

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA METODOLOGICA PARA LA MEDICION DE  
LA INTENSIDAD DE CAMPO ELECTROMAGNETICO. CASO PRÁCTICO ZONA DE  
COBERTURA DE LOS SISTEMAS DE TELEFONIA MOVIL CELULAR.**



**CARLOS FABIAN GARCIA MUÑOZ  
JULIAN ANDRES GIRONZA CERON**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN  
2006**

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA METODOLOGICA PARA LA MEDICION DE  
LA INTENSIDAD DE CAMPO ELECTROMAGNETICO. CASO PRÁCTICO ZONA  
DE COBERTURA DE LOS SISTEMAS DE TELEFONIA MOVIL CELULAR.**

**CARLOS FABIAN GARCIA MUÑOZ  
JULIAN ANDRES GIRONZA CERON**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**

**Director  
Ing. ALDEMAR HOLGUÍN ROJAS**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN  
2006**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
1.1. DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS CELULARES	14
1.2. EL SISTEMA DE CELDAS	16
1.3. TIPOS DE CELDAS	17
1.4. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA GSM	18
1.5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	19
1.6. ARQUITECTURA DE UNA RED GSM	21
1.6.1. La Estación Móvil o Mobile Station (MS)	21
1.6.2. La Estación Base o Base Station Subsystem (BSS)	22
1.6.3. El Subsistema de Conmutación y Red o Network and Switching Subsystem (NSS)	22
1.6.4. Los Subsistemas de soporte y Operación u Operation and Support Subsystem	23
1.7. ROADMING Y HANDOVER	24
1.8. MODULACIÓN	25
1.9. LA INTERFAZ RADIO	25
<b>2. DEFINICIONES DE LOS CONCEPTOS DE RADIACIÓN Y LA TELEFONÍA MÓVIL</b>	<b>28</b>
2.1. ¿QUÉ ES LA RADIACIÓN?	28
2.2. ¿QUÉ SON LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS (CEM)?	28
2.3. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.	30
2.3.1. Radiación Ionizante	31
2.3.2. Radiación no-ionizante (RNI)	31
2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS CEM	31
2.5. ¿LA RADIACIÓN NATURAL ES PELIGROSA?	34
2.6. ¿QUE ES LA RADIOFRECUENCIA (RF)?	34
2.7. TELEFONÍA MÓVIL CELULAR	35
2.7.1. ¿Como trabaja un sistema de telefonía móvil?	35
2.7.2. ¿Cuáles son los efectos de la Radiación de la telefonía Celular?	41
2.7.3. ¿Hay riesgos de salud asociados al hecho de vivir o trabajar cerca de una estación base?	41
2.7.4. ¿Es seguro el Sistema de Telefonía Móvil?	41

2.8. POSIBLES EFECTOS DE LOS CAMPOS.	42
2.8.1. Tasa de Absorción Específica (SAR). ¿Cómo puedo usarla?	43
2.9. TIPOS DE EFECTOS	44
2.9.1. <i>Calentamiento</i>	44
2.9.2. <i>Resonancia</i>	44
2.9.3 <i>Efectos a escala celular</i>	44
2.9.4. <i>Sobre la salud</i>	45
2.9.5. <i>Sobre equipos sensibles</i>	46
<b>3. ANÁLISIS DE LA NORMATIVA INTERNACIONAL Y NACIONAL EN SISTEMAS DE COMUNICACIÓN GSM.</b>	<b>47</b>
3.1. SITUACIÓN INTERNACIONAL.	48
3.1.1 Estudios Independientes.	48
3.1.2. Normas Internacionales.	50
3.2. NORMATIVA COLOMBIANA	55
3.3. LEGISLACIÓN.	57
<b>4. PROPUESTA METODOLOGICA PARA LA MEDICIÓN DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PARA GSM</b>	<b>63</b>
4.1. MEDIDAS EN UN SISTEMA DE TELEFONIA MOVIL.	63
4.2. EQUIPOS DE MEDIDA	66
4.2.1. Antenas	68
4.2.2. Analizador de Campos Electromagnéticos	69
4.2.3. Analizador de Espectro.	71
4.2.4. Otros Equipos y Accesorios	72
4.3. TIPOS DE ESTACIONES RADIOELECTRICAS.	73
4.4. CALCULOS TEORICOS.	78
4.4.1. Evaluación simple de una exposición a los CEM	81
4.4.1.1. Exposición a nivel del suelo	81
4.4.1.2. Exposición en un edificio adyacente	82
4.4.2. Cálculo del Cociente de Exposición	82
4.4.3. Cálculos y comentarios teóricos	83
4.4.3.1. Expresiones útiles de cálculo	84
4.5. PROCEDIMIENTO DE MEDIDA	85
4.5.1. Factores del entorno de las estaciones	85

4.5.2. Factores radioeléctricos	86
4.5.3. Características técnicas de la estación	88
4.5.4. Características radioeléctricas de las antenas	88
4.5.5. Características radioeléctricas para los cálculos de potencia	90
<b>4.6. TOMA DE MEDIDAS</b>	<b>91</b>
4.6.1. Medición en banda ancha	92
4.6.1.1. Procedimiento	93
4.6.2. Medición selectiva en frecuencia	98
4.6.2.1. Mediciones de las Estaciones Bases	98
4.6.2.1.1. Consideraciones Generales sobre la toma de medidas de campo	99
4.6.2.1.2. Procedimiento de Medida	100
4.6.2.1.3. Manejo de la sonda.	101
4.6.2.1.4. Manejo de medida	102
4.6.3. Registro de Medidas	103
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>107</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES</b>	<b>107</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES</b>	<b>108</b>
<b>5.2. REFERENCIAS</b>	<b>111</b>

**ANEXO A: Decreto No.195 del 31 de enero de 2005 del Ministerio  
de Comunicaciones de la República de Colombia**

## LISTA DE FIGURAS.

### CAPITULO 1

Figura 1.1. Cluster de 12 celdas.	15
Figura 1.2. Subsistema de soporte y operación	21
Figura 1.3. Canales de tráfico	26

### CAPITULO 2

Figura 2.1. Ondas de energía eléctrica y magnética.	28
Figura 2.2. Onda sinusoidal de voltaje.	29
Figura 2.3. El Espectro electromagnético y sus aplicaciones más importantes.	33
Figura 2.4. Algunos tipos de torres y antenas celulares.	36
Figura 2.5. Distribución de células hexagonales.	36
Figura 2.6. Configuración de arreglo de células adyacentes.	37
Figura 2.7. La radiación en un teléfono móvil es generada en el transmisor y emitida por a antena	38
Figura 2.8. Diagrama simplificado del sistema de telefonía celular.	40

### CAPITULO 4

Figura 4.1 Analizador de Campos Electromagnéticos y su Sonda	67
Figura 4.2 Analizador de Espectro HP 8594E	71
Figura 4.3 Analizador de Espectro Anritsu MS2661B	72
Figura 4.4 Radiación de los haces de ondas	80
Figura 4.5 Exposición a CEM	81
Figura 4.6 a) Patrón de radiación horizontal	89
Figura 4.6 b) Patrón de radiación vertical	89
Figura 4.6 c) Patrón de plano horizontal	89
Figura 4.7 Configuración de medida en Banda Ancha	92
Figura 4.8 a) Niveles ICNIRP de referencia y decisión para el campo eléctrico	94
Figura 4.8 b) Niveles ICNIRP de referencia y decisión para la densidad de potencia	95
Figura 4.8 c) Niveles ICNIRP de referencia poblacional y ocupacional	95
Figura 4.9. Esquema de la Medición de Banda Angosta utilizando el Analizador de Espectro	98
Figura 4.10. Sonda Narda SRM 3000.	101

## LISTA DE TABLAS.

### CAPITULO 1

Tabla 1.1 Detalles técnicos GSM.	20
----------------------------------	----

### CAPITULO 2

Tabla 2.1 Espectro electromagnético y tipos de servicio.	30
--	----

### CAPITULO 3

Tabla 3.1 GRUPOS DE EXPERTOS INDEPENDIENTES	49
Tabla 3.2 ESTUDIOS SOBRE EL CÁNCER	49
Tabla 3.3 Comparación de los límites de las guías	51
Tabla 3.4 Límites máximos de exposición según la frecuencia de operación.	58

### CAPITULO 4

Tabla 4.1 Rango de operaciones de antenas	68
Tabla 4.2 Características de antena dipolo	68
Tabla 4.3 Características de antena logarítmica periódica	68
Tabla 4.4 Características de antena bocina	68
Tabla 4.5 Especificaciones técnicas sonda EMR3000 y sensor tipo 26	70
Tabla 4.6 Característica de analizador de espectros HP-8594E	71
Tabla 4.7 Característica de analizador de espectros MS 2661B	72
Tabla 4.8 Total de celdas en Popayán	78
Tabla 4.9 Características radioeléctricas de las antenas	88
Tabla 4.10 Características radioeléctricas por áreas	90
Tabla 4.11 Características radioeléctricas por factores	90
Tabla 4.12 Características radioeléctricas de SM	91
Tabla 4.13 Límites operativos de exposición del público en general	94

## GLOSARIO Y ACRÓNIMOS.

- ❖ **ANSI:** American National Standards Institute o Instituto Nacional de Estándares Americano.
- ❖ **AuC :** Authentication Center o Centro de Autenticación.
- ❖ **BSC :** Base Station Controller o Controlador de estaciones base.
- ❖ **BSS :** Base Station Subsystem o Estación Base.
- ❖ **BTS :** Base Tranceiver Station o Estación Tranceptora Base.
- ❖ **CDMA:** Code Division Multiple Access o Acceso Múltiple por División de Código: Un sistema de codificación en que los mensajes digitalizados de diversos usuarios se transmiten por el mismo canal y al mismo tiempo. Cada mensaje es decodificado independientemente de los otros.
- ❖ **CEM :** Campos electromagnéticos.
- ❖ **EIR :** Equipment Identy Registrar o Registro de identificación del equipo.
- ❖ **FCC :** Federal Communicaction Commission o Comisión Federal de Comunicación.
- ❖ **FDA :** Food and Drug Adminstation o Administración de Alimentación y Medicamentos (EEUU).
- ❖ **FDMA :** Frequency Division Multiple Access o Acceso Múltiple por División de Frecuencia: Un método de codificar la información de distintos usuarios de forma que la información de cada usuario modula una portadora de RF de frecuencia distinta.
- ❖ **Ghz :**Gigahertzios : mil millones de hertzios.
- ❖ **GIWU :** GSM Interworking Unit.
- ❖ **GSM :** Global System for Mobile Communications o Sistema Global para Comunicaciones Móviles.
- ❖ **GMSC :**Gateway Mobile Services Switching Center.
- ❖ **GMSK :** Gaussian Minimun Shift Keing.
- ❖ **HLR :** Home Location Registrar o Registro de localización local.

- ❖ **Hz** : Hertzios: unidad de frecuencia de una señal. Un hertzio equivale a una oscilación por segundo.
- ❖ **ICNIRP** : International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection o Comisión Internacional para la protección contra la radiación no ionizante.
- ❖ **IEEE** : The Institute of Electrical and Electronics Engineers o Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
- ❖ **IMEI** : International Mobile Equipment Identity o Identificaciones internacionales de los equipos móviles.
- ❖ **ITU** International Telecommunications Union ó Unión Internacional de Telecomunicaciones.
- ❖ **Mhz** : Megahertzios: un millón de hertzios.
- ❖ **MS** : Mobile Station o Estaciones Móviles.
- ❖ **MSC** : Mobile Services Switching Center o Centro de conmutación de servicios móviles.
- ❖ **MTC**: Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Colombia.
- ❖ **NCRP** : National Council on Radiation Protection and Measurements o Consejo Nacional de Protección Radiológica y Metrología (EEUU)
- ❖ **NRBP** : National Radiation Protection Board o Comisión Nacional de Protección Radiológica (Gran Bretaña)
- ❖ **NSS** : Network and Switching Subsystem o Subsistema de Conmutación y Red.
- ❖ **PCS** : Personal Communication Service o Servicio de comunicación personal : Un término usado por los proveedores de servicios digitales en la banda de 1800-2000 Mhz. El término distingue este servicio nuevo de los prestados a frecuencias más bajas.
- ❖ **PIN** : Personal Identification Number o Número de identificación personal.
- ❖ **PIRE** : Potencia Isotrópica Radiada Equivalente: Una medida que indica la efectividad de un radiador para concentrar la energía emitida en dirección de máxima radiación.
- ❖ **PSTN** : Red Telefónica Pública Conmutada.

- ❖ **RDSI** : Red digital de servicios integrados.
- ❖ **RF** : Radiofrecuencia: ondas electromagnéticas con frecuencias comprendidas entre los 3 KHz. (3000 Hz) y los 300 Ghz ( $3 \times 10^{11}$  Hz). A veces se distingue entre radiofrecuencias, entre 3 KHz y 1 Ghz y microondas, entre 1 Ghz y 300 Ghz.
- ❖ **RNI** : Radiación no Ionizante.
- ❖ **SAR** : Specific Absorption Ratio o Tasa de Absorción Especifica: una medida de la velocidad a la que se absorbe la energía electromagnética por un objeto expuesto. SAR, medido en W/kg es la cantidad básica a partir de la cual se derivan la mayoría de guías de exposición modernas.
- ❖ **SIM** : Subscriber Identity Module o Modulo de identificación del suscriptor.
- ❖ **SMS** : Short Message Send o Envío de mensajes cortos.
- ❖ **TDMA** : Time Division Multiple Access o Acceso Múltiple por División de Tiempo: un método de combinar los mensajes de diversos usuarios en un único canal de radio asignando a cada uno un intervalo de tiempo de transmisión distinto.
- ❖ **VLR** : Visitor Location Register o Registro de localización para visitante.

## **CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.**

El creciente progreso de las telecomunicaciones en los últimos años está siendo experimentado en Colombia y en el mundo, siendo la telefonía móvil y la Internet los servicios de mayor crecimiento.

Los teléfonos celulares por su gran capacidad de comunicación debido a sus diferentes variantes (servicio telefónico, servicio móvil satelital, servicio PCS, etc.) hacen parte fundamental de nuestras vidas. Con el crecimiento masivo del mercado móvil celular a nivel mundial a tasas anuales bastante significativas, tendremos en pocos años un gran acercamiento a la total cobertura global.

Cifras de la ITU reflejan un fuerte crecimiento en los países en vías de desarrollo y en el mundo. El número de usuarios de teléfonos móviles en todo el mundo ascendió a cerca de 1.500 millones a mediados de este año 2006, lo que representa un cuarto de la población mundial.

El crecimiento en la cantidad de usuarios de telefonía celular ha superado al de las líneas fijas, que suman 1.850 millones, frente a los 1.000 millones de comienzos de este siglo.

El motor detrás de este fenómeno es el rápido aumento en el número de usuarios en tres de los países más poblados del mundo: China, India y Rusia.

Por otro lado a mediados de este año, los países en desarrollo en su conjunto desplazaron a las naciones ricas para representar el 56 por ciento del total de suscriptores.

Hacia julio de este año, China tenía 310 millones de usuarios, alrededor de un cuarto de su población y más que el total de habitantes de Estados Unidos.

India, con una base de suscriptores mucho menor, está comenzando a exhibir un crecimiento exponencial. En lo que va del año ha registrado un incremento del 25 por ciento, para tener 44,5 millones de usuarios [1].

Con el incremento de la demanda de estos servicios móviles, el número de estaciones base en nuestras ciudades se ha elevado de tal manera que podríamos decir sin exagerar, que existe una invasión desmedida de estos dispositivos de radiación de ondas electromagnéticas, ubicados en toda la geografía de una ciudad y como consecuencia de ello se puede manifestar que no existe lugar en el entorno de nuestras ciudades que esté libre de recibir tales emisiones.

Sin embargo, este crecimiento ha creado intranquilidad a nivel mundial que se desarrolla paralela al crecimiento de las redes móviles, sobre los efectos a la salud que causa el uso de los teléfonos móviles y las estaciones bases omnipresentes y cada vez más cercanas a nuestros hogares. Esta percepción de la radiación electromagnética y sus efectos en la salud, motiva la investigación y la regulación que influirán en el desarrollo de servicios tan significativos que constituirán la base tecnológica de la nueva sociedad de la información.

Numerosos intereses están implicados en ello, desde los productores de equipos de uso diario en la población como son los teléfonos celulares, las corporaciones que desarrollan y operan las instalaciones que llevan el servicio a los clientes, hasta las entidades de la salud y grupos ecologistas que de una forma u otra velan por la salud de las personas y la protección del medio ambiente.

Es por ello necesario profundizar más en el tema de las estaciones bases que son la mayor preocupación de la población en cuanto a las RNI (*Radiación no ionizante*), motivo por el cual el presente trabajo de grado se orienta hacia el desarrollo de una propuesta metodológica para la medición de la intensidad de campo emitida por una estación base ubicada en una ciudad pequeña, la cual podría ser Popayán. Han de considerarse, para el efecto, todas las variables que participan en la determinación, la metodología para la realización de las medidas

de campo y la interpretación de ellas. Para esto, se hace una extracción didáctica de las características más relevantes de la medición como son las definiciones, características funcionales, tecnologías disponibles en el mercado, normatividad, así como la metodología y el procedimiento para practicar su medición, igualmente se hará una descripción detallada de los instrumentos de medida y sus características, para que la medida realizada sea consistente con las normas.

En el primer capítulo se describen las características específicas, la especificación de la interfaz radio y otros parámetros de interés en sistemas de telefonía móvil celular que trabajan en la banda de GSM.

En el segundo capítulo se presentan de una manera clara y concreta las principales definiciones, nociones y conceptos sobre radiación electromagnética producida por servicios de telecomunicaciones, el funcionamiento de la telefonía móvil en general, los posibles efectos sobre la salud humana citando algunos estudios. Es así como se explican los conceptos de la radiación electromagnética, tales como qué es la radiación, qué es una onda electromagnética, cómo se define el espectro electromagnético y cuáles son las regiones del campo radiado por una fuente.

En el tercer capítulo se realiza un análisis de la normatividad existente a nivel internacional y nacional propuesta para sistemas de comunicación de telefonía móvil celular GSM, se presentan también algunos datos para sistemas PCS.

En el cuarto capítulo se describe la metodología para la medición de campos electromagnéticos, los diferentes instrumentos para la medición, así como también los datos más importantes de las diferentes antenas ubicadas en la ciudad de Popayán

Finalmente en el quinto capítulo se compilan las conclusiones del proyecto, así como también se dan recomendaciones para poder desarrollar trabajos futuros.

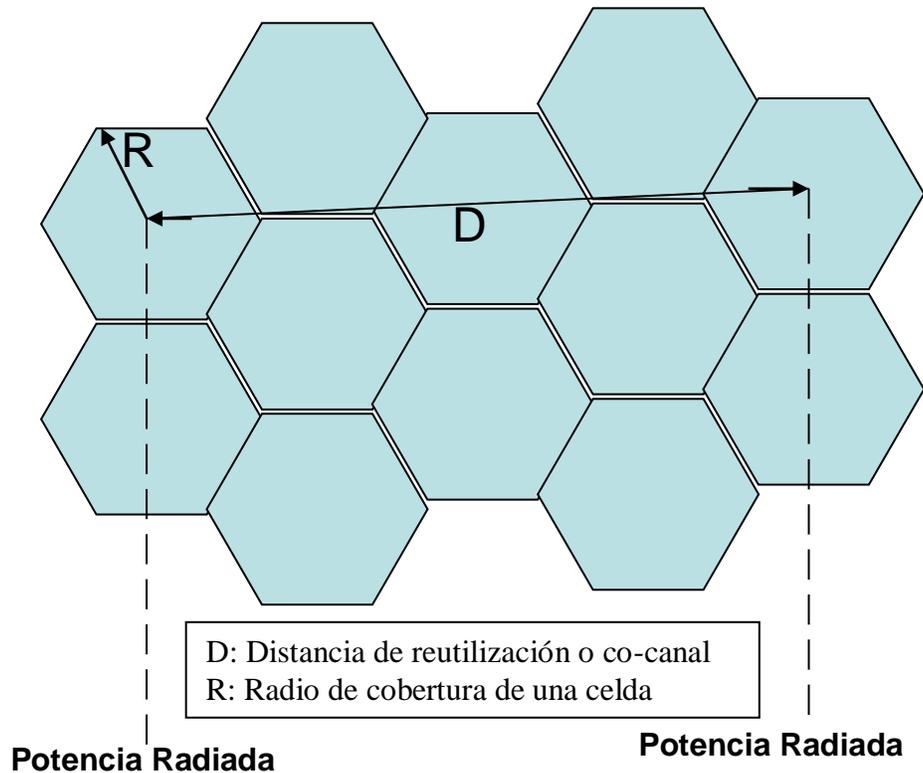
## 1.1. DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS CELULARES

Los sistemas celulares se basan en la división del área de cobertura de un operador en lo que se denomina celdas; estas celdas se caracterizan por su tamaño, cada una de las cuales es atendida por una estación de radio (denominada comúnmente estación base) que restringe su zona de cobertura a esta zona. En el diseño de estos sistemas es muy importante tomar en cuenta el cubrimiento celular, lo cual permite determinar el número de celdas por zona de servicio y con esto el número de estaciones bases a instalar. El tamaño de las celdas viene determinado por la potencia del transmisor, que debe ser lo más baja posible para poder reutilizar el mayor número de frecuencias. Las frecuencias se distribuyen sobre las celdas a lo largo del área de cobertura del operador de manera que todos los canales de radio se encuentran disponibles para ser usados en cada grupo de celdas (cluster) lo cual no sucedería si se produjese una emisión de la señal con una potencia superior, ya que se podría interferir en los canales disponibles de otras celdas adyacentes. En las celdas se debe verificar:

- El nivel de potencia del transmisor que debe ser mínimo para reducir las interferencias con los transmisores de las celdas vecinas.
- Las celdas vecinas no pueden compartir los mismos canales, para reducir el nivel de interferencias

El siguiente nivel de organización que existe en GSM es el de cluster, que no es más que un conjunto de celdas agrupadas entre si; estos clusters suelen agrupar conjuntos de 4, 7, 12 o 21 celdas distintas que se distribuyen por todo el área de cobertura del operador. En la figura 1.1 se muestra un cluster de 12 celdas. El número total de canales por celda, directamente ligado a la capacidad de manejo de tráfico, depende de número total de canales disponibles y del tipo de cluster, según la fórmula 1:

$$\text{Número de Canales por celda} = \frac{\text{Número total de canales}}{\text{Cluster (4,7,12,21)}} \quad (1)$$



**Figura 1.1 Cluster de 12 celdas.**

La forma de celda hexagonal es solo una herramienta de diseño y planificación. La cobertura real de una estación base asociada a cada celda queda determinada por las condiciones reales de propagación (relieve del terreno) y las características de potencia y sensibilidad de los terminales extremos del enlace entre la estación base y el móvil.

En la práctica es posible que un móvil asociado a una determinada celda logre mejor cobertura en una celda adyacente, debido a la conformación del diseño y su posición en un instante determinado.

Para que en celdas distintas puedan reutilizarse los mismos canales, es necesario que las celdas estén separadas a una distancia D, denominada distancia de

reutilización o distancia co-canal, que garantice un valor mínimo de la razón portadora a interferencia (C/I) [2].

## **1.2. EL SISTEMA DE CELDAS**

El objetivo de un sistema celular es reutilizar canales, pero al estar estos canales asociados a estaciones base, lo que se hace es replicar los planes de frecuencias.

