.3*	21.7*
25	24.3	24.2	24.0	23.7	23.5	23.3
	12.5	9.8	11.5*	14.9*	18.3*	21.7*
50	33.6	33.3	33.1	32.7	32.4	32.1
	16.8	13.1	11.3	14.9*	18.3*	21.7*
75	40.7	40.3	40	39.6	39.2	38.9
	20.1	15.6	13.3	14.9*	18.3*	21.7*
100	46.6	46.3	45.9	45.4	45.0	44.6
	22.9	17.7	15.1	13.7	18.3*	21.7*

Figura 2.10: Tabla para determinar la altura mínima de una antena del servicio de radio FM para que se cumplan las restricciones de la FCC [74].

Cada figura es para distintas altura de antenas, la figura 6 es para una altura de 10 metros, la figura 7 para 20 metros, hasta la figura 15 para una altura de 100 metros. Estas curvas también pueden ser utilizadas para calcular las distancias de seguridad según la potencia de transmisión y el límite de exposición que se quiere evaluar. Entonces el procedimiento de utilización de estas curvas puede ser de dos formas. Para calcular distancias de seguridad:

- Recopilar la información siguiente de la estación a evaluar: potencia de transmisión en kW, número de antenas que consta el arreglo, altura de la antena en metros.
- Con el dato de la altura se escoge la figura que se va a utilizar, si la altura de la antena no corresponde a ninguna de las figuras se debe escoger la altura inmediata inferior.

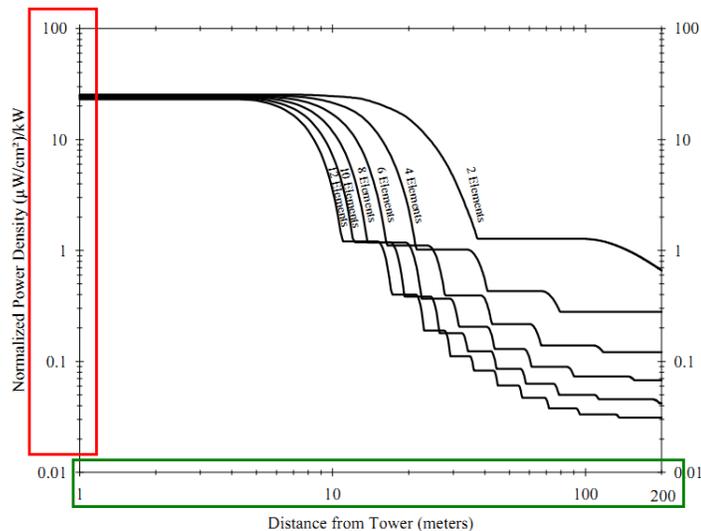


Figura 2.11: Curvas para determinar la densidad de potencia emitida por una antena del servicio de radio FM según la FCC [74].

- Recopilar la información siguiente de la estación a evaluar: potencia de transmisión en kW, número de antenas que consta el arreglo, altura de la antena en metros y la distancia medida en metros desde la torre al punto donde se quiere predecir la densidad potencia.
- Con el dato de la altura se escoge la figura que se va a utilizar, si la altura de la antena no corresponde a ninguna de las figuras se debe escoger la altura inmediata inferior.
- Ubicar la distancia en el eje horizontal de la figura, de ahí trazar un línea vertical hasta la curva que corresponda al número de elementos del arreglo de antenas, en el punto de intersección trazar una línea horizontal hasta el valor correspondiente de densidad de potencia normalizada.
- Este valor obtenido se debe multiplicar por la potencia de transmisión en kW de la estación en evaluación y así se obtiene el valor de densidad de potencia en ese punto.

5.1.3 FCC: SERVICIO DE TELEVISIÓN INALÁMBRICA.

Los métodos de la FCC para este servicio sirven solamente para calcular la altura de la antena de una estación de transmisora y no para arreglos de varias antenas; aunque se podría hacer lo que se explico para el servicio de radio FM; no proporciona métodos gráficos de predicción de intensidad de campo o distancias de seguridad y ya que generalmente las antenas utilizadas en los sistemas de televisión son arreglos que constan de varias antenas montadas en torres más robustas y altas que para los sistemas de AM y FM este método seria valido solo para el personal de mantenimiento del sistema y como el interés de este trabajo es el público en general no se considera importante explicar dicho procedimiento, pero se menciona para fines informativos.

5.1.4 FCC: OTROS MÉTODOS DE PREDICCIÓN PARA SERVICIOS DE RADIO FM, TV Y TELEFONÍA MÓVIL.

Además de los métodos, tablas, curvas, etc. Descritos anteriormente la FCC sugiere ecuaciones para calcular la densidad de potencia para estos servicios, valiéndose que sus campos se comportan como ondas planas en las cercanías de las antenas, basta con calcular o medir un parámetro, para derivar los otros dos la FCC propone una ecuación.

$$S = \frac{E^2}{3770} = 37.7 * H \quad \text{ecuacion 2.1}$$

Donde:

S: densidad de potencia [mW / cm²].

E: intensidad de campo eléctrico [V / m].

H: intensidad de campo magnético [A / m].

Para predecir la intensidad de campo o densidad de potencia de una fuente típica de radiofrecuencia la FCC propone utilizar las ecuaciones siguientes para el caso de una sola fuente de emisión.

$$S = \frac{PIRE}{4 * \pi * R^2} \quad \text{ecuacion 2.2}$$

Donde:

S: es la densidad de potencia en unidades de w/m^2 .

R: es la distancia desde la fuente de radiación en m.

PIRE: es el producto de potencia de transmisión en watts y la ganancia de la antena en watts.

Sin embargo las unidades de la ecuación 2.2 se pueden cambiar, pero hay que tener cuidado al manejar las unidades correctas, por ejemplo si se desea la densidad de potencia en mW/cm^2 tanto el PIRE debe estar en mW y R en cm .

Para el caso específico de radio FM y televisión la FCC recomienda usar una aproximación más realista, aumentando en la ecuación anterior un factor que representa la reflexión de la señal en el suelo y cuyas unidades depende del PIRE y la distancia R.

$$S = \frac{0.64 * PIRE}{\pi * R^2} \quad \text{ecuacion 2.3}$$

En ocasiones las unidades que se requieren son los $\mu W/cm^2$ para ello la FCC deriva de la ecuación 2.3 un equivalente para evitar el problema de manejar las unidades adecuadas y así el PIRE puede estar en watts y R en m y el resultado será $\mu W/cm^2$.

$$S = \frac{33.4 * PIRE}{R^2} \quad \text{ecuacion 2.4}$$

5.1.5 FCC: MEDICIONES PRÁCTICAS.

La FCC recomienda que se realicen mediciones de la intensidad de campo cuando, los métodos de predicción descritos en las secciones anteriores no se puedan aplicar, para determinar si hay un potencial de exposición humana por encima de los límites especificados por la FCC, en los casos en que las predicciones son ligeramente mayor que el umbral para la exposición excesiva, según sus límites.

Para la medición de la intensidad de campo la FCC recomienda utilizar medidores de banda ancha y de banda angosta. Los medidores de banda ancha se utilizan para mediciones rápidas en un punto determinado, el resultado de esta medición es la contribución total de varias fuentes cercanas al punto. Los medidores de banda estrecha se utilizan para saber las contribuciones individuales de cada fuente en dicho punto. Según la FCC las características fundamentales que estos aparatos deben tener son las siguientes.

- Deben ser capaces de medir el campo eléctrico o el campo magnético.
- Por lo menos los resultados deben ser mostrados en unidades de V/m o W/m^2 .
- La respuesta del instrumento debe ser independiente de la orientación del sensor o antena.
- El instrumento debe poder operar con batería, y de preferencia controlado a distancia.

- El instrumento debe ser capaz de calcular el promedio de una medición realizada durante un periodo corto de tiempo.
- El instrumento debe ser capaz de medir valores rms independientemente de la modulación del sistema.

Antes de comenzar una medición la FCC sugiere en su metodología, recopilar información necesaria de la zona o lugar bajo evaluación.

- La frecuencia y la potencia máxima de transmisión de la estación o fuente de radiación RF, tipo de modulación del sistema.
- Identificar las aéreas accesibles al público en general.
- Si la antena es direccional identificar el lóbulo principal de radiación.
- Identificar zonas donde estén cerca superficies que reflejantes y puedan intensificar la intensidad de la señal.
- Para el caso de servicio de AM se debe medir el campo eléctrico y el magnético individualmente.
- Para frecuencias entre 30 y 300 MHz se puede medir solamente uno de estos campos o la densidad de potencia.
- Cuando la situación se presenta con múltiples fuentes de de emisión como por ejemplo radio AM, FM, telefonía celular, etc. Se deben utilizar tanto medidores de banda ancha como analizadores de espectro para caracterizar muy bien la zona.

5.2 IEEE: PREDICCIÓN TEÓRICA Y MEDICIONES DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.

La IEEE en su estándar C95.3 [13] sugiere que para la medición en campo cercano, la instrumentación de medición debe tener las características siguientes:

- El instrumento debe tener una batería con duración de al menos 8 horas, dicha batería debe tener protección contra los campos externos que se están midiendo.
- Debe ser capaz de utilizar sensores de diferentes tipos, tanto para campo eléctrico como para campo magnético.
- El instrumento debe mostrar lecturas de uno o más de los siguientes parámetros.
 - En condiciones de onda plana la densidad de potencia en watts por metro cuadrado (W/m^2) o en mili watts por metro cuadrado (mW/m^2).
 - El cuadrado de la intensidad de campo eléctrico en voltios cuadrados por metro cuadrado (V^2/m^2).
 - El cuadrado de la intensidad de campo magnético en amperios cuadrados por metro cuadrado (A^2/m^2).
 - Intensidad de campo en voltios por metro (V/m) o amperios por metro (A/m).

- El instrumento debe ser capaz de configurarse para guardar mediciones realizadas automáticamente.
- Tanto el instrumento, el sensor (antena), los cables de acoplamiento, etc. Deben tener una protección o blindaje para evitar errores de medición fuera del rango dado por el fabricante.
- El medidor debe ser capaz de medir los valores rms de la señal independientemente de su modulación.
- El fabricante debe especificar si la exactitud del instrumento incluye los efectos de radiación ionizante, radiación solar, efecto corona, efecto de intermodulación, etc.
- El *tiempo de respuesta*³⁵ del instrumento debe ser menor a 1 segundo.
- El medidor debe ser inmune a cargas de estática.
- Las especificaciones del instrumento deben incluir la capacidad del mismo para responder a campos tales como a la amplitud modulada (AM), señales de radar, de impulsos, así como a múltiples fuentes de señales, etc.
- El instrumento debe estar debidamente calibrado por personal capacitado en esta rama.
- El instrumento debe ser portátil, de tamaño adecuado para ser utilizado solo con las manos y con un peso tal que permita su funcionamiento práctico bajo ciertas condiciones como por ejemplo, subir a una torre.
- La pantalla del instrumento y otras partes del mismo (incluyendo los componentes electrónicos) debe ser lo suficientemente resistente para soportar vibraciones e impactos causados por el transporte. Un estuche sería conveniente.
- El medidor debe poseer un o más de las siguientes funciones especiales:
 - Función de retención máximo, que indique la lectura máxima medida durante un periodo de tiempo.
 - Señal audible que indique cuando una medición ha excedido el nivel máximo de exposición programado en el aparato.
 - Función de registro que pueda proporcionar un valor máximo o mínimo de una medición.
 - Una función para proporcionar el valor promedio de una medición durante un periodo de tiempo programado por el usuario.
 - Una interfaz analógica o digital hacia una computadora para adquisición de datos con el software adecuado.

5.2.1 IEEE: MEDICIONES PRÁCTICAS.

³⁵ El tiempo de respuesta de un instrumento se define generalmente como el tiempo requerido para que el instrumento alcance el 90% de su valor final cuando se expone a una señal escalón de energía de RF.

La IEEE en su estándar C95.3 [14] no especifica una metodología o procedimiento para la medición de campos electromagnéticos, sin embargo proporciona una serie de generalidades sobre la medición, las cuales son muy importantes y deben ser tomadas en cuenta para planificar uno. En dicho estándar la IEEE sugiere que antes de realizar una medición o estudio de campo de exposición de radiación no ionizante potencialmente peligrosa se debe tener un conocimiento sobre la fuente de emisión, dicho conocimiento permitirá una mejor estimación de la intensidad del campo esperado y, en consecuencia, una selección más adecuada de los instrumentos de prueba y procedimientos de prueba. Una lista de características de la fuente debe incluir lo siguiente:

- Tipo de generador RF de la fuente, potencia de transmisión.
- Frecuencia de portadoras.
- Características de modulación como valores picos, formas de ondas, valor promedio, etc.
- Numero de fuentes, si hay mas una fuente caracterizar cada una, siempre y cuando estén dentro del rango de medición.
- Tipos de antena y propiedades tales como, ganancia, ancho de haz, polarización del campo eléctrico y magnético, orientación, etc.
- Existencia objetos que puedan provocar la absorción o dispersión de la señal y así influir en la distribución del campo en el lugar de la prueba.

Las características principales que se deben tomar en cuenta para seleccionar el instrumento de medición son:

- Frecuencia, que es la determina el tipo de sensor que se va a utilizar.
- Que tenga un tiempo de respuesta menor a 1 segundo.
- Que posea un supresor de picos para evitar daños al instrumento.
- Un sensor isotrópico, para que el instrumento pueda medir independientemente de la polarización de la señal.
- El personal debe tomar las medidas de seguridad necesarias para realizar mediciones,
- Se deben tomar en cuenta peligros no asociados con la radiación RF, que pueden presentarse en el lugar de la evaluación, como por ejemplo riesgos por electrocución, exposición a rayos X, quemaduras, caídas desde sitios altos, etc.
- Evitar el contacto con cualquier superficie metálica mientras se realicen las mediciones, para evitar posibles quemaduras debido a corrientes por contacto.
- Si la medición requiere que el técnico se acerque a transmisores y antenas, el aparato medidor debe estar configurado de manera tal que proporcione una alerta para indicar al operador cuando se ha sobrepasado el límite de exposición.

5.2.1 CONDICIONES DE CAMPO LEJANO Y UNA SOLA FUENTE:

- La reflexión de la señal puede provocar la perturbación de la misma, dando una señal no uniforme (onda no plana), particularmente a frecuencias sobre los 300 MHz. Para

obtener una medición aceptable en estos casos, se debe medir sobre una superficie de 1 o 2 m², el promedio de estas mediciones será el valor que se debe tomar en cuenta para la comparación con los límites.

- Las mediciones deben realizarse a más de 20 cm o tres veces la longitud del sensor de cualquier superficie metálica, para evitar interferencia en la señal.
- Incluir en el reporte de medición la incertidumbre del instrumento y la fecha de calibración del mismo.

5.2.2 IEEE: ESTÁNDAR C95.7

El estándar C95.7 es un complemento del C95.3, en dicho documento se encuentran generalidades y criterios de medidas de seguridad que deben ser tomadas a la hora de realizar una evaluación práctica (mediciones) de campos RF, se pueden resumir como sigue:

- La instrumentación para medir debe estar debidamente calibrada, por un laboratorio o personal capacitado, debe incluir el certificado de calibración para asegurar su correcto funcionamiento y debe ser recalibrado periódicamente.
- Se debe tener cuidado con los aparatos de medición ya que pueden ser afectados por campos de bajas frecuencias, múltiples fuentes de radiación, señales de amplitud modulada, etc. estos factores inciden en la exactitud del aparato. El fabricante debe certificar que su instrumento está o no protegido de todos o de algunos de estos factores.
- La medición o evaluación de campos RF requiere un conocimiento de los efectos de la exposición en el área ocupada por las personas, por ejemplo en algunos casos puede ser más conveniente medir corrientes inducidas en el operador (por ejemplo, con selladores de calor RF y calentadores de inducción), o corrientes de contacto que incurrir cuando las personas tocan objetos de metal que se encuentran en las proximidades de fuentes de alta potencia y baja frecuencia como las torres de sistemas de radio AM que densidad de potencia.
- El personal técnico que realice las mediciones debe utilizar equipo de protección cuando las condiciones las requiere, el equipo de protección puede incluir guantes, ropa (overol) que incluya capuchas blindadas para la cabeza, medias (calcetas) conductoras y calzado conductor si se necesita una efectiva puesta a tierra o calzado aislante para evitar cargas excesivas en el cuerpo.
- El personal encargado de las operaciones en aéreas donde la exposición a campos RF (corrientes inducidas, voltajes por contacto) puedan superar los límites, deben de recibir una capacitación sobre seguridad ante dicha exposición. Dicha capacitación debe estar acorde con el tipo de exposición.
- Las empresas deben informar a sus técnicos o personal sobre la sensibilidad que puedan tener ciertos implantes médicos a la radiación RF. Algunos aparatos médicos, como marcapasos, desfibriladores y sistemas de administración de fármacos pueden presentar un funcionamiento incorrecto cuando se someten a fuertes campos de RF.

- Se debe tener en mente el potencial que tienen los campos RF para detonar lo que se conoce como electro-explosivos³⁶, incendiar materiales energéticos, o explosivos. Estos riesgos es probable que surjan en las proximidades de las antenas de transmisión.

5.3 UIT: METODOLOGÍA DE PREDICCIÓN TEÓRICA Y DE MEDICIÓN.

La UIT en su recomendación *UIT-R P.529-3* proporciona métodos estadísticos (curvas), que se pueden utilizar para predecir la intensidad de campo eléctrico para servicios en el rango de 30 MHz a 250 MHz, y para servicios que se encuentran en la frecuencia de 400 MHz y 900 MHz. Si embargo la UIT aclara que estos métodos deben de utilizarse solo para predecir la intensidad de campo en la etapa de diseño de un sistema de transmisión, no para evaluación de límites de exposición. No obstante se considera importante mencionarlos ya que están relacionados a los servicios estudiados en este trabajo.

Las figs. 1, 2 y 3 en la recomendación representan las curvas de propagación sobre terreno rural, válidas para frecuencias comprendidas, aproximadamente, entre 30 y 250 MHz, correspondientes a antenas de estaciones base celulares de 1.5 m de altura, h_2 , y antenas de estaciones transmisoras con alturas, h_1 , comprendidas entre 10 y 600 m. Estas curvas son para zonas rurales. Los valores de la intensidad de campo deben ser reducidos en 3 dB para las zonas suburbanas y en 5 dB para las zonas urbanas, con correcciones suplementarias para las coberturas locales del terreno. Estas curvas están estandarizadas para una potencia radiada aparente (PRA)³⁷ de 1 kW.

En las figs. 4 y 5 se presentan curvas para frecuencias de 450 y 900 MHz, correspondientes a antenas de estaciones base celulares de 1.5 m de altura, antenas de estaciones de base de alturas comprendidas entre 30 y 1 000 m, para el 50% de las ubicaciones y el 50% del tiempo. Estas curvas particulares se han obtenido a partir de mediciones realizadas en zonas urbanas del Japón. Las curvas son como la que se muestra en la figura 2.11

Ademas del metodo descrito, la UIT recomienda que antes de realizar una evaluación teórica o mediciones prácticas a una instalación transmisora de campos RF recopilar información básica con el objeto de conocer las características de la misma, para ello debe considerarse lo siguiente:

- La potencia máxima del sistema de antena, o sea la potencia isotrópica radiada PIRE.