Las estaciones base se despliegan de forma irregular según el terreno, buscando un mínimo de zonas de sombra. El problema de diseño de la red está en determinar la ubicación mas adecuada de las estaciones base para conseguir una mayor cobertura y minimizar las zonas de sombra.

Lo habitual de las estaciones base es que tengan un diagrama de radiación omnidireccional, es decir, que transmitan en todas las direcciones con la misma potencia y frecuencias. Para el mejor aprovechamiento del espectro y de la potencia radiada por las antenas, se puede sectorizar la radiación concentrando la potencia hacia un determinado sector. Se trata así de aprovechar la potencia enviada al móvil, dado que éste solo puede estar en un lugar determinado y la potencia enviada en otras direcciones se radiaría inútilmente.

Con este sistema se obtiene un eficiente uso del espectro en zonas de alta densidad de equipos móviles. En este caso la idea es que cada estación base disponga de tres antenas que radian cada una para un determinado sector, en principio de 120°. Este es el caso más común de sectorización, si bien se utilizan además otras configuraciones. El diagrama de radiación de estas antenas no es uniforme siendo más intensa en la bisectriz del sector y disminuyendo en los extremos.

En la práctica en zonas muy congestionadas por la demanda de comunicaciones móviles los sectores de 120° no son operativos. Normalmente se instalan seis

antenas en cada estación base que suponen seis sectores de 60° cada uno en cuyo centro está la estación base de modo que si un móvil sale de un sector y entra en otro que pertenece a la misma estación no se produce handover, sino que cambia de asignación de antena [3].

### 1.3. TIPOS DE CELDAS.

En GSM se distinguen cuatro tipos diferentes de celdas [4]:

1. **Macroceldas (Macrocells):** Son celdas de gran tamaño utilizadas en áreas de terreno muy grandes y donde la distancia entre áreas pobladas es muy distantes entre si.
2. **Microceldas (Microcells):** Se utilizan por el contrario en áreas donde hay una gran densidad de población; a mayor número de celdas, mayor número de canales disponibles que pueden ser utilizados por más usuarios simultáneamente.
3. **Celdas Selectivas (Selected Cells):** En muchas ocasiones no interesa que una celda tenga una cobertura de 360 grados sino que tenga un alcance y un radio de acción determinado, en este caso es donde aparecen las celdas selectivas; el caso más típico de celdas de este tipo son aquellas que se disponen en las entradas de los túneles en los cuales no tiene sentido que la celda tenga un radio de acción total (360 grados) sino un radio de acción que vaya a lo largo del túnel.
4. **Celdas Sombrilla (Umbrella Cells):** Este tipo de celdas se utilizan en aquellos casos en los que tenemos un elevado número de celdas de tamaño pequeño y continuamente se están produciendo cambios (handovers) del terminal de una celda a otra, para evitar que suceda esto lo que se hace es agrupar conjuntos de microceldas para que se aumente la potencia de la nueva celda formada y se pueda reducir el número de handovers que se producen.

#### 1.4. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA GSM [5].

- Espaciamiento de portadora de 200 Khz.
- Cada canal simplex de 200 Khz, se divide en 8 Time Slots (TS), cada TS tiene una duración de 0,072 ms y la duración de la trama es de 0,577 ms.
- Se digitaliza y comprime voz y datos.
- Esta basado en las tecnologías de acceso TDMA.
- GSM utiliza canales duplex de radio frecuencia, que consta de dos frecuencias, una de transmisión y otra de recepción.
- Utiliza modulación GMSK.
- Plan de frecuencia N = 4 (cluster).
- Soporta estructura jerárquica de frecuencias.
- La multitrama de tráfico esta formada por 26 tramas y la multitrama de control por 52 tramas.
- Provee algoritmos de encriptación para autenticar al usuario y codificar las conversaciones.
- Utiliza una tarjeta inteligente, denominada SIM (Subscriber Identity Module – Modulo de identificación del suscriptor) como mecanismo de acceso a la red. La identidad del suscriptor se encuentra en la tarjeta y no en el equipo, permitiendo al usuario cambiar el dispositivo celular. Soporta 3G.
- Soluciona problemas de propagación como desvanecimiento, interferencia multitrayecto y de canal adyacente mediante ecualización, codificación de canal intercalado, diversidad de recepción y saltos lentos de frecuencia. Estos saltos de frecuencia son opcionales en la BTS (Base Tranceiver Station – Estación Tranceptora Base), obligatorias en las MS (Mobile Station – Estaciones Móviles) y el salto máximo posible es de 25 Mhz.
- Ofrece Roaming Global.

- Brinda la oportunidad de implementar sistemas de bajo costo debido a la economía de escala.
- Utiliza la misma banda de operación de 1900 Mhz que TDMA/IS-136 y CDMA/IS-95.
- Dispone de un canal de control que permite, entre otras facilidades, la identificación del número llamante, el envío y recepción de mensajes cortos en formato texto (SMS, Short Message Send), multiconferencia, llamada en espera, y otros.
- Utilización más eficiente del espectro, con celdas más pequeñas debido a la reutilización de frecuencias.
- Menor consumo de energía.
- El sistema GSM permite la conexión con la red telefónica pública conmutada y con la RDSI (Red de servicios integrados) y permite ofrecer al usuario telefonía, transmisión de datos (hasta 9.600 bits/s), envío y recepción de mensajes cortos (alfanuméricos) y conexión a sistemas de correo electrónico.
- En su componente radio se utiliza la banda de frecuencias de 900 Mhz con el método TDMA (acceso por multiplexación en el tiempo) que proporciona ocho canales telefónicos en una misma portadora y una codificación de voz a 13 Kbps, destinándose un octavo de tiempo a cada canal.

### **1.5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS [6].**

Las características más importantes de GSM que opera en la banda de 900 Mhz se diferencian del trabajo de esta tecnología en otras bandas. Se pueden mencionar: asignación y espectro de frecuencias, cobertura, etc.

Estas se presentan en la tabla 1.1

<b>Sistema Digital de Telefonía Celular.</b>	
<b>Característica</b>	<b>GSM</b>
Origen	Europa
Frecuencias TX estación móvil	824-849 Mhz
Frecuencias TX estación fija	869-894 Mhz
Canalización (separación de portadoras)	200 Khz
Separación dúplex	45 Mhz
Modulación digital	GMSK
Tipo acceso/operación dúplex	TDMA/FDD
Canales de tráfico por canal de RF	8 (16)
Número total de canales	1000 (2000)
Codificación de voz	RPE-LTD 13
Velocidad de transmisión	22.8 Kbps
Facilidad de transferencia y seguimiento	Si
Control adaptativo de frecuencia	Si
Potencia móvil	0.6 – 2 W
Radio de las celdas	0.5-35 Km.
Mínima relación S/R en RF	10 dB
Ancho de banda del enlace ascendente	25 Mhz
Ancho de banda del enlace descendente	25 Mhz
Número de portadoras RF	125

**Tabla 1.1 Detalles técnicos GSM**

## 1.6. ARQUITECTURA DE UNA RED GSM [7,8].

Todas las redes GSM se pueden dividir en cuatro partes fundamentales y bien diferenciadas:

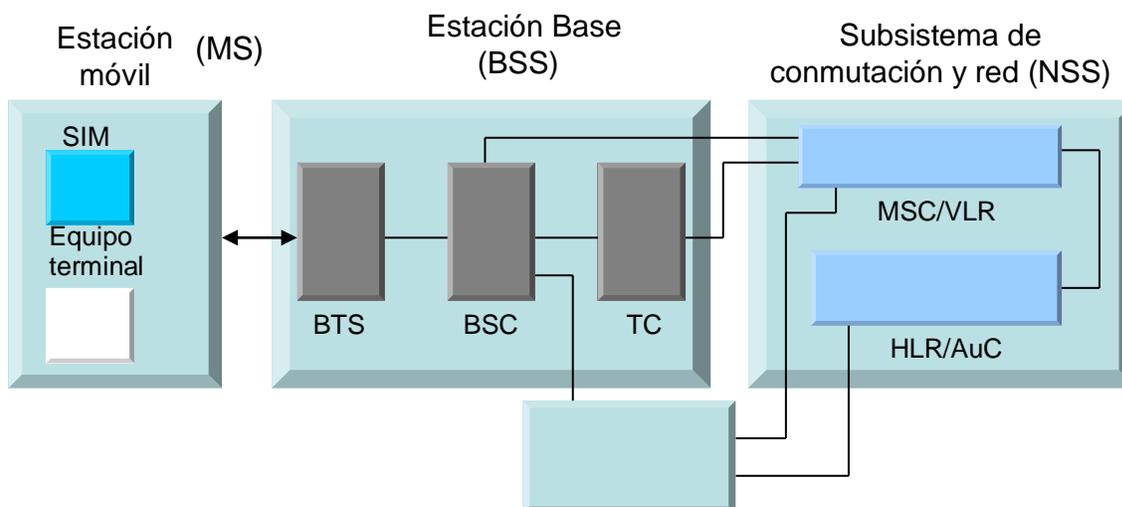


Figura 1.2 Subsistema de soporte y operación

**1.6.1. Estación Móvil o Mobile Station (MS):** Consta a su vez de dos elementos básicos, por un lado el terminal o equipo móvil y por otro lado el módulo de identificación de suscriptor o Subscriber Identity Module (SIM). La diferencia entre unos y otros terminales radica fundamentalmente en la potencia que tienen, que va desde los 2W en terminales móviles hasta los 20W (generalmente instalados en vehículos).

La SIM es una pequeña tarjeta inteligente que sirve para identificar las características de cada equipo terminal. Esta tarjeta se inserta en el interior del móvil y permite al usuario acceder a todos los servicios que haya disponibles por su operador y hacer uso de la red. La SIM está protegida por un número de cuatro dígitos que recibe el nombre de PIN o Personal Identification Number. La mayor ventaja de las tarjetas SIM es que proporcionan movilidad al usuario ya que puede cambiar de terminal y llevarse consigo la SIM. Una vez que se introduce el PIN en el terminal, el terminal busca redes GSM que estén disponibles y va a tratar de validarse en ellas. Una vez que la red (generalmente la que tenemos contratada)

ha validado nuestro terminal el teléfono queda registrado en la celda que lo ha validado.

**1.6.2. Estación Base o Base Station Subsystem (BSS):** Su función es conectar a las estaciones móviles con los NSS (Subsistema de Conmutación y Red), además de ser los encargados de la transmisión y recepción. Constan de dos elementos: La Estación Tranceptora Base (BTS) y el Controlador de Estaciones Base (BSC). La BTS consta de transceptores y antenas usadas en cada celda de la red y que suelen estar situadas en el centro de la celda, generalmente su potencia de transmisión determinan el tamaño de la celda. Los BSC se utilizan como controladores de los BTS y tienen como funciones principales las de estar a cargo de la transición de un móvil de una celda a otra (handover), los saltos de frecuencia y el control de las frecuencias de radio de los BTS.

**1.6.3. Subsistema de Conmutación y Red o Network and Switching Subsystem (NSS):** Este sistema se encarga de administrar las comunicaciones que se realizan entre los diferentes usuarios de la red. Para poder hacer este trabajo la NSS se divide en siete sistemas diferentes, cada uno con una función dentro de la red:

*Mobile Services Switching Center (MSC):* Es el componente central del NSS y se encarga de realizar las labores de conmutación dentro de la red, así como de proporcionar conexión con otras redes.

*Gateway Mobile Services Switching Center (GMSC):* Un gateway es un dispositivo traductor (puede ser software o hardware) que se encarga de interconectar dos redes haciendo que los protocolos de comunicaciones que existen en ambas redes se entiendan. La función del GMSC es la misma, servir de mediador entre las redes de telefonía fijas y la red GSM.

*Home Location Register (HLR)*: El HLR es una base de datos que contiene información sobre los usuarios conectados a un determinado MSC. Entre la información que almacena el HLR se encuentra fundamentalmente la localización del usuario y los servicios a los que tiene acceso. El HLR funciona en unión con el VLR.

*Visitor Location Register (VLR)*: contiene toda la información sobre un usuario, necesaria para que dicho usuario acceda a los servicios de red. Forma parte del HLR con quien comparte funcionalidad.

*Authentication Center (AuC)*: Proporciona los parámetros necesarios para la autenticación de usuarios dentro de la red; también se encarga de soportar funciones de encriptación.

*Equipment Identity Register (EIR)*: También se utiliza para proporcionar seguridad en las redes GSM pero a nivel de equipos válidos. La EIR contiene una base de datos con todos los terminales que son válidos para ser usados en la red. Esta base de datos contiene las identificaciones internacionales de los equipos móviles (IMEI) de cada terminal, de manera que si un determinado móvil trata de hacer uso de la red y su IMEI no se encuentra localizado en la base de datos del EIR no puede hacer uso de la red.

*GSM Interworking Unit (GIWU)*: sirve como interfaz de comunicación entre diferentes redes para comunicación de datos.

**1.6.4. Subsistemas de soporte y Operación u Operation and Support Subsystem (OSS)**: Los OSS se conectan a diferentes NSS y BSC para controlar y monitorizar toda la red GSM. La tendencia actual en estos sistemas es que, dado el incremento del número de BSS, se pretende delegar funciones de las que

actualmente se encarga el subsistema OSS de las BTS, de modo que se reduzcan los costos de mantenimiento del sistema.

### **1.7. ROAMING Y HANDOVER [9].**

Roaming es la habilidad de un sistema para proveer de los mismos servicios a un usuario de otro sistema aunque provenga de otro país. Esto involucra numerosos acuerdos entre los distintos operadores prestadores del servicio de telefonía celular, hasta desafíos técnicos para lograr que el sistema cumpla con esta habilidad.

Algunos de los servicios más importantes que pueden ser atendidos son:

- Hacer una llamada: este servicio fundamental requiere que el sistema verifique que la suscripción del cliente es válida, que el teléfono no sea robado, que el teléfono no esté clonando otra línea móvil, y asegurar que el servicio no esté restringido.
- Recibir una llamada
- Transferencia Intersistema: permite que una llamada continúe sin ser interrumpida cuando el equipo móvil cruza el límite entre dos sistemas celulares.
- Servicio de envío de mensajes cortos (SMS).
- Servicio de discado internacional.

Por otro lado, se denomina handover al proceso utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente. Este mecanismo garantiza la realización del servicio cuando un móvil se traslada a lo largo de su zona de cobertura.

El proceso puede llevarse a cabo por dos motivos:

1. Si al medir la potencia y la calidad de la señal recibida, ésta se encuentra por debajo de un determinado umbral.
2. Si la estación base se encuentra sobrecargada y necesita liberar recursos.

Este mecanismo se utiliza cuando la potencia y la calidad de la señal recibida, se encuentran por debajo de un determinado umbral. Puede ser ejecutado mediante algoritmos controlados por el móvil, por la red o por ambos.

La elección del umbral óptimo es complicada, ya que debe evitarse en todo momento un retardo excesivo en el inicio del traspaso, así como traspasos intermedios (indeseados) que provocan una elevada carga de señalización innecesaria en la red.

Para llevar a cabo la elección del umbral óptimo, el handover debe realizar un promediado de los ecos que se producen en el entorno móvil, evitando así los efectos indeseados por cambios innecesarios de estación base (*efecto ping-pong*).

El efecto más destacable que introduce el promediado de los ecos es un retardo adicional en la realización del handover. La elección del tamaño de la ventana de promediado condicionará, por tanto, dicho retardo así como la probabilidad de que se produzca un handover indeseado. En la elección del tamaño de la ventana existirá un compromiso entre ambos parámetros, de modo que, si el tamaño de la ventana es muy elevado, la probabilidad de que se lleve a cabo un handover intermedio será pequeña siendo el retardo en iniciarlo mayor, y viceversa.

## **1.8. MODULACIÓN**

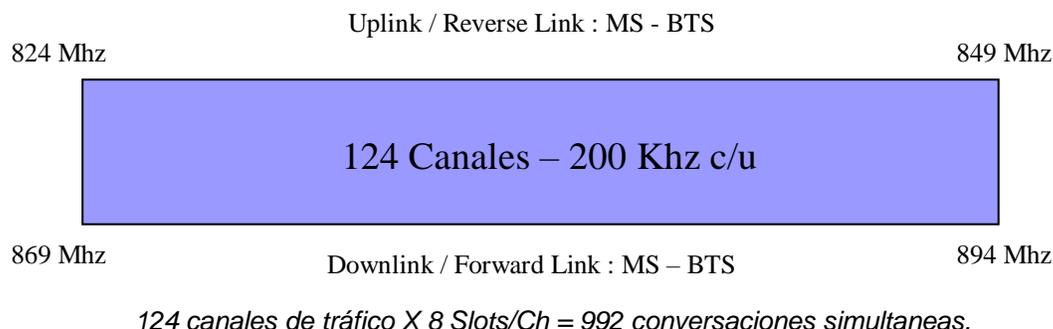
La modulación utilizada es la GMSK (Gaussian Minimun Shift Keing) que es una modulación en frecuencia digital binaria con un índice de modulación de 0,5 en la que se ha realizado previamente sobre la señal moduladora un filtrado gaussiano con 0.3 de producto BT (ancho de banda por el periodo de bit de la señal moduladora) [10].

## **1.9. LA INTERFAZ RADIO [11].**

A través de la interfaz de radio se produce la unión entre los dispositivos móviles y las infraestructuras fijas que hay en las celdas. En GSM se han especificado dos bandas de frecuencia para poder ser usadas con dos fines distintos:

Por un lado se tiene la banda de los 824-849 Mhz que se utiliza para transmitir desde la estación móvil a la estación base.

Por otro lado se tiene la banda de los 869-894 Mhz para transmitir en el sentido contrario, es decir, desde la estación base a la estación móvil. En la figura 1.3 se describen las bandas asignadas para GSM-850.



**Figura 1.3. Canales de Tráfico.**

Hay que señalar que de estas dos bandas de frecuencias (en total tenemos 25Mhz en cada banda de frecuencias) no se pueden usar todas, ya que algunas no se encuentran disponibles por motivos militares y por compatibilidad con algunos sistemas analógicos anteriores al GSM.

Estas bandas de frecuencia son utilizadas para mantener diferentes comunicaciones simultáneas; hay dos mecanismos fundamentales utilizados para poder proporcionar acceso múltiple a un medio limitado como son las frecuencias. Estos dos mecanismos se denominan FDMA o Frequency Division Multiple Access (Acceso Múltiple por división de Frecuencia) y TDMA o Time Division Multiple Access (Acceso Multiple por Division de Tiempo). En el caso de FDMA a cada usuario se le asigna una frecuencia de manera que el máximo número de usuarios que pueden usar el sistema viene determinado por el máximo número de frecuencias disponibles. Mediante TDMA lo que se hace es que diferentes usuarios pueden utilizar el mismo canal; para ello, a cada usuario se le asigna un determinado tiempo en el cual puede hacer uso del canal. TDMA se usa en los sistemas GSM sobre la estructura de FDMA, de la manera siguiente:

Los 25 Mhz de banda de frecuencias se divide en 125 partes denominadas frecuencias subportadoras, las cuales se encuentran separadas unas de otras 200 Khz; de las 125 frecuencias subportadoras, una de ellas (generalmente la primera) se utiliza para comunicar GSM con servicios de baja ocurrencia, por lo que de las 125, realmente solo 124 van a estar disponibles en todo momento. Posteriormente, cada frecuencia subportadora se divide siguiendo el esquema de TDMA en aproximadamente espacios de 0.577 ms, que son asignados a un usuario en particular.

En el componente radio se utiliza la banda de frecuencias de 900 Mhz con el método TDMA (acceso por multiplexación en el tiempo) que proporciona ocho canales telefónicos en una misma portadora y una codificación de voz a 13 Kbps, destinándose un octavo de tiempo a cada canal. Está prevista para un futuro una codificación de voz a media tasa (half rate), lo que permitiría la utilización de 16 canales por portadora [11].

## CAPÍTULO 2. DEFINICIONES DE LOS CONCEPTOS DE RADIACIÓN Y LA TELEFONÍA MÓVIL.

### 2.1. ¿QUÉ ES LA RADIACIÓN?

La radiación es una forma de energía electromagnética en movimiento, que está presente en nuestro mundo de origen natural o artificial. En cada momento de nuestras vidas estamos expuestos a diversas formas de radiación de las cuales la principal es la energía solar electromagnética que incluye las ondas infrarrojas, la luz visible y las ondas ultravioletas. Aplicaciones tan comunes como la electricidad, la radio, la televisión y los sistemas celulares son fuentes de radiación artificial [12].

### 2.2. ¿QUÉ SON LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS (CEM)?

La radiación electromagnética consiste de ondas de energía eléctrica y magnética que se mueven juntas a través del espacio a la velocidad de la luz ( $3 \times 10^8$  m/s). El término “campo electromagnético” (CEM) se usa para indicar la presencia de radiación electromagnética. (Ver figura 2.1) [13].

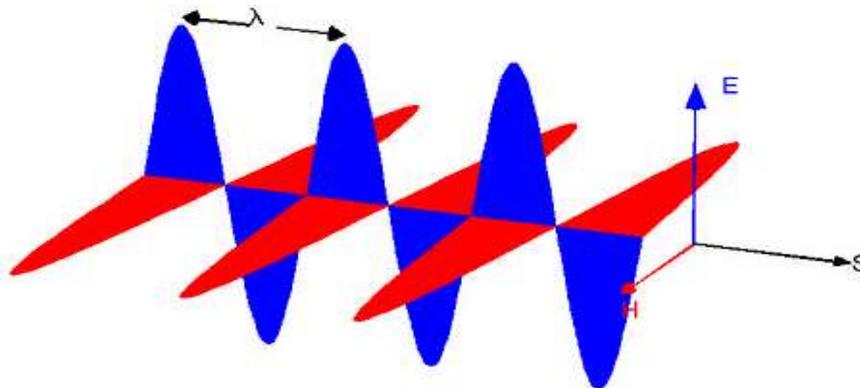
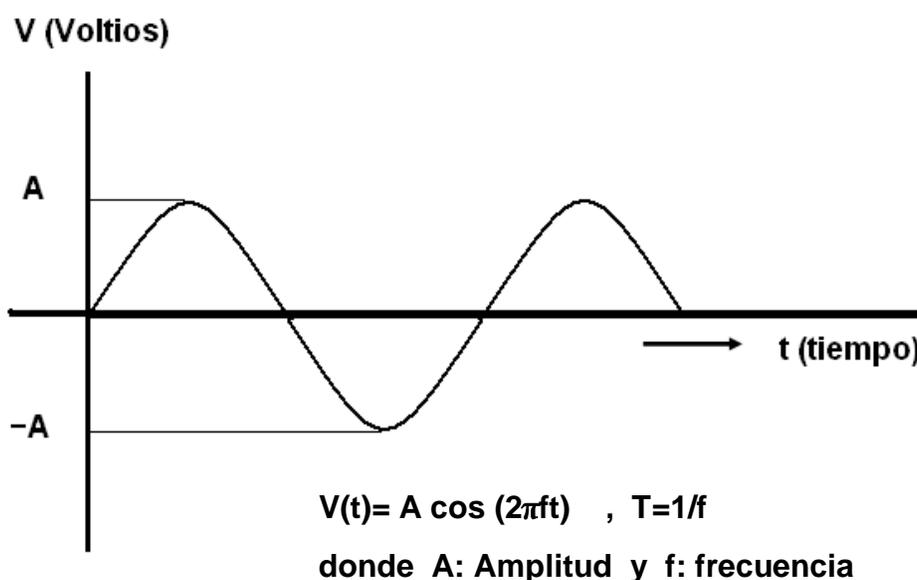


Figura 2.1 Ondas de energía eléctrica y magnética.

Cuando en una región del espacio existe energía electromagnética, se dice que en esa región del espacio hay un campo electromagnético y este campo se describe en términos de la intensidad de campo eléctrico (E) y de la inducción magnética o densidad de flujo magnético (B) en esa posición. Para medir la intensidad de campo eléctrico se emplea la unidad “voltio/metro”, mientras que para medir la densidad de flujo magnético se utiliza la unidad “tesla” (T) y, a veces, el Gauss (G). Un tesla equivale a 10000 Gauss ( $1\mu T=10^{-2} G$ ).

Las diferentes formas de radiación electromagnética son clasificadas por sus frecuencias. Los CEM incluyen los campos eléctricos y magnéticos de las redes de energía (60 Hz en Colombia), la radio, la televisión, los teléfonos móviles y sus estaciones base, radar y comunicaciones vía satélite. Muchos aparatos domésticos también transmiten CEM, tal como los teléfonos inalámbricos y los juguetes a control remoto.

Los parámetros más importantes de una onda son su amplitud y su frecuencia. La amplitud define la potencia de la onda y la frecuencia define el número de ciclos por segundo. Ver figura 2.2.



**Figura 2.2 Onda sinusoidal de voltaje.**

### 2.3. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO [14].

El espectro electromagnético (EM), se extiende desde frecuencias extremadamente bajas, aproximadamente 60Hz de las líneas eléctricas hasta los  $10^{20}$  Hz de la radiación cósmica y gama. Una parte del espectro es denominada de Radiofrecuencia (RF) y está conformado por ondas electromagnéticas que tienen frecuencias en el intervalo de 3Khz a 300 Ghz.

Las ondas producidas por un campo electromagnético se caracterizan por su longitud de onda. La longitud de onda ( $\lambda$ ) se define físicamente por la ecuación:

$$\lambda = v/f \quad (2)$$

donde  $v$  de fase es la velocidad de propagación de la luz en el material y  $f$  es la frecuencia de la onda. El espectro se encuentra dividido en regiones limitadas, sea por la tecnología o por los fenómenos físicos que estén bajo consideración. De esta manera, a nivel físico el espectro tiene dos regiones: la *no-ionizante* y la *ionizante* (a partir de  $10^{15}$  Hz) las cuales se diferencian porque en la primera los efectos de la radiación son demasiado débiles para romper los enlaces que mantienen unidas las moléculas en las celdas. La Tabla 2.1 describe el espectro e indica los servicios que pertenecen a cada banda de frecuencias radio.

Rango de Frecuencias	Banda	Descripción	Tipo de Servicio
30 – 300 Khz.	LF	Baja frecuencia	Radio de onda larga y transmisores LF
300 – 3000 Khz.	MF	Frecuencias medias	Radio AM , radio navegación .
3 – 30 Mhz.	HF	Altas frecuencias	Radio aficionados, Comunicaciones de radio HF .
30 – 300 Mhz.	VHF	Muy altas frecuencias	Radio FM, TV VHF , serv. de emergencia, aficionados
300 – 3000 Mhz.	UHF	Ultra altas frecuencias	TV UHF , teléfonos celulares, aficionados
3 – 30 Ghz.	SHF	Súper altas frecuencias	Microondas, comunicaciones satelitales, radar, microondas punto a punto.
30 – 300 Ghz.	EHF	Extremadamente altas frecuencias	Radar, radio, astronomía, enlaces microondas cortos.

**Tabla 2.1 Espectro electromagnético y tipos de servicio.**

Los campos electromagnéticos transportan energía que puede ser de dos tipos de acuerdo a sus frecuencias: ionizante y no ionizante.

### **2.3.1. Radiación Ionizante**

La radiación ionizante es aquella que contiene suficiente energía para causar ionización, que separa electrones de los átomos o moléculas. Su interacción con la materia puede cambiar las reacciones químicas del cuerpo, lo que lleva a daños en tejidos biológicos incluidos efectos sobre ADN (ácido desoxi-ribonucleico), material genético del cuerpo humano. Los rayos gamma y los rayos X son formas de radiación ionizante.

### **2.3.2. Radiación no-ionizante (RNI)**

Este tipo de radiación no tiene suficiente energía para causar ionización. En el caso del cuerpo humano esta radiación, dependiendo de la frecuencia, puede inducir corrientes o causar un efecto de calentamiento, pero los niveles a los que están expuestos los trabajadores y la población usualmente no son suficientes para causar algún daño permanente en los tejidos. La energía eléctrica, la radiofrecuencia, las microondas, los rayos infrarrojos y la luz visible son radiaciones no ionizantes. Los efectos de las radiaciones no ionizantes son muy diferentes a los de las radiaciones ionizantes que sí pueden causar graves daños a la salud.

## **2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS CEM**

Refiriéndonos a los CEM no ionizantes, podemos distinguir dos grandes grupos de fuentes de exposición en nuestro entorno:

1. Las fuentes que generan campos de frecuencias inferiores a 3 Khz. (0 Hz – 3 Khz.), entre los que se encuentran:

- Las de campos estáticos (0 Khz.): Trenes de levitación magnética, sistemas de resonancia magnética para diagnóstico médico y los sistemas electrolíticos en aplicación industrial-experimental.
- Las fuentes de los campos de frecuencias extremadamente bajas (30 Hz – 300 Hz): Equipos relacionados con la generación, transporte o utilización de la energía eléctrica de 60 Hz, líneas de alta y media tensión y aparatos electrodomésticos (neveras, secadores de pelo, etc.).
- Desde 300 Hz a 3 Khz: Cocinas de inducción, antenas de radiodifusión modulada y equipos de soldadura de arco.

2. Las conocidas como fuentes de campos de radiofrecuencias (3 Khz – 300 Ghz), que, clasificadas por rangos de frecuencia, son las siguientes:

- Desde 3Khz a 30 Khz (VLF): Antenas de radionavegación y radiodifusión modulada, monitores de ordenador, sistemas antirrobo.
- Desde 30 Khz a 300 Khz (LF): Pantallas y monitores, antenas de radiodifusión, comunicaciones marinas y aeronáuticas, radiolocalización.
- Desde 300 Khz a 3 Mhz (HF): Radioteléfonos marinos, radiodifusión AM, termoselladoras.
- Desde 3 Mhz a 30 Mhz: Antenas de radioaficionados, termoselladoras, aparatos para diatermia quirúrgica, sistemas antirrobo.
- Desde 30 Mhz a 300 Mhz (VHF): Antenas de radiodifusión, frecuencia modulada, antenas de estaciones de televisión, sistemas antirrobo.
- Desde 300 Mhz a 3 Ghz (UHF): Teléfonos móviles, antenas de estaciones base de telefonía móvil, hornos de microondas, aparatos para diatermia quirúrgica, sistemas antirrobo.

- Desde 3 GHz a 30 GHz (SHF): Antenas de comunicaciones vía satélite, radares, enlaces por microondas.
- Desde 30 GHz a 300 GHz (EHF): Antenas de radionavegación, radares, antenas de radiodifusión [15].

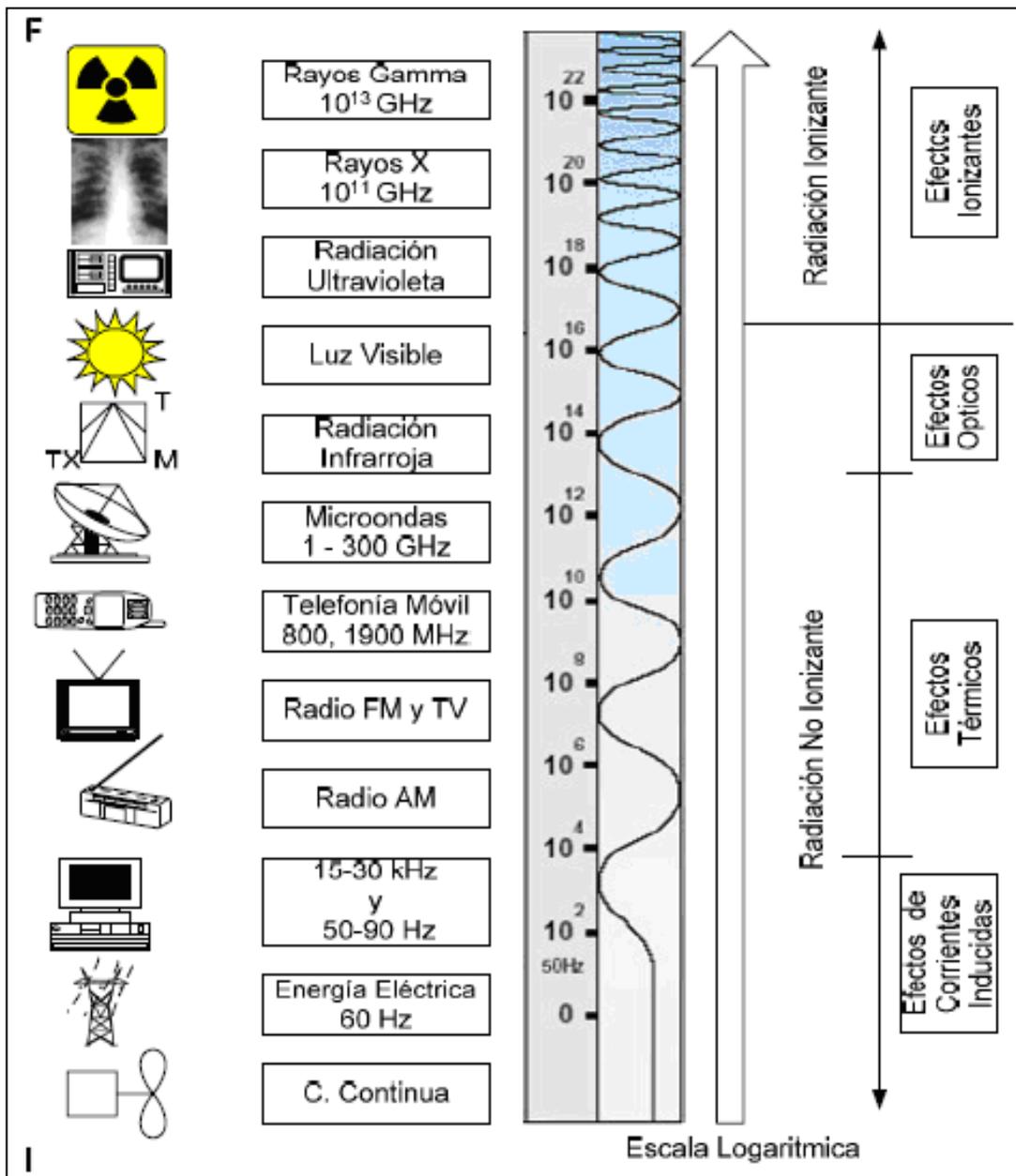


Figura 2.3 El Espectro electromagnético y sus aplicaciones más importantes.

## **2.5. ¿LA RADIACIÓN NATURAL ES PELIGROSA?**

Estamos continuamente expuestos a muchas fuentes naturales de radiación. De estas fuentes, el sol es la más familiar, ya que produce radiación infrarroja, luz visible y luz ultravioleta. Las otras fuentes son la radiación cósmica que consiste de partículas y rayos de alta energía que se originan fuera de la Tierra, la radiación terrestre que viene de los materiales radioactivos que se encuentran en forma natural en la corteza terrestre, y la radiación interna la cual se presenta en forma natural en nuestros cuerpos.

De estas radiaciones tan solo la luz ultravioleta del sol puede ser considerada “peligrosa”. La sobre-exposición a la luz ultravioleta del sol puede causar el envejecimiento prematuro de la piel y quemadura debido al sol, lo que ha sido relacionado con el cáncer a la piel. Aunque la naturaleza de la radiación cósmica, terrestre e interna es inherentemente peligrosa y puede causar cáncer, estas fuentes normalmente no son peligrosas para los seres humanos por que los niveles presente en forma natural son lo suficientemente bajos para que el riesgo sea despreciable.

## **2.6. ¿QUE ES LA RADIOFRECUENCIA (RF)?**

Una señal de radio puede ser entendida como una onda que se difunde desde una fuente (antena). Frecuentemente es referida como una onda electromagnética que esta constituida de componentes eléctricas y magnéticas relacionadas. La radiofrecuencia (RF) incluye las ondas electromagnéticas por los transmisores de radio, televisión, telefonía móvil y microondas. Los componentes de campos eléctricos y magnéticos de la onda pueden ser referidos como campos de radiofrecuencias.

Cuando el locutor de una radio dice “Usted está escuchando 104.1 FM” lo que el locutor quiere decir es que usted está escuchando a una estación de radiodifusión FM cuyas ondas son emitidas en la frecuencia de 104.1 Mhz [16].

## **2.7. TELEFONÍA MÓVIL CELULAR**

La telefonía móvil celular es un servicio público de telecomunicaciones que permite a todos los usuarios comunicarse desde el sitio en que se encuentren. Para poder lograr cobertura del servicio y comunicación desde cualquier sitio, se instalan estaciones distribuidas con antenas para atender zonas agrupadas en pequeñas celdas o celdas. Se deben instalar más estaciones a medida que aumentan los usuarios [17].

### **2.7.1. ¿Cómo trabaja un sistema de telefonía móvil?**

Los teléfonos móviles operan mediante la comunicación con una instalación fija llamada estación base, utilizando como medio las ondas electromagnéticas de radiofrecuencia. Las estaciones base de telefonía móvil también son conocidas como antenas de telecomunicaciones son estaciones bi-direccionales, multicanales, de baja potencia. Las antenas que producen la radiación de RF, son montadas sobre torres de transmisión o en forma distribuida sobre las paredes en la parte más alta de los edificios.

Estas estructuras necesitan estar a cierta altura para poder tener una cobertura más amplia. Cuando uno se comunica mediante un teléfono móvil, se conecta a una estación base cercana. Desde la estación base la llamada telefónica va hacia la central de telefonía móvil que nos conecta con cualquier otro abonado móvil o con algún abonado de la telefonía fija. En la figura 2.4 se observan dos tipos de estaciones base típicas. La cobertura de una estación base urbana típica esta entre 200 y 8000 mt aproximadamente.

Las estaciones de base se separan entre 1 a 3 Km. en zonas urbanas, aunque pueden llegar a separarse por más de 35Km en zonas rurales.

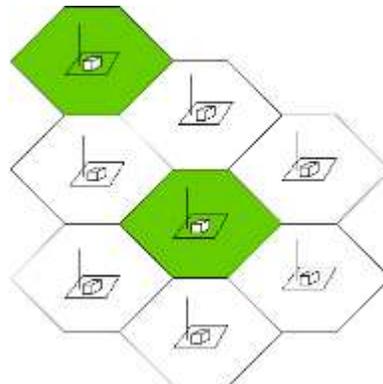
En zonas muy densamente pobladas o áreas con muchos obstáculos (edificios altos), las celdas pueden concentrarse en distancias cada vez menores. Algunas tecnologías, como los PCS (Personal Communication Services), requieren celdas muy cercanas unas de otras debido a su alta frecuencia y bajo poder en el que operan.

Los edificios pueden, a su vez, interferir con el envío de las señales entre las celdas que se encuentren más lejanas, por lo que algunos edificios tienen su propia "microcelda." Los subterráneos son típicos escenarios donde una microcelda se hace necesaria. Microceldas pueden ser usadas para incrementar la capacidad general de la red en zonas densamente pobladas como son los centros capitalinos.



**Figura 2.4 Algunos tipos de torres y antenas celulares.**

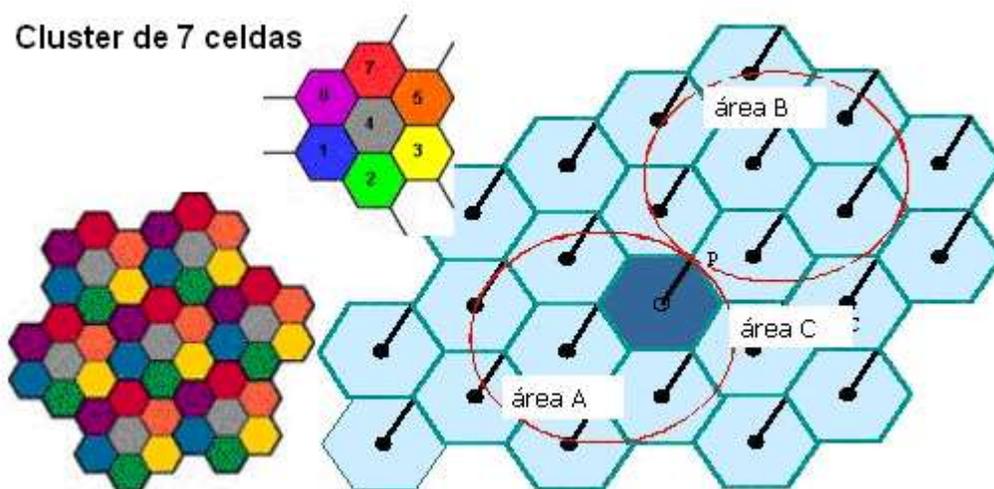
Se puede dividir un área (como una ciudad) en celdas. Cada celda es típicamente de un tamaño de unos  $26\text{Km}^2$ ). Las celdas se imaginan como unos hexágonos en un campo hexagonal grande. Ver figura 2.5



**Figura 2.5. Distribución de celdas hexagonales.**

Debido a que los teléfonos celulares y las estaciones base utilizan transmisores de bajo poder, las mismas frecuencias pueden ser reutilizadas en celdas no adyacentes.

Cada celda en un sistema analógico, con cluster de 7 celdas, utiliza un séptimo de los canales de voz disponibles. Eso es, una celda, más las seis celdas que la rodean en un arreglo hexagonal, cada una utilizando un séptimo de los canales disponibles para que cada celda tenga un grupo único de frecuencias y no haya interferencias entre celdas adyacentes. Ver figura 2.6



**Figura 2.6 Configuración de arreglo de celdas adyacentes.**

De esta forma, en un sistema analógico, en cualquier celda pueden hablar 59 personas en sus teléfonos celulares al mismo tiempo. Con la transmisión digital, el número de canales disponibles aumenta. Por ejemplo el sistema digital TDMA puede soportar el triple de llamadas en cada celda, alrededor de 168 canales disponibles simultáneamente.

Cada celda utiliza un séptimo de los 416 canales duales de voz. Dejando entonces a cada celda aproximadamente los 59 canales disponibles nombrados anteriormente.

Si bien los números pueden variar dependiendo de la tecnología usada en el lugar, las cantidades sirven para mostrar cómo funciona esta tecnología, que en caso de tratarse de una generación más moderna, puede de todas formas extrapolarse directamente [18].

Un teléfono móvil celular es un radio de baja potencia que opera con un solo canal bi-direccional, este emite radiación RF para transmitir información a la estación base. También actúa como receptor de información. La limitación de potencia en su batería limita la potencia de transmisión. La radiación emitida por la antena es insuficiente para causar un calor significativo en los tejidos del oído o la cabeza, aunque un incremento en la temperatura de la piel puede ocurrir como consecuencia de ubicar el teléfono móvil muy cerca del oído o de la cabeza restringiendo el flujo de aire a los mismos. Estos dispositivos emiten baja potencia de RF. Algunos teléfonos celulares tienen 2 niveles de potencia de señal: 0.6 Vatios y 3 Vatios (como comparación, la mayoría de los radios de onda corta transmiten a 5 Vatios). La radiación en un teléfono móvil es generada en el transmisor y emitida por a antena. Ver figura 2.7



**Figura 2.7. Teléfono móvil**

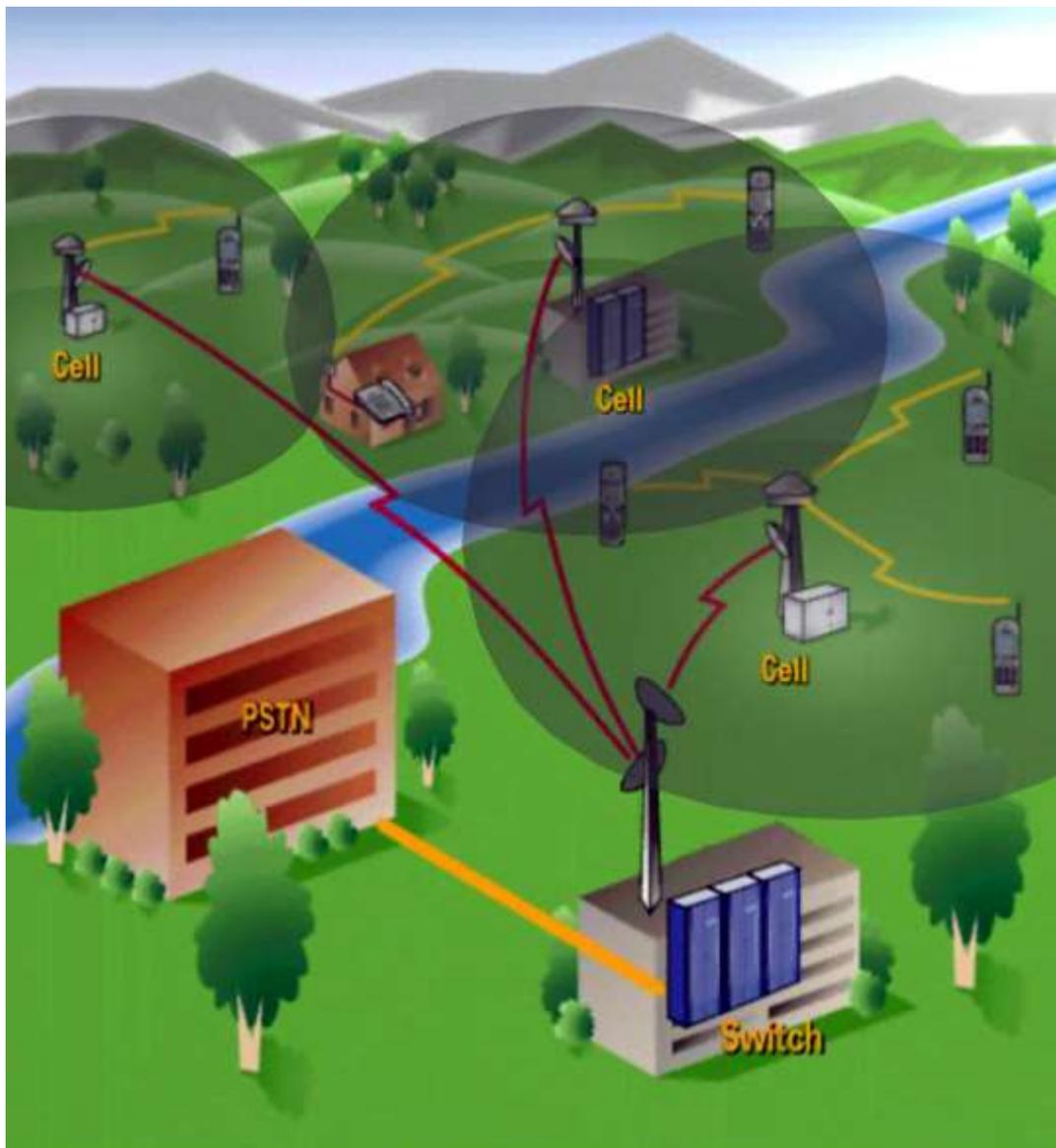
La estación base también transmite a baja potencia. Los transmisores de baja potencia tienen 2 ventajas:

El consumo de energía del teléfono, que normalmente opera con baterías, es relativamente bajo. Esto significa que requieren baterías pequeñas, y esto hace posible que los teléfonos sean portables en la mano. A su vez, aumenta en forma considerable el tiempo en que se puede usar el teléfono entre carga y carga de la batería.