NOTA: *Se debe calcular PIRE máxima para la potencia media del transmisor. Para la mayoría de las fuentes, la potencia media del transmisor es la potencia nominal del transmisor (atribuida). Sin embargo, hay excepciones. Por ejemplo, la potencia media del transmisor es menor que la potencia nominal del transmisor para la TV analógica, y es mayor que la potencia nominal del transmisor para AM.*

- La frecuencia de operación de la estación.

³⁶ Estos dispositivos pueden ser detonadores eléctricos y mechas, que suelen ser utilizados por el ejercito, los detonadores empleados en para demolición de edificios, para excavaciones, etc.

³⁷ Es el producto de la potencia suministrada a la antena por la ganancia de antena, en una dirección dada, relativa a un dipolo de media onda dada en watts. Esta potencia se relaciona con el PIRE de la siguiente forma: $PRA = PIRE \div 1.64$.

- Y diversas características de la instalación, como la ubicación de la antena, altura de la antena, dirección del haz, inclinación del haz y la evaluación de la probabilidad de que una persona pueda estar expuesta al campo electromagnético proveniente de dicha antena.

Otro aspecto de las recomendaciones de la UIT es que clasifica a las fuentes e emision de radicaion no ionizante de RF como: Intensionales y No intensionales. Las fuentes no intensionales son quellas que pueden producir campos electromagneticos debido a emisiones no deseadas fuera de la banda útil de transmisión, estas no necesitan evaluación alguna ya que esta comprobado que no sobrepasan los limites de exposicion. Las fuente intensionales son aquellas que utilizan los campos electromagnéticos para transmision de señales y puede o no haber la necesidad de evaluar sus emisiones y comprobar que esten por debajo de los límites de exposición. Para fuentes de radiación RF intensionles La UIT recomienda una evaluacion de riesgos según la zona de exposición como muestra la figura 2.13. El objetivo de la evaluación es clasificar la exposición potencial a campos electromagnéticos:

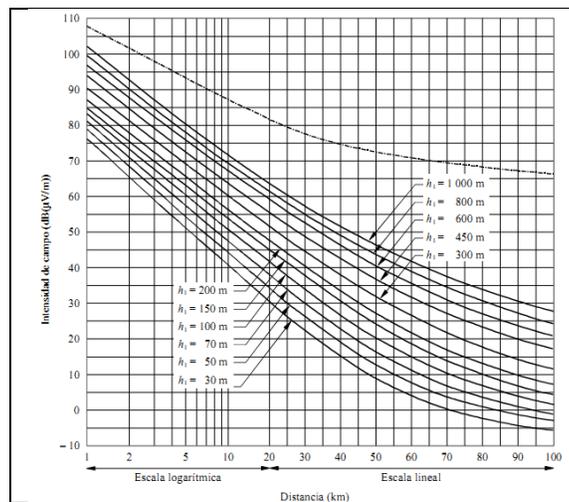


Figura 2.12: Curva obtenida de la recomendación UIT-R P.529-3 (figura 4). Para frecuencia de 400 MHz [75].

Zona de conformidad: en esta zona la exposición potencial está por debajo de los límites aplicables a la exposición ocupacional/controlada y a la exposición no controlada del público en general.

Zona de ocupación/ocupacional: en esta la exposición potencial está por debajo de los límites aplicables a la exposición controlada/ocupacional, pero sobrepasa los límites aplicables a la exposición no controlada del público en general.

Zona de rebasamiento: en esta zona la exposición potencial al EMF sobrepasa los límites aplicables a la exposición controlada/ocupacional y a la exposición no controlada del público en general.

Además de la clasificación de riesgos anterior, la UIT recomienda clasificar las estaciones emisoras de campos electromagnéticos como:

- **Instalaciones Inherentemente conformes:** Las fuentes inherentemente seguras producen campos que cumplen los límites de exposición pertinentes a pocos centímetros de la fuente. No son necesarias precauciones particulares.
- **Instalaciones Normalmente conformes:** las instalaciones normalmente conformes contienen fuentes que producen campos electromagnéticos que puede sobrepasar los límites de exposición pertinentes. Sin embargo, la zona de rebasamiento de estas fuentes no es accesible a las personas en condiciones normales.
- **Instalaciones Provisionalmente conformes:** estas instalaciones requieren medidas especiales para conseguir esta conformidad, lo cual incluye la determinación de las zonas de exposición y las medidas presentadas en la cláusula 9 de la recomendación UIT-T K.52.

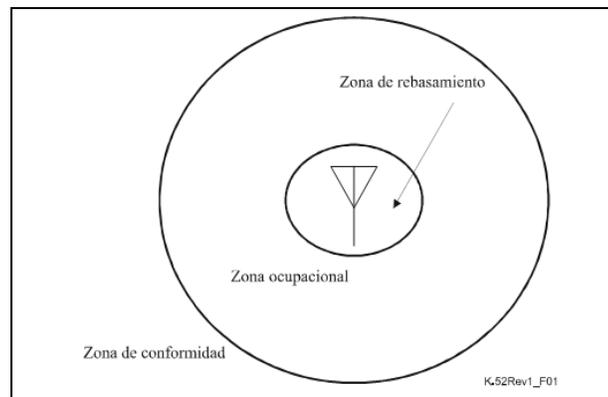


Figura 2.13: Zona de exposición según la UIT para estaciones o fuentes de emisión intensionales [74].

Para la región de campo lejano se puede calcular la densidad de potencia con la siguiente ecuación y el esquema que muestra la figura 2.13.

$$S(R, \theta, \varphi) = \frac{PIRE}{4\pi} \left[f(\theta, \varphi) \frac{1}{R} + \rho f\left(\theta', \varphi', \frac{1}{R'}\right) \right] \quad \text{ecuacion 2.5}$$

Donde:

S(R, θ, φ): es la densidad de potencia en W/m².

f(θ, φ): se obtiene del diagrama de radiación de la antena (un numero entre 0 y 1).

ρ : es el valor absoluto (módulo) del coeficiente de reflexión y tiene en cuenta la onda reflejada por el suelo. En algunos casos puede bloquearse la exposición a la onda reflejada, por lo que ρ debe fijarse a 0.

R : es la distancia entre el punto central de la fuente radiante y la supuesta persona expuesta.

R' : es la distancia entre el punto central de la imagen de la fuente radiante y la supuesta persona expuesta.

A nivel próximo al suelo, los valores de las variables primas son aproximadamente iguales a las que:

$$S(R, \theta, \varphi) = (1 + \rho)^2 \frac{PIRE}{4\pi R^2} F(\theta, \varphi) \quad \text{ecuacion 2.6}$$

Donde:

$F(\theta, \varphi)$: Es la ganancia numérica relativa de la ganancia con respecto a un radiador isótropo (número positivo entre 0 y 1).

Para múltiples fuentes de emisión de radiación la UIT recomienda utilizar las siguientes ecuaciones:

$$\sum_{i=100kHz}^{1MHz} \left(\frac{E_i}{c}\right)^2 + \sum_{i>1MHz}^{300GHz} \left(\frac{E_i}{E_{l,i}}\right)^2 \leq 1 \quad \text{ecuacion 2.7}$$

$$\sum_{j=100kHz}^{1MHz} \left(\frac{H_j}{d}\right)^2 + \sum_{j>1MHz}^{300GHz} \left(\frac{H_j}{H_{l,j}}\right)^2 \leq 1 \quad \text{ecuacion 2.8}$$

Donde:

E_i es la intensidad de campo eléctrico a la frecuencia i .

$E_{l,i}$ es el límite de referencia a la frecuencia i .

H_j es la intensidad de campo magnético a la frecuencia j .

$H_{l,j}$ es el límite de referencia a la frecuencia j .

c 610 / f V/m para la exposición ocupacional y 87 / $f^{1/2}$ V/m para exposición del público en general, f en esta en MHz.

d 1.6 / f A/m para la exposición ocupacional y 0.73 / f A/m para exposición del público en general, f esta en MHz.

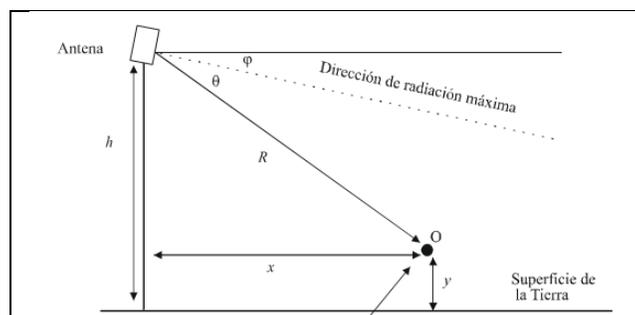


Figura 2.14: Esquema para las ecuaciones 2.6 y 2.7 obtenido de la recomendación [56]

5.3.1 Metodología de medición práctica.

La UIT en su documento *UIT-T K.52* presenta generalidades y criterios que se deberían de tomar en cuenta para facilitar un procedimiento para evaluar el cumplimiento de los límites de seguridad para la exposición de las personas ante radiación electromagnética. Los pasos necesarios para lograr este cumplimiento son los siguientes:

Identificar los límites que se van a emplear para comparación, en muchos casos los organismos reguladores o normalizadores locales o nacionales publican los límites de seguridad a campos electromagnéticos, si no existen estos límites o si no cubren las frecuencias de interés, deben utilizarse los límites de la ICNIRP.

Si la evaluación indica que pueden sobrepasarse los límites de exposición pertinentes en zonas donde puede haber personas, deben aplicarse medidas para reducir/evitar esa exposición.

Las cantidades que debería medirse es el SAR, pero dado su dificultad fuera de laboratorios, se pueden medir cantidades derivadas como la intensidad de campo eléctrico, la intensidad de campo magnético y la densidad de potencia.

La información necesaria de las características de fuente de emisión para realizar las mediciones debe ser: frecuencia de trabajo, potencia de transmisión, diagramas de radiación de la antena o antenas. En el caso que se desconozca las características de la fuente, se debe realizar una medición en todo el espectro de frecuencias.

Como las normas de exposición especifican los límites de exposición de las personas, debe considerarse el efecto del propio cuerpo. Como lo muestra la figura 2.14. Estos tipos de efectos, especialmente a las frecuencias de microondas, pueden dar lugar a una sobreestimación del campo durante las mediciones.

Al realizar las mediciones se debe tener en cuenta la máxima potencia de transmisión de la fuente, para el caso de sistemas con potencia de transmisión variable, como los del servicio telefónico celular, no se puede saber con exactitud la potencia a la que están transmitiendo, entonces deben realizarse mediciones a horas donde se considere mayor tráfico.

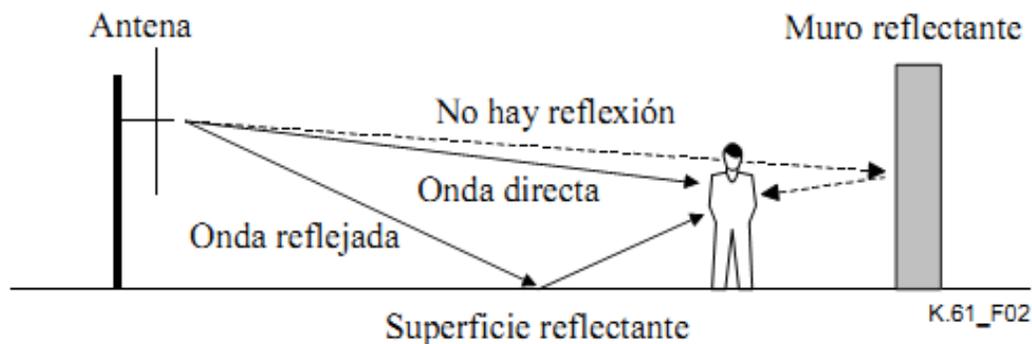


Figura 2.15: Diagrama obtenido del documento de la [56].

Los equipos de medición recomendados son de dos tipos: de banda ancha y banda estrecha. Los de banda ancha se deben utilizar para caracterizar el campo electromagnético debido a

varias fuentes en un punto de evaluación, los de banda estrecha se utilizan para caracterizar cada una de las componentes de frecuencias en dicho punto. Los medidores deben ser capaces de medir intensidad de campo magnético, intensidad de campo eléctrico y densidad de potencia.

Los efectos de múltiples fuentes con distintas frecuencias de trabajo cada una deben considerarse de acuerdo con las recomendaciones de la ICNIRP o la norma de exposición a campos de RF que se aplica. Sin embargo se pueden considerar como una suma ponderada, donde cada una de las fuentes se evalúa de conformidad con el límite aplicable a su frecuencia.

El sensor debe ser isotrópico y no polarizada, o sea debe medir independientemente de la dirección del mismo e inmune a la modulación y polarización de la señal que está midiendo.

5.4 NORMATIVA ESPAÑOLA

Esta normativa es una combinación de varios documentos hechos por diferentes organismos entre los cuales los más importantes son el Ministerio de Ciencia y Tecnología que es una entidad legislativa y es la encargada de administrar todo lo referente a leyes, la parte técnica en el área de las telecomunicaciones en España y el Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones (COIT). No se abordó anteriormente porque no es una normativa de carácter internacional ya que su aplicación es solo a nivel nacional, sin embargo se considera importante porque ha desarrollado metodologías bien detalladas para la medición de campos electromagnéticos de radiofrecuencia, basados en la documentación de la FCC. En el documento del **Emisiones Radioeléctricas: Normativa, Técnica de Medida y Protocolos de Certificación [6]**, se encuentran métodos de predicción teórica para calcular las distancias de seguridad para antenas directivas del servicio de telefonía celular, procedimientos para medición práctica de campos RF para validar estaciones base de telefonía celular, los cuales pueden ser adaptados para medir campos RF de servicios de radio FM y TV.

5.4.1 MÉTODOS TEÓRICOS DE PREDICCIÓN Y DISTANCIAS DE SEGURIDAD.

La normativa Española tiene variaciones debido a que cada región la aplica diferente, o adoptan su propia normativa, no obstante siempre basados en el *Real Decreto 1066/2001* que a su vez se basa en la normativa de la ICNIRP y FCC, así la figura 2.11 muestra las diferencias que existen en cuanto niveles de exposición para el público en general, adoptados por las regiones más importantes para compararla con las definidas por el *Real Decreto 1066/2001*.

Donde:

La frecuencia f esta en MHz.

Además existe normativa específicamente para el caso de la telefonía celular, de los servicios de 900 MHz, 1800 MHz y 2000 MHz, en zonas consideradas sensibles, como se muestra en la tabla 2.19. De estas tablas anterior se ve que en Castilla-La Mancha el valor máximo de densidad de potencia queda establecido en $0.1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ para todo el rango de frecuencias; un nivel bastante bajo en comparación con las otras regiones, posiblemente aplican el principio de

precaución; en Cataluña y Navarra definen restricciones tan sólo en el caso de centros escolares.

Frecuencia		Castila y León	Catilla-La Mancha	Cataluña	La Rioja	Navarra	Real Decreto 1066/2001
1- 400 MHz	E(V/m)	28	19	19	28	19	28
	H(A/m)	2	0.05	0.05	0.073	0.05	0.073
	S(W/m ²)	1.372*f ^{1/2}	0.9	0.9	2	0.9	2
400 - 2000 MHz	E(V/m)	1.375*f ^{1/2}	0.9*f ^{1/2}	0.9*f ^{1/2}	1.375*f ^{1/2}	0.9*f ^{1/2}	1.375*f ^{1/2}
	H(A/m)	0.0037*f ^{1/2}	0.0025*f ^{1/2}	0.0025*f ^{1/2}	0.0037*f ^{1/2}	0.0025*f ^{1/2}	0.0037*f ^{1/2}
	S(W/m ²)	f/200	f/450	f/450	f/200	f/450	f/200
2 - 3 GHz	E(V/m)	61	41	41	61	41	61
	H(A/m)	0.16	0.1	0.16	0.1	0.1	0.16
	S(W/m ²)	10	4.5	4.5	10	4.5	10

Tabla 2.18³⁸: Límites de exposición para el público en general según diferentes regiones en España.

Frecuencia	Castila y León	Catilla-La Mancha	Cataluña	La Rioja	Navarra	Real Decreto 1066/2001
900 MHz	337.5 μ W/cm ²	0.1 μ W/cm ²	En centros escolares se aplica una distancia de 4 veces superior a la establecida en condiciones normales	45 μ W/cm ²	En centros escolares quedan prohibidas las instalaciones de telefonía celular.	Las estaciones radioeléctricas deben minimizar, en la mayor medida posible, los niveles de emisión sobre zonas consideradas sensibles.
1800 MHz	675 μ W/cm ²			90 μ W/cm ²		
2000 MHz	750 μ W/cm ²			1000 μ W/cm ²		

Tabla 2.19³⁹: Niveles de exposición para el público en general en zonas consideradas sensibles.

³⁸ Datos obtenidos del documento *Emisiones Radioeléctricas: Normativa, Técnica de Medida y Protocolos de Certificación Cuaderno 01/2008*.

Otro ejemplo, que no aparece en las tablas, es el correspondiente al Ayuntamiento de Zaragoza, que establecen como límite máximo de densidad de potencia un valor de 0.1 W/m^2 para todas las frecuencias. Así mismo, establecen que no podrá existir ninguna estación de telefonía móvil situada a menos de 100 metros, medidos horizontalmente, de guarderías, centros educativos y centros de atención médica, a pesar de que no califica dichos lugares explícitamente como espacios sensibles. En la comunidad Valenciana, la normativa, hace referencia a los espacios sensibles y prohíbe que los lóbulos principales de las antenas apunten hacia ellos.

Cabe señalar que, la comunidad española busca que los límites de exposición sean únicos para todo el territorio y se fijen o modifiquen siguiendo las recomendaciones de la Unión Europea, la Organización Mundial de la Salud y aquéllas que puedan surgir de instituciones españolas.

5.4.2 DISTANCIAS DE PROTECCIÓN

En la mayoría de normativa técnica se define una zona de restricción en las proximidades de la antena, o de la estación radiante, en cuyo interior no puede existir acceso o permanencia de personas sin protección. Sobre esto la normativa Española varía de acuerdo a la región pero todas toman los siguientes criterios, tipo de antena, si es direccional u omnidireccional, las potencias de transmisión, tipo de servicio, etc. En la normativa catalana se definen volúmenes de protección dependiendo de la potencia radiada o PIRE y del tipo de antena aplica lo siguiente, dichos volúmenes tienen un margen de seguridad a las establecidas en condiciones normales necesarias, para asegurar que se cumplan los niveles de exposición considerados anteriormente:

- Para potencias radiadas menores de 100 watts no hay necesidad de mantener ninguna distancia de protección.
- Para potencias superiores a 100 watts y menores de 1000 watts y antenas sectoriales, el área de protección vendrá dada en forma de paralelepípedo de dimensiones $a = 10 \text{ m}$, $b = 4 \text{ m}$ y $c = 6 \text{ m}$:

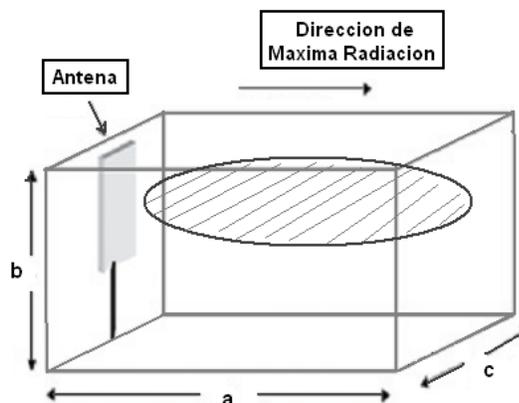


Figura 2.16: Paralelepípedo de protección [6].