Las transmisiones de las estaciones base y de los teléfonos no alcanzan una distancia más allá de la celda. Es por esto que en la figura 2.6 en las celdas de igual color se pueden utilizar las mismas frecuencias. Se limitan las emisiones de la estación base y de los teléfonos, sobre el área de cobertura de la celda. Por lo tanto, se pueden reutilizar las mismas 59 frecuencias de una celda en otra ubicada a una distancia de reutilización definida por la relación portadora sobre interferencia (C/I).

La tecnología celular requiere de un gran número de estaciones base para ciudades de cualquier tamaño. Una ciudad grande típica puede tener cientos de estaciones base.

Cuando el usuario desea realizar una llamada, el teléfono celular envía un mensaje a la estación base que solicita una conexión a un número de teléfono específico. Si la estación base dispone de los suficientes recursos para permitir la comunicación, un dispositivo conmutador o "switch" conecta la señal del teléfono celular a un canal en la red de telefonía pública. La llamada toma un canal inalámbrico así como un canal en la red de telefonía pública que se mantendrán abiertos hasta que la llamada se concluya. Ver figura 2.8.



**Figura 2.8 Diagrama simplificado del sistema de telefonía celular.**

En los sistemas celulares actuales, cuando los teléfonos móviles se encienden, ubican la señal (canal de control) para la identificación del sistema (IDS). El teléfono emite una información de registro y la red mantiene los datos acerca de su ubicación en una base de datos (de esta forma es como la red sabe en que celda se encuentra si hace una búsqueda). A medida que se mueve entre celdas, el teléfono detecta los cambios en la señal, los registra y compara con los de la nueva celda cuando cambia de canal [19].

### **2.7.2. ¿Cuáles son los efectos de la Radiación de la telefonía Celular?**

Las Emisiones de la telefonía móvil, son parte de la radiación de RF y por lo tanto, pueden causar calentamiento de los tejidos, lo cual lleva a un incremento de la temperatura del cuerpo. Esto es conocido como el Efecto Térmico. A pesar de que el cuerpo tiene sus maneras efectivas de regular su temperatura, si las exposiciones a RF son demasiado altas, el cuerpo podría ser incapaz de hacerles frente. Hay discusiones sobre otros efectos diferentes a los efectos térmicos causados por la radiación. Pero aun no se ha establecido evidencia demostrable. La comunidad científica y los organismos internacionales reconocen que es necesaria más investigación para mejorar nuestro conocimiento en algunas de estas áreas. Hasta el momento, hay resultados científicos insuficientes e inconclusos para probar algunos efectos adversos en la salud causados por la Radiación de RF [20].

### **2.7.3. ¿Hay riesgos de salud asociados al hecho de vivir o trabajar cerca de una estación base?**

El consenso de la comunidad científica internacional es que la potencia de las estaciones base de telefonía móvil es muy baja para producir riesgos a la salud en la medida que la gente se mantenga fuera de contacto directo con las antenas. Es conveniente diferenciar entre las antenas y la torre que soporta a las antenas. La distancia de seguridad es con relación a las antenas y no con respecto a la torre. Es conveniente estar consciente de los diferentes diseños de las estaciones base de telefonía móvil, que varían grandemente en sus potencias y características y por consiguiente en su potencial para provocar exposición a radiación RF a las personas [21].

### **2.7.4. ¿Es seguro el Sistema de Telefonía Móvil?**

Algunos estudios también han examinado la posibilidad de relacionar la exposición a la radiación de RF y el cáncer. Los resultados hasta ahora son no concluyentes. Mientras que algunos datos experimentales podrían sugerir una relación entre la exposición y la formación de cáncer en animales expuestos bajo ciertas

condiciones específicas, los resultados no han sido reproducidos independientemente. De hecho, otros estudios no pudieron encontrar evidencia para una relación ocasional al cáncer o alguna condición relacionada. Muchas investigaciones están en curso en laboratorios para encontrar respuestas a este tema.

En los años recientes, publicidad, especulación y preocupación sobre demandas de posibles efectos en la salud debido a la radiación de RF de las estaciones base y de los teléfonos móviles, han incitado a muchas organizaciones a que investiguen los efectos potenciales del uso de los teléfonos móviles.

Hasta la fecha, la evidencia científica no permite afirmar que los sistemas de telefonía móvil pueden generar cáncer u otra variedad de efectos en la salud, tales como dolores de cabeza, mareos, pérdida de la memoria o defectos en recién nacidos [22].

## **2.8. POSIBLES EFECTOS DE LOS CAMPOS**

La vida en la tierra está sustentada a través de ciertos parámetros ambientales muy bien definidos como son: concentración de oxígeno, presión atmosférica, temperatura, vapor de agua, luz. Estos deben mantenerse dentro de ciertos "límites normales", dado que ante pequeñas desviaciones el organismo responde fisiológicamente.

Existen otros factores que no son detectables por el organismo, tal es el caso del campo magnético terrestre, a pesar de ser conocido desde hace cientos de años. Estos factores pueden también influir en los organismos y esto se evidencia en la existencia de algunos "biociclos" asociados con las variaciones del campo.

Los campos naturales son perfectamente tolerables, dado que la evolución de todos los seres, incluido el hombre, se ha producido en su presencia. De otro lado existen los campos artificiales o generados por el hombre, que suelen tener intensidades superiores a las de los naturales y ante los cuales ya no es dable esperar la misma adaptabilidad de los organismos, agravado por el hecho de que los animales de orden superior no tienen modo de detectarlos. Por la falta de

evidencias no puede deducirse que los seres no son afectados, por el contrario cabría asegurar que existen efectos, lo importante es poder determinar si los mismos son beneficiosos, nocivos o inocuos.

En cada caso debe tenerse en cuenta que lo importante es el nivel de campo que se recibe, el grado de absorción del mismo y el tiempo de exposición, lo cual es difícil de prever dado que las configuraciones de los seres vivos son sumamente complejas. Basta con imaginar la diferencia entre una persona delgada, casi libre de grasa, y una obesa. La intensidad de campo en el interior de un tejido vivo, depende de la frecuencia, la modulación, la intensidad y polarización del campo externo, del tamaño, forma y propiedades eléctricas del elemento expuesto, de la configuración relativa de los tejidos interpuestos entre la fuente y el material expuesto y de la presencia o ausencia de otros elementos en la vecindad del lugar, en particular, si hay elementos capaces de reflejar señal y, finalmente, de la posición relativa o contacto con el plano de tierra [23].

### **2.8.1. Tasa de Absorción Específica (SAR). ¿Cómo puedo usarla?**

SAR es la medida de la cantidad de potencia de RF que es absorbida por los tejidos en el cuerpo humano. Esta medida indica la tasa promedio a la cual es absorbida la potencia por kilogramo de masa (W/Kg). Esta unidad es usada en la determinación si se cumple con las recomendaciones o normas de seguridad.

El límite de exposición toma en consideración la capacidad del cuerpo para remover el calor de los tejidos que absorben energía desde el teléfono móvil y lo fija muy por debajo de los límites conocidos para mostrar efectos biológicos.

El límite de la FCC para la exposición a radiación de RF de teléfonos móviles se ha establecido en un SAR de 1.6 vatios por kilogramo (1.6 W/Kg). ICNIRP recomienda que el SAR localizado en la cabeza sea limitado a 2 W/Kg promediado sobre una masa de tejido en la cabeza (0.02 W absorbidos en cualquier masa de 10g de tejido en la cabeza). Un SAR de 4 W/Kg está asociado con el incremento de temperatura en seres humanos de una fracción de un grado Celsius [24].

## **2.9. TIPOS DE EFECTOS**

Entre los efectos mas conocidos de la exposición a los campos electromagnéticos están los siguientes:

### **2.9.1. Calentamiento**

Durante muchos años se consideró que el único efecto producido por las radiaciones era el calentamiento y sobre esta hipótesis se desarrollaron las normas y guías de prevención. En ocasiones, aparecen quemaduras superficiales que delatan el calentamiento, pero con frecuencias muy altas la penetración es mayor y el calentamiento se puede producir en capas más profundas. Los tejidos más susceptibles son los de baja irrigación sanguínea, como los ojos y las gónadas. Existen numerosas investigaciones sobre cataratas producidas por efecto térmico originado por campos electromagnéticos, especialmente por microondas. La inducción de opacidad en las lentes debida a sucesivas exposiciones a bajo nivel, sugiere la existencia de un efecto acumulativo.

### **2.9.2. Resonancia**

Dado que las distintas partes del organismo, así como el cuerpo entero, tienen su resonancia en el rango de las muy altas frecuencias y dependen de las medidas y formas de cada individuo, pueden aparecer estos fenómenos en ciertas condiciones. Se considera que las frecuencias comprendidas entre 1Ghz y 3 Ghz son particularmente peligrosas porque es el rango en el que pueden resonar el cerebro y los ojos.

### **2.9.3 Efectos a escala celular**

Aparentemente, las zonas sensibles de las celdas se encuentran en su superficie y están constituidas por cadenas de proteínas que actuarían, en cierto modo, de transductores, capaces de llevar la señal al interior de la celda, siendo los potenciales en las membranas celulares del orden de  $10^5$  V/cm. Con un gradiente eléctrico en la membrana de la celda de  $10^5$  V/cm. y dado su ínfimo espesor, se

tiene una diferencia de potencial de 0,1 V entre el interior y la superficie, el cual se consideró como una sólida defensa frente a campos perturbadores muchísimo más débiles. Sin embargo, hay evidencia de que campos débiles de muy baja frecuencia o de radiofrecuencia modulada, dan lugar a alteraciones notorias en muchas de las funciones celulares, lo cual posiblemente se deba a fenómenos "cooperativos", interferentes con "frecuencias propias" de la celda [25].

#### **2.9.4. Sobre la salud**

La relación entre los campos electromagnéticos y la aparición de efectos directos, como el cáncer, ha sido y sigue siendo materia de muchos estudios serios. Se puede pensar que se está en presencia de dos tendencias, una de las cuales toma parcialmente la información disponible para justificar ideas preconcebidas; la otra, examina con más rigor todos los datos conocidos a la fecha.

En muchos de los estudios realizados se presenta la posible existencia de "factores de confusión", ya que no dan informaciones complementarias sobre la presencia o no, fehacientemente controlada, de otras variables como estado socioeconómico, tipo de casa, diferencia entre zonas urbanas y rurales, movilidad familiar, presencia de benceno, herbicidas, pesticidas u otros agentes químicos en el aire, que pueden tener influencia en las conclusiones.

Además, no es sencillo llegar a conclusiones satisfactorias dado que los resultados obtenidos hasta ahora, distan de poder considerarse definitivos. El problema ha sido abordado desde dos enfoques diferentes. Uno se basa en modelos humanos y de animales, en los que se busca determinar la distribución del SAR en presencia de campos electromagnéticos; el otro estudia la exposición de animales a radiaciones de radiofrecuencia durante largos períodos. Al trabajar con modelos, se emplean ciertas aproximaciones, por lo que los resultados se apartan de lo que correspondería a la realidad.

Hasta el momento, los niveles de potencia asociados con la exposición pública a campos electromagnéticos generados por servicios de radiodifusión, televisión y celulares, no se asocian con disfunciones genéticas [26].

### **2.9.5. Sobre equipos sensibles [27].**

Hoy en día se cuenta con muchos equipos que tienen un alto grado de sofisticación y que son sensibles o pueden ser afectados en su operación por los campos electromagnéticos, entre ellos están los directamente asociados con aplicaciones médicas.

- *Marcapasos*

La falla provocada por la radiación sobre el dispositivo puede llegar a ser fatal pero es de difícil diagnóstico en cuanto a poder determinar la correlación entre la radiación incidente y el marcapasos. El caso más notable, es el de uso de telefonía celular, por la cercanía entre el aparato y el marcapasos.

- *Desfibriladores*

Se han comprobado casos en los que, colocando un celular sobre el desfibrilador, se lo deshabilita temporalmente al no permitirle detectar la taquicardia ventricular.

- *Audífonos*

Se ha establecido que hoy en día, todos los audífonos, en mayor o menor grado, presentan degradación en cuanto a su sensibilidad, es decir que la sensibilidad del equipo disminuye. Esto ocurre no sólo cuando el poseedor del audífono utiliza el teléfono celular, sino cuando un tercero lo hace en un radio menor a un metro.

### **CAPITULO 3. ANÁLISIS DE LA NORMATIVIDAD INTERNACIONAL Y NACIONAL EN SISTEMAS DE COMUNICACIÓN GSM.**

Al abordar el análisis de las normas regulatorias de funcionamiento para los sistemas de comunicación GSM, se debe decir en principio que el propósito de las normas y guías de exposición es limitar las emisiones que sean potencialmente peligrosas, basándose en el estado actual del conocimiento.

La norma de la OMS (Organización Mundial de la Salud) y las otras sobre exposición han sido desarrolladas por grupos de expertos, quienes han revisado las investigaciones y resultados sobre los efectos de los campos electromagnéticos, para poder cuantificar los valores de exposición para los que exista una evidencia creíble y reproducible de un efecto adverso que pueda tener relación con la salud humana.

La mayoría de estos estudios se han realizado con animales de laboratorio, exposiciones de corta duración, y a veces a niveles elevados de radiación, aunque existen también algunos estudios de exposición a largo plazo en animales, y en humanos (epidemiológicos). Se han encontrado diversos efectos biológicos producidos por la exposición a energía de RF, la mayoría relacionados con calentamientos excesivos.

Todas las guías de exposición adoptan factores de seguridad para mantener los niveles muy por debajo de los que se consideran potencialmente peligrosos. La mayoría de guías de exposición han sido desarrolladas siguiendo un proceso cuidadoso, abierto y de consenso que implica una revisión a diferentes niveles y la oportunidad para obtener comentarios de un abanico amplio de posibles partes interesadas. Además, la mayoría de las organizaciones que dictan las normas,

exigen una revisión periódica para adaptarlas a los nuevos conocimientos científicos.

Este capítulo contiene el análisis de regulaciones y recomendaciones sobre radiación electromagnética producida por servicios de telecomunicaciones de telefonía celular GSM, incluido también algunos datos para sistemas PCS. En la primera parte se presenta la situación internacional con respecto a las normas principales existentes así como los estudios realizados por instituciones independientes. Se presentan las similitudes y las diferencias entre los principales estándares internacionales. En la segunda parte realizamos una descripción de la situación nacional respecto a las normativas que se han acogido e impuesto para los operadores de servicio funcionando a lo largo y ancho del territorio colombiano.

### **3.1. SITUACIÓN INTERNACIONAL.**

Los posibles efectos en la salud humana son objeto de un creciente interés por parte de la población y de las autoridades responsables de la salud ambiental; es claro que los países con mayor desarrollo tecnológico y mayor cobertura en sistemas de telecomunicaciones son los que realizan estudios muy profundos y responsables en cuanto al tema, los demás en su mayoría acogen las disposiciones emitidas por dichos estudios y las aplican a sus diferentes entornos en cada país.

Por ello, en el análisis realizado, se consideraron especialmente recomendaciones hechas para regular la exposición a campos electromagnéticos en la Unión Europea, los Estados Unidos y Canadá, de las cuales se desprenden las aplicaciones para los diferentes países a través del mundo.

#### **3.1.1 Estudios Independientes [28].**

El esfuerzo de investigación en este campo es mundial y muchos países contribuyen con importantes recursos a la investigación sobre estos temas; se estima que, a la fecha, se ha invertido más de 100 millones de euros en estudios dedicados a la investigación de dicho tema. Ver tablas 3.1 y 3.2.

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA METODOLOGICA PARA LA MEDICION DE  
LA INTENSIDAD DE CAMPO ELECTROMAGNETICO. CASO PRÁCTICO ZONA  
DE COBERTURA DE LOS SISTEMAS DE TELEFONIA MOVIL CELULAR.

National Radiological Protection Board (NRPB): 1993, 1999,2003	<a href="http://www.nrpb.org.uk/">http://www.nrpb.org.uk/</a>
The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP): 1996, 1998	<a href="http://www.icnirp.de/">http://www.icnirp.de/</a>
Grupo de Expertos de la Comisión Europea: 1996 Royal Society of Canada: 1999, 2001	<a href="http://europa.eu.int/">http://europa.eu.int/</a> <a href="http://www.rsc.ca/">http://www.rsc.ca/</a>
UK Independent Expert Group on Mobile Phones (IEGMP – Stewart Report): 2000	<a href="http://www.iegmp.org.uk/">http://www.iegmp.org.uk/</a>
Health Council of the Netherlands: 2000, 2002	<a href="http://www.gr.nl/">http://www.gr.nl/</a>
French Expert Group ('Zmirou'): 2001	<a href="http://www.sante.gouv.fr/">http://www.sante.gouv.fr/</a>
España – Campos electromagnéticos y salud pública (Comité de Expertos Independientes): 2001	<a href="http://www.msc.es/">http://www.msc.es/</a>
German Commission for Radiation Protection (SSK): 2001	<a href="http://www.ssk.de/">http://www.ssk.de/</a>
European Committee on Toxicology, Eco-toxicology and the Environment (CSTEE): 2001,2002	<a href="http://europa.eu.int/">http://europa.eu.int/</a>

**TABLA 3.1 Grupos de Expertos Independientes**

<b>ESTUDIOS SOBRE EL CÁNCER</b>	<b>Concluidos</b>	<b>En curso</b>	<b>Total</b>
Estudios de población	8	18	26
Estudios de duración de vida en los animales	6	8	14
Estudios de duración de vida de animales sensibilizados	11	7	18
Estudios a corto plazo sobre animales	20	5	25
Estudios de células animales/humanas	52	25	77
<b>Total de estudios de cáncer</b>	<b>97</b>	<b>63</b>	<b>160</b>
<b>Estudios no relativos al cáncer</b>			
Estudios de población	5	2	7
Estudios a corto plazo sobre animales	34	9	43
Estudios de células animales/humanas	15	9	24
Estudios sobre humanos- dolores de cabeza, sueño, etc	48	18	66
<b>Total de estudios no relativos al cáncer</b>	<b>102</b>	<b>38</b>	<b>140</b>
<b>TOTAL DE AMBOS</b>	<b>199</b>	<b>101</b>	<b>300</b>

**TABLA 3.2 Estudios sobre el cáncer.**

### 3.1.2. Normas Internacionales.

En el ambiente internacional, las normas más conocidas y empleadas son:

- ✚ **ANSI / IEEE C95.1.** Estándar de uso voluntario.
  
- ✚ **ICNIRP** (Comisión Internacional de Protección a Radiación No-Ionizante).  
Es la base científica en Europa.
  - En la Unión Europea tiene carácter de recomendación y sólo cubre al público en general. Cada país puede adoptarla como norma y algunos países europeos han hecho más exigente la norma. Así por ejemplo, recientemente Suiza, siguiendo el ejemplo de Italia, China y Rusia, ante las evidencias científicas de riesgo sanitario para la población, aplica de manera preventiva, y mientras progresan las investigaciones, una normativa de electromagnetismo más restrictiva que reduce por 100 los valores aceptados por el ICNIRP. La Oficina Suiza de Medio Ambiente ha fijado provisionalmente el límite de exposición humana para la red de telefonía móvil en  $4 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  [ 37].
  
- ✚ Norma de **Australia** reglamenta los niveles máximos de exposición a campos de radiofrecuencias de 3khz a 300 Ghz. Agencia de Protección radiológica y Seguridad Nuclear de Australia. 2003 [38].
  
- ✚ Norma de **Nueva Zelanda:** NZS 2772.1: 1999, define los niveles de exposición máxima [39].
  
- ✚ La norma **UIT-T K.52** Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos.
  
- ✚ La **Recomendación Europea** 1999/519/EC. Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 Ghz).

- ✚ En **Estados Unidos**, la **FCC** (Comisión Federal de Comunicaciones) expidió norma de uso obligatorio, basado en el **C95.1 de 1992**.
- ✚ Norma de **Canadá**: Health Canadá: Limits of exposure to radiofrequency fields at frecuencies from 10 khz – 300 Ghz Safety Code 6, Canadá Communication Group, Ottawa, Canadá, 1993, similar a la norma de FCC.

En la tabla 3.3 se resumen los límites de exposición de las principales guías de exposición a las frecuencias de los sistemas celulares y PCS.

TIPO DE SERVICIO		<b>Limites de Exposición, vatios por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>)</b>			
		FCC	IEEE	ICNIRP	NRPB
C E L L U L A R	<b>PUBLICO</b>	5.5 – 6	5.5 – 6	4.4 – 4.5	31 - 33
	<b>OCUPACIONAL</b>	28 – 30	28 – 30	21.8–22.4	31 - 33
P C S	<b>PUBLICO</b>	10	10 - 15	7.5 – 10	92 - 100
	<b>OCUPACIONAL</b>	50	50 - 73	37.5 – 50	92 - 100

**Tabla 3.3 Comparación de los límites de las guías [29].**

Pero a nivel general, la normativa internacional comúnmente aceptada es la promulgada por la Comisión Internacional de Protección frente a Radiaciones No Ionizantes (*International Comisión for Non Ionizing Radiation Protection*, ICNIRP), en 1998. En su guía, la **ICNIRP** fija niveles de referencia y restricciones básicas cuyo cumplimiento garantiza la seguridad de los ciudadanos, si son propiamente acatados.

A continuación, de modo abreviado la opinión de las principales voces reconocidas [30]:

- 1 **Organización Mundial de la Salud.-** La Organización Mundial de la Salud ha publicado algunos anuncios que analizan los hallazgos más recientes. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda la adhesión estricta a las recomendaciones internacionales de la ICNIRP, sin incorporar arbitrariamente factores de seguridad adicionales a los límites establecidos. En julio de 1999 el Consejo de la Unión Europea publicó una Recomendación para limitar la exposición del público en general a campos electromagnéticos (de 0 Hz a 300 Ghz). Esta recomendación se basa en gran medida en la guía de la ICNIRP y uno de sus objetivos es homogeneizar la normativa sobre campos electromagnéticos de cada uno de los países de la Unión Europea. Los gobiernos en Latino América y el Caribe, en su mayoría, han establecido formalmente las regulaciones necesarias estableciendo los límites de exposición de radiofrecuencias para los terminales y las estaciones base, tomando como referencia a los estándares de la ICNIRP.

*“Ninguno de los análisis recientes ha dado como conclusión que la exposición a campos de RF desde teléfonos móviles o desde sus estaciones base, cause consecuencias adversas para la salud (...) las publicaciones científicas de actualidad no prueban fehacientemente que la exposición a radiofrecuencias acorte la vida humana, produzca cáncer o lo favorezca.”*

- 2 **Administración Estadounidense de Alimentos y Fármacos.-** La FDA (Administración Estadounidense de Alimentos y Fármacos) ha publicado una actualización para el usuario sobre los temas de salud asociado al uso de los teléfonos móviles.

*“No obstante, la evidencia científica disponible no demuestra ningún efecto adverso para la salud asociado con el uso de teléfonos móviles.”*

3 **Real Sociedad de Canadá.**- Las autoridades sanitarias de Canadá solicitaron a la Real Sociedad de Canadá que realizara una evaluación exhaustiva de los efectos potenciales para la salud de los campos de energía RF.

*“El peso de la evidencia no soporta la conclusión de que la exposición a los campos de energía RF del tipo e intensidad producidos por los dispositivos de telecomunicación móvil contribuyan a la aparición o crecimiento de tumores en animales o humanos.”*

Se puede apreciar que las numerosas investigaciones médicas y científicas realizadas no han encontrado evidencia de que la exposición a ondas de telefonía celular a largo plazo, se traduzca en detrimento de la salud.

Por su parte, al nivel del continente se asiste a la misma tendencia que se produjo en los otros países desarrollados del mundo en la década pasada, es decir, la de disponer de su propia normativa a fin de regular la exposición al público a las radiaciones no ionizantes.

Estas normas locales proporcionan la certeza, y, la seguridad jurídica y técnica, que las poblaciones y los propios operadores de telefonía móvil de cada país necesitan para el desarrollo óptimo de su actividad. Las normas son:

- 1) **México:** Normas de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes de México Proyecto de Norma Oficial Mexicana nom-126-sct1-1995, Límites de Exposición Máxima de Seres Humanos a Campos Electromagnéticos de Radiofrecuencia (100Khz a 300Ghz).
- 2) **Argentina:** Resolución N° 530 SC/2000, de la Secretaría de Comunicaciones que aprueba el Estándar Nacional de Seguridad para la Exposición a Radiofrecuencias comprendidas entre 100 Khz. y 300 Ghz y el Protocolo para la medición de radiaciones no ionizantes de la Comisión Nacional de Comunicaciones (Resolución 269/2002, 18 de marzo de 2002).
- 3) **Bolivia:** Estándar técnico sobre los límites de exposición humana a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (Resolución Administrativa Regulatoria 2002/0313, 19 de abril de 2002).

- 4) **Brasil:** Anexo de la Resolución N ° 303 del Reglamento sobre límites de exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos de radiofrecuencias entre 9 Khz y 300 Ghz (10 de julio de 2002). Para estimular la optimización de recursos, la reducción de costos operacionales, además de otros beneficios para los usuarios de los servicios prestados, tomando en cuenta la reglamentación específica del sector de telecomunicaciones, el ANATEL aprobó, por medio de la resolución N° 274, del 5 de septiembre de 2001, el Reglamento de Compatibilidad de Infraestructura entre Prestadores del Servicio de Telecomunicaciones. En lo que se refiere a la exposición de la población a los campos electromagnéticos asociados a la operación de estaciones de radiocomunicaciones, así como a la utilización de equipos terminales portátiles, el ANATEL aprobó, por medio de la Resolución N° 303, del 2 de julio de 2002, el Reglamento sobre la Limitación de Exposición a Campos Electromagnéticos en la Banda de Radiofrecuencias entre 9 Khz. y 300 Ghz. El mencionado Reglamento tiene como base las directrices de la Comisión Internacional para la Protección contra Radiaciones No Ionizantes – ICNIRP, que se encuentran en la publicación “Guidelines for Limiting Exposure to Time – Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 Ghz), Health Physics Vol. 74, N° 4, pp. 494 – 522, 1998”.
- 5) **Perú:** Decreto Supremo que establece los límites máximos permisibles de radiaciones no ionizantes en telecomunicaciones, publicado el 6 de julio de 2003.
- 6) **Venezuela:** Estaciones radioeléctricas, estructura de soporte y condiciones de seguridad y ambiente. COVENIN N° 3712, Junio 2002.
- 7) **Chile:** Resolución Exenta N ° 1672 relativa a radiaciones electromagnéticas del 27 de diciembre de 2002, modifica la Resolución Exenta N ° 505, de la Subsecretaría de Telecomunicaciones.

- 8) **Colombia:** Decreto 195 de 2005 y en resolución 1645 de 2005. Adopta los límites de la ICNIRP.

En países tales como Ecuador, Paraguay, Uruguay y otros de nuestro interés no se encuentra documentación sobre la aplicación de políticas en este tema, pero se intuye que como la mayoría de países de América Latina se hayan acogido a los planteamientos de la ICNIRP.

### **3.2. NORMATIVA COLOMBIANA**

Debido a la preocupación de las organizaciones internacionales y en particular a la creciente demanda del uso de teléfonos celulares, las personas se encuentran expuestas, en mayor grado, a campos electromagnéticos provenientes de las antenas de las diversas estaciones de los sistemas de comunicaciones (radiodifusión, buscapersonas, telefonía móvil celular, radio convencional, televisión, etc.) así como también de los mismos terminales portátiles o móviles, se han generado ciertas inquietudes relacionadas a los efectos que podrían estar produciendo dichos campos en la salud humana.

Respondiendo al legítimo interés de las poblaciones por la protección de su salud, las autoridades nacionales se vieron en la necesidad de tomar algunas iniciativas y medidas necesarias.

Colombia decidió desarrollar su propia norma de seguridad con referencia en los estándares de seguridad fijados internacionalmente, con el objetivo de regularizar tanto la situación actual como futura de la telefonía móvil, la instalación de nuevas antenas y la potencial entrada de nuevos operadores en el mercado.

En Colombia éste ha sido el proceso:

- En el año 2001 el Ministerio de Comunicaciones de Colombia a través de la CRT (Comisión de Regulación de Telecomunicaciones) encargó a la Universidad Javeriana un informe recopilatorio de los principales conceptos,

reglamentaciones y recomendaciones sobre radiación electromagnética y reunió a expertos en la materia para tomar una decisión bien informada.

- La Universidad Javeriana indica en su *“ESTUDIO DE LOS LÍMITES DE LA EXPOSICIÓN HUMANA A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PRODUCIDOS POR ANTENAS DE TELECOMUNICACIONES Y ANÁLISIS DE SU INTEGRACIÓN AL ENTORNO”*, que se deben adoptar niveles de referencia de emisión de campos electromagnéticos, para lo cual sugiere los de la ICNIRP.
- La Unión Internacional de Telecomunicaciones expidió la Recomendación UIT–T K.52 “Orientación sobre el cumplimiento de los niveles de exposición de las personas a los campos electromagnéticos” que adopta los niveles de referencia de emisión de campos electromagnéticos, para lo cual sugiere los de la ICNIRP.
- El Gobierno colombiano al igual que más de 100 países adopta límites máximos de exposición de radiaciones con base en los resultados de la consultoría hecha por Universidad Javeriana y al criterio de expertos en la materia. Acogió la normatividad europea, que es más estricta que la norteamericana en cuanto a protección de la ciudadanía de los posibles efectos de los campos electromagnéticos que emiten los equipos de telecomunicaciones, especialmente los de telefonía celular, que son los más extendidos. Se acogieron los niveles de protección establecidos por la ICNIRP, organismo asesor de la Organización Mundial de la Salud, la OIT y la Unión Europea, y adoptados oficialmente por la Unión Internacional de Telecomunicaciones.
- El Ministerio de Comunicaciones de Colombia mediante el decreto 195 de enero 31 de 2005 otorga un plazo de dos años a los operadores de telecomunicaciones (Comcel, Movistar, Colombia Móvil, entre otros) para

que ajusten sus estaciones base y sus antenas de transmisión de señal a la normativa internacional adoptada por Colombia.

### 3.3 LEGISLACIÓN.

#### MINISTERIO DE COMUNICACIONES

#### DECRETO NÚMERO 195 DE 2005 31/01/2005

A continuación se transcriben algunos de los artículos más importantes del decreto gubernamental [31].

**“Artículo 4º. Límites máximos de exposición.** Quienes presten servicios y/o actividades de telecomunicaciones deben asegurar que en las distintas zonas de exposición a campos electromagnéticos, el nivel de emisión de sus estaciones no exceda el límite máximo de exposición correspondiente a su frecuencia de operación, según los valores establecidos en la Tabla 1, correspondientes al cuadro I.2/K.52 de la Recomendación UIT-T K.52 "Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos".

Se deberá delimitar con letreros o cualquier otro medio visible las zonas de exposición a campos electromagnéticos:

- a) Público en general.
- b) Ocupacional.
- c) Rebasamiento.

En la tabla 3.4 se muestran los límites máximos de exposición tanto ocupacional como para el público en general según las frecuencias de operación.

TIPO DE EXPOSICIÓN	GAMA DE FRECUENCIAS	INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO E (V/M)	INTENSIDA DEL CAMPO MAGNETICO H (V/M)	DENSIDAD DE POTENCIA DE ONDA PLANA EQUIVALENTE, S(W/M <sup>2</sup> )
<b>Ocupacional</b>	9 - 65 Khz	610	24,4	
	0,065 - 1 Mhz	610	1,6/f	
	1-10 Mhz	610/f	1,6/f	
	10 - 400 Mhz	61	0,16	10
	400 - 2.000 Mhz	3 f/2	0,008 f/2	f/40
	2 - 300 Ghz	137	0.36	50
<b>Publico en General</b>	9 - 150 Khz	87	5	
	0,15 - 1 Mhz	87	0,73/f	
	1-10 Mhz	87/f/2	0,73/f	
	10 - 400 Mhz	28	0,073	2
	400 - 2.000 Mhz	1,375 f/2	0,0037 f/2	f/ 200
	2 - 300 Ghz	61	0,16	10

Tabla 3.4 Límites máximos de exposición según la frecuencia de operación.

**Artículo 5°. Superación de los límites máximos de exposición.** En caso de que en alguna zona ocupacional el nivel de exposición porcentual llegase a ser mayor a la unidad, debe medirse el nivel de emisión de cada fuente radiante o estación radioeléctrica, e identificar cuáles de ellas supera el límite máximo de exposición correspondiente a su frecuencia de operación. Aquellas fuentes radiantes o estaciones radioeléctricas que lo superen deben ajustarse empleando técnicas de mitigación que permitan mantener los niveles de emisión dentro de los márgenes permitidos, tales como: Aumentar la altura de las antenas, uso de apantallamientos o mecanismos similares de protección, limitar la accesibilidad de

personas a la zona ocupacional en cuestión, reducir la potencia de emisión, trasladar la fuente de radiación a otro sitio, entre otras, hasta que cada una de ellas emita por debajo de su respectivo límite. Cuando el tamaño del predio lo permita, se podrá trasladar la delimitación de las zonas de exposición a campos electromagnéticos, siempre y cuando la nueva delimitación entre la zona ocupacional y la de público en general siga estando dentro del predio donde se encuentran las estaciones radioeléctricas.

Independientemente de la tipificación se deben medir todas las estaciones radioeléctricas que se encuentren a menos de 150 metros de centros educativos, centros geriátricos y centros de servicio médico.

**Artículo 6°. Plazos de cumplimiento.** Quienes presten servicios y/o actividades de telecomunicaciones, deberán entregar al Ministerio de Comunicaciones, en un plazo no superior a dos (2) años la Declaración de Conformidad de Emisión Radioeléctrica de todas sus estaciones radioeléctricas, en el que harán constar el cumplimiento de los límites y condiciones establecidos en el presente decreto. La declaración DCER se entenderá presentada bajo la gravedad de juramento.

De igual forma se realizará cuando se requiera verificar las múltiples fuentes de radiación que se encuentren en un mismo lugar. La verificación del cumplimiento versará al menos del cumplimiento con los límites de exposición y con la delimitación de las zonas:

- a) Público en general.
- b) Ocupacional.
- c) Rebasamiento.

Quienes presten servicios y/o actividades de telecomunicaciones, deberán actualizar la Declaración de Conformidad de Emisión Radioeléctrica cada cuatro

años, contados a partir de la entrega de la Declaración de Conformidad de Emisión Radioeléctrica anterior. Dicha DCER deberá soportarse de igual forma con las respectivas mediciones.

**Artículo 7°. Vigilancia y control.** En ejercicio de las funciones de vigilancia y control y sin perjuicio de las funciones atribuidas a las entidades territoriales en relación con la ordenación y uso del suelo, el Ministerio de la Protección Social, el Ministerio de Comunicaciones y el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en el marco de lo dispuesto en el Decreto-ley 1295 de 1994, el Decreto-ley 1900 de 1990, y la Ley 99 de 1993, impondrán las sanciones derivadas del incumplimiento de las disposiciones contenidas en el presente decreto.

El Ministerio de Comunicaciones impondrá sanciones a quienes presten servicios y/o actividades de telecomunicaciones que no cumplan con las condiciones y límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos, y con las demás obligaciones establecidas en el presente decreto, en los términos de lo establecido en el numeral 11 del artículo 52 y en el artículo 53 del Decreto-ley 1900 de 1990.

En materia de salud pública, corresponde a las entidades territoriales ejercer las funciones de inspección, vigilancia y control conforme a lo dispuesto en la Ley 715 de 2001, para lo cual podrán aplicar las medidas de seguridad e imponer las sanciones correspondientes, en virtud de lo establecido en los artículos 576 y siguientes de la Ley 9ª de 1979.

Lo anterior, sin perjuicio de la imposición de las medidas preventivas y sancionatorias a que haya lugar en materia de medio ambiente y recursos naturales renovables conforme lo dispone Continuación del Decreto Por la cual se adoptan límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos, se

adecuan procedimientos para la instalación de estaciones radioeléctricas y se dictan otras disposiciones

**Artículo 8°. Prueba suficiente.** Las entidades territoriales, en el procedimiento de autorización para la instalación de antenas y demás instalaciones radioeléctricas, en ejercicio de sus funciones de ordenamiento territorial, deberán admitir como prueba suficiente para el cumplimiento de dicho requisito, la copia de la Declaración de Conformidad de Emisión Radioeléctrica con la marca oficial de recibido del Ministerio de Comunicaciones.

**Artículo 9°. Evaluación periódica.** El Ministerio de Comunicaciones, en coordinación con el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y el Ministerio de la Protección Social, revisarán periódicamente las restricciones básicas y los niveles de referencia adoptados por el Gobierno Nacional, a la luz de los nuevos conocimientos, de las novedades de la tecnología y de las aplicaciones de las nuevas fuentes y prácticas que dan lugar a la exposición a campos electromagnéticos, con el fin de garantizar el nivel de protección más adecuado al medio ambiente, a los trabajadores y la comunidad en general. Para la evaluación podrá invitarse para presentar sus opiniones, a personas de los distintos sectores de la sociedad, del académico, gremios y ciudadanos interesados en el tema.

El Ministerio de Comunicaciones adaptará la metodología de medición y los procesos de verificación de cumplimiento, mediante resolución motivada, cuando tal necesidad se evidencie de la revisión y evaluación anual de las restricciones básicas y los niveles de referencia de que trata el párrafo anterior.

**Artículo 10. Condición para la instalación de nuevas estaciones radioeléctricas, dentro o alrededor de una zona ocupacional ya establecida.** La instalación y operación de Estaciones radioeléctricas dentro, o en las cercanías de una zona ocupacional ya establecida, está condicionada a que el nivel de

exposición porcentual en dicha zona, sea menor o igual a la unidad, es decir, menor o igual al ciento por ciento (100%), de acuerdo con lo establecido en el artículo 4° del presente decreto.

**Artículo 11. Coexistencia de las antenas transmisoras sobre una misma infraestructura de soporte o en las zonas de exposición de que trata el numeral 3.29.** En el caso de que en una estación radioeléctrica, más de una persona natural o jurídica autorizada para el uso del espectro, requiera emplazar sus antenas transmisoras sobre la misma infraestructura de soporte, tales como: Torres, mástiles, edificaciones, entre otras, deben verificar que el nivel de exposición porcentual no exceda a la unidad, de acuerdo con lo establecido en el artículo 4° del presente decreto. En tal sentido, los operadores de Estaciones radioeléctricas se suministrarán mutuamente los datos técnicos necesarios para realizar el estudio y verificar el cumplimiento individual y conjunto.

**Artículo 12. Alturas y distancias de seguridad para la instalación de antenas transmisoras.** Los operadores de estaciones radioeléctricas deberán consultar los lineamientos contenidos en los textos y cuadros de la Recomendación UIT-T K. 52, según corresponda, para la determinación de las distancias y/o alturas necesarias para determinar la zona de rebasamiento y delimitar la zona ocupacional, alrededor de las antenas a la cual debe limitar el acceso del público en general, por medio de barreras físicas y señalización adecuada.

## **CAPITULO 4. PROPUESTA METODOLOGICA PARA LA MEDICIÓN DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS PARA GSM**

Un sistema de radio comunicaciones definido por los estándares GSM funciona correctamente cuando todos y cada uno de sus componentes operan dentro de unos límites precisos y establecidos por el estándar. Asimismo, se establece una relación entre la calidad de la señal de un usuario individual y el nivel de interferencia experimentada por el resto de usuarios. Por una parte, los teléfonos móviles y las estaciones base deben transmitir suficiente potencia para mantener una llamada con calidad aceptable, basada en un nivel mínimo de relación señal a ruido en el receptor. Pero, por otra parte, no debe transmitirse potencia en forma excesiva de tal forma que interfiera con los canales de frecuencia o ranuras de tiempo vecinas, puesto que GSM opera con un esquema de transmisión conjunto FDMA/TDMA (FTDMA) [32].

Las emisiones de las estaciones base de telefonía móvil celular deben garantizar que los niveles de radiación (eléctricos y/o magnéticos) medidos en un punto preciso del espacio o en un determinado perímetro alrededor de la misma, se encuentren dentro de los márgenes de seguridad definidos por la normativa adoptada por organismo oficial.

### **4.1. MEDIDAS EN UN SISTEMA DE TELEFONIA MOVIL.**

La medición de las emisiones generadas por radiodifusoras de amplitud modulada, televisión o frecuencia modulada, se puede realizar en cualquier momento ya que la potencia radiada efectiva se mantiene constante en el tiempo; pero en el caso de la telefonía celular se deben de tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La cantidad de canales en uso depende de la cantidad de usuarios y éstos, a su vez, dependen de la hora, del día y del mes.
- La potencia radiada por cada canal, depende de las características de la comunicación entre la estación base y un teléfono celular en particular (distancia / re-uso de frecuencias)
- No se pueden elegir en forma arbitraria los puntos en donde se van a tomar las medidas, sin tener en cuenta el diagrama de radiación (sectorización) del sistema de antenas de las celdas.

En los sistemas de telefonía móvil la potencia emitida por la estación base depende del tráfico cursado, éste a su vez está en función de diversos parámetros como son la hora, día de la semana, mes, ubicación de la estación, número de móviles en el área etc. en definitiva su naturaleza es aleatoria. Cada estación base tiene una portadora de control por sector la cual emite en forma continua, además de las portadoras aleatorias de tráfico en cada sector.

La mínima configuración que ponen en funcionamiento los operadores de telefonía móvil es un transceptor (una portadora) por sector (en zonas rurales). En el sistema GSM cada portadora transporta multiplexados en tiempo varios canales, uno se dedicarán a control y el resto a tráfico.

En zonas urbanas los operadores de telefonía móvil utilizan más de un transceptor por sector. En estos casos sólo una de las portadoras por sector será de control y el resto de tráfico. La portadora de control siempre estará presente con la máxima potencia y las de tráfico aparecerán cuando existan voz o datos para transmitir hacia los abonados. Aquí la medida es más compleja, ya que evidentemente el valor medido es una función aleatoria. Además, las portadoras de tráfico no siempre transmiten a la máxima potencia y a veces incluso varían su frecuencia (si tienen activada la función de salto) de acuerdo a algún algoritmo prefijado. Por lo tanto, es poco probable que, en el momento de efectuar la medida, todos los

transmisores asignados a la estación base, estén radiando a la vez y con la máxima potencia.

Como nuestro caso de estudio es el sistema GSM, en él una estación base estará formada por N transmisores, distribuidos así:

- 1 canal de control (conocido como BCCH), siempre activo con la máxima potencia autorizada.
- N-1 canales de tráfico, de naturaleza aleatoria.

En nuestro caso las mediciones se realizan sobre las emisiones de las instalaciones fijas o estaciones base, por lo tanto las posibles magnitudes a medir son las siguientes:

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

Las mediciones tienen por objetivo conocer los niveles de campo electromagnético en la proximidad de las antenas de estaciones base de telefonía móvil, para compararlos con las normas o recomendaciones internacionales e identificar las posibles zonas de riesgo.

Es importante precisar que el número de frecuencias y por tanto la potencia que una antena puede emitir esta determinada para cubrir los requerimientos de tráfico, que en una jornada solo se producen en periodos relativamente cortos. El método de medición que se expone, permite determinar el campo electromagnético correspondiente a la potencia máxima que puede emitir cada antena.

## 4.2. EQUIPOS DE MEDIDA

Se pueden emplear equipos de gran ancho de banda y medidores provistos de sondas isotrópicas (permiten recibir todas las componentes electromagnéticas sin necesidad de girar el sensor), los cuales están formados por un sensor electromagnético donde se capta la señal y por una unidad de visualización donde se procesan y se representan los datos obtenidos.

Realizado un análisis de diferentes dispositivos de medida que podrían ser utilizados, proponemos para realizar las medidas de los niveles de potencia radiados por las estaciones base de telefonía móvil celular GSM el medidor selectivo de radiación Narda SRM-3000 [33] (Figura 4.1), las características teóricas describen que este equipo sobresale entre los otros dispositivos de medida por la forma en que realiza el análisis temporal de los datos, ya que permite detectar continuamente el valor de la radiación electromagnética a una determinada frecuencia, durante un periodo de tiempo dado (sin interrupciones), y comparar los resultados con los límites indicados en las principales normas de seguridad sobre emisión de radiaciones electromagnéticas originadas por servicios de telecomunicaciones.

Las especificaciones técnicas del Narda SRM 3000 muestran que posee un modo de análisis temporal que detecta los valores de campo eléctrico (E) (RMS o de pico) de la intensidad de campo a la frecuencia especificada, empleando el ancho de banda de resolución entre 6.4 KHz y 6 Mhz. El tiempo de promediado es ajustable, desde 1 segundo hasta 30 minutos, lo que incluye el intervalo de 6 minutos especificado en muchas normas. La función MAX HOLD captura los valores máximos, característica muy útil cuando se realizan medidas durante periodos prolongados.



**Figura 4.1 - Analizador de Campos Electromagnéticos Narda SRM 3000**

Se pueden distinguir los siguientes elementos como partes del equipo:

- Antenas para diferentes frecuencias, que se conectan a un analizador de espectro a través de un cable coaxial, para permitir medir los niveles de intensidad de campo eléctrico en las bandas de interés.
  
- Un analizador de campos electromagnéticos con su respectiva sonda y computador portátil para realizar mediciones de banda ancha, para permitir obtener una idea general de la exposición a los campos electromagnéticos.
  
- Analizador de Espectro, que junto con las antenas permitan realizar mediciones detalladas de los niveles de campo de eléctrico.

#### 4.2.1. Antenas

Para medir la intensidad de campo eléctrico con el analizador de espectro se pueden utilizar antenas debidamente calibradas en los laboratorios de los fabricantes, las cuales pueden ser clasificadas por sus tipos y características, como se muestran en las siguientes tablas. Tablas 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4.