³⁹ Datos obtenidos del documento *Emisiones Radioeléctricas: Normativa, Técnica de Medida y Protocolos de Certificación Cuaderno 01/2008*.

- Para potencias radiadas superiores a 1000W, o para el resto de antenas, el volumen consiste en una esfera cuyo radio depende de la potencia radiada según se indica en la tabla 2.20.

El caso de Santa Cruz de Tenerife, la normativa municipal asigna un paralelepípedo de protección para antenas sectoriales como las utilizadas en las estaciones base de telefonía celular y un cilindro de protección para antenas omnidireccionales, también como las utilizadas en células del servicio de telefonía móvil.

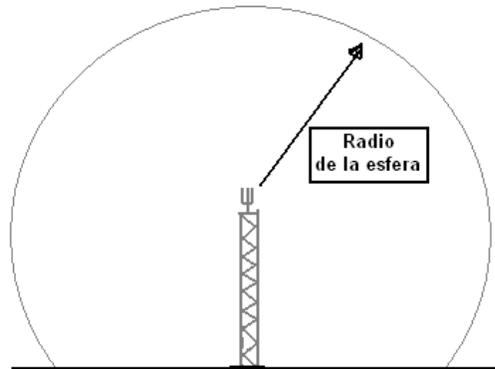


Figura 2.17: Esfera de protección.

Suma de PIRE´s en la dirección de máxima radiación (W)	Radio de la esfera (m)	Suma de PIRE´s en la dirección de máxima radiación (W)	Radio de la esfera (m)
1001 – 2500	15	100001 – 250000	90
2501 – 5000	20	250001 – 500000	150
5001 – 10000	25	500001 - 1000000	200
10001 - 50000	45	Más de 1000000	250

Tabla 2.20⁴⁰: Radio de la esfera de protección según normativa Catalana [6].

⁴⁰ Datos obtenidos del documento *Emisiones Radioeléctricas: Normativa, Técnica de Medida y Protocolos de Certificación Cuaderno 01/2008*.

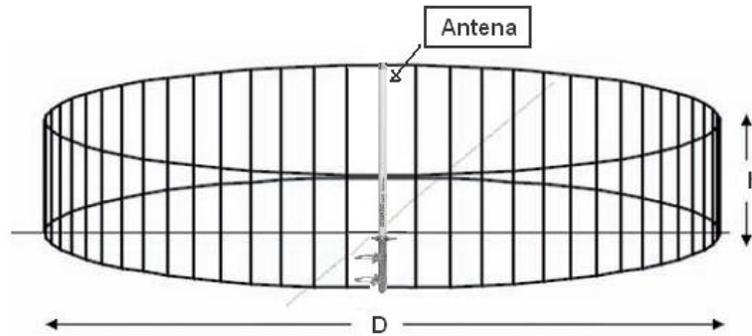


Figura 2.18: Cilindro de protección.

En cambio, la normativa de La Rioja, no define volúmenes de protección, sólo distancias en la dirección de máxima radiación, como se indica en la Tabla 2.11.

Potencias	Frecuencias			
	10 – 862 MHz	862 – 1700 MHz	1700 – 2000 MHz	2 – 300 GHz
	Distancias en metros			
Menores a 10 W	0	0	0	0
10 W – 50 W	1	1	1	1
50 W – 100 W	2	1.5	1	1
100 W – 200 W	3	2	1.5	1
200 W – 500 W	5	3	2	2
500 W – 1 kW	7	5	3	3
1 kW – 2 kW	9	6	5	4
2 kW – 5 kW	14	10	7	6
5 kW – 10 kW	20	14	10	9
10 kW – 20 kW	28	20	14	13
20 kW – 50 kW	45	31	17	20
50 kW – 100 kW	63	43	31	28
100 kW – 200 kW	90	61	44	40

Tabla 2.21: Distancias de protección según la normativa de La Rioja [6].

Tipo de antena	Dimensiones del volumen de protección para potencias desde 100 W a 300 W.
Omnidireccional de baja ganancia	Cilindro: D= 3 m y h = 2 m
Direccional/Sectorial de alta ganancia	Paralelepípedo: a=4 m, b=2 m y c=1.5 m

Tipo de antena	Dimensiones del volumen de protección para potencias desde 300 W a 1000 W.
Omnidireccional de baja ganancia	Cilindro: D= 8 m y h = 4 m
Direccional/Sectorial de alta ganancia	Paralelepípedo: a=12m, b=4 m y c=6 m

Tabla 2.22: Dimensiones de los volúmenes de protección [6].

Para calcular las distancias de protección para el servicio de AM, la normativa Española sugiere el método de la FCC [74].

Además de las distancias de seguridad o volúmenes de protección explicados, el COIT propone ecuaciones y métodos para calcular dichos volúmenes o distancias para casos particulares, que pueden ser aplicados a estaciones base ubicadas en azoteas del servicio de telefonía celular y se explican de la siguiente manera.

- Se debe recopilar la siguiente información de la estación base: potencia de transmisión (PIRE) en watts, frecuencia de operación, diagramas de radiación de las antenas o antenas utilizadas.
- El paralelepípedo de protección se basa en el esquema de la figura 2.18.

Donde:

$$L_{m1} = D_{max}$$

$$L_{m2} = D_{max} \cdot \sqrt{(G\theta_A) \cdot \cos(\theta_A)}$$

$$L_H = 2 \cdot D_{max} \cdot \sqrt{(G\theta_H) \cdot \sin(\theta_H)}$$

$$L_V = D_{max} \cdot \sqrt{(G\theta_{V1}) \cdot \sin(\theta_{V1})} + D_{max} \cdot \sqrt{(G\theta_{V2}) \cdot \sin(\theta_{V2})}$$

D_{max} es la distancia de referencia y $G\theta$ es la ganancia leída en el diagrama de radiación como se muestra en la figura 2.19 y 2.20 determinada por los ángulos θ_A , θ_H , θ_{V1} , θ_{V2} . Hay que resaltar que el diagrama de radiación debe estar normalizado a la ganancia máxima de la antena en watts y no en dB. No obstante, puede utilizarse el diagrama de radiación en dB y los errores serán insignificantes.

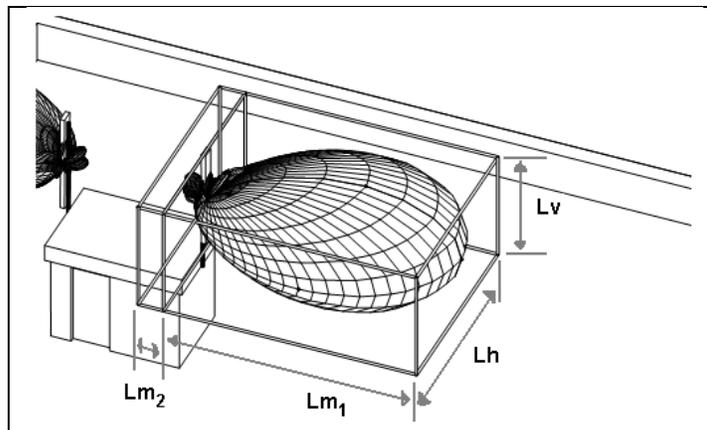


Figura 2.19: Paralelepípedo de protección para una antena montada en una azotea.

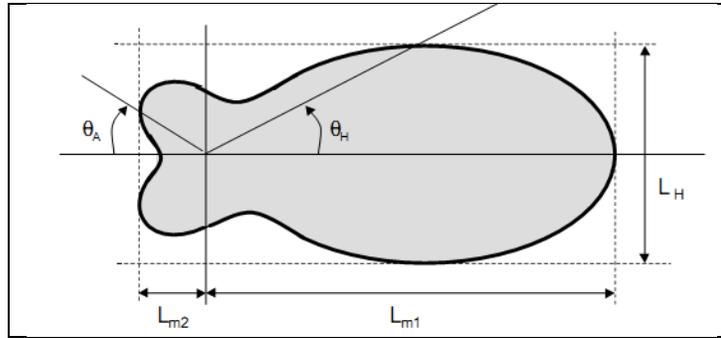


Figura 2.20: Plano horizontal del diagrama de radiación de la antena.

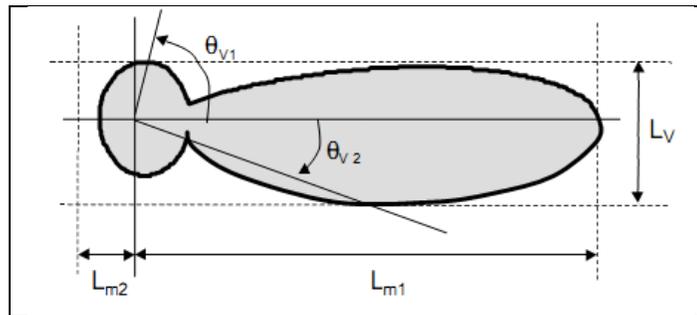


Figura 2.21: Plano vertical del diagrama de radiación de la antena.

- El cálculo de D_{max} de debe realizar con la siguiente ecuación.

$$D_{max} = \left[\frac{PIRE}{4 \cdot \pi \cdot S_{max}} \right]^{1/2} \text{ ecuacion 2.9}$$

Donde:

S_{max} : límite de exposición para la frecuencia de trabajo.

5.4.3 MÉTODOS PARA MEDICIONES PRÁCTICAS DE CAMPO.

Para la medición de campos electromagnéticos de radiofrecuencia la normativa de España tiene un procedimiento bastante detallado en el cual se especifican las características de medidores a utilizar, criterios para escoger los puntos de medición, descripción de posibles problemas que se pueden presentar a la hora de realizar las medidas, etc. Debido a esto se considera que este procedimiento se puede tomar como base para la propuesta metodológica de este trabajo.

Entonces este procedimiento considera lo siguiente que el objetivo de las mediciones es verificar si los niveles de intensidad de campo electromagnético y la densidad de potencia en un punto determinado no sobre pase los límites fijados por las normativas internacionales y para esto la normativa española sigue realizando dos etapas de medición, la primera fase llamada *evaluación rápida del entorno* que es la menos exacta pero proporciona una medición del nivel de intensidad de campo en un punto debido a varias fuentes de emisión, la fase dos que es una medida selectiva en frecuencia que sirve para saber cuál es la aportación individual de cada

fuente de emisión y la fase tres investigación detallada la cual sirve mediciones de señales que por sus característica están fuera del rango de las que interesan en este trabajo, como las señales pulsantes de radares, por esta razón no se explica en esta sección. A continuación se describen las fases de medición propuestas por la normativa española.

5.4.3.1 FASE 1: EVALUACIÓN RÁPIDA DEL ENTORNO.

Esta fase tiene por objeto medir el nivel total de radiación en un punto determinado a cierta distancia de la estación, para ser comparada con los límites de exposición sugeridos por la misma normativa.

Para la medición el método sugiere que se utilizan aparatos de banda ancha capaces de promediar una medición hecha durante un periodo determinado, con un sensor isotrópico para medición ya sea del campo eléctrico, magnético o la densidad de potencia, o los tres si se requiere y este determina el rango de frecuencias que se va a medir. El procedimiento se describe a continuación.

- Recopilación de información de la estación emisora que se está evaluando. El método sugiere que se llene un formulario como el que muestra la figura 2.21. Esta información es necesaria para determinar qué tipo de sensor se va a utilizar, cual es el límite que debe cumplir, etc.

Tabla 30. Parámetros generales de la estación de pruebas
Frecuencia de Transmisión (MHz)
Ganancia (dBi)
Número de canales
Potencia por Canal (W)
Pérdidas cables (dB)
Pérdidas combinador (dB)

Figura 2.22: Formulario para recopilar información básica de la estación en evaluación [6].

La figura 2.21 muestra que los parámetros son especialmente para una estación base de telefonía celular, pero puede ser adaptada para propósitos generales y poder utilizarse para cualquier servicio de los estudiados en este trabajo.

- En el punto de medición previamente escogido, se deben realizar tres mediciones a diferentes alturas como se muestra en la figura 2.22. Cada medición debe ser por un periodo de 6 minutos, el técnico que realiza las medidas debe estar de preferencia lejos del medidor.
- La lectura que se debe tomar es el promedio de las mediciones en estos tres puntos y se calcula con las ecuaciones 2.1 y 2.2.

$$E_{promediado} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 E_i^2}{3}} \quad \text{ecuacion 2.10}$$

$$H_{promediado} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 H_i^2}{3}} \quad \text{ecuacion 2.11}$$

Donde:

E_i = Lectura del campo eléctrico.

H_i = Lectura del campo magnético.

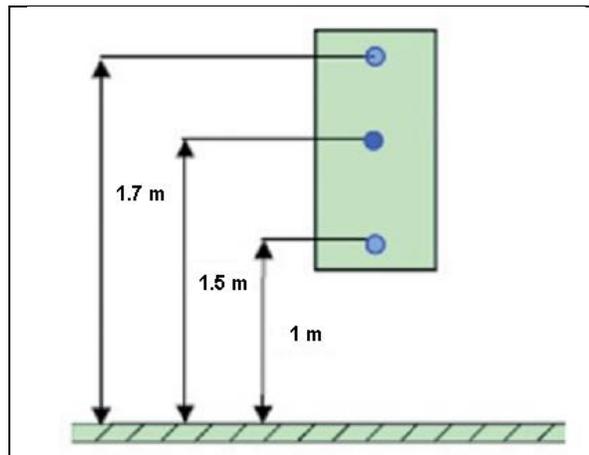


Figura 2.23: Alturas para realizar las mediciones [6].

- En esta fase, el sensor del aparato de medición es el que determina el rango de frecuencias que se miden, así que si se utilizan más de una sonda en un punto de medición la lectura final deberá ser.

$$E_T = \sqrt{\sum_{i=1}^n E_i^2} \quad \text{ecuacion 2.12}$$

$$H_T = \sqrt{\sum_{i=1}^n H_i^2} \quad \text{ecuacion 2.13}$$

Donde: n es el número de sondas utilizadas, H_i y E_i son los promedios obtenidos en el paso anterior por cada sonda.

- Las mediciones se presentan en un formulario como el que muestra la figura 2.23

- La medición en dicho punto se hace a una sola altura de 1.7 m (ver figura 2.22).
- El tiempo de medición es mayor al de la fase anterior, y debe ser hasta que las lecturas del analizador se mantengan estables.
- En cada medición para obtener el nivel de exposición de las componentes espectrales significativas, se deben considerar las que superen el nivel de decisión. Para esta fase dichos niveles están 40 dB por debajo de los valores establecidos en el *Anexo II del Real Decreto 1066/2001*. De cada lectura significativa obtenida se debe calcular el nivel de campo eléctrico E con ayuda de la siguiente expresión, en unidades logarítmicas es

$$E \text{ (dBV/m)} = N + FA + AT \quad \text{ecuación 2.14}$$

Donde:

N: nivel leído en el receptor (en dBV), realizando las conversiones oportunas si fuera necesario.

FA: factor de antena dado por el fabricante.

AT: atenuación del cable.

- Si la sumatoria de los niveles obtenidos en el paso anterior, dan como resultado que está por debajo de los niveles de decisión de la fase anterior, podrán considerarse el sistema radioeléctrico o la zona bajo estudio cumple las exigencias de la normativa.

En resumen se puede decir que existe mucha normativa y estándares relacionados con las mediciones y límites de exposición a la radiación no ionizante, y la mayoría tienen características similares, como por ejemplo, resumen las mediciones en dos fases, la medición de banda ancha y las mediciones de banda angosta, los límites utilizados son bastante parecidos, basados en los mismos efectos sobre la salud. También se puede concluir que tomar límites más bajos que los propuestos por las entidades especialista, puede traer inconvenientes a la hora de calcular las distancias de protección para las estaciones radioeléctricas, no obstante en ciertos lugares o en estepas de diseño se pueden aplicar estos límites.

CAPITULO 3

PROPUESTA METODOLOGÍA

SECCIÓN 1. CONSIDERACIONES

Los procedimientos descritos en esta sección son el resultado del análisis de la normativa internacional referente que se abordó en el capítulo 2. Dicha normativa tiene por objetivo crear un control sobre la radiación no ionizante, en especial del servicio de telefonía celular ya que como se ha venido hablando a lo largo del documento estos sistemas se encuentran en zonas densamente pobladas. Para ello es necesario realizar una evaluación general de niveles de radiación electromagnética a los que cotidianamente está expuesta la población para asegurar que cumplan con los límites establecidos por dichos organismos normalizadores.

Los límites que se recomiendan para ser tomados como base comparativa en mediciones y cálculos teóricos predictivos tiene el respaldo de la OMS y la exposición por debajo de dichos límites, en especial para el público en general, aseguran que a corto plazo no afectan la salud humana.

SECCIÓN 2. GENERALIDADES

Las mediciones de la intensidad de campo electromagnético de estaciones radioeléctricas se harán en la región de campo lejano, a excepción del servicio de radio AM que debido a las características de sus ondas esto no aplica, sin embargo los instrumentos de mediciones están diseñados para este tipo de señales y modulaciones.

Las magnitudes que se medirán son:

- Intensidad de campo eléctrico.
- Intensidad de campo magnético.
- Densidad de potencia.

Los formularios descritos en esta sección son para ejemplificar el procedimiento y algunos se mostraron de incompletos, dichos formularios aparecen tal cual son en el anexo B al final del documento.

Si el aparato de medición lo permite la intensidad de campo magnético será medido en A/m, la intensidad de campo eléctrico en V/m y la densidad de potencia puede ser medido en W/m^2 , mW/cm^2 o $\mu W/cm^2$.

En esta sección el *PIRE* (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente) es el producto de la potencia suministrada a una antena y la ganancia de dicha antena, en una dirección dada, relativa a una antena isotrópica.

Para frecuencias menores a 10 MHz se deben medir la intensidad de campo magnético y la intensidad de campo eléctrico individualmente.

En los métodos predictivos se podrán emplear cálculos teóricos con modelos matemáticos (ecuaciones) de propagación, simuladores (software de cálculo) y/o modelos experimentales, recomendados por entidades científicas, normalizadoras, como la FCC, IEEE, etc.

Para frecuencias superiores a 10 MHz se puede medir o calcular una sola cantidad y derivar las otras dos utilizando la ecuación 3.1

$$S = \frac{E^2}{3770} = 37.7 * H \quad \text{ecuacion 3.1}$$

Donde:

S: es la densidad de potencia dada en mW / cm².