Tipo	Rango de Frecuencias
Dipolo ajustable	25 Mhz – 520 Mhz
Logarítmica periódica	200 Mhz – 1000 Mhz
Bocina	1 Ghz. – 18 Ghz

Tabla 4.1 Rango de operaciones de antenas

Antena Dipolo	Especificaciones Eléctricas
Rango de Frecuencias	25 a 250Mhz
Impedancia de Entrada	Calibrado para 50Ω
Conector	Tipo N
VSWR Promedio	2:1

Tabla 4.2 Características de antena dipolo

Antena EM- 6950	Especificaciones Eléctricas
Conector	Tipo N
Impedancia de Entrada	Calibrado para 50Ω
Rango de Frecuencias	200 a 1000Mhz.
VSWR Promedio	Menor que 2:1

Tabla 4.3 Características de antena logarítmica periódica

Antena Bocina	Especificaciones Eléctricas
Rango de Frecuencias	1 Ghz. – 18 Ghz.
Front to Back	20 dB
Impedancia de Entrada	Calibrado para 50Ω
Conector	Tipo N

Tabla 4.4 Características de antena bocina

#### 4.2.2. Analizador de Campos Electromagnéticos.

A continuación se especifican las características del equipo Narda SRM 3000.

Tabla 4.5

<b>Analizador de Campos Electromagnéticos – Narda SRM 3000</b>	
Detalle	Descripción
Velocidad de refresco	400ms (típico)
Resolución de la pantalla	0.01 V/m, 0.0001 A/m
Tiempo de establecimiento	Típicamente 1 segundo (del 0 al 90% del valor medido)
Unidades	V/m, A/m, mW/cm <sup>2</sup> , W/m <sup>2</sup>
Presentación de resultados	Porcentaje del valor limite. Resultado actual o valor máximo desde el encendido.
Promediado	Resultado actual o ajustable de 4 segundos a 15 minutos
Autotest	Al encender el instrumento se verifica automáticamente el conversor A/D, la batería, las tensiones de alimentación, la memoria y el ajuste a cero. Ajuste a cero y comprobación de las baterías durante el funcionamiento del instrumento. Todas las pruebas pueden realizarse durante la exposición al campo
Calibración	24 meses
Incertidumbre de la Medida	De acuerdo a “Guidelines for the expression of the Uncertainty of Measurement in Calibrations”
<b>SENSOR TIPO 26</b>	
Tipo de sensor	Campo Eléctrico

Característica	Isotrópico, 3 direcciones
Display	Densidad de potencia como porcentaje del limite
Rango de medida	True RMS: 0.3% - 600%, Señales CW:0.3% - 10000%
Rango dinámico	Típicamente 33 dB true RMS
Error absoluto en 100Mhz, 50% del estándar	+/- 1dB
Linealidad	0.3% - 1.3%: +/- 3dB 1.3% - 5:0%: +/- 1dB 5.0% - 10000%: +/- 0.5 dB
Rango de frecuencias	300 Khz – 40 Ghz
Precio	12.000 dólares

**Tabla 4.5 Especificaciones técnicas sonda EMR3000 y sensor tipo 26**

Existen dos tipos de sensores:

- **Sensores con termoacopladores:** Tienen poco rango dinámico (típico 30 dB) y responden bien ante grandes niveles de exposición electromagnética. Al ser dispositivos sensibles a la temperatura representan el nivel de campo electromagnético en función del calentamiento que produce. Hay que tener cuidado con las variaciones térmicas en los sistemas radioeléctricos donde se realicen las medidas, calibrando el equipo para evitar lecturas falsas.
- **Sensores con diodos:** Obtienen el nivel de campo electromagnético rectificando la señal de alta frecuencia. Tienen el inconveniente de saturarse ante grandes niveles de señal, pero son más sensibles. Los sensores son de campo eléctrico (E) ó de campo magnético (H). Dependiendo de la componente de campo que se desea medir se debe elegir el tipo de sensor adecuado. La unidad de visualización, después de procesar los datos, presenta el nivel de campo E ó H (dependiendo de la sonda elegida) y además puede presentar el valor de densidad de potencia.

### 4.2.3. Analizador de Espectro.

Se recomienda la utilización de Analizadores de Espectro de tecnología digital como: Analizador de Espectro marca Hewlett Packard, modelo HP-8594E (Ver figura 4.2), el cual permite realizar mediciones en distintas unidades y modalidades, las principales características técnicas se pueden apreciar en la tabla 4.6.

HP 8594E	
Detalle	Descripción
Rango de Medición	9Khz – 2.9 Ghz
Impedancia de entrada	50 $\Omega$
Sweep time	20 ms – 100 seg
Resolución de ancho de banda	1 Khz – 3 Mhz
Ancho de banda de video	1 hz – 1 Mhz
Ruido de banda lateral	-105 dBc/Hz a -90dBc/Hz
Máxima incertidumbre de amplitud	3%

Tabla 4.6 Característica de analizador de espectro HP-8594E

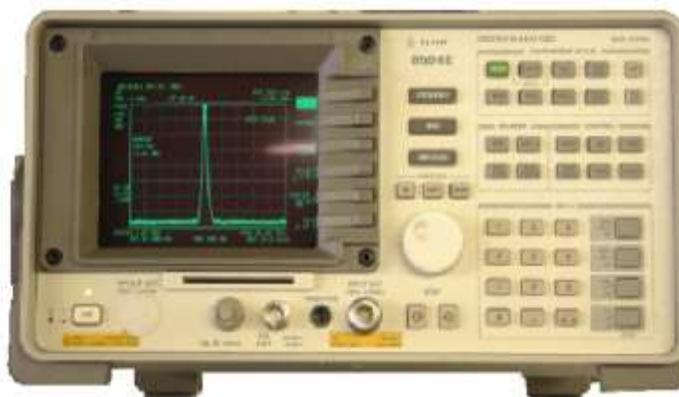


Figura 4.2 Analizador de Espectro HP 8594E

Analizador de Espectro, marca Anritsu, modelo MS2661B (Ver figura 4.3), es un analizador de características similares al Analizador de Espectro HP-8594E, en el trabajo de campo se pueden utilizar el uno u el otro y en algunos casos ambos

simultáneamente. Las principales características técnicas del Analizador de Espectro MS 2661B se pueden apreciar en la tabla 4.7.

<b>MS 2661B</b>	
Detalle	Descripción
Rango de Medición	9Khz – 2.9 Ghz
Impedancia de entrada	50 $\Omega$
Sweep time	20 ms – 100 seg
Resolución de ancho de banda	1 Khz – 5 Mhz
Ancho de banda de video	1 hz – 1 Mhz
Ruido de banda lateral	Menor a -100 dBc/Hz
Máxima incertidumbre de amplitud	

**Tabla 4.7 Característica de analizador de espectro MS 2661B**



**Figura 4.3 Analizador de Espectro Anritsu MS2661B**

#### **4.2.4. Otros Equipos y Accesorios**

Asimismo, para tomar datos y realizar mediciones del entorno se pueden utilizar los siguientes equipos:

- **Computador Portátil:** Es utilizado en el trabajo de campo para la adquisición de los datos de los instrumentos.

- GPS: Utilizado para tomar datos de la ubicación de las estaciones base y de los puntos de medición.
- Cámaras Fotográficas Digitales: Las cámaras digitales sirven para tomar datos visuales del trabajo.
- Brújulas: Para describir el azimut de los puntos de medición con relación a la estación base.
- Altimetros: Mediante el uso de altímetros se registran los datos de la altura del terreno donde se realizan las mediciones y del lugar donde se ubica la estación base.
- Odómetros: Para corroborar las distancias entre la estación base y los puntos de medición.

#### **4.3. TIPOS DE ESTACIONES RADIOELECTRICAS.**

Las estaciones radioeléctricas se clasifican, dependiendo de su tipología, en cuatro tipos:

**ER1:** Pertenecen a este tipo aquellas estaciones radioeléctricas ubicadas en suelo urbano, con potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) superior a 10 W.

**ER2:** Estaciones radioeléctricas ubicadas en suelo urbano, con potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) inferior o igual a 10 W.

**ER3:** Estaciones radioeléctricas ubicadas en suelo no urbano, con potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) superior a 10 W, en cuyo entorno existan áreas en las que puedan permanecer habitualmente personas.

**ER4:** Estaciones radioeléctricas ubicadas en suelo no urbano, con potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) inferior o igual a 10 W, en cuyo entorno existan áreas en las que puedan permanecer habitualmente personas.

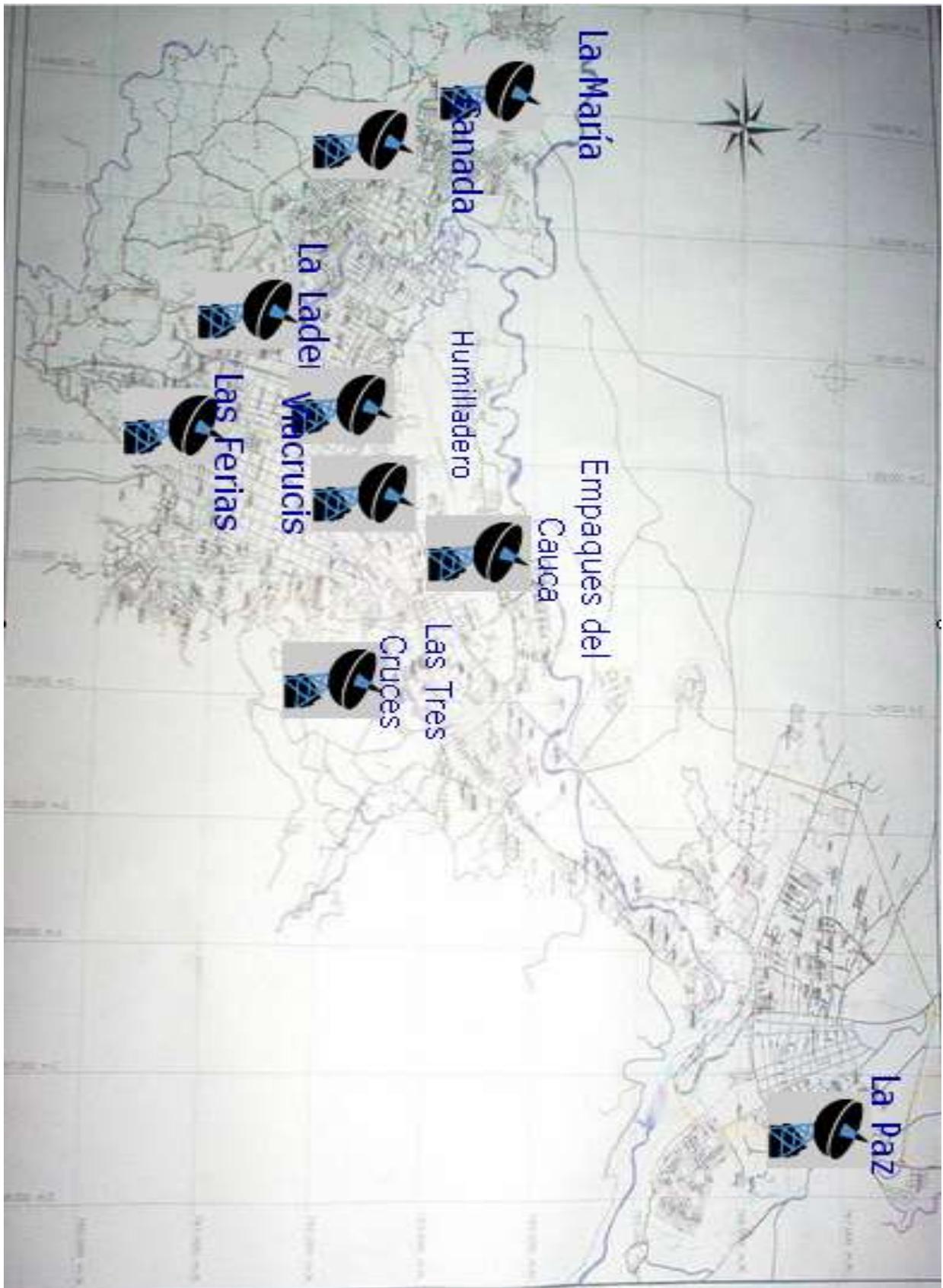
Para estaciones de tipo ER2 y ER4, se aportará un plano esquemático de la situación de la estación, con referencia a las áreas cercanas en las que pudieran permanecer habitualmente personas. Además, para estaciones tipo ER3 y ER4, se ubicará la estación en un mapa a escala.

Para todas las estaciones, se deberán incluir en el informe los valores de los niveles de emisión radioeléctrica calculados, en los puntos que se consideren más desfavorables según las direcciones de máximo nivel de emisión, en áreas de su entorno en las que pudieran permanecer habitualmente personas. El nivel de señal será calculado a través de la sonda como el promedio de intensidad de campo (eléctrico y/o magnético) a lo largo de un determinado período de tiempo, que dependerá de la frecuencia.

La frecuencia de operación esta en la banda de UHF, lo que significa, según el decreto, un promedio de seis minutos, puesto que se dictamina que, para frecuencias de 100 Khz a 10 Ghz, el promedio ha de calcularse a lo largo de un período cualquiera de 6 minutos.

La siguiente fotografía muestra las diferentes estaciones base instaladas por el operador Comcel en el casco urbano de la ciudad de Popayán.

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA METODOLOGICA PARA LA MEDICION DE LA INTENSIDAD DE CAMPO ELECTROMAGNETICO. CASO PRÁCTICO ZONA DE COBERTURA DE LOS SISTEMAS DE TELEFONIA MOVIL CELULAR.



La tabla 4.8 muestra las nueve estaciones base instaladas por Comcel con el número de sectores y su clasificación, que operan en la ciudad de Popayán, este censo lo realizamos en el mes de julio de 2006.

Estación Base		Tipo	Estación Base (BTS) Sectores
1	Canadá	ER1	Pop.canada mov_1
			Pop.canada mov_2
			Pop.canada mov_3
			Pop.canada mov_A
			Pop.canada mov_B
			Pop.canada mov_C
2	Empaques	ER1	Pop.empaques_1
			Pop.empaques_2
			Pop.empaques_3
			Pop.empaques_A
			Pop.empaques_B
			Pop.empaques_C
3	Humilladero	ER1	Pop.humilladero_1
			Pop.humilladero_2
			Pop.humilladero_3
			Pop.humilladero_A
			Pop.humilladero_B
			Pop.humilladero_C
4	La Maria	ER1	Pop.La Maria_1
			Pop.La Maria_2
			Pop.La Maria_3
			Pop.La Maria_A
			Pop.La Maria_B
			Pop.La Maria_C

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA METODOLOGICA PARA LA MEDICION DE  
LA INTENSIDAD DE CAMPO ELECTROMAGNETICO. CASO PRÁCTICO ZONA  
DE COBERTURA DE LOS SISTEMAS DE TELEFONIA MOVIL CELULAR.

5	La Paz	ER1	Pop.la Paz_1
			Pop.la Paz_2
			Pop.la Paz_3
			Pop.la Paz_4
			Pop.la Paz_A
			Pop.la Paz_B
			Pop.la Paz_C
			Pop.la Paz_D
6	La Ladera	ER1	Pop.ladera_1
			Pop.ladera_2
			Pop.ladera_3
			Pop.ladera_A
			Pop.ladera_B
7	Las Ferias	ER1	Pop.las Ferias mov_1
			Pop.las Ferias mov_2
			Pop.las Ferias mov_3
			Pop.las Ferias mov_A
			Pop.las Ferias mov_B
			Pop.las Ferias mov_C
8	Las Tres Cruces	ER3	Pop.tres cruces_1
			Pop.tres cruces_2
			Pop.tres cruces_3
			Pop.tres cruces_4
			Pop.tres cruces_A
			Pop.tres cruces_B
			Pop.tres cruces_C
			Pop.tres cruces_D
9	Viacrucis	ER1	Pop.viacrucis_1
			Pop.viacrucis_2

---

			Pop.viacrucis_3
			Pop.viacrucis_A
			Pop.viacrucis_B
			Pop.viacrucis_C

**Tabla 4.8 Total de celdas en Popayán**

#### **4.4. CALCULOS TEORICOS.**

Los cálculos se basan en la Recomendación UIT-T K.52: "Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los CEM". (2000) de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y las "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300Ghz)". (1998) de la Comisión Internacional para la Protección contra la Radiación No-Ionizante (ICNIRP). El decreto Colombiano Resolución Ministerial N° 612-2004-MTC/03, Norma técnica: Lineamientos para el desarrollo de los estudios teóricos de radiaciones no ionizantes. (2004), del Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Colombia (MTC).

Las características de la radiación que puede recibir una persona difieren, esto debido a la fuente de la señal: una antena de una estación fija o un teléfono móvil. En el caso de la antena de la estación base, la distancia a la que el sujeto se encuentra habitualmente de la antena es mucho mayor que la longitud de onda de la señal. Por consiguiente, la radiación se recibe en forma de onda electromagnética plana transversal. Esta situación corresponde a la denominada exposición en campo lejano, en la cual el campo electromagnético (CEM) queda perfectamente caracterizado por su densidad de potencia. Por el contrario, en el caso de los teléfonos, la distancia de exposición es muy corta, comparable a la longitud de onda de la señal, se trata entonces de una exposición en campo próximo, una situación en la que el CEM presenta una distribución muy heterogénea que se ve drásticamente influida por la naturaleza y dimensiones de materiales cercanos (gafas metálicas u otros).

Las antenas de estaciones base de telefonía móvil son elementos necesarios para el establecimiento de la comunicación entre los usuarios de teléfonos móviles, y entre éstos y los usuarios de teléfonos convencionales. Dichas antenas se encuentran formando grupos instalados en azoteas o partes altas de edificios (en áreas urbanas), o en torres o mástiles sobre el suelo (zonas rurales), a una altura comprendida entre los 15 m y 60 m.

Los patrones de radiación de las antenas tienen lóbulos muy estrechos en el plano vertical del emisor, y más anchos en el plano horizontal (figura 4.4); esto implica que la radiación hacia el interior de los edificios sobre los cuales están instaladas las antenas es muy débil. En cuanto a la radiación en espacios próximos a las estaciones base, la densidad de potencia en un punto situado dentro del patrón de cobertura depende de la potencia radiada por la antena y de la distancia del punto a la misma. La densidad de potencia es inversamente proporcional al cuadrado de dicha distancia, lo que significa que, al duplicarse la distancia a la antena, la densidad de potencia se divide por cuatro. Es necesario tener en cuenta que los valores teóricos pueden incrementarse si se agrupan varias antenas en una misma estación base, o si en las proximidades existieran superficies capaces de provocar reflexiones significativas de la señal.

El Consejo de la Unión Europea recomienda evitar exposiciones a densidades de potencia superiores a 0,45-0,9 mW/cm<sup>2</sup> (para 900 y 1800 Mhz, respectivamente). A partir de estos niveles de referencia, se puede realizar el cálculo de distancias de seguridad. En condiciones estándar, los niveles máximos recomendados sólo podrían sobrepasarse a distancias inferiores a 6-8 metros (según la frecuencia de la señal emitida) a las antenas. En casos especiales, que no se ajustasen a las condiciones estándar, la valoración de la exposición podría llevarse a cabo a través de cálculos más completos que consideren las peculiaridades del caso, o mediante la toma de medidas *in situ*, siguiendo protocolos internacionales vigentes.

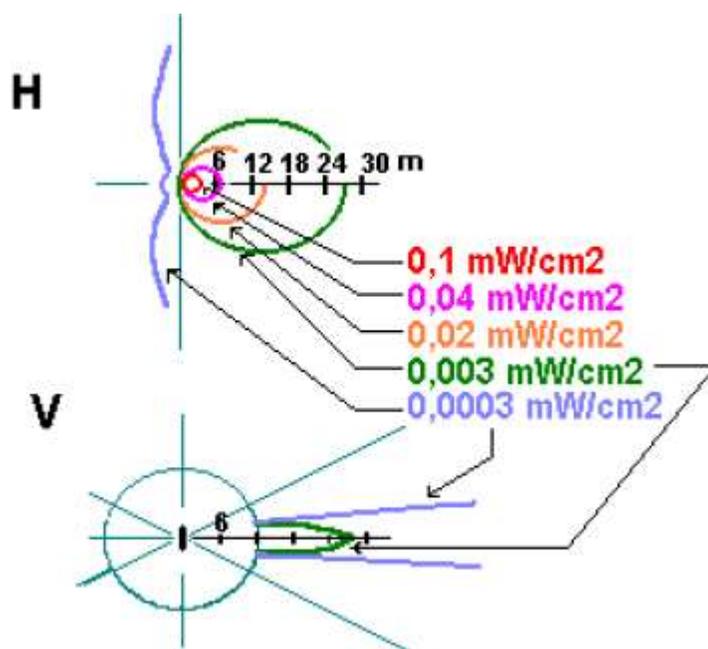


Figura 4.4 Radiación de los haces de ondas

En la gráfica de la figura 4.4 se presentan los niveles teóricos de emisión en una antena sectorial para una potencia de 300 W. H: Sección transversal de la emisión (horizontal).

V: Sección axial (vertical).

En la horizontal de la antena pueden registrarse densidades de potencia de hasta  $0,1 \text{ mW/cm}^2$  a 2 metros de la antena. A 25 metros el valor se reduciría a  $0,003 \text{ mW/cm}^2$ .

En la vertical de la antena, los valores son mucho más bajos debido a la estrecha apertura del haz. Si la antena está ubicada en un mástil de 15 metros, a los pies del mástil se medirían entre  $0,0001 \text{ mW/cm}^2$  y  $0,00001 \text{ mW/cm}^2$ . El Consejo de la Unión Europea recomienda evitar exposiciones a densidades de potencia superiores a  $0,45\text{-}0,9 \text{ mW/cm}^2$  (para 900 y 1800 Mhz, respectivamente).

Los teléfonos móviles emiten y reciben señales a las mismas frecuencias que las enviadas de las estaciones base, aunque los teléfonos emiten campos electromagnéticos (CEM) de potencias muy inferiores a las transmitidas por las

estaciones base, el cuerpo del usuario recibe, comparativamente, mucha más potencia de la antena de su teléfono móvil a causa de la proximidad de la fuente.

#### 4.4.1. Evaluación simple de una exposición a los CEM

En la figura 4.5 se muestra la manera de calcular la exposición a nivel del suelo y en una edificación adyacente. A continuación se presenta una exposición de la metodología allí presentada.

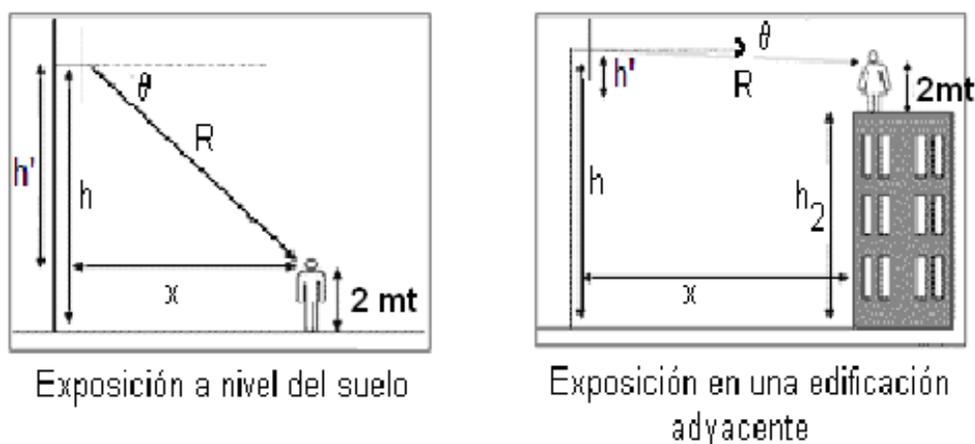


Figura 4.5 Exposición a CEM

##### 4.4.1.1. Exposición a nivel del suelo

Se asume el centro de radiación de la antena a una altura  $h$  (mt) sobre el suelo y se evalúa la densidad de potencia en un punto a 2 mt por encima del suelo (aproximadamente al nivel de la cabeza de una persona), a una distancia  $x$  (mt) de la torre. El haz principal es paralelo al suelo y la ganancia de antena es axialmente simétrica. Si  $h' = h - 2$  mt, entonces:

$$R^2 = h'^2 + x^2, \quad \theta = \tan^{-1}\left(\frac{h'}{x}\right)$$

$$S = \frac{(1+p)^2}{4\pi} F^2(\theta) \frac{PIRE(W)}{x^2 + h^2} \quad (3)$$

donde,

$S$ = densidad de potencia ( $W/m^2$ );       $F(\theta)$ : Patrón de radiación azimutal

PIRE= Potencia isotrópica radiada efectiva

Si se necesita un método más riguroso, se considera un coeficiente de reflexión  $\rho=1$ .