E: es la intensidad de campo eléctrico dada en V / m.

H: es la intensidad de campo magnético dada en A / m.

Para frecuencias inferiores a 100 kHz el tiempo de medición será el que se crea conveniente, hasta que la medición muestre estabilidad, sin embargo no debe ser menor a 6 minutos. Para el caso del servicio de telefonía celular este tiempo puede variar, esto se explicara más adelante.

Para fuentes de radiación RF se recomienda realizar una clasificación de zonas según la exposición como muestra la figura 3.1. La zona marcada con rojo es donde la exposición a campos electromagnéticos sobrepasa los límites tanto a exposición controlada/ocupacional y a la exposición no controlada del público en general. En la zona delimitada con azul es donde la exposición está por debajo de los límites aplicables a la exposición controlada/ocupacional, pero sobrepasa los límites aplicables a la exposición del público en general. La zona después de estas es donde la exposición está por debajo de los límites aplicables a la exposición ocupacional/controlada y a la exposición del público en general.

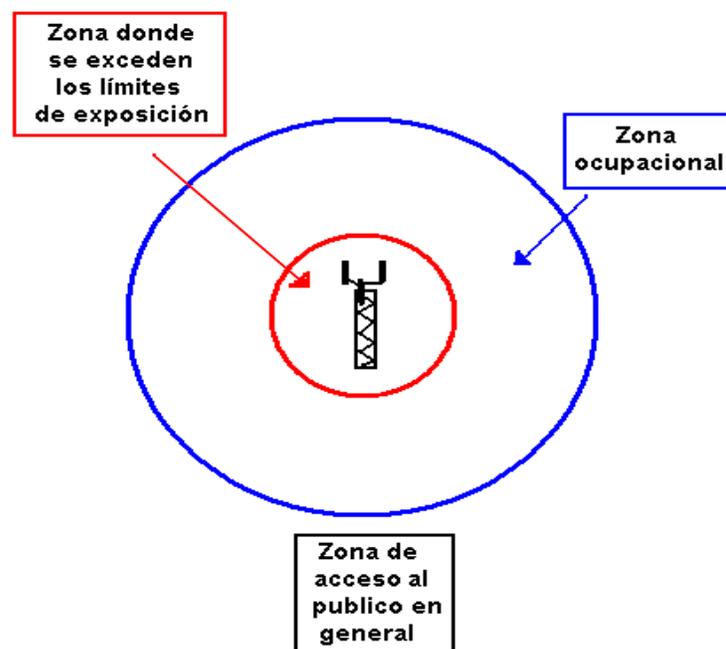


Figura 3.1: esquema que muestra la clasificación de zonas según la exposición de radiación RF.

Al realizar las mediciones se debe tener en cuenta la máxima potencia de transmisión de la fuente, para el caso de sistemas con potencia de transmisión variable, como los del servicio telefónico celular, no se puede saber con exactitud la potencia a la que están transmitiendo, entonces deben realizarse mediciones a horas donde se considere mayor tráfico.

Los efectos de múltiples fuentes con distintas frecuencias de operación cada una, se sugiere considerarlas de acuerdo con las recomendaciones de la ICNIRP o con la normativa de exposición a campos de RF que esté vigente. Sin embargo se pueden considerar como una suma ponderada, donde cada una de las fuentes se evalúa de conformidad con el límite aplicable a su frecuencia.

Si la medición requiere que el técnico se acerque a transmisores y antenas, el aparato medidor debe estar configurado de manera tal que proporcione una alerta para indicar al operador cuando se ha sobrepasado el límite de exposición.

2.1 LIMITES DE EXPOSICIÓN SUGERIDOS

Los límites de exposición propuestos para que sirvan de comparación con las mediciones y cálculos teóricos son los recomendados por la ICNIRP [1]. Dichos límites se muestran en las tablas 3.1 y 3.2 tanto para exposición controlada y para el público en general respectivamente. Donde La frecuencia f viene expresada en la misma unidad que la columna de la izquierda (margen de frecuencias).

RANGOS DE FRECUENCIAS	INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO E [V/m]	INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO H [A/m]	DENSIDAD DE POTENCIA S [W/m ²]
3 kHz – 65 kHz	610	24.4	---
0.065 MHz – 1 MHz	610	1.6 / f	---
1 MHz – 10 MHz	610 / f ^{0.5}	1.6 / f	---
10 MHz – 400 MHz	61	0.16	10
400 MHz – 2 GHz	3 * f ^{0.5}	0.008 * f ^{0.5}	f / 40
2 GHz – 300 GHz	137	0.36	50

Tabla 3.1: Límites sugeridos por la ICNIRP para exposición Ocupacional [1].

De la tabla 3.2 se han extraído los límites correspondientes a los diferentes servicios analizados en este trabajo, para una mejor comprensión y son los siguientes.

RANGOS DE FRECUENCIAS	INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO E [V/m]	INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO H [A/m]	DENSIDAD DE POTENCIA S [W/m ²]
3 kHz – 150 kHz	87	5	---
0,15 MHz – 1 MHz	87	0.73 / f	---
1 MHz – 10 MHz	87 / f ^{0.5}	0.73 / f	---
10 MHz – 400 MHz	28	0.73	2
400 MHz – 2 GHz	1.375 * f ^{0.5}	0.0037 * f ^{0.5}	f / 200
2 GHz – 300 GHz	61	0.16	10

Tabla 3.2: Límites sugeridos por la ICNIRP para exposición al público en general.

2.2 SERVICIO DE RADIO DIFUSIÓN AM COMERCIAL

Para el caso de la radio comercial AM los límites se dan en términos de la intensidad de campo eléctrico y magnético. En la tabla 3.3 aparecen tanto los límites recomendados por la ICNIRP y los límites basados en el principio de precaución.

SERVICIO DE RADIO AM		
	LIMITES SEGÚN LA ICNIRP	
RANGO DE FRECUENCIAS	E [V/m]	H [A/m]
500 kHz	87	1.4
1.7 MHz	66.7	0.4
RANGO DE FRECUENCIAS	LIMITES BASADOS EN EL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN	
500 kHz – 1.7 MHz	6	0.016

Tabla 3.3: límites para el servicio de radio AM [1].

2.3 SERVICIO DE RADIO DIFUSIÓN FM COMERCIAL

Este servicio tiene un rango de frecuencias más amplio que el de AM, sin embargo para todo el rango existe un solo límite tanto para el campo eléctrico, el magnético y la densidad de

potencia, estos límite se muestra en la tabla 3.4 junto con los que están basados en el principio de precaución.

SERVICIO DE RADIO FM				
	LIMITES ICNIRP			
FRECUENCIAS	E [V/m]	H [A/m]	S [W/m ²]	S [mW/cm ²]
87.5 MHz	28	0.73	2	0.2
108 MHz	28	0.73	2	0.2
FRECUENCIAS	LIMITES BASADOS EN EL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN			
87.5 – 108 MHz	6	0.016	0.10	0.01

Tabla 3.4: límites para el servicio de radio FM.

2.4 SERVICIO DE TELEVISIÓN INALÁMBRICA COMERCIAL

Los límites para este servicio abarcan más de una banda de frecuencias las cuales son UHF y VHF [8]. Además las frecuencias asignadas a cada canal están dispersas en dichas bandas, esto hace que establecer los límites para cada canal televisivo sea complicado, por eso en la tabla 3.5 solo se presentan los límites (exposición al público en general) para la frecuencia inferior y superior del rango en que se encuentran dichos canales, tanto para los recomendados por la ICNIRP y los que se basan en el principio de precaución.

SERVICIO DE TELEVISIÓN INALÁMBRICA COMERCIAL				
FRECUENCIAS	LIMITES ICNIRP			
	E [V/m]	H [A/m]	S [W/m ²]	S [mW/cm ²]
BANDA VHF				
54 MHz	28	0.73	2	0.2
216 MHz	28	0.73	2	0.2
BANDA UHF				
512 MHz	31.11	0.084	2.56	0.26
806 MHz	39.04	0.11	4.03	0.40
FRECUENCIAS	LIMITES BASADOS EN EL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN			
BANDA VHF	6	0.016	0.10	0.01
BANDA UHF	6	0.016	0.10	0.01

Tabla 3.5: límites para el servicio de televisión.

2.5 SERVICIO DE TELEFONÍA CELULAR

Para la telefonía celular los límites para los cuatro operadores que proporcionan este servicio y cada en el país se muestran en la tabla 3.6. Cada límite se fija a la frecuencia de operación central, por ejemplo para Claro que en nuestro país opera en las bandas que van de los 1850 MHz a 1910 MHz y 1805 MHz a 1850 MHz [8] su frecuencia central es de 1900 MHz y el límite se fija a esta frecuencia.

SERVICIOS DE TELEFONÍA MÓVIL					
LIMITES ICNIRP					
OPERADOR	FRECUENCIA [MHz]	E [V/m]	H [A/m]	S [W/m ²]	S [mW/cm ²]
Tigo	850	40.1	0.11	4.3	0.43
Movistar	850	40.1	0.11	4.3	0.43
Claro	1900	60	0.16	9.5	0.95
Digicel	900	41.3	0.11	4.5	0.45
LIMITES BASADOS EN EL PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN					
OPERADOR	FRECUENCIA [MHz]	E [V/m]	H [A/m]	S [W/m ²]	S [mW/cm ²]
TODOS LOS OPERADORES	850 – 2000	6	0.016	0.1	0.01

Tabla 3.6: límites para el servicio de telefonía celular.

SECCIÓN 3. PREDICCIONES TEÓRICAS

Los métodos predictivos permiten la evaluación teórica de la intensidad de campo o la densidad de potencia, según sea requerido, radiada por una estación o estaciones, en un punto dado a cierta distancia de ella. Hay que recordar que dichos métodos no proporcionan datos reales ya que no toman en cuenta los múltiples efectos que sufre la señal al propagarse por el aire, sin embargo las ecuaciones y métodos sugeridos en esta sección se pueden utilizar para obtener un resultado que se aproximan bastante a las condiciones reales y tiene el respaldo de entidades científicas que estudian este fenómeno.

3.1 CRITERIOS GENERALES.

- Las predicciones teóricas descritas a continuación solamente son validos para puntos ubicados en la región de campo lejano y predicen el peor de los casos, sin embargo pueden utilizarse en para predecir la intensidad de campo en la región de campo cercano pero proporcionan resultados sobreestimado (más altos que los verdaderos).

- Se debe tener cuidado con las unidades que maneja el método de propagación escogido y las unidades en las que se deben presentar los resultados.
- Se recomienda que los cálculos de predicción teóricos deben ser aplicados en las fases de diseño o cuando se considere necesario realizar una estimación de la cantidad de radiación en un sitio.
- Para sistemas de televisión inalámbrica y radio difusión FM solo basta con calcular la densidad de potencia y luego si se requiere el campo eléctrico o el campo magnético se puede utilizar la ecuación 3.1 para obtener estas cantidades.
- Se puede utilizar cualquier software matemático para realizar las operaciones necesarias.

3.2 ECUACIONES RECOMENDADAS.

Para calcular la distancia para cual comienza el campo lejano se utilizara la ecuación siguiente.

$$L = 2 * \frac{D^2}{\lambda} \quad \text{ecuacion (3.2)}$$

Donde:

D: Es la dimensión mayor de la antena en metros.

L: distancia que delimita la región de campo cercano y la región de campo lejano en metros.

λ : es la longitud de onda de la señal metros.

Para el cálculo y medición de la exposición al nivel del suelo por a una fuente (antena) elevada ($h \geq 3$ metros) de radiación RF se utiliza el esquema que muestra la figura 3.2.

Donde:

h : es la altura de la torre (antena) medida en metros desde el nivel del suelo.

x : distancia en metros desde la torre al punto de medición.

R : distancia desde el centro de radiación hasta el punto de medición en metros o kilómetros.

Para el cálculo de R según el esquema de la figura 3.2 se debe utilizar la siguiente ecuación.

$$R = \sqrt{x^2 + (h - h_1)^2} \quad \text{ecuacion (3.3)}$$

Donde:

R : se da en metros.

h_1 : altura de la medición (2 m).

Para el caso donde la fuente de radiación sea una sola (sitio mono-antena), la predicción de densidad de potencia se puede realizar utilizando las ecuaciones recomendadas por la FCC [73]. La cual incorpora reflexiones en tierra dando como resultado la situación más crítica (ecuación 3.4).

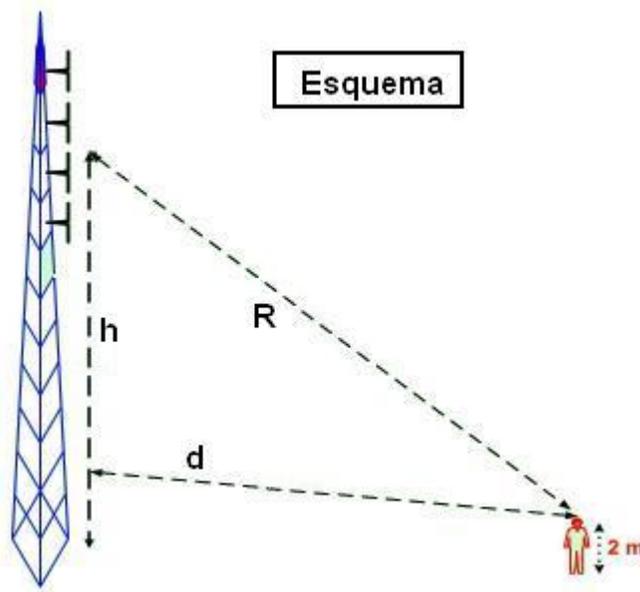


Figura 3.2: geometría para el cálculo/medición de la exposición a campos de RF a nivel del suelo [18].

$$S = \frac{0.64 * PIRE}{\pi R^2} = \frac{0.64 * P * G}{\pi * R^2} \quad \text{ecuación (3.4)}$$

Donde:

S: densidad de potencia.

P: potencia en la entrada de la antena (potencia del transmisor en watts, mW o μ W).

G: ganancia isotrópica de la antena (unidades en watts, mW o μ W).

R: distancia medida desde el centro de la antena (unidades pueden ser m o cm).

En la ecuación anterior las unidades de **S** pueden ser mW/cm^2 , W/m^2 o $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ entonces hay que tener cuidado en el manejo de las unidades de **P** y **R** para evitar errores.

Otra cosa que es importante notar de la ecuación 3.3 es que la ganancia de la antena está en unidades de watts, entonces si **G** viene dada en unidades de decibelios (lo cual sucede en la mayoría de los casos) la conversión necesaria se describe en la siguiente ecuación.

$$G = 10^{(G[\text{dB}]/10)} \quad \text{ecuación (3.5)}$$

Para el campo eléctrico se describe de la siguiente forma.

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot PRA}}{d} \quad \text{ecuación (3.6)}$$

Donde:

E: la intensidad de campo eléctrico dado en V/m.

d: la distancia desde la fuente de emisión al punto dada en metros.

PRA: el producto de la ganancia del transmisor por la ganancia de la antena referida al dipolo,

el *PRA* está dado en watts.

La relación entre el *PIRE* y el *PARA* viene dada por.

$$PRA = \frac{PIRE}{1.64} \quad \text{ecuacion (3.7)}$$

La ganancia de la antena que aparece en la hojas de datos del fabricante es la isotrópica, y la relación entre estas ganancias viene dada por.

$$G_{dipolo} = G_{isotropica} - 2.15 \quad \text{ecuación (3.8)}$$

Donde:

G_{isotropica}: está dada generalmente en dB.

G_{dipolo}: está dada en dB.

De la ecuación 3.4 se puede derivar una expresión para calcular la distancia de seguridad para la exposición del público en general para estaciones radioeléctricas del servicio de radio FM, TV y telefonía celular como sigue.

$$R = \sqrt{\frac{PIRE * 0.64}{\pi * S}} \quad \text{ecuacion (3.9)}$$

Donde:

S: es el límite de la tabla 3.2 expresado en W/m² o nivel de referencia también en W/m² para la frecuencia correspondiente.

3.3 ECUACIONES PARA SITIOS CON MÚLTIPLES FUENTES.

Para la exposición simultánea a varias fuentes de diferentes frecuencias, se pueden aplicar las ecuaciones que recomienda la UIT [56], donde cada fuente se tratara individualmente y se calculara el nivel de exposición para luego ser sumado como se indica en las ecuaciones, el resultado debe ser menor o igual a la unidad.

$$E_T = \sum_{i=100kHz}^{1MHz} \left(\frac{E_i}{c}\right)^2 + \sum_{i>1MHz}^{300GHz} \left(\frac{E_i}{E_{l,i}}\right)^2 \leq 1 \quad \text{ecuacion 3.10}$$

$$H_T = \sum_{j=100kHz}^{1MHz} \left(\frac{H_j}{d}\right)^2 + \sum_{j>1MHz}^{300GHz} \left(\frac{H_j}{H_{l,j}}\right)^2 \leq 1 \quad \text{ecuacion 3.11}$$

$$S_T = \sum_{h=10MHz}^{300GHz} \frac{S_h}{S_{l,h}} \leq 1 \quad \text{ecuacion 3.12}$$

Donde:

E_T es la intensidad de campo eléctrico total.

E_i es la intensidad de campo eléctrico medido o calculado a la frecuencia i .

$E_{l,i}$ es el límite de referencia a la frecuencia i .

H_T es la intensidad de campo magnético total.

H_j es la intensidad de campo magnético medido o calculado a la frecuencia j .

$H_{l,j}$ es el límite de referencia a la frecuencia j .

S_T es la densidad de potencia total.

S_h es la densidad de potencia medida o calculada a la frecuencia h .

$S_{l,h}$ es el límite de referencia a la frecuencia h .

c será $610 / f$ [V/m] para la exposición ocupacional y $87 / f^{1/2}$ [V/m] para exposición del público en general, f en esta en MHz.

d será $1.6 / f$ [A/m] para la exposición ocupacional y $0.73 / f$ [A/m] para exposición del público en general, f en esta en MHz.

Para transformar la potencia del sistema a unidades de watts a decibelios (dBw o dBm) se usa la siguiente ecuación.

$$PIRE(dBw) = 10 * \log(PIRE) \quad \text{ecuación (3.13)}$$

Donde:

PIRE: es la multiplicación de la ganancia de la antena en watts por la potencia del transmisor también en watts. El resultado de la ecuación 3.13 es dBw.

Si se requiere que la potencia este en dBm se puede utilizar la ecuación siguiente.

$$PIRE(dBm) = 10 * \log(PIRE / 1mW) \quad \text{ecuación (3.14)}$$

En la ecuación 3.14 el $PIRE$ debe estar en watts, si el $PIRE$ esta en miliwatts no será necesario dividir por la potencia base.