#### **4.4.1.2. Exposición en un edificio adyacente**

Se asume el centro de radiación de la antena a una altura  $h$  (mt) sobre el suelo y se evalúa la densidad de potencia en un punto a 2 mt sobre una edificación. El edificio tiene una altura  $h_2$  y está situado a una distancia  $x$  (mt) de la torre. La exposición más grave se prevé en el borde del tejado más próximo a la antena. Se supone que el haz principal es paralelo al suelo y que la ganancia de antena es axialmente simétrica. Se define  $h' = h - h_2 - 2$  mt. Recurriendo a la trigonometría:

$$R^2 = h'^2 + x^2, \quad \theta = \tan^{-1}\left(\frac{h'}{x}\right) \quad (4)$$

En esta situación, pueden despreciarse las radiaciones en el suelo, ya que la onda reflejada probablemente sea atenuada por el edificio y el coeficiente de reflexión tiende a cero, por lo que la densidad de potencia resulta:

$$S = \frac{1}{4\pi} F^2(\theta) \frac{PIRE}{x^2 + h^2} \quad (5)$$

#### **4.4.2. Cálculo del Cociente de Exposición**

Para exposición a ondas de RF emitidas en una única frecuencia, se puede calcular el “Cociente de Exposición” que es una cantidad adimensional. Este cociente de exposición está expresado en términos de densidad de potencia medida ( $S_{medido}$ ) y densidad de potencia límite ( $S_{lim}$ ) usando las relaciones:

$$Cociente\ De\ Exposición = \frac{S_{Medido}}{S_{lim}} = \left( \frac{E_{Medido}}{E_{Lim}} \right)^2 \quad (6)$$

Donde,

$S_{medido}$  ( $W/m^2$ )=densidad de potencia medida

$S_{lim}$  ( $W/m^2$ )=densidad de potencia límite

$E_{medido}$  ( $V/m$ )=campo eléctrico medido

$E_{lim}$ ( $V/m$ )=campo eléctrico límite

Es importante anotar que las fórmulas utilizadas para el cálculo del Cociente de Exposición en función de la intensidad de campo eléctrico (E) también son usadas en forma similar con intensidad de campo magnético (H).

La exposición simultánea de las personas a diversas fuentes de RNI (*Radiación no ionizante*), es generalmente a frecuencias diferentes. Todas las señales individualmente contribuyen a la exposición de las personas y el “Cociente de Exposición Total” es equivalente a la suma de cada señal y esta expresado por:

$$\text{Cociente de Exposición Total} = \sum_{i=1}^N \frac{S_i^{Medido}}{S_i^{lim}} = \frac{S_1^{Medido}}{S_{1i}^{lim}} + \frac{S_2^{Medido}}{S_2^{lim}} + \dots + \frac{S_N^{Medido}}{S_N^{lim}} \quad (7)$$

o también expresado en términos de campo eléctrico:

$$\text{Cociente de Exposición Total} = \sum_{i=1}^N \left( \frac{E_i^{Medido}}{E_i^{lim}} \right)^2 = \left( \frac{E_1^{Medido}}{E_1^{lim}} \right)^2 + \dots + \left( \frac{E_{N1}^{Medido}}{E_N^{lim}} \right)^2 \quad (8)$$

Donde N es el número total de señales. El Cociente de exposición total no debe exceder la unidad para cumplir con las Límites Máximos Permisibles de exposición a las radiaciones no ionizantes (RNI).

#### 4.4.3. Cálculos y comentarios teóricos

Datos necesarios

- Frecuencias [f(Mhz)]
- Potencia máxima por portadora [Pmax(dBm)]
- Número de portadoras [N]

- Ganancia máxima de la antena [G]
- Inclinación (downtilt) [ $\alpha$ (grados)]

Distancia de referencia

$$d_{\max} = \sqrt{\frac{\text{PIRE} * M}{4 * \text{PI} * S_{\max}}} \quad (9)$$

Donde,

PIRE: Potencia isotrópica radiada efectiva

$S_{\max}$ : densidad de potencia máxima permitida

M es un factor de reflexión:

M=4 si se considera que la superficie circundante proporciona reflexión total

M=1 si no se considera ninguna reflexión

M=2,56 si se consideran las condiciones típicas de reflexión.

#### **4.4.3.1. Expresiones útiles de cálculo**

A continuación se dan unas expresiones útiles para realizar cálculos de los niveles de radiación producidos por una estación radioeléctrica. Evidentemente los resultados serán aproximados, ya que no tienen en cuenta los múltiples efectos que tienen lugar en la propagación de una señal electromagnética, entorno de medida, características reales de los sistemas radiantes, etc. Pero nos darán una idea aproximada de los niveles esperados.

$$S(w/m^2) = \frac{\text{PIRE}(w)}{4\pi d^2(m)} \quad (10)$$

Siendo PIRE el producto de la potencia del transmisor por la ganancia de la antena (referida a la isotrópica).

Para tener en cuenta las reflexiones en el suelo, que proporcionarán puntos con mayor o menor nivel (depende de la posición), la FCC americana propone multiplicar la expresión anterior por cuatro, para tener en cuenta el peor caso (un máximo de señal).

Otras expresiones útiles para el campo eléctrico son:

$$E(v/m) = \frac{\sqrt{30 \cdot PRA(w)}}{d(m)} \quad (11)$$

Siendo PRA (Potencia radiada aparente) el producto de la potencia del transmisor por la ganancia de la antena (referida al dipolo).

La relación entre la ganancia de una antena sobre el dipolo y sobre la antena isotrópica se muestra a continuación:

$$G_{isotropica}(dBi) = G_{dipolo}(dBd) + 2.15 \quad (12)$$

Otras expresiones útiles para el campo eléctrico:

$$E(mV/m) = 173 \frac{\sqrt{PRA(Kw)}}{d(Km)} \quad (13)$$

$$E(dB/\mu V/m) = 74.8 + PRA(dBw) - 20 \log d(Km) \quad (14)$$

#### 4.5. PROCEDIMIENTO DE MEDIDA

Previamente al proceso de medida, se deberá recopilar toda la información necesaria de las estaciones radioeléctricas y evaluar su entorno.

Factores a tener en cuenta:

- *Factores de Entorno:* identificar zonas abiertas, edificios próximos con posible influencia, espacios sensibles, etc.
- *Factores Radioeléctricos:* equipo de medida, distancia de la antena, etc.)

##### 4.5.1. Factores del entorno de las estaciones:

Para las medidas se deberá llevar a cabo un reconocimiento previo del terreno, identificando las zonas en las que puedan permanecer habitualmente personas, y que estén próximas a los centros emisores, con especial atención en aquellas

situadas en la dirección de máxima radiación de las antenas emisoras y en aquellos espacios considerados sensibles, como centros de enseñanza, hospitales, etc. Se deberá también analizar la presencia de edificios y otros obstáculos, para poder estimar cómo afecta a la medida (Efecto multitrayecto).

Identificación de las zonas accesibles para el público en general, próximas a los centros emisores, existencia de lugares de residencia habitual a distancias cortas de las antenas radiantes, especialmente en la dirección de máxima radiación de éstas.

Presencia de edificios u otros obstáculos, estimando de qué manera su presencia puede afectar al proceso de medida, fundamentalmente debido a reflexiones.

#### **4.5.2. Factores radioeléctricos:**

El equipo de medida debe elegirse adecuadamente, en función del tipo de medida que vaya a realizarse. Éste deberá estar apropiadamente calibrado. Las mediciones deberán realizarse sin la presencia de elementos perturbadores, entre los que se incluye el cuerpo humano. Por ello, se utilizarán elementos como trípodes no metálicos o mástiles, que permitan separar el equipo del cuerpo de quien lo opera.

Se evaluará, en función de la frecuencia del servicio, si el punto de medida se encuentra en la zona de campo cercano o en la zona de campo lejano. Para ello es necesario conocer la distancia entre el punto de medida y la antena radiante. Como criterio práctico y aproximado, se establece que para frecuencias inferiores a 1 Ghz, si la zona se encuentra a una distancia mayor de tres longitudes de onda, se considerará dentro de la zona de campo lejano. Si la zona se encuentra a una distancia menor de tres longitudes de onda, se considerará dentro de la zona de campo cercano.

*Si  $d > 15 \cdot \lambda \rightarrow$  campo lejano. Debido a que  $d \gg \lambda$*

*Si  $d < 3 \cdot \lambda \rightarrow$  campo cercano.*

Donde ( $d$ ) es la distancia desde el punto de medida a la antena cuya emisión se pretende medir, y ( $\lambda$ ) es la longitud de onda de la frecuencia en estudio.

Existen dos regiones, bien diferenciadas, alrededor de una antena cuando está radiando energía electromagnética.

- **Campo cercano:** Zona del espacio próxima a la antena transmisora. En esta zona los campos eléctricos y magnéticos varían considerablemente alrededor de la antena. Su relación es bastante compleja, por lo que el cálculo exacto de componentes no es posible.
- **Campo lejano:** Región alejada de la antena donde la distribución angular de los campos es independiente de la distancia. El campo electromagnético radiado tiene un carácter de onda plana y los campos eléctricos y magnéticos son ortogonales entre sí, relacionándose de forma sencilla a través de la impedancia del medio:

$$\begin{array}{l}
 E = H \cdot Z_o \\
 H = \frac{E}{Z_o}
 \end{array}
 \left| \begin{array}{l}
 \\
 \end{array} \right.
 \begin{array}{l}
 \\
 \text{Siendo } Z_o = 120\pi \Omega \approx 377\Omega
 \end{array}
 \quad (15)$$

$$S = E \cdot H = \frac{E^2}{Z_o} = H^2 \cdot Z_o$$

$$\left. \begin{array}{l}
 \{ E(\text{campo electrico}) \\
 \{ H(\text{campo magnético}) \}
 \end{array} \right\} \text{Valores rms}$$

$$S(\text{densidad de potencia})$$

#### 4.5.3. Características técnicas de la estación

Son necesarias para los cálculos previos a las medidas:

- Características generales de la estación: potencia de radiación, ganancia de la antena transmisora, número de portadoras, número de canales y frecuencias.
- Datos del sistema radioeléctrico
- Características de cada sector
- Características de las antenas
- Cálculos de potencia

#### 4.5.4. Características radioeléctricas de las antenas

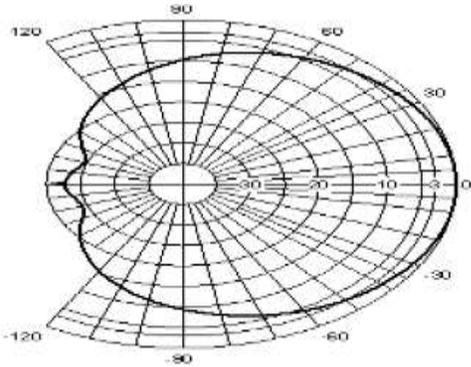
En la tabla 4.9 se representan las especificaciones más relevantes de las antenas de telefonía móvil celular.

<b>Información Eléctrica</b>			
Modelo de la antena	ASPP2933	ASPP2936	DB910C-M
Rango de frecuencia en Mhz	750-1900	750-1900	750-1900
Ganancia – dBd/dBi	3/5.1	6/8.1	10/12.1
Abertura del haz (3 db máximo)	Vertical	Vertical	Vertical
Polarización	32°	15°	5°
Entrada máxima de potencia – Vatios	400	400	400
Impedancia de entrada – Ohms	50	50	50
Terminación – Estándar	N-hembra	N-hembra	N-hembra
<b>Información Mecánica</b>			
Longitud total – en (mm)	24	36	77

**Tabla 4.9 Características radioeléctricas de las antenas**

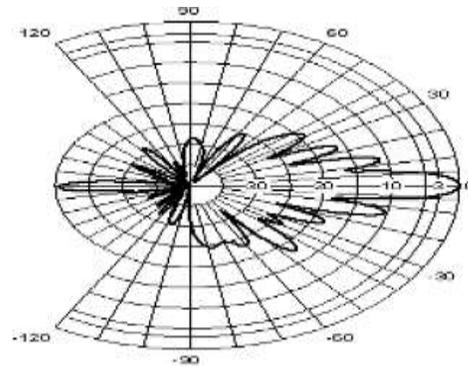
En la figura 4.6 se muestran los diagramas de radiación de las antenas utilizadas en la telefonía móvil celular:

### Diagrama horizontal



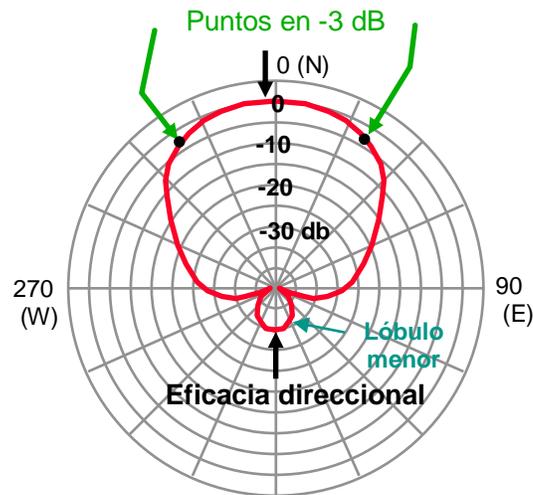
a)

### Diagrama vertical



b)

### Patrón de plano horizontal



c)

Figura 4.6 a) Patrón de radiación horizontal, b) Patrón de radiación vertical  
c) Patrón de plano horizontal

#### 4.5.5. Características radioeléctricas para los cálculos de potencia [35].

En las tablas 4.10, 4.11 y 4.12 se describen las características radioeléctricas de la estación base y la estación móvil por áreas y por factores.

<b>f = 870 Mhz</b>	<b>Altura de la torre (metros)</b>	<b>PIRE (vatios)</b>	<b>Rango, (km)</b>
<b>Área muy urbana</b>	15	200	4.0
<b>Área urbana</b>	36	200	4.9
<b>Área suburbana</b>	60	200	6.7
<b>Área rural</b>	60	200	26.8

**Tabla 4.10 Características radioeléctricas por áreas**

<b>Término o factor</b>	
Potencia de TX de BT (dBm)	44.0 dBm
% de potencia para canales de tráfico	74%
No. De canales de tráfico en uso	19
Pérdida de cable de BTS (Db)	-3.0 dB
Ganancia de antena BTS de TX	17.0 dBi
BTS EIRP/canal de tráfico (dBm)	44.0 dBm
BTS EIRP/canal de tráfico (vatios)	25.1 W
Margen de desvanecimiento (dB)	-7.6 dB
Margen de interferencia del receptor (dB)	-3.0 dB
Pérdida de penetración en edificios	-20.0 dB
Ganancia de antena de MS y pérdida de cuerpo (dBi)	0.0 dBi
Pérdida de señalización directa (dB)	130.2 dB

**Tabla 4.11 Características radioeléctricas por factores**

<b>Término o factor</b>	<b>Valor</b>
Potencia de TX de MS (dBm)	23.0 dBm
Potencia de TX de MS (watts)	0.2 W
Ganancia de antena de MS y pérdida de cuerpo (dBi)	0.0 dBi
EIRP de MS (dBm)	23.0 dbm
EIRP de MS (watts)	0.2 W
Margen de desvanecimiento (dB)	-7.6 dB
Ganancia de handoff suave (dB)	4.0 dB
Margen de interferencia del receptor (dB)	-3.0 dB
Pérdida de penetración en edificios (dB)	-20.0 dB
Ganancia de antenas de RX BTS(dBi)	17.0 dBi
Pérdida del clave BTS (dB)	-3.0 dB
kTB (dBm/14.4 kHz)	-132.4
Cantidad de ruido en BTS (dB)	6.4 dB
Eb/Nt (dB)	6.2 dB
Sensibilidad de RX de BTS	-119.8 dB
Pérdida de señalización inversa (dB)	130.2 dB

**Tabla 4.12 Características radioeléctricas de la estación móvil**

#### **4.6. TOMA DE MEDIDAS**

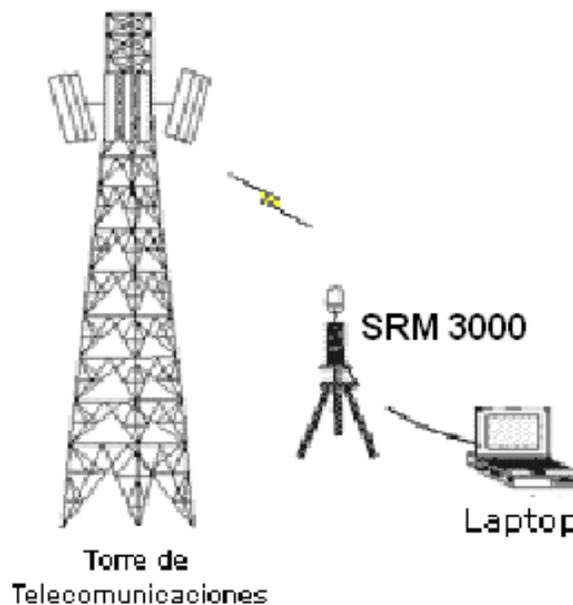
Una estación Base GSM generalmente emite varias portadoras cuyo número varía entre dos (2) y seis (6), el número de portadoras emitida en un momento dado depende del número de comunicaciones en curso dentro de la celda, la cual varía constantemente. Para que las medidas sean fiables deben ser realizadas para una portadora que este presente permanentemente, que es el caso de la portadora que transmite el canal de control (BCCH). En la práctica se deben realizar las mediciones de los campos a la frecuencia de la portadora que transmite el BCCH y luego se tienen en cuenta el número máximo de portadoras para deducir la exposición máxima (la que esta expuesta cuando todas las portadoras estén presentes).

La medición de campo electromagnético radiado por una estación base comprende dos etapas sucesivas, que se realizan con el analizador de espectros:

Una es la detección de las frecuencias emitidas y la otra es la medición del campo en diferentes puntos a lo largo de los trayectos de la medición.

#### **4.6.1. Medición en banda ancha**

Se utilizan equipos de medidas de banda ancha con sondas isotrópicas que permitan identificar ambientes radioeléctricos en forma rápida, aunque no ofrezcan información acerca de cada componente espectral. Basada en el Analizador de Campos Electromagnéticos (EMR 3000) con un sensor tipo 26 controlado por una computadora portátil a través del puerto serial utilizando un cable de fibra óptica y un conversor O/E, como se muestra en la figura 4.7, se almacenan las lecturas de las mediciones como porcentaje de los límites de exposición. El inconveniente de los medidores de banda ancha es que son incapaces de responder a cambios rápidos de la intensidad de la señal debido a la modulación, los esquemas de acceso múltiple y el desvanecimiento. Las exposiciones del público en general, frecuentemente están en la región o por debajo de los umbrales de detección de los medidores de banda ancha.



**Figura 4.7 Configuración de medida en Banda Ancha**

#### **4.6.1.1. Procedimiento**

El procedimiento de medida que proponemos para adquirir los datos es el siguiente: con la sonda se recorre el entorno de la estación accesible al público, tomando las medidas preliminares instantáneas con el fin de identificar los puntos de máxima exposición, variando la altura de la sonda con respecto del suelo entre 0 y 2 metros, estimando los valores más significativos. Se almacenan los valores obtenidos de las medidas para cada ubicación donde se realicen anotando los valores RMS obtenidos, se deben obtener de 20 a 50 muestras de la densidad de flujo de potencia o de intensidad de campo en cada punto de medición, con el fin de estimar el nivel de los valores habituales. Son de mayor interés los valores máximos registrados, para no hacer excesiva la información, lo que puede dar lugar a confusiones. Adicionalmente, y con el fin de realizar una estimación estadística de los niveles de radiación electromagnética de radiofrecuencia en el área de la ciudad, se deben de tomar alrededor de 2250, esto debido a el número de estaciones base existentes y las distancias que proponemos en la metodología. Como consecuencia de esto puede hablarse de una densidad promedio de potencia o de intensidad de campo en cierta zona, que es el promedio de todos los valores registrados en dicha zona.

Una vez identificados los puntos de máxima exposición, se realiza la medida, evitando que la presencia de quien maneja la sonda afecte el resultado (utilización del trípode). Se tomarán muestras, una por segundo, durante un período de seis minutos, y se obtendrá el valor promediado en ese período.

Se mide la distancia desde el punto de medida a la fuente emisora, y se almacenan los valores obtenidos de las medidas para cada ubicación en que éstas se realicen, y se anotan los valores RMS obtenidos. Los resultados obtenidos en el proceso de medida, deberán compararse con los Niveles de Decisión. Estos niveles de decisión se establecen en 6 dB por debajo de los niveles de referencia señalados en el Decreto 195 de 2005 y en resolución 1645 de 2005. En el caso de

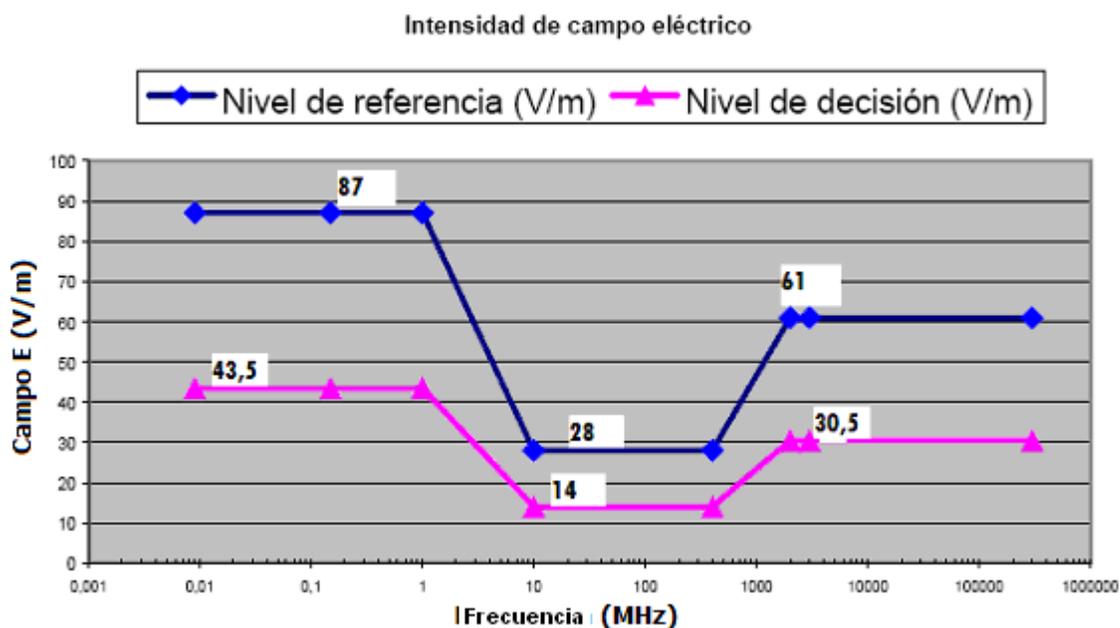
la intensidad del campo eléctrico, tendremos que ceñirnos a los valores que vienen dados en la Tabla 4.13 o en la Figura 4.8 [40].