Si se requiere obtener predicciones más aproximadas a las condiciones reales, solamente se deben restar las pérdidas calculadas, en unidades de decibelios (dB) por supuesto, a la potencia de transmisión del sistema, también en unidades de dBw o dBm según el caso, Y luego se debe convertir este resultado de nuevo a unidades de watts utilizando las siguientes ecuaciones 3.15 y 3.16.

$$PIRE[watts] = 10^{(PIRE[dBw]/10)} \quad \text{ecuación (3.15)}$$

$$PIRE[mW] = 10^{(PIRE[dBm]/10)} \quad \text{ecuación (3.16)}$$

Antes de realizar cálculos de predicción teóricos, se debería realizar inspección del sitio a evaluar, con una breve descripción del lugar y el entorno donde se realizara la evaluación, estudio o mediciones. Para ello se debe recopilar información técnica sobre la o las estaciones radioeléctricas a evaluar, con el fin de identificar los puntos ideales o críticos para realizar las

predicciones que luego podrían servir como referencia para mediciones con el instrumental adecuado.

3.4 SERVICIO DE RADIO AM.

Las ecuaciones descritas no pueden aplicarse para predecir teóricamente la intensidad de campo de este servicio ya que los campos en las proximidades de sus estaciones no cumplen con la condición de ser ondas planas. Sin embargo la FCC [74] lo permite, aclarando que los resultados obtenidos serán mayores a los esperados.

Para poder realizar caracterizar técnicamente la estación se debe llenar el formulario técnico 1. Cuya información requerida se explica a continuación.

(1) En este apartado se pueden especificar características relevantes del sitio donde se encuentra la antena, por ejemplo: si esta en lugar elevado, es accesible al público en general, está en una zona urbana, presenta algunas dificultades para realizar las mediciones, etc.

(2) En esta sección se requiere la dirección del lugar donde está ubicada la estación base a evaluar.

(3) Especificar la información técnica de la estación radioeléctrica necesaria para realizar cálculos y mediciones prácticas, por ejemplo, la *frecuencia* es un dato que sirve para determinar el tipo de sensor a utilizar en las mediciones y para saber el límite correspondiente.

(4) Este apartado depende de la característica, por ejemplo, la *potencia de transmisión* debe ser la cantidad de watts del transmisor, a diferencia del tipo de servicio, donde se debe especificar si es radio FM, Celular, etc. Algunos parámetros no será necesario llenar las dos casillas (4 o 5), la sección de *clasificación* es solo para sistemas celulares donde debe escribir si es una micro, macro o pico célula.

(5) Al igual que en 4 la información requerida depende de la característica, por ejemplo, para la potencia de transmisión deben ser las unidades en ser watts o miliwatts, a diferencia de la clasificación donde se debe especificar para el caso de telefonía celular si es un macro-célula, micro-célula, etc.

(6) Es importante saber si existen otras estaciones radioeléctricas alrededor del sitio por que estas afectan el resultado de mediciones y/o cálculos predictivos. En esta sección se especifica el número de estaciones del mismo o diferente tipo a la que se está evaluando, en el apartado de otros se nombran otros tipos de servicio inalámbrico como por ejemplo, acceso a internet inalámbrico, radio enlaces, estaciones de radio-aficionados, etc. colocando la cantidad de estas. No obstante las estaciones que están a más de 200 m no presentan mayo interferencia, inclusive las que están entre 100 y 200 m, pero se considera necesaria esta información.

(7) Especifica el número de edificios donde permanecen personas por periodos muy prolongados de tiempo o habitan en ellos. En el apartado de otras edificaciones se refiere a asilos, centros comerciales, edificios de oficinas, guarderías, etc.

No	FORMULARIO TÉCNICO 1: PARA EL INFORME DE INSPECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL SITIO.		
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL LUGAR (1)			
UBICACIÓN DEL SITIO (2)			
Departamento:	Municipio:	Colonia / Barrio:	
CARACTERIZACIÓN DEL SERVICIO RADIOELÉCTRICO (3)			
Parámetro	Valor (4)	Unidades / Descripción (5)	
Nombre de la empresa/Operador			
Tipo de servicio			
Frecuencia de operación			
Longitud de onda			
Potencia de transmisión			
Ganancia de la antena			
Altura de torre (antena) o monoposte			
Clasificación			
OTRO(S) SERVICIO(S) RADIOELÉCTRICO(S) VISIBLES ALREDEDOR DE LA ZONA DE MEDICIÓN (6)			
Distancia desde el punto de medición	TV / Radio	Telefonía celular	Otros
Menos de 50 m.			
De 50 a 100 m.			
De 100 a 200 m.			
De 200 m a 500 m.			

Continuación formulario técnico 1.				
EDIFICACIONES VISIBLES ALREDEDOR DE LA ZONA DE MEDICIÓN (7)				
Distancia desde el punto de medición	Hospitales	Centros Educativos	Edificios habitacionales	Otras Edificaciones
Menos de 50 m.				
De 50 a 100 m.				
INFORMACIÓN ADICIONAL (8)				
Ubicación GPS Latitud:	Tipo de Modulación	Modelo de transmisor	Modelo de antena(s)	Sistema AGS**
Longitud:				
* Adjuntar fotos (si es posible) que permitan una vista panorámica del entorno de la(s) antena(s), con fecha. ** Sistemas de Control de Ganancia Automática (solo para sistemas de telefonía celular).				

Tabla 3.7: formulario técnico para la recolección de datos necesario para los calculo predictivos y para las mediciones.

8- Se requiere información técnica como la ubicación GPS del sitio, modelos de antenas, etc. por ejemplo, en modelo de antena sirve para conocer los diagramas de radiación de la misma.

Los resultados se obtienen con la ecuación 3.6 y deben de escribirse en el formulario técnico 2, que se muestra en la tabla 3.8.

3.5 SERVICIO DE RADIO FM Y TELEVISIÓN.

Los sistemas de radio FM y televisión son bastantes parecidos, ya que ambos utilizan modulación FM, tienen potencias de transmisión y antenas bastantes similares, por eso los cálculos teóricos para ambos sistemas utilizan prácticamente las mismas ecuaciones y procedimientos y se describen a continuación.

Para realizar cálculos de predicción para una estación mono-antena se debe recopilar información técnica de la estación a evaluar, esta información es la requerida en el formulario técnico 1 que se describe en la tabla 3.7.

Si son varias estaciones radioeléctricas las que están en la zona bajo estudio se debe llenar un formulario técnico 1 para cada estación.

Para calcular las distancias de protección se pueden utilizar el método recomendado por la FCC [74] o la ecuación 3.9, Si se cumple que la distancia desde la antena a todo punto accesible al público en general es mayor que el valor calculado con la ecuación 3.9, no se requerirán mas cálculos. Sin embargo se puede proceder a la fase de mediciones si se considera necesario.

No:	FORMULARIO TÉCNICO 2. INFORME DE PREDICCIONES TEÓRICAS PARA SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN AM	
Pre Cálculos		
Limite E (tabla 3.4) [V/m]	Limite H (tabla 3.4) [A/m]	PIRE (P*G) [W ó mW]
Distancia desde la base de la torre/antena al punto [m]	Campo Eléctrico [V/m]	Campo Magnético [A/m]
.		
.		
.		
.		
Distancia de seguridad [m]		

Tabla 3.8: formulario técnico 2 para la presentación de resultados de los calculo predictivos y de un sistema radioeléctrico de AM.

Con los datos del formulario técnico 1, el cálculo de la densidad de potencia se debe hacer con la fórmula 3.4, para cada punto.

En esta etapa el número de puntos escogidos puede ser el que se considere necesario, no obstante no deben estar a más de 100 m de la estación transmisora y puede aplicarse el método que consiste en medir en cuatro direcciones diferentes desde la estación radioeléctrica, con distancias entre puntos de 5 o 10 m, como se muestra en la figura 3.3.

Si en la información con la que se completo el formulario técnico 1 aparece que hay edificaciones como hospitales, escuelas, etc. a menos de 100 metros de la estación radioeléctrica estos sitios se deben incluir como puntos en las predicciones, tomando la distancia más corta desde una zona dentro de la edificación a la estación radioeléctrica.

Para calcular las pérdidas de propagación (si son requeridas) se debe aplicar el método de propagación en el espacio libre, recomendado por la UIT [33].

Con los resultados se debe llenar el formulario técnico 3. Si el número de puntos escogidos son más de los que espacios que aparecen en el formulario se pueden utilizar dos o más de estos.

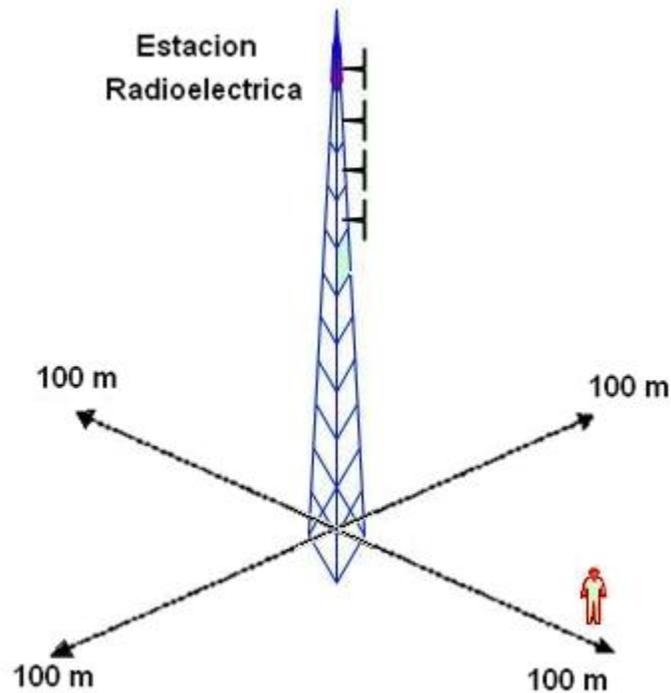


Figura 3.3: esquema para la predicción teórica de la densidad de potencia.

La información de dicho formulario técnico se explica a continuación.

- **(A)** en esta sección se escribe el límite de densidad de potencia correspondiente a la frecuencia del sistema en las unidades que se necesite, también la potencia radiada por la estación, y la distancia de seguridad calculada con la fórmula 3.9 descrita en la sección anterior.
- **(B)** es la distancia medida desde la base de la torre al punto de cálculo, como se muestra en el esquema de la figura 3.2.
- **(C)** es la distancia desde la fuente de radiación (antena) al punto de radiación, como se muestra en el esquema de la figura 3.2.
- **(D)** estas se calculan con el método de pérdidas en el espacio libre, que se describió en el capítulo 1⁴³.
- **(E)**: se refiere a la potencia de transmisión menos las pérdidas de propagación, este resultado representa la potencia con la que la señal llega al punto de cálculo. Esta sección se debe llenar solo si en los cálculos se requieren dichas pérdidas. Se pueden utilizar las ecuaciones 3.13, 3.14, 3.15 y 3.16 aparte del método sugerido para calcular las pérdidas.

⁴³ Sección 1.1, ecuación 1.1

- **(F)** en esta parte del formulario se escribe el resultado de los cálculos finales.
- **Unidades:** unidades correspondientes de las cantidades, por ejemplo si la densidad de potencia se requiere en mW/cm^2 se deben escribir estas unidades.

Con la densidad de potencia calculada para cada punto se debe comparar con el límite correspondiente a la frecuencia, si el límite es superado se debe proceder a mediciones prácticas, sino se superan los límites se pueden o no realizar mediciones.

Si se requiere se puede hacer un perfil de propagación graficando los puntos que se han calculado en una dirección determinada.

No:					FORMULARIO TÉCNICO 3. INFORME DE PREDICIONES TEÓRICAS DEL SERVICIO DE RADIO FM Y TV				
Pre Cálculos (A)									
Limite S (tabla 3.4) [W/m ² , mW/cm ² , μW/cm ²]			Distancia de seguridad (Ecuación 3.9)			PIRE (P*G) [W]			
Distancia desde la base de la torre/antena (B)		Distancia desde la fuente de radiación R (C)		Pérdidas de propagación L _{bf} (D)		PIRE - L _{bf} (E)		Densidad de Potencia (F)	
Unidades		Unidades		Unidades		Unidades		Unidades	
.
.
.
.

Tabla 3.9: formulario técnico 3 para las predicciones teóricas de densidad de potencia.

3.6 SERVICIO DE TELEFONÍA CELULAR.

Los servicios de telefonía celular son sistemas más complejos que los anteriores, sin embargo para caracterizar una estación base la información es la misma que la solicitada en el formulario técnico 1. Entonces para evaluar teóricamente una estación base se debe llenar dicho formulario, que se muestra en la tabla 3.7.

En esta etapa el número de puntos escogidos puede ser el que se considere necesario, no obstante no deben estar a más de 100 m de la estación transmisora y puede aplicarse el método que consiste en medir en cuatro direcciones diferentes desde la estación radioeléctrica, con distancias entre puntos de 5 o 10 m, como se muestra en la figura 3.3.

Si en la información con la que se completo el formulario técnico 1 aparece que hay edificaciones como hospitales, escuelas, etc. a menos de 100 metros de la estación radio eléctrica estas se deben incluir obligatoriamente como puntos en las predicciones, tomando la distancia más corta desde una zona dentro de la edificación a la estación radioeléctrica.

Si se requiere el cálculo de pérdidas de propagación, el método recomendado es el “COST 231” [24]. Llenando el formulario técnico 4 (tabla 3.10) según dicho método, este facilita los cálculos. En caso de no tener un conocimiento amplio del entorno (datos que se especifican en el método) se pueden tomar valores por defecto que se especifican en el mismo formulario.

No		FORMULARIO TÉCNICO 4: PARA EL INFORME DE INSPECCIÓN DEL SITIO SERVICIO DE TELEFONÍA CELULAR				
Punto	d [m]	h_b [m]	h_m [m]	h_r [m]	w [m]	b [m]
1						
2						
.						
.						
.						
9						
10						
Valores que pueden tomarse por defecto						
b : 20 a 30 m w : $b / 2$ h_r : $3 * (\# \text{ pisos}) + (\text{atico})$ atico : 3 m (inclinado), 0 m (plano) ϕ : 90° h_m : 2 m						

Tabla 3.10: formulario para recopilar información para calcular pérdidas de propagación para el servicio de telefonía celular.

Luego de haber calculado la perdidas (si son requeridas), se debe calcular la densidad de potencia utilizando la ecuación 3.4 y completar el formulario técnico 5 que se muestra en la tabla 3.11.

La información requerida en este formulario es la misma que en el formulario técnico 3, a excepción de las pérdidas de propagación que como ya se explico se deben calcular con otro método.

Para llenar la casilla **PIRE - L_{bf}** se pueden utilizar las ecuaciones 3.13, 3.14, 3.15 y 3.16 aparte del método sugerido para calcular las pérdidas.

Después de llenar el formulario técnico 5 los resultados de cada punto se deben comparar con el límite correspondiente a la frecuencia.

Si se considera necesario se puede hacer un perfil de propagación son los datos de densidad de potencia mediante un grafica de estos.

No:		FORMULARIO TÉCNICO 5. INFORME DE PREDICCIONES TEÓRICAS PARA SISTEMAS DE TELEFONÍA CELULAR		
Pre Cálculos				
Limite S (tabla 3.4) [W/m ² , mW/cm ² , μW/cm ²]		Distancia de seguridad (Ecuación 3.9)		PIRE (P*G) [W ó mW]
Distancia al punto desde la base de la torre/antena	R (Ecuación 3.3)	Perdidas de propagación L_b	PIRE - L_b	Densidad de Potencia (Ecuación 3.4)
Unidades	Unidades	Unidades	Unidades	Unidades
.				
.				
.				
.				

Tabla 3.11: formulario para presentar resultados de predicciones teóricas para el servicio de telefonía celular.

SECCIÓN 4. PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LAS MEDICIONES.

Antes de proceder a la parte de las mediciones prácticas, se deben realizar una serie de pasos previos que permitan la llevar a cabo una correcta medición, estos pasos pueden ser, una

descripción del lugar donde se realizara la evaluación, estudio o mediciones, una estimación teórica de campos magnéticos y/o eléctricos y de la densidad de potencia, si se requiere. Para ello se debe recopilar información técnica sobre la/s estación/es radioeléctrica/s a evaluar además de la información sobre el entorno en donde se encuentra la estación, con el fin de identificar los puntos ideales o críticos para realizar las mediciones con el instrumental adecuado.

4.1 FASE 1: INSPECCIÓN DEL LUGAR

Esta fase es aplicable para los servicios de radiodifusión AM, FM, TV y telefonía celular. Los criterios que deben de tomarse en cuenta al momento de evaluar el entorno donde se encuentra la estación radioeléctrica deben ser los siguientes:

- Identificar zonas cercanas a la fuente de radiación donde permanecen personas por periodos de tiempo prolongados, mayores a 30 minutos.
- Otro tipo de clasificación será para zonas que estén próximas a la estación radioeléctrica, generalmente en un radio de 100 metros. Estas zonas serán consideradas “sensibles” y pueden ser: escuelas, hospitales, centros comerciales, oficinas, parques, etc. y se deben realizar mediciones para conocer el nivel de exposición en dichas zonas.
- Si la antena de transmisión es direccional los puntos escogidos deben estar de preferencia en la dirección de máxima radiación.
- Observar si en los puntos escogidos hay obstáculos como edificios, arboles, etc. y estimar como esto puede afectar a la medición debido a reflexiones.
- Se deben tomar en cuenta peligros no asociados con la radiación RF que pueden presentarse en el lugar de la evaluación, por ejemplo riesgos por electrocución, quemaduras, caídas desde sitios altos, etc.
- Identificar si existen otras fuentes de radiación RF o estaciones radioeléctricas cercanas al lugar en que se están realizando las mediciones.

Estos criterios son los básicos que deben de tomarse en cuenta para poder hacer una buena descripción del entorno y asegurar que tanto las predicciones teóricas y mediciones prácticas se efectúen de la mejor manera, si el técnico considera otros debido a experiencia propia puede hacerlo siempre y cuando tengan justificación técnica.

Los criterios mínimos para caracterizar técnicamente la estación radioeléctrica a evaluar, deben ser los siguientes:

- Conocer las características técnicas de la estación radioeléctrica a evaluar, como tipo de emisor, potencia de transmisión, frecuencia, etc. Con el fin de obtener la información

necesaria para utilizarla tanto en los cálculos teóricos, simulaciones (si es posible), y para configura los instrumentos de medición si es necesario.

- Identificar cualquier tipo de estructura física que pueda interferir con las emisiones provenientes de la estación en evaluación.

Para realizar los cálculos teóricos de predicción de la densidad de potencia y/o la intensidad del campo eléctrico se recomienda utilizar el procedimiento que se describe en este documento.

4.1.1 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DEL LUGAR.

Realizar un reconocimiento visual de la estación radioeléctrica con el fin de determinar sus características mínimas necesarias para realizar los cálculos y/o mediciones.

Tanto para las predicciones teóricas como para las mediciones prácticas se debe llenar el formulario técnico 1 con información que debe ser proporcionada por el propietario de la estación. De no ser así se deben tomar parámetros por defecto de acuerdo a como se describieron técnicamente los servicios de radio, tv y telefonía celular en el capítulo 1 de este documento.

Los puntos de medición deben de escogerse tomando en cuenta los criterios descritos anteriormente, se deben escoger como mínimo 10 puntos, no obstante pueden ser más si se considera necesario.

Si en la información con la que se completo el formulario técnico 1 aparece que hay edificaciones como hospitales, escuelas, etc. a menos de 100 metros de la estación radio eléctrica estas se deben incluir obligatoriamente como puntos en las predicciones, tomando la distancia más corta desde una zona dentro de la edificación a la estación radioeléctrica.

Para antenas omnidireccionales los puntos pueden ser ubicados a distancias entre sí en función de la longitud de onda del emisor como el esquema de la figura 3.3, aunque esto no obligatorio.

Para sitios con antenas direccionales por lo menos 5 puntos deberán estar ubicados en la dirección de máxima propagación.

Si se considera necesario, en cada punto se puede incluir una descripción adicional utilizando el formulario técnico 6 el cual se muestra en la tabla 3.12, por ejemplo, si existe algún riesgo para el encargado de la medición como quemaduras, electrocución, obstáculos que dificultan la medición, también debe incluirse la distancia aproximada a la que se encuentra el punto de la estación base, la ubicación del punto (GPS si es posible), etc.

Si se incluyen más puntos de medición se recomienda escribir la respectiva justificación en el formulario técnico 6 (ver anexo B) se deben utilizar más de un formulario.

En el formulario técnico 7 que se muestra en la tabla 3.13 se debe agregar un croquis del lugar donde se señalen la o las fuentes de emisiones radioeléctricas a evaluar y los puntos escogidos. Se sugiere utilizar la herramienta de “*google maps*” para hacer el mapeo del sitio y los puntos.

Para el cálculo de la/s distancia/s de los puntos y la/s estación/es radioeléctricas se puede utilizar una función de “google maps” que determina distancias horizontales entre dos puntos.

No	FORMULARIO TÉCNICO 6: OBSERVACIONES PARA EL INFORME DE INSPECCIÓN DEL SITIO
PUNTO	DESCRIPCIÓN (7)
1	
2	
3	
.	
.	
.	
9	
10	

Tabla 3.12: formulario técnico 6 para la inspección del sitio en evaluación para servicio de telefonía celular.

No	FORMULARIO TÉCNICO 7: OBSERVACIONES PARA EL INFORME DE INSPECCIÓN DEL SITIO
CROQUIS DEL SITIO	

Tabla 3.13: formulario técnico 7 del croquis y ubicación de puntos.

Para el caso de un sitio con varias estaciones radioeléctricas (con múltiples fuentes) se debe realizar el procedimiento anterior para cada estación. No obstante si algunos puntos quedan entre dos o más estaciones (punto compartido) esta situación debe incluirse en la descripción del formulario técnico 6.

4.2 CARACTERÍSTICAS DEL INSTRUMENTO.

Para realizar las mediciones se pueden utilizar dos tipos de aparatos cuyas características se describen a continuación.

Medidor de banda ancha:

Son instrumentos que pueden medir rangos amplios de frecuencia de forma práctica y sencilla, estos aparatos se utilizan para realizar mediciones de inmisión que consiste en medir el total de la contribución de las fuentes radioeléctricas que operen dentro del rango de frecuencias que el aparato está midiendo. Dicho rango de frecuencias depende del sensor (antena) que el aparato utiliza.

De banda angosta:

En esta categoría se encuentran analizadores de espectro, se utilizan para medir las componentes espectrales de cada señal en un rango de frecuencias específico, dicho rango también depende del sensor o antena que se está utilizando, algunos medidores son sintonizables para escoger un rango de frecuencia en específico estos equipos tienen una exactitud mayor que los anteriores pero necesitan mayor tiempo para realizar las mediciones. Esta etapa de medición se utiliza para conocer la contribución de cada una de las fuentes de radiación electromagnética presentes en un punto dado.

4.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS INSTRUMENTOS.

La instrumentación necesaria para realizar las mediciones debe poseer las siguientes características que incluyen tanto físicas como de programación y se describen a continuación.

El tiempo de respuesta del instrumento debe ser menor a 1 segundo. El tiempo de respuesta en definido como el tiempo que tarda el instrumento para alcanzar el 90% de su valor final cuando es expuesto a una función escalón de radiofrecuencia.

Ante múltiples fuentes de radiación RF el medidor debe ser capaz de integrar las diferentes señales para calcular el nivel del campo compuesto, para esto el sensor de la sonda debe ser del tipo valor eficaz verdadero e isotrópico.

Los cables de conexión entre el aparato y la sonda deben tener un blindaje adecuado para evitar introducir incertidumbres a la medición.

El instrumento debe tener una batería con duración de al menos 8 horas, dicha batería debe tener protección contra los campos externos que se están midiendo.

El instrumento debe mostrar lecturas de uno o más de los siguientes parámetros.

- En condiciones de onda plana la densidad de potencia en watts por metro cuadrado (W/m^2) o en mili watts por metro cuadrado (mW/m^2).
- Intensidad de campo eléctrico en voltios por metro (V/m).
- La intensidad campo magnético en amperios por metro (A/m).

Es recomendable que el aparato pueda indicar la lectura máxima obtenida durante un periodo de medición, función *“max hold”*.

Es recomendable que el aparato tenga una alarma audible para indicar que una medición ha excedido el nivel de umbral.

El aparato debería de tener la función de configuración de límites ya establecidos, como los de la IEEE, la ICNIRP, etc.

El instrumento debe ser capaz de proporcionar el valor promedio de una medición sobre un periodo de tiempo programable.

Una interfaz hacia una computadora para adquisición de datos con el software adecuado.

El instrumento debe ser capaz de poder configurarse para guardar automáticamente mediciones realizadas.

Toda la instrumentación utilizada en la medición de campos RF como aparatos, antenas sondas, deben estar calibrados y poseer la certificación vigente extendido por el fabricante o laboratorios especializados.

El aparato debe ser manejable y portable, esto significa que pueda ser manipulado con las manos y ser liviano para poder ser cargado.

La pantalla del instrumento y otras partes del mismo (incluyendo los componentes electrónicos) deben ser lo suficientemente resistente para soportar vibraciones e impactos causados por el transporte.

La pantalla del medidor debe ser lo suficientemente grande como para mostrar adecuadamente las funciones activadas.

La metodología de medición se llevara a cabo en dos fases, con el objetivo de tener un procedimiento que permita identificar niveles de radiación que superen los límites establecidos de forma rápida para luego determinar con otros procedimiento más complejos las fuentes de radiación que sobrepasan estos límites, utilizando para cada fase diferente instrumentación.

4.3 FASE 2: MEDICIONES DE INMISIÓN O BANDA ANCHA.

Esta fase de medición es la menos extracta pero las más rápida, y permite comprobar si en un lugar, sitio o punto el nivel de radiación RF está por debajo de los límites establecidos o supera estos, para ello se deben realizar varios pasos y tomar en cuenta muchas otras cosas, a continuación se da una descripción de ello.

Consideraciones.

La información necesaria para caracterizar la estación radioeléctrica es la que se requiere en el formulario técnico 1, la selección de puntos se debe hacer siguiendo las consideraciones de la sección 4.1.1.

En la respuesta del instrumento de medición debe estimarse las incertidumbres especificadas por el fabricante.

Cada punto de medición debe quedar definido en el croquis (tabla 3.12) que se debe incluir en el informe de resultados.

Para el caso de estaciones radioeléctricas del servicio de telefonía celular las mediciones deben realizarse, en las horas de mayor tráfico si es posible y si el aparato y el lugar lo permiten se puede dejar el medidor de 8 a 48 horas censando el lugar, así se logra medir las horas con mayor tráfico y por consiguiente mayor potencia de transmisión de dicha estación o estaciones.

Para el rango de frecuencias de 300 KHz a 10 MHz se deben realizar mediciones de intensidad de campo eléctrico o mediciones de intensidad de campo magnético, para el rango de frecuencias a partir de 10 MHz a 30 GHz las mediciones deben ser de densidad de potencia.

Para los casos en que las mediciones se realicen en sitios donde se sabe o se prevea que las emisiones superan los límites, se deberá restringir la exposición del personal encargado de las mediciones, si es posible realizar las mediciones en forma remota.

4.3.1 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

Esta fase tiene por objetivo determinar el nivel total de intensidad de campo eléctrico, magnético o densidad de potencia en un punto debido a una (cuando solo haya una estación radioeléctrica) o múltiples fuentes, como equipo de medición se utilizaran medidores de banda ancha como los explicados anteriormente, es el método menos preciso pero el más rápido de los tres.

Luego de haber caracterizado el lugar y haber escogido los puntos de medición en la fase anterior, se debe proceder a realizar las mediciones, utilizando el siguiente procedimiento.

Antes de comenzar con las mediciones se debe calibrar el instrumento según las indicaciones del fabricante; Si es necesario se debe realizar el proceso de calibración del instrumento de nuevo en cada medición.

Las mediciones que se realicen deben registrarse en el formulario técnico 8 que se muestra en la tabla 3.13 cuya información requerida se describe a continuación.

(7) Esta sección se debe completar con la información del aparato de medición, por ejemplo la fecha de calibración sirve para saber si el aparato tiene todavía la vigencia de dicha calibración y así podrá o no medir de forma exacta o no.

(8) Aquí se especifica información de tiempo y el personal que realiza la medición.

(9) Aquí se requiere la información del sensor o antena que utiliza el instrumento para realizar la medición.

(10) Es la distancia en metros desde la base de la torre al punto de medición

(11) En esta parte se debe especificar el rango de frecuencias que se está midiendo, esta información sirve para saber cuáles serán los niveles o límites de comparación.

(12), (13), (14) En estos apartados se escribirán las mediciones registradas en el aparato.

Si a alguna altura el valor máximo registrado resulta superior al 50% del nivel de decisión más restrictivo se deberá realizar una medición para obtener el valor promedio en ese punto como se indica a continuación:

- Se debe despejar el área de medición de personas que no participan en la misma, como mínimo 1 metro cuadrado, con el fin de minimizar errores debido a reflexiones.
- Reiniciar el equipo y realizar la calibración correspondiente, colocar el medidor en la función de medición promedio.
- Se deben colocar el medidor y/o antenas en trípodes de madera o material no conductor y debe estar a una distancia mínima de 30 cm o tres veces el tamaño de la sonda de cualquier superficie conductora con el fin de reducir errores de medición por variaciones de impedancia de la sonda o antena.
- A una altura entre 1 y 2 metros realizar una medición durante un periodo de 6 minutos como mínimo y obtener el valor promedio y registrarlo en la hoja técnica correspondiente (formulario técnico 8 de la tabla 3.14).
- Para el caso de sistemas de telefonía celular el periodo de medición debe ser mayor si es posible varios días para obtener el valor máximo.

El valor obtenido se debe comparar un nivel de decisión o con el límite escogido (tabla 3.2).

En esta fase los niveles de decisión se calculan restando 6 dB a los niveles de referencia dados en la tabla 3.2. La forma de obtener el valor de decisión correspondiente es de la siguiente manera: si en la zona bajo estudio existe un emisor predominante (ej. GSM-900), el nivel de referencia elegido será en esta frecuencia.

Si en la zona bajo estudio existen varios emisores y no es posible o es muy complicado identificar un emisor predominante (para ello se puede contar con la ayuda del analizador de espectros), ejemplo, una zona con radiodifusión FM, servicio de TV y telefonía móvil GSM, se tomará el nivel de referencia más bajo dentro del rango de frecuencia analizada.

Durante la medición se pueden dar situaciones particulares, esta deben registrarse en el formulario técnico 9 que se muestra en la tabla 3.13. Si el número de puntos escogidos es mayor a los que pueden registrarse en este formulario, se pueden utilizar más de uno de estos.

No:		FORMULARIO TÉCNICO 8. INFORME DE MEDIDAS DE INMISIÓN				
Información del equipo de medición utilizado				Otros datos de la medición		
Marca:				Fecha:		
Modelo:				Técnico responsable:		
N_o serie:						
Fecha de calibración:						
Antena/Sonda utilizada				Hora de inicio:		
Marca:				Hora de finalización:		
Modelo:						
Atenuación del cable/incertidumbre:						
Distancia al punto d [m]	Frecuencias de operación [MHz]		Limite de Exposición	Campo Eléctrico [V/m]	Campo Magnético [A/m]	Densidad de Potencia [mW/cm ²]
	Frecuencia mínima	Frecuencia máxima	Unidades:			
.						
.						
.						
.						

Tabla 3.14: formulario para le presentación de resultados de la mediciones de banda ancha.

Cuando se obtiene el valor final de la medida, se pueden dar tres casos como se puede ver en la figura 3.4:

1. Si el nivel total de radiación electromagnética medido está por encima del nivel del límite o nivel decisión, el punto debe ser marcado como *punto sensible* para luego ser analizado en la fase de medición de banda estrecha.
2. Si el nivel total de radiación electromagnética medido está por debajo del nivel de decisión, se puede considerar que la estación radioeléctrica y la zona en evaluación cumplen las exigencias de la norma.

No		FORMULARIO TÉCNICO 9. OBSERVACIONES DURANTE Y AL FINAL DE LA MEDICIÓN		
Fecha:	Hora de inicio:	Hora de finalización:	Técnico responsable:	
Observaciones correspondientes al informe de medidas No:				
PUNTO	OBSERVACIONES	Supera limite de exposición		
		NO	SI	
.				
.				
.				
.				
Conclusiones:		NO	SI	
Se considera necesario delimitar las zonas que superan los límites de emisiones RF				

Tabla 3.15: formulario para le presentación de resultados de la mediciones de banda ancha.

3. Si en el punto de medición los niveles de radiación están por debajo de la sensibilidad del equipo, en este caso, evidentemente el lugar cumple con lo exigido en la norma, pero si se necesita una medición por alguna causa bien justificada se obtendrá mediante la fase 3 de medición, además deberá agregarse esa observación en el reporte técnico de mediciones.

4.4 FASE 3: MEDICIONES DE EMISIÓN O FRECUENCIA SELECTIVA

Esta etapa del proceso de medición tiene como objeto conocer los niveles de exposición electromagnética por cada fuente de emisión o cuando el nivel obtenido en la fase anterior supera el nivel de decisión. Dicha fase es más precisa que la fase anterior pero requiere mayor tiempo de adquisición.

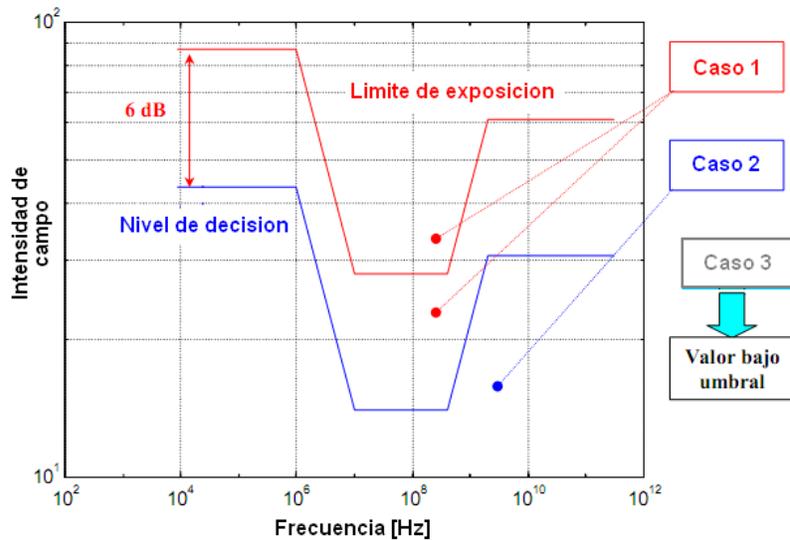


Figura 3.4: Esquema de los posibles casos resultantes en las mediciones [6].

Si se considera necesario se pueden aplicar niveles de decisión más bajos que los límites sugeridos en fase anterior, dichos niveles estarán 40 dB por debajo de los valores límites establecidos en las tablas 3.2 a 3.6. Sin embargo se pueden tomar los valores de decisión de la fase anterior o los niveles de dichas tablas.

Este método no se debe emplear cuando:

- Se necesite medir en campo cercano.
- Se deban medir señales pulsantes, ejemplo señales de Radar.

4.4.1 PROCESO DE MEDICIÓN

Básicamente el objetivo de esta etapa es conocer cuál de todas las fuentes radioeléctricas en un punto de medición dado, influye en mayor proporción al campo total en dicho punto. Los aparatos medidores utilizados en esta etapa son los analizadores de espectro, las unidades en la que estos presentan los resultados son dBmW/m² y dBmV/m.

En esta etapa se entiende que previamente se ha realizado: la caracterización de la estación radioeléctrica, llenando el formulario técnico 1, la inspección del lugar y las mediciones de la fase 2 y se considera necesario realizar mediciones de este tipo.

Antes de comenzar con las mediciones se debe calibrar el instrumento según las indicaciones del fabricante, luego se debe configurar el instrumento y elegir la antena adecuada para la medición. Si la medición requiere utilizar varias antenas dicha calibración debe repetirse cada vez que se cambie antena.

En el punto de medición se debe despejar el área de medición en un radio de 1 metro, solo debe estar el encargado de la medición.

Se deben colocar el medidor y/o antenas en trípodes de madera o material no conductor y debe estar a una distancia mínima de 30 cm o tres veces el tamaño de la antena de cualquier superficie conductora con el fin de reducir errores de medición por variaciones de impedancia de la sonda o antena.

A una altura entre 1.5 y 2 metros realizar una medición durante un periodo de tiempo necesario hasta que las componentes espectrales se estabilicen,

Para el caso de sistemas de telefonía celular se debe realiza la medición en la hora de mayor tráfico, sin embargo es difícil conocer este dato, por eso el periodo de medición debe ser el necesario para obtener el valor máximo, el aparato debe tener la función de “*max hold*” para que el instrumento capture el valor máximo de la medición durante el periodo de medición.

Los valores registrados deberán manipularse matemáticamente de la siguiente manera. Si las lecturas están en unidades logarítmicas de $dB(mW/m^2)$ se deben transformar a unidades lineales de mW/cm^2 utilizando la siguiente ecuación.

$$S = \frac{10^{\left(\frac{S_{med}}{10}\right)}}{10000} \quad \text{ecuación (3.17)}$$

Donde:

S: es la densidad de potencia en mW/cm^2 .

S_{med} : es la lectura en el analizador de espectro.

Y si están en unidades logarítmicas de $dB(mV/m)$ se deben transformar a unidades lineales de mW/cm^2 utilizando la siguiente ecuación.

$$E = \left(10^{\left(\frac{E_{med}}{20}\right)}\right) * 1000 \quad \text{ecuación (3.18)}$$

Donde:

E: es la intensidad de campo eléctrico en V/m.

E_{med} : es la lectura en el analizador de espectro.

Cuando se obtiene el valor final de la medición, se puede tener tres casos figura 3.4, 3.5, y 3.6:

Caso 1: El nivel de una o varias componentes medidas supera el límite de referencia o límite a la frecuencia correspondiente. Estas observaciones se deben escribir en el formulario técnico 9.

Caso 2: Todas las componentes espectrales leídas en el instrumento están por debajo de los niveles de referencia. En este caso se debe realizar el cálculo y obtener la sumatoria siguiendo el siguiente procedimiento.

Convertir a las unidades lineales con las ecuaciones 3.17 y 3.18, según el caso, luego utilizar las ecuaciones 3.10 y 3.12 para obtener la sumatoria de todas las componentes.

Dependiendo del resultado, el sistema radioeléctrico en estudio cumplirá o no con lo establecido en la normativa correspondiente.

Caso 3: Todas las componentes espectrales están por debajo del nivel de decisión establecidos en esta fase (nivel de referencia menos 40dB). En este caso el sistema

radioeléctrico es válido. Se toma el nivel más elevado como resultado de la medida, sólo si es necesario dar una medida.

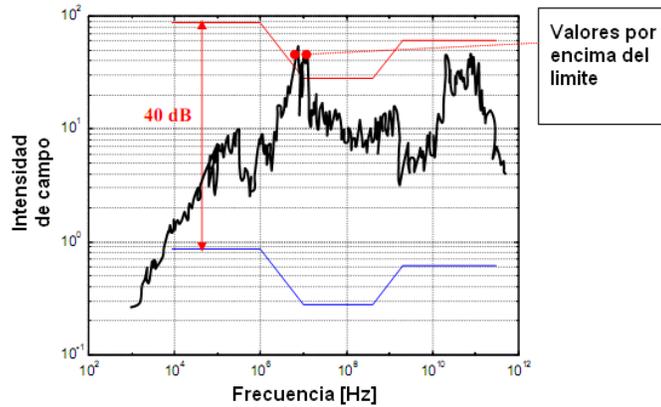


Figura 3.5: Ejemplo para esquematizar el caso 1 [6].

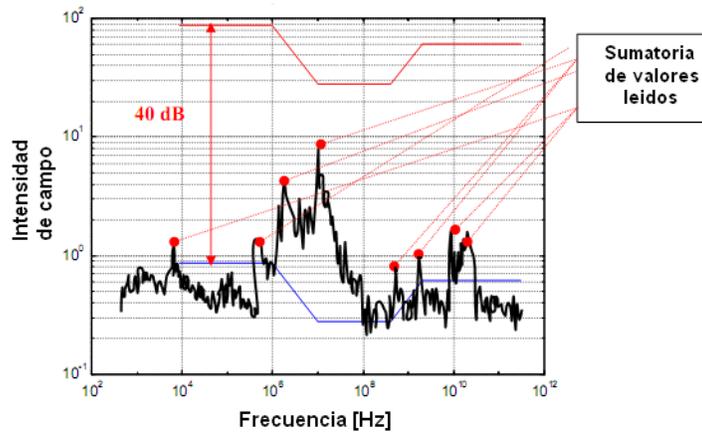


Figura 3.6: Ejemplo para esquematizar el caso 2 [6].

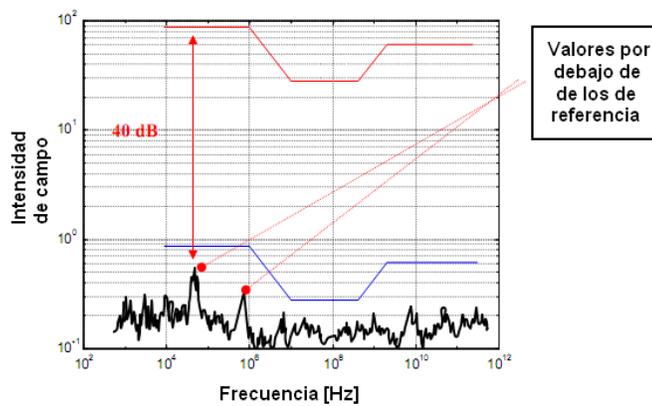


Figura 3.7: Ejemplo para esquematizar el caso 3 [6].

En cada caso el dato final debe registrarse en el formulario técnico 10 que se muestra en la tabla 3.15 cuya información se explica a continuación.

- (15)** Esta sección se completa con la información del aparato de medición.
- (16)** Aquí se especifica información de tiempo y el personal que realiza la medición.
- (17)** Aquí se requiere la información del sensor o antena que se utiliza en el medidor.
- (18)** Es la distancia medida en metros desde la base de la torre al punto de medición.
- (19)** En esta parte se debe especificar la frecuencia de la componente medida en analizador.
- (20)** Se refiere al límite o nivel de referencia para la medición de la intensidad de campo eléctrico, en unidades que ahí se indican este dato está en función de la frecuencia y debe llenarse solo cuando se estén realizando mediciones de intensidad de campo eléctrico. Y como ya explico si se toma el nivel de referencia este será 40 dB por debajo de los límites sugeridos para la exposición del público en general.
- (21)** Es el límite o nivel de referencia para la medición de la densidad de potencia en unidades que ahí se indican, este dato está en función de la frecuencia y debe llenarse solo cuando se estén realizando mediciones de densidad de potencia. Si se toma el nivel de referencia este será 40 dB por debajo de los límites sugeridos en las tablas para la exposición del público en general.
- (22)** Solo para cuando se estén realizando mediciones de intensidad de campo eléctrico. Es el dato correspondiente a la intensidad de campo eléctrico en unidades logarítmicas tomado del analizador de espectro a la frecuencia dada en (19).
- (23)** Es el resultado en unidades lineales de la conversión de la medición registrada en (22), utilizando la ecuación 3.18, y para el caso 2 es la sumatoria de las componentes utilizando la ecuación 3.10, con las conversiones correspondientes claro.
- (24)** Este apartado del formulario solo es para cuando se estén realizando mediciones de densidad de potencia. Es el dato correspondiente a la densidad de potencia en unidades logarítmicas tomado del analizador de espectro a la frecuencia dada en (19).
- (25)** Es el resultado en unidades lineales de la conversión de la medición registrada en (22), utilizando la ecuación 3.19, y para el caso 2 es la sumatoria de las componentes utilizando la ecuación 3.12, con las conversiones correspondientes claro.

En las figuras de la 3.8 a la 3.10 se muestran los diagramas que explican el método de predicciones teóricas y mediciones prácticas, explicando cada etapa de la medición y como se divide cada una, dichos diagramas de flujo muestran de manera visual el procedimiento.

Hay recalcar que la metodología antes descrita es para mediciones de niveles de exposición para el público en general, no obstante puede ser aplicada para mediciones o cálculos de niveles de exposición para entornos ocupacionales.

Los modelos matemáticos utilizados en las predicciones teóricas toman en cuenta el peor de los casos proporcionando resultados un poco sobreestimado, sin embargo estos proporcionan una estimación del nivel de radiación esperado al realizar mediciones prácticas.

También se recomienda que las predicciones teóricas solo en etapas de diseño o cuando se necesiten previamente a la fase de mediciones.

No:		FORMULARIO TÉCNICO 10. INFORME DE MEDIDAS DE EMISIÓN					
Información del equipo de medición utilizado (15)				Otros datos de la medición (16)			
Marca:				Fecha:			
Modelo:							
N.º serie:				Técnico responsable:			
Fecha de calibración:							
Antena/Sonda utilizada (17)				Hora de inicio:			
Marca:							
Modelo:				Hora de finalización:			
Atenuación del cable/incertidumbre:							
Distancia al punto [m] (18)	Frecuencias de operación (19)	Limite de referencia [V/m] (20)	Limite de referencia [mW/cm ²] (21)	Lectura en el medidor [dBmV/m] (22)	Campo Eléctrico [V/m] (23)	Lectura en el medidor [dBmW/m ²] (24)	Densidad de Potencia [mW/cm ²] (25)
.							
.							
.							
.							

Tabla 3.16: formulario para la presentación de resultados de la mediciones de banda estrecha.

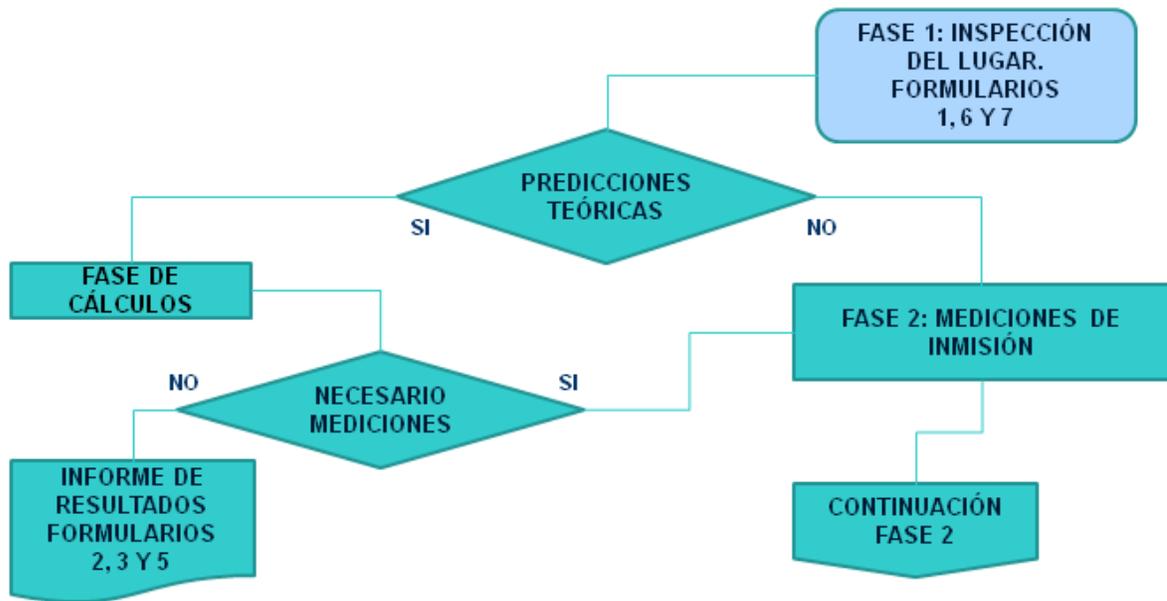


Figura 3.8: esquema de la metodología para la evaluación de los niveles de emisiones radioeléctricas.

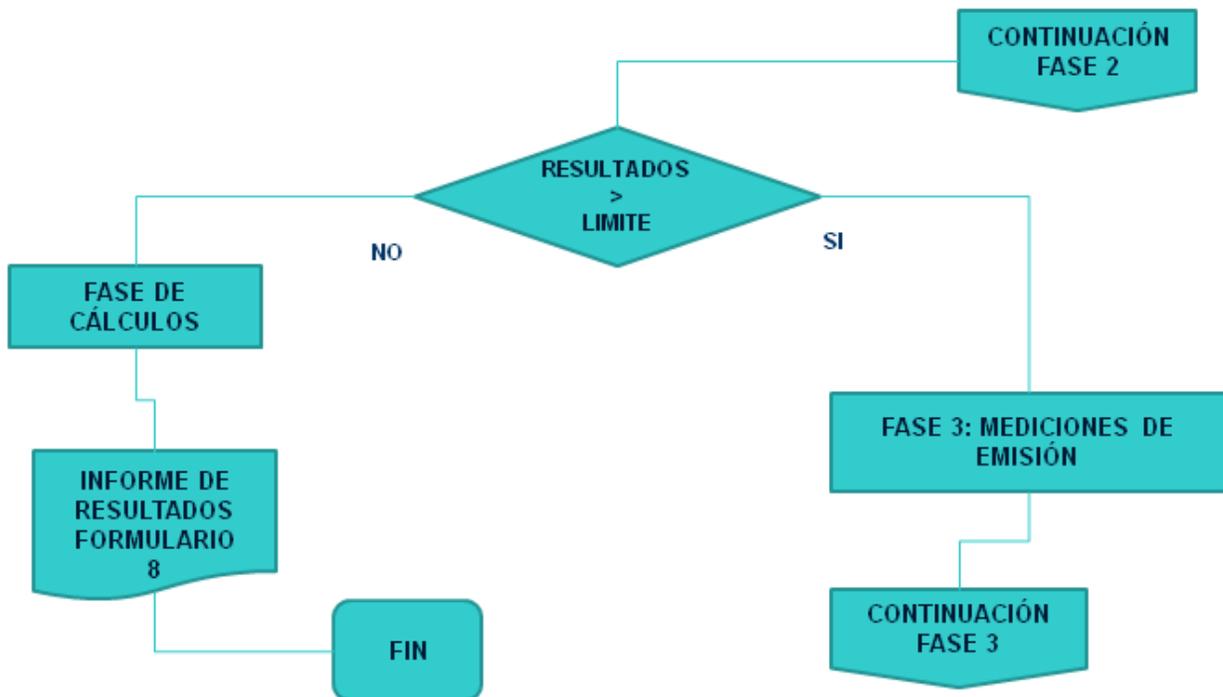


Figura 3.9: esquema de la metodología para la evaluación de los niveles de emisiones radioeléctricas.

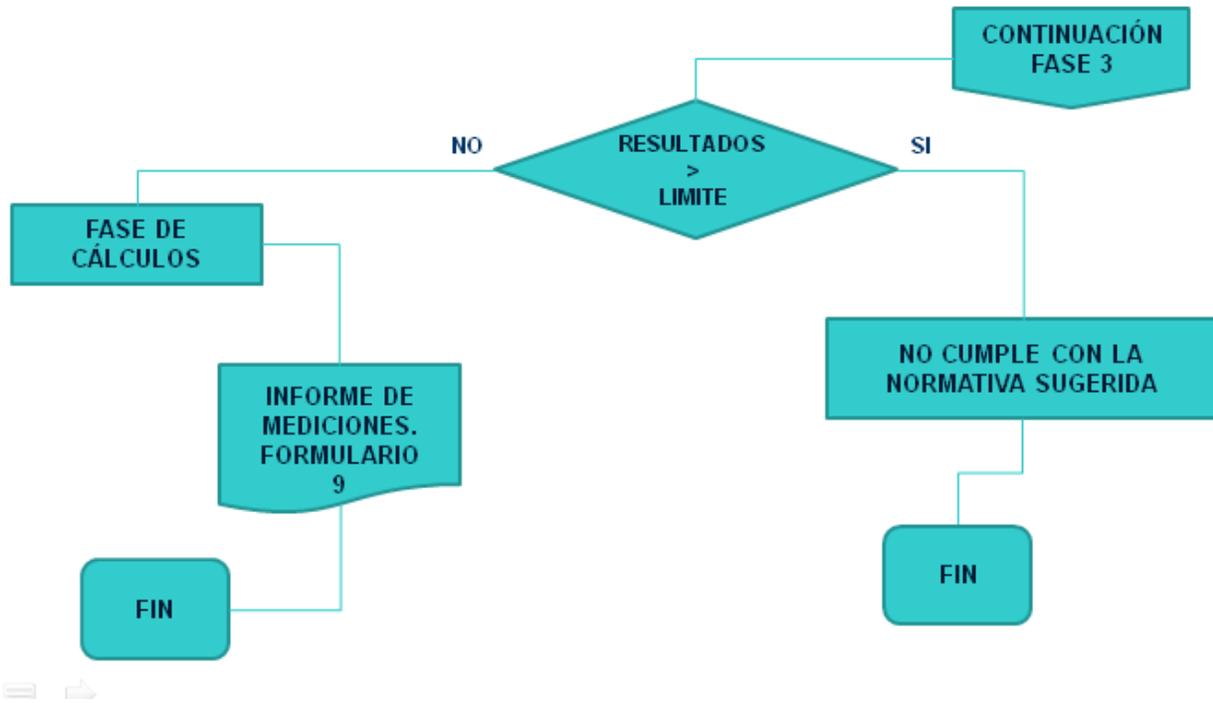


Figura 3.10: esquema de la metodología para la evaluación de los niveles de emisiones radioeléctricas.

CONCLUSIONES

- Los estudios sobre los efectos en la salud humana de la radiación no ionizante son relativamente recientes y los resultados de los mismos no son concluyentes. De hecho ninguno de los organismos científicos que los realizan se atreve a asegurar que existen efectos a corto plazo derivados de dicha radiación. No obstante todos reconocen que dicha radiación (bajo ciertas condiciones) tiene la capacidad provocar efectos nocivos sobre la salud humana.
- Como se ha dicho a lo largo del documento los esfuerzos por establecer valores límites de exposición continúan a la fecha y la tendencia generalizada es que dichos límites se vuelvan cada vez más restrictivos; incluso algunos países europeos han adoptado límites que aunque no tienen sustento científico, no obstante, aseguran la exposición innecesaria a dicha radiación.
- El desarrollo de las telecomunicaciones en los últimos años (especialmente de la telefonía móvil celular) se ha dado de forma desordenada, en países como El Salvador, esto ha provocado la proliferación de estaciones base dentro de núcleos poblaciones y esto a su vez ha propiciado una presión psicológica sobre la población que vive muy cerca de dichas estaciones; esta presión no ha sido atendida adecuadamente por las instancias correspondientes. Lo anterior exige acciones concretas incluyendo a la UES en el sentido de sugerir acciones de mejora que atenúen la problemática antes mencionada.
- Es necesario que el organismo en cargado de las telecomunicaciones en El Salvador fortalezca su capacidad técnica para verificar los niveles los niveles de radiación electromagnética a los que está expuesta la población. Así mismo consideramos oportuno que se adopte una legislación basada en los límites más restrictivos que se encuentran a nivel internacional (por ejemplo los límites basados en el principio de precaución adoptados por algunos países europeos).
- Así mismo se considera que la UES implemente un laboratorio de metrología radioeléctrica que sirva para atender las solicitudes que han realizado diversas personas y organismos respecto al tema abordado en el presente documento.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ICNIRP "Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)" Health Physics, April 1998, pp 494-522.
- [2] Nota descriptiva N°299 Marzo de 2006. Campos Electromagnéticos y Salud Pública. Campos Eléctricos y Magnéticos Estáticos. Organización Mundial de la Salud. OMS Media centre, mediainquiries@who.int. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs299/es/print.html>
- [3] Nota descriptiva N°193 Junio del 2000. Campos Electromagnéticos y Salud Pública: Los Teléfonos Móviles y sus Estaciones de Base. OMS Media centre. mediainquiries@who.int. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/es/index.html>
- [4] IARC Press release N° 208 31 May 2011. "Classifies Radiofrequency Electromagnetic Fields as Possibly Carcinogenic to Humans". Cours Albert Thomas, 69372 Lyon CEDEX 08, France.
- [5] Mitos, Rumores y Temores de la Telefonía Móvil. Ing. Pedro Abad Terán, Telefonía Móvil y Salud. Director ejecutivo, Fundación para las Telecomunicaciones Telecom XXI.
- [6] COIT Emisiones Radioeléctricas: Normativa, Técnicas de Medida y Protocolos de Certificación Colegio oficial, ingenieros en telecomunicaciones. Irene Isabel Fernández Tobías, Noelia Miranda Santos, Mariano Molina García. Área de Actividades Tecnológicas y Actuaciones Profesionales. Cátedra COIT (ETSIT-UPM) Septiembre 2007, 1ª edición.
- [7] UIT. Documento 1/198-S. Junio del 2001. Original: inglés. Cuarta Reunion de la Comisión de Estudio 1: Caracas Venezuela. Sr. Philippe Mège, Thales Communications, Paris Francia.
- [8] Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) de la República de El Salvador.
- [9] Manual de Indicadores de Telecomunicaciones. Formulario DRT-MI- 2009. Departamento Recursos de Telecomunicaciones Gerencia de Telecomunicaciones. SIGET Agosto de 2009.
- [10] Aspectos Regulatorios de las Telecomunicaciones para Emergencias incluyendo el licenciamiento y aspectos de Gestión del Espectro. Carlos Valle. DGER (Departamento de GESTIÓN del Espectro Radioeléctrico).
- [11] "Limits of Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Energy in the Frequency Range from 3 kHz to 300 GHz Safety Code 6 (2009)". Publications Health Canada. Ottawa, Ontario K1A 0K9.
- [12] "EMF Health & Safety Standards". Patrick A. Mason¹, Michael R. Murphy and Ronald C. Petersen. Air Force Research Laboratory Human Effectiveness Directorate 1. Radio Frequency Radiation Branch Brooks Air Force Base, Texas, 78235. Independent Consultant Bedminster, New Jersey, 07921 2.
- [13] IEEE Std C95.1™-2005 "Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz" Sponsored by the: IEEE International Committee on Electromagnetic Safety (SCC39). I (Revision of IEEE Std C95.1-1991). Approved 3 October 2005. IEEE-SA Standards Board.
- [14] IEEE Std C95.3.1™-2010 "Recommended practice for measurements and computations of electric, magnetic and electromagnetic fields with respect to human exposure to such fields, 0 Hz to 100 kHz". IEEE Standards coordinating committee 39 Sponsored by the IEEE international committee on electromagnetic safety. IEEE 3 Park Avenue New York, NY 10016-5997, USA May 2010. IEEE.
- [15] IEEE Std C95.6™-2002 "Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0–3 kHz". Published by The Institute of Electrical and Electronics

Engineers, Inc. IEEE Standards Coordinating Committee 28. IEEE International Committee on Electromagnetic Safety on Non-Ionizing Radiation. September 2002.

[16] IEEE Std C95.7™-2005 “Recommended Practice for Radio Frequency Safety Programs, 3 kHz to 300 GHz”. IEEE Standards Coordinating Committee 39 Sponsored by the IEEE International Committee on Electromagnetic Safety. Approved 22 September 2005. IEEE-SA Standards Board. Approved 2 February 2006. American National Standards Institute. March 2006.

[17] UGM. “SAR Overview”. T. Wittig. Octubre 2007.

[18] Modelos Empíricos de predicción de la Propagación. Ing. Jhon Jairo Padilla Aguilar. Ph. D. Ingeniería telemática. Comunicaciones móviles.

[19] Planificación de Red GSM/GPRS/EDGE Capítulo 5: Planificación del Sistema Radio GSM/GPRS/EDGE.

[20] Los Campos Electromagnéticos en la Telefonía Celular y su Interacción con el Sustrato Neuronal. Héctor Torres S., Hugo Mendizábal J., Carlos Villarroel G., Mario Zamorano L. Universidad de Tarapaca. ISSN (Versión impresa): 0717-1072. ISSN (Versión en línea): 0718-1337. CHILE. Enero 2001, vol. 9.

[21] Protocolo Instalación RBS ERICSSON GSM. Sept 2009. RBS 2106 V3 (OUTDOOR). Ing. José Miguel Atala. Luis Fernando Lara. Documento Técnico.

[22] “Ryma Wireless. 1710 – 2170 MHz. Model # BG D3-800TV”.

[23] “Product Data Sheet APXV18-209014-C” “Optimizer® Dual Polarized Antenna, 1710-2170, 90deg, 16.5dBi, 1.3m, VET, 0-10deg. RFS The Clear Choice” ® APXV18-209014-C Rev: -- Print Date: 24.11.2010.

[24] José María Hernando Rábanos. 3.17.3 Método COST 231.

[25] Cell Plan Radio GSM clasificación de células.

[26] Telefonía Móvil Celular. Funcionamiento y relación de la radiación con la salud humana.

[27] Infraestructuras de Telefonía Móvil. Instalación, funcionamiento e influencia en el desarrollo territorial. AETIC Asociación de Empresas de Electrónica Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones de España.

[28] El Sector de Las Telecomunicaciones. Telefónica y Telemóvil conservan los rangos de frecuencia con los que empezaron operaciones en CDMA y AMPS/TDMA, respectivamente. Cuadro de Atribuciones de Frecuencias.

[29] Descripción de un Sitio Celular GSM y Parámetros de Calidad de TELCEL. Instituto Politécnico Nacional. Javier Amador Carrera, Luís González Quezada, Morales Hernández Marcelino, Mario Palacio Linares, Paúl Salazar Gómez.

[30] Diseño y Desarrollo de una Aplicación en ArcGIS del Modelo de Propagación COST 231. Sergi Díaz Salvador. Universitat Politècnica de Catalunya. Departamento de Teoría de la Señal y comunicaciones. Junio de 2010.

[31] Diseño de Estación Celular para la Localidad de Laredo. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Presentado por: José Rafael Guerra Amaya. Lima – PERÚ 2006.

[32] Redes Celulares PCS y Trunking. Ericc Sánchez Castillo Ingeniero de Proyectos.

[33] Recomendación UIT-R PN.525-2. Cálculo de la Atenuación en el Espacio libre.

[34] RF “Safety at Base Station Sites”. MMF “Mobile Manufactures Forum” GSMA. www.gsmworld.com/health.

[35] Radiación de Estación Base PCS,GSM. Walter Grote H. y Ricardo Olivares V. Departamento de Electrónica. Universidad Técnica Federico Santa María. Febrero 2002.

[36] Estudios Necesarios para Realizar el Mapa Radioeléctrico de las Estaciones Base de Telefonía Móvil GSM,DCS,UMTS del Término

Municipal de Murcia. Proyecto N°: 20048026. Murcia, febrero de 2004.

[37] Comunicaciones Móviles: Más allá de la 3G y 4G. Salvador Ricardo Meneses González. Perito en Telecomunicaciones. Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México, D. F. Diciembre 2007.

[38] Efectos del Terreno en la Propagación Electromagnética en Entornos Urbanos Sobre la Región Andina, Usando el Modelo COST 231-Walfisch-Ikegami y Herramientas de Planificación Basadas en GIS. Paolo García A. Universidad Industrial de Santander.

[39] Antenas y Circuitos de Alta Frecuencia. Jorge A. Ruiz Cruz, José Luis Masa Campos. Escuela Politécnica Superior, Universidad Autónoma de Madrid. Marzo 2003.

[40] Radiación y Radiocomunicación. Capítulo 7. Radiopropagación y Atenuación de la Señal y Comunicaciones. Universidad de Sevilla.

[41] "GSM Basics", Una Introducción al GSM900, GSM1800, GSM1900.

[42] Todo sobre los decibelios. María Jiménez 05/2006 DT-MJ-001-06. Rohde & Schwarz.

[43] GSM. RBS 2302 "Radio Base Station". RBS 2302 – "The Complete Micro Base Station. Ericsson Radio Systems AB" www.ericsson.com AE/LZT 123 4382 R3 © Ericsson Radio Systems AB 2001.

[44] Transmisor RBS 2206-claro y digicel. La RBS 2206, una vía flexible hacia sistemas celulares de la tercera generación. Per Wil.n. Ericsson Review No. 2, 2000.

[45] Ley General de Telecomunicaciones Óscar Arias Sánchez. Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. junio de 2008.

[46] República de Colombia Congreso de la República. LEY 37 DE 1993. EL Congreso de la República de Colombia; Decretos. Publíquese y cúmplase. Dado en Santafé de Bogotá, D.C., a los 6 días del mes de enero de 1993.

[47] Reglamento de Protección de Emisiones de Radiación no ionizante generadas por uso de frecuencias del espectro Radioeléctrico. Resolución 01-01-conatel-2005. Consejo nacional de telecomunicaciones CONATEL.

[50] Estudio Teórico-Práctico de las Emisiones Radioeléctricas en Redes Comerciales de Telefonía Móvil. Raquel Higüero Miralles. Universitat Politècnica de Catalunya. Marzo de 2008.

[51] Informe Sobre la Exposición del Público en General a las Emisiones Radioeléctricas de Estaciones de Radiocomunicación. Secretaría de estado de Telecomunicaciones y para la sociedad de la información. Ministerio de industria, turismo y comercio. Año 2008.

[52] NORMA Oficial Mexicana NOM-081-SCT1-1993, Sistemas de radiotelefonía con tecnología celular que operan en la banda de 800 MHz.

[53] Normas y estándares aplicables a los campos electromagnéticos de radiofrecuencias en América Latina: guía para los límites de exposición y los protocolos de medición. Jorge Skvarca y Aníbal Aguirre.

[54] Decreto Supremo N° 038-2003-MTC. Constitución Política del Perú.

[55] Norma y Procedimientos para la medición y evaluación de las señales electromagnéticas de campo. Oscar Fallas Cordero.. Universidad de Costa Rica Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Eléctrica. Mayo del 2007

[56] UIT-T K.52 Orientación sobre el Cumplimiento de los Límites de Exposición de las Personas a los Campos Electromagnéticos. Recomendación UIT-T K.52.

[57] Recomendación UIT-R p.529-3. Métodos de Predicción Requeridos para el Servicio Móvil Terrestre Terrenal en las Bandas de Ondas Métricas y Decimétricas.

[58] UIT-T.K.61. SERIE K: Protección Contra las Interferencias. Directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen los límites de exposición de las personas.

- [59] Capitulo 3: Fundamentos de Antenas. "Institute of Electrical and Electronics Engineers" (IEEE). (IEEE Std. 145-1983).
- [60] ARPANSA "Maximum Exposure Levels to Radiofrequency Fields – 3kHz to 300 GHz". Radiation Protection Series. Commonwealth of Australia 2002.
- [61] Estudio de densidad de Potencia Teórica Producida por Antena de Telefonía Banda de 1.93 a 1.99 GHz y sus Posibles Consecuencias Ubicación: Vicente López. Noviembre de 2000. Universidad Tecnológica Nacional.
- [62] Cap. 3.1. Transmisión de Modulación de Amplitud. Ing. Oscar M. Santa Cruz. 2010.
- [63] Catálogo de fotos de antenas en El Salvador. Autor: Ing. Walter Zelaya. Universidad Nacional de El Salvador.
- [64] Diseño de Procedimientos para la Medición de CEM de alta Frecuencia. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701 202. Agosto de 2010.
- [65] "Evaluación de la Radiación Emitida por las Antenas Base de Telefonía Celular en la Ciudad de Guatemala, con Base en los Estándares Permitidos Internacionalmente". Luis Alberto Lavagnino Fonseca. Universidad de San Carlos de Guatemala. Febrero de 2006.
- [66] ARQUITECTURA DE REDES SISTEMAS Y SERVICIOS, Isabel Román Martínez. Ing. En Telecomunicaciones. 2007/08
- [67] The Mobile Manufacturers Forum (MMF), (2004), RF safety at base station sites.
- [68] BULLETIN NUMBER 72, *The ILLR Computer Program*, FCC, July 2002
- [69] Salud y Antenas Móviles: El experimento biológico más grande de la historia Derechos Humanos - Medio Ambiente, por Arthur Firstenberg, Julio de 2007.
- [70] Implicancias de la imposición de límites arbitrarios de exposición a radiofrecuencia en la infraestructura de comunicaciones móviles.
- [71] Estudio de Electromagnetismo, ENDESA, Chile, 2006.
- [72] Protocolo para la Evaluación de Radiaciones No Ionizantes, Comisión Nacional de Telecomunicaciones, Argentina, 2004.
- [73] FCC Bulletin oet65. Evaluating Compliance With FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields. Robert F. Cleveland, Jr. David M. Sylvar Jerry L. Ulcek .Edición 97-01. Agosto de 1997.
- [74] FCC Bulletin 65 Supplement A. Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields. Robert F. Cleveland, Jr. David M. Sylvar Jerry L. Ulcek .Edición 97-01. Agosto de 1997. (Edition 97-01).
- [75] FCC Bulletin 65 Supplement B. Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields. Robert F. Cleveland, Jr. David M. Sylvar Jerry L. Ulcek .Edición 97-01. Agosto de 1997. (Edition 97-01).
- [76] FCC Bulletin 65 Supplement C. Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields. Robert F. Cleveland, Jr. David M. Sylvar Jerry L. Ulcek .Edición 97-01. Agosto de 1997. (Edition 97-01).
- [77] FCC Bulletin 61. The FCC Equipment Authorization Program for Radio Frequency Devices. Robert F. Cleveland, Jr. David M. Sylvar Jerry L. Ulcek .Edición 97-01. Agosto de 1997. (Edition 97-01).
- [78] PRESS RELEASE N° 208 – 31 May 2011: The WHO/ International Agency for Research on Cancer (IARC) has classified radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans (Group 2B).

MEDIDOR DE BANDA ANCHA



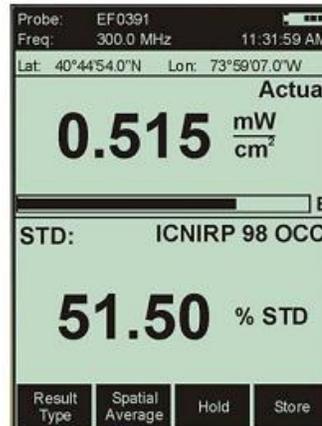
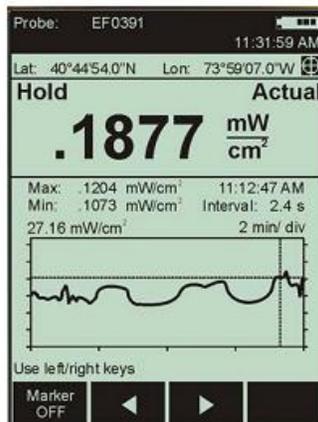
Modelo NBM-550 y sonda EF-0391 marca NARDA.

Datos de Sonda:

- Rango de frecuencias de 100kHz – 3 GHz, tiene una sensibilidad de 0.2 V/m.

Datos del medidor:

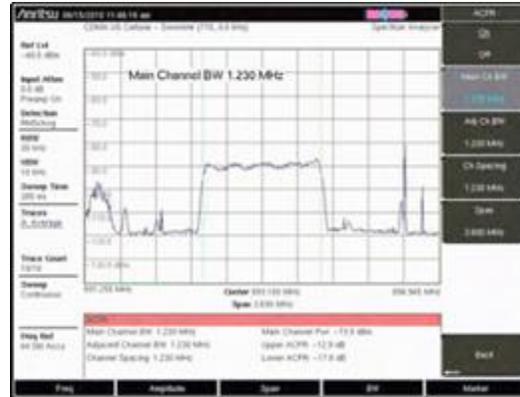
- Presentación de datos en V/m, A/m, W/m² y mW/cm².
- Pantalla mono-cromática, LCD.
- Puede ser configurado para aplicar límites establecidos ej. ICNIRP.
- GPS como accesorio.



Precio:

- Receptor GPS \$990.00
- Extensión del mango \$63.00
- Convertidor USB \$266.00
- Aparato medidor \$5750.00
- Sonda \$3200
- Conector \$112.0
- **Precio total US\$ 10138**

ANALIZADOR DE ESPECTRO.



Analizador portátil modelo: Spectrum Master MS2724C

Marca: Aritzu

Ancho de Banda de medición: 9 KHz – 20 GHz

Precio: US\$21,950.00

Especificaciones:

- Un solo botón para ajustar medición.
- Unidades de medición de intensidad de campo dBm/m² o dBmV/m.
- Resolución del ancho de banda 1 a 10 MHz.
- Detecta la medición más baja y la medición más alta.
- Analiza sistemas FM, GSM/GPRS/EDGE, W-CDMA, CDMA/EV-DO y Wi-Fi.

No	FORMULARIO TÉCNICO 1: PARA EL INFORME DE INSPECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL SITIO.		
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL LUGAR			
UBICACIÓN DEL SITIO			
Departamento:	Municipio:	Colonia / Barrio:	
CARACTERIZACIÓN DEL SERVICIO RADIOELÉCTRICO			
Parámetro	Valor	Unidades / Descripción	
Nombre de la empresa/Operador			
Tipo de servicio			
Frecuencia de operación			
Longitud de onda			
Potencia de transmisión			
Ganancia de la antena			
Altura de torre (antena) o monoposte			
Clasificación			
OTRO(S) SERVICIO(S) RADIOELÉCTRICO(S) VISIBLES ALREDEDOR DE LA ZONA DE MEDICIÓN			
Distancia desde el punto de medición	TV / Radio	Telefonía celular	Otros
Menos de 50 m.			
De 50 a 100 m.			
De 100 a 200 m.			
De 200 m a 500 m.			

Continuación formulario técnico 1.				
EDIFICACIONES VISIBLES ALREDEDOR DE LA ZONA DE MEDICIÓN				
Distancia desde el punto de medición	Hospitales	Centros Educativos	Edificios habitacionales	Otras Edificaciones
Menos de 50 m.				
De 50 a 100 m.				
INFORMACIÓN ADICIONAL				
Ubicación GPS Latitud:	Tipo de Modulación	Modelo de transmisor	Modelo de antena(s)	Sistema AGS**
Longitud:				
<p>* Adjuntar fotos (si es posible) que permitan una vista panorámica del entorno de la(s) antena(s), con fecha. ** Sistemas de Control de Ganancia Automática (solo para sistemas de telefonía celular).</p>				

No:	FORMULARIO TÉCNICO 2. INFORME DE PREDICCIONES TEÓRICAS PARA SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN AM	
Pre Cálculos		
Limite E (tabla 3.4) [V/m]	Limite H (tabla 3.4) [A/m]	PIRE (P*G) [W ó mW]
Distancia desde la base de la torre/antena al punto [m]	Campo Eléctrico [V / m]	Campo Magnético [A / m]
Distancia de seguridad [m]		

No		FORMULARIO TÉCNICO 4: PARA EL INFORME DE INSPECCIÓN DEL SITIO SERVICIO DE TELEFONÍA CELULAR				
Punto	d [m]	h_b [m]	h_m [m]	h_r [m]	w [m]	b [m]
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Valores que pueden tomarse por defecto						
b : 20 a 30 m w : $b / 2$ h_r : $3 * (\# \text{ pisos}) + (\text{atico})$ atico : 3 m (inclinado), 0 m (plano) φ : 90° h_m : 2 m						

No	FORMULARIO TÉCNICO 6: OBSERVACIONES PARA EL INFORME DE INSPECCIÓN DEL SITIO
PUNTO	DESCRIPCIÓN
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

No	FORMULARIO TÉCNICO 7: OBSERVACIONES PARA EL INFORME DE INSPECCIÓN DEL SITIO
CROQUIS DEL SITIO	

No		FORMULARIO TÉCNICO 9. OBSERVACIONES DURANTE Y AL FINAL DE LA MEDICIÓN		
Fecha:	Hora de inicio:	Hora de finalización:	Técnico responsable:	
Observaciones correspondientes al informe de medidas No:				
PUNTO	OBSERVACIONES ()	Supera límite de exposición		
		NO	SI	
Conclusiones:		NO	SI	
Se considera necesario delimitar las zonas que superan los límites de emisiones RF				