Intervalo de frecuencia Mhz	Campo eléctrico V / m	Valor mínimo V / m	Valor máximo V / m
0.1 – 1	87		
1– 10	$87 / \sqrt{f}^*$		
10 – 400	27.5		
400 – 2000	$1.375 \sqrt{f}^*$	40.53	41.11
2000 – 300000	61		

\*  $f$  = Número de Mhz

Tabla 4.13 Límites operativos de exposición del público en general

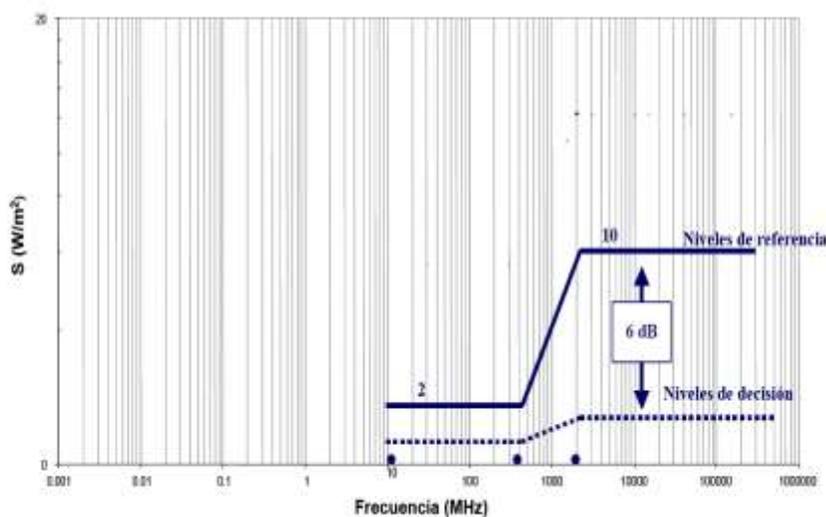
En el caso de intensidad de campo eléctrico (V/m)



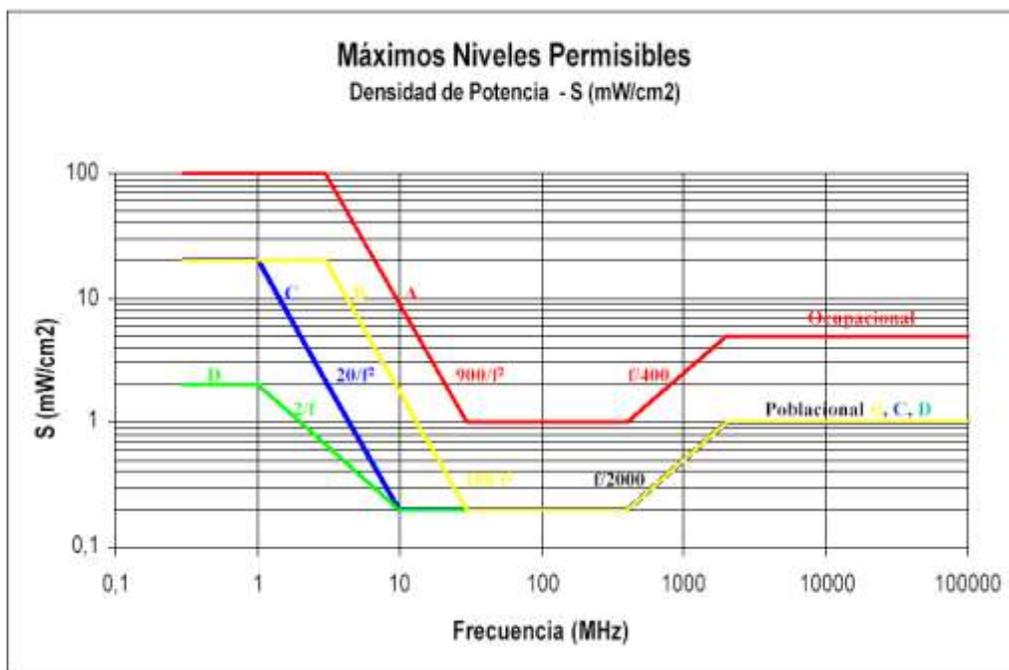
a)

Como se puede observar en la figura 4.8a) se ha establecido un nivel de decisión a un 50% inferior del nivel de referencia.

En el caso de densidad de potencia ( $W/m^2$ )



b)



c)

Figura 4.8 a) Niveles ICNIRP de referencia y decisión para el campo eléctrico  
 b) Niveles ICNIRP de referencia y decisión para la densidad de potencia  
 c) Niveles ICNIRP de referencia poblacional y ocupacional

Las líneas representadas por las letras B,C,D,(amarillo, azul, verde) muestran los niveles máximos de densidad de potencia permitidos a nivel poblacional, y las representadas con la letra A (rojo), muestran los niveles máximos permitidos pero a nivel ocupacional, para las frecuencias de transmisión comprendidas entre 0,1 Mhz y 100000 Mhz.

Es importante elegir la sonda de medida más adecuada a la frecuencia bajo estudio (GSM 850, Tx: 869 Mhz a 894 Mhz, Rx: 824 Mhz a 849 Mhz). En ciertas situaciones es necesario utilizar más de una sonda ya que es habitual medir en un gran ancho de banda. En este caso los valores obtenidos para cada banda se utilizan para calcular el nivel total tal como se detalla a continuación:

$$E = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n E_i^2} \quad (16)$$

$$H = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n H_i^2} \quad (17)$$

Siendo n el número de sondas utilizadas para cubrir el margen de frecuencia total de estudio. El valor obtenido siempre será por exceso ya que las bandas de las sondas contiguas se solapan y las expresiones anteriores no excluyen este hecho. Antes de comenzar el proceso de medida es necesario calibrar el equipo. Para ello, de acuerdo con las instrucciones del fabricante se procede a realizar la rutina de calibración (la sonda Narda SRM 3000 necesita por lo menos 15 minutos de adaptación a la temperatura ambiente de la zona a medir). Una vez realizada, si se introduce la sonda en su estuche, el valor leído será nulo. Con los sensores térmicos hay que tener cuidado con las variaciones de temperatura por ejemplo al calibrarlos en el interior de un edificio, medir y luego pasar a medir en el exterior. Si existen evidencias de que las lecturas que ofrece el equipo no son fiables, puede verificarse la condición de campo nulo y si fuera necesario volver a realizar la rutina de calibración.

Con el equipo calibrado, la información previamente recopilada del entorno, se trata de buscar el punto de mayor exposición electromagnética. Para ello, se mide con el equipo en forma continua (visualizando el valor instantáneo de señal), se recorre el lugar variando la altura de la sonda entre 1,1 m y 1,7 m (aproximadamente). Una vez identificados los puntos de máxima exposición, se realiza la medida, evitando que la presencia de quien manipula el sensor afecte al resultado (utilización de trípode y proceso de inicialización del equipo, según indicaciones del manual de uso). Se realiza una medida durante 6 minutos obteniendo el valor promediado en ese periodo de tiempo.

Este procedimiento sólo se aplica en campo lejano, por lo tanto el valor obtenido (E ó H) son fácilmente convertibles entre ellos, así como el cálculo del valor de densidad de potencia.

Los valores obtenidos se deben comparar con los niveles de decisión, que se calculan restando 6 dB a los niveles de referencia. Una vez obtenido el valor final de la medida, se pueden tener tres casos:

- Si el nivel total de exposición electromagnética obtenido está por encima del nivel de decisión, el sistema radioeléctrico se debe evaluar por medio de una medida más precisa (banda estrecha).
- Si el nivel total de exposición electromagnética obtenido está por debajo del nivel de decisión, se puede considerar que el sistema radioeléctrico o la zona en estudio están adaptados a las exigencias del Reglamento.

Existen sistemas radioeléctricos donde el nivel medido estará por debajo de la sensibilidad del equipo.

#### 4.6.2. Medición selectiva en frecuencia

Este tipo de medición la proponemos basada en la utilización de un Analizador de Espectro o del Medidor de Intensidad de Campo en conjunto con distintas antenas de acuerdo con los rangos de frecuencia a evaluar, para discriminar las fuentes de radiación según su frecuencia. En función de las características de la antena también puede discriminar la dirección de procedencia de la fuente si se utilizan antenas directivas y la polarización de la onda. El diagrama de medición se muestra en figura 4.9.

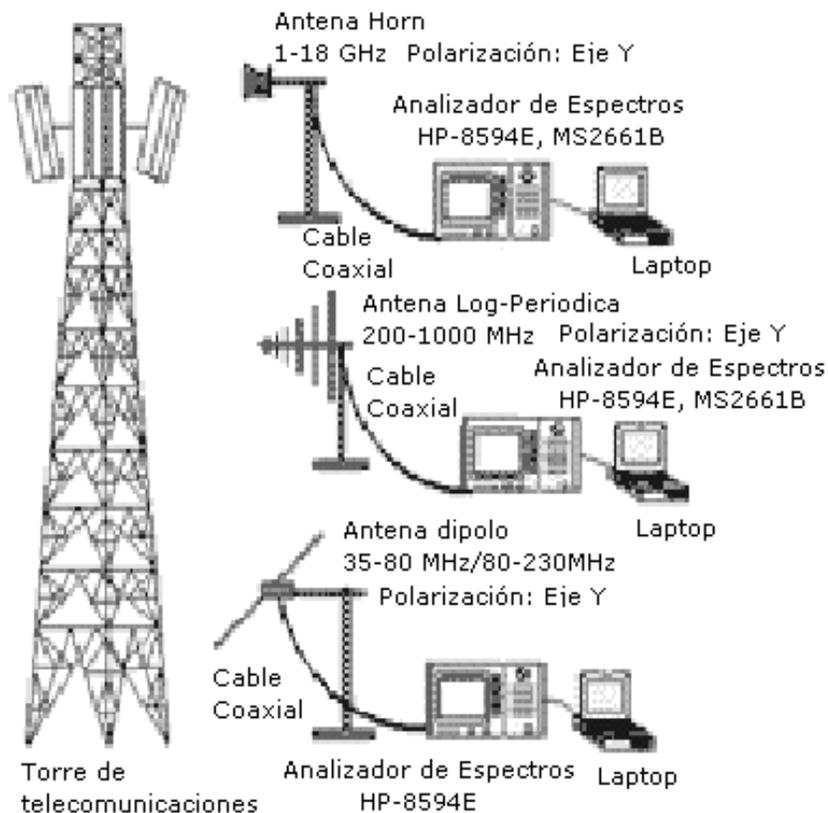


Figura 4.9. Esquema de la Medición de Banda Angosta utilizando el Analizador de Espectro

##### 4.6.2.1. Mediciones de las Estaciones Bases

Para la toma de las medidas de la radiación generada por las estaciones base, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

#### **4.6.2.1.1. Consideraciones Generales sobre la toma de Medida de Campo.**

Se toma en consideración el azimut del arreglo de antenas por cada sector de las estaciones base, los puntos de medición estarán ubicados a 10, 20, 50, 100 y 200 metros de la base de la antena en sentido horizontal y en dirección del haz principal del arreglo de antenas, siempre que los puntos de medición a estas distancias sean accesibles.

Las mediciones a realizar con el analizador de campo electromagnético se tomaran a una altura de 2 metros sobre el piso. Dependiendo del valor medido se procede a establecer sobre el punto de medición una línea vertical con tres puntos de medición localizados a 1.1 m, 1.5 m y 1.7 m. sobre la superficie de referencia.

Para evitar perturbaciones y/o errores en la medición del campo eléctrico, el operador se ubica de tal manera que no esté entre la fuente radiante y la sonda (sensor) del equipo de medición.

Una vez realizadas las mediciones de radiación no ionizante (RNI) con el analizador de campo electromagnético correspondiente a una estación radioeléctrica (se toma en consideración el azimut y las distancias de la base del sistema irradiante al punto de medición), se elige un punto de medición por sector para el analizador de espectros en función del valor más representativo obtenido con el Analizador de Campo Electromagnético.

La medición de radiación no ionizante RNI realizada con el analizador de espectros es detallada y consta de 3 características principales:

- Medición de la intensidad de campo eléctrico por bandas de las frecuencias correspondientes a estaciones radioeléctricas de telecomunicaciones.
- Medición de la intensidad de campo eléctrico en 3 polarizaciones (x,y,z) a 2 metros de altura sobre el suelo.
- Tiempo promedio de 6 minutos en cada polarización.

#### **4.6.2.1.2. Procedimiento de Medida**

Ubicado el punto de medición del analizador de campo electromagnético, se procede con la conexión de la sonda de campo eléctrico y se inicia automáticamente la prueba de calibración y verificación de la misma.

Se realizan mediciones expresadas en porcentaje de exposición ocupacional, de acuerdo a las recomendaciones del ICNIRP del Campo Electromagnético Total, a las distancias ya establecidas.

Durante las mediciones de Campo Eléctrico se recolecta la siguiente información:

- Coordenadas Geográficas, altitud, fecha y hora.
- Presión atmosférica
- Humedad relativa y temperatura
- Detalle de los sitios expuestos (croquis y vistas del lugar).
- Registro fotográfico de la zona y de la medición.
- Otras informaciones relevantes.

Una vez realizadas las mediciones con el analizador de campo electromagnético, se procede a escoger el valor más representativo obtenido en cada sector de la estación en estudio. Dicho punto será tomado como un punto de medición detallada.

Los puntos en donde se realizará la medida se deberán escoger en función de las zonas en las que exista o pueda existir en algún momento presencia humana, prestando especial interés en aquellos lugares sensibles tales como hospitales, centros de educación infantil, primaria, etc.

Se deberá localizar el punto de máxima radiación, y la altura de máxima exposición, lo que significa que se deben llevar a cabo mediciones con la sonda en un perímetro alrededor del transmisor, y variando la altura del sensor entre 0 y 2 metros. Aunque se supone conocido el diagrama de radiación de la antena, puesto que se trata de una antena tipo dipolo, no se deberá dar por hecho que la altura de máxima radiación es aquella en la dirección perpendicular al eje de la misma, ya que pueden existir contribuciones del entorno (reflexiones en paredes, suelo, etc.) que modifiquen la dirección de máxima exposición. Una vez localizado

el punto crítico en altura y azimut, se procederá a llevar a cabo la medida de nivel de campo eléctrico.

#### 4.6.2.1.3. Manejo de la sonda [36].

El manejo de la sonda es sencillo, pero deberá hacerse de forma cuidadosa, puesto que se trata de un equipo muy delicado. En primer lugar, hay que asegurarse de que el sensor es el correspondiente a la banda de frecuencias bajo estudio. Tras encender la sonda pulsando el botón **ON/OFF**, se procederá a borrar los posibles datos almacenados pulsando simultáneamente las teclas **SHIFT+CLEAR**. Dado que lo que se pretende es hacer un promediado del nivel de campo, se colocará la sonda en modo **AVERAGE**, pulsando la tecla **MAX/AVRG**, hasta que aparezca la señal **AVRG** en el display. Una vez inicializada la sonda, se colocará en el primer punto a realizar la medida, y, con la ayuda de un cronómetro se toman los 6 minutos. Pasado este tiempo, se procederá a leer la medida que aparece en el display de la sonda, que deberá ser debidamente anotado. Junto al nivel de campo, deberá anotarse igualmente la posición del punto con respecto al transmisor (distancia y azimut). Una vez anotados los datos, se procederá a la inicialización de la sonda de nuevo mediante las teclas **SHIFT+CLEAR**. Ver figura 4.10

El proceso continúa para todos los puntos que sea preciso, anotando en cada caso el resultado. Una vez finalizado el proceso, se procederá a comparar los resultados con los niveles de decisión estableciendo de esta forma si la estación cumple o no los requisitos reglamentarios.

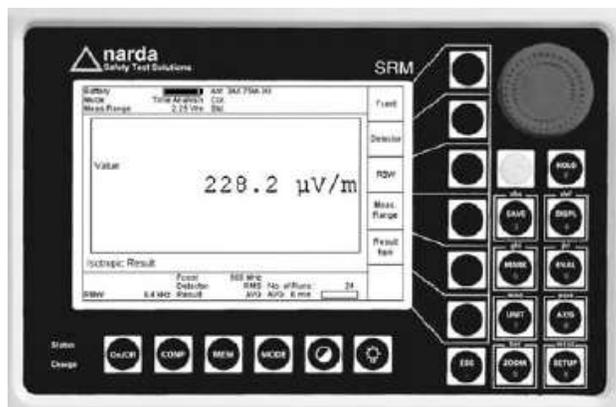


Figura 4.10. Sonda Narda SRM 3000.

#### **4.6.2.1.4. Manejo de medida**

Primeramente se debe configurar el equipo en función de la medida a realizar, el margen de frecuencia, ancho de banda, velocidad de barrido etc. Para ello se deberá evaluar el tipo de señal radiada, potencia emitida, posición respecto de los sistemas radiantes, etc. Además se deben tener en cuenta las propias instrucciones del fabricante del equipo. A veces, dado el margen de banda a evaluar, no es posible hacerlo con una única antena, repitiendo el proceso de medida para cada banda.

Una vez conectado el equipo de medida a la antena a través del cable, se deben identificar los puntos de medida, que serán donde se reciba mayor señal. Para ello se recurre a la información previamente recopilada.

Cuando se han encontrado dichos puntos, se deben maximizar todas las componentes espectrales activando para ello la función de que disponga el equipo de medida (**MAX HOLD** en el analizador de espectros). De esta forma se asegura la medida en el peor de los casos. Se busca el máximo de todas las componentes espectrales que aparecen moviendo la antena, en altura, orientación y polarización.

Una vez que todas las componentes espectrales se estabilicen, se deben tener sólo en cuenta aquellas que estén 40 dB por debajo de los niveles de referencia. En cada nivel obtenido se debe calcular el nivel de campo eléctrico E con ayuda de la siguiente expresión, que en unidades logarítmicas es:

$$E \text{ dB (v/m)} = N + FA + AT \quad (18)$$

Siendo:

- **N:** Nivel leído en el receptor en (dBv), realizando las conversiones oportunas si fuera necesario.
- **FA:** Factor de antena.
- **AT:** Atenuación del cable.

#### **4.6.3. Registro de Medidas**

A continuación sugerimos unos formatos para registrar la toma de medidas basados en la Recomendación UIT–T K.52 [41] que se deberán obtener siguiendo la metodología propuesta. Cada registro deberá realizarse uno por cada medida, refiriéndonos a cada punto promediado en un intervalo de tiempo de 6 minutos, detallado anteriormente, y por cada estación base. Los formatos propuestos son tres:

### FORMATO 1 [41]

Localización del punto de medida	Distancia a la antena (metros)			
	Azimut (grados)			
Hora de inicio de cada medida				
Nivel de referencia (W/m <sup>2</sup> )				
Nivel de referencia (V/m)				
Nivel de decisión (W/m <sup>2</sup> ) D				
Nivel de decisión (V/m) d				
Valor medido promediado M				
Valor calculado (estaciones nuevas)				
Diferencia D-M o d-M				
Humedad relativa				
Temperatura ambiente				
Punto correspondiente a espacio sensible	Si		No	

Responsable: \_\_\_\_\_

**FORMATO 2 [41]**

<b>Equipo de medida utilizado.</b>		<b>Datos de las Mediciones.</b>							
Marca: Modelo: N° Serie: Fecha última calibración: Valor del umbral de detección: Antena utilizada. Marca: Modelo: Longitud de cable (m):		Código de la estación: Fecha de realización: Hora: Medida realizada por: Condiciones ambientales Temperatura: Presión atmosférica: Humedad relativa: N° total de medias:							
Localización del punto de medida respecto del soporte de antenas.	Horario de inicio de cada medición	Nivel de referencia (W/m <sup>2</sup> )	Nivel de referencia (V/m)	Nivel de decisión (W/m <sup>2</sup> )	Nivel de decisión (V/m)	Valor medido promediado	Valor calculado	Diferencia. (3)-(5) o (4)-(5)	
	Distancia (m)	azimut (°)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1									
2									
3									
4									
.									
.									
.									
.									

**FORMATO 3 [41]**

Equipo de medida utilizado.		Datos de las Mediciones.						
Marca: Modelo: N° Serie: Fecha última calibración: Antena utilizada. Marca: Modelo: Longitud de cable (m):		Fecha: Día: Hora: Medida realizada por: Características ambientales Temperatura: Presión atmosférica: Humedad relativa: N° total de medidas:						
Localización del punto de medida respecto del soporte de antenas.		Hora de inicio de cada medición	Frecuencia medida (Mhz)	Nivel de referencia (V/m)	Nivel de referencia (A/m)	Valor medido (V/m)	Valor medido (A/m)	Supera el nivel 40 dB inferior al nivel de referencia. SI o NO (6)
Distancia (mt)	Azimuth (°)		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
1								
2								
3								
4								
.								
.								
.								
.								

## **CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **5.1. CONCLUSIONES:**

- 1) Una vez revisada la abundante información científica existente como resultado de la investigación bibliográfica se considera que no puede afirmarse que la exposición a CEM (campos electromagnéticos) dentro de los límites establecidos por las autoridades del Ministerio de Comunicaciones de Colombia relativos a la exposición del público en general a CEM de 0 Hz a 300 Ghz, produzca efectos adversos para la salud humana. Por tanto, concluimos que el cumplimiento de las Recomendaciones es suficiente para garantizar la protección de la población.
- 2) Las mediciones deben ser realizadas en lugares particularmente sensibles como son colegios, hospitales, edificios y viviendas que se consideraren particularmente expuestos a la radiación electromagnética o en sitios en que las comunidades de vecinos han manifestado inquietudes sobre los peligros potenciales que pueden representar las antenas desde el punto de vista de la cantidad de potencia que radian.
- 3) La ubicación, características y condiciones de funcionamiento de las estaciones radioeléctricas deben minimizar los niveles de exposición del público en general a las emisiones radioeléctricas con origen tanto en éstas como en los terminales asociados a las mismas, manteniendo una adecuada calidad del servicio.
- 4) En el caso de instalación de estaciones radioeléctricas en edificios residenciales, los proveedores de servicios deben procurar siempre que sea posible, instalar el sistema emisor de manera que el diagrama de emisión no incida sobre el propio edificio, terraza o ático, para tener en cuenta el principio de precaución.

- 5) A la luz de los interrogantes todavía existentes y en consonancia con las conclusiones de los principales organismos nacionales e internacionales competentes, se considera que deben mantenerse abiertas las líneas de investigación sobre esta materia.
- 6) Es conveniente continuar con el estudio de las emisiones electromagnéticas producidas por las estaciones base, en Popayán y en todo el país, por parte de los estudiantes de Ingeniería electrónica y telecomunicaciones, con el fin de conocer a ciencia cierta si dichas emisiones están dentro de las políticas adoptadas por el Ministerio de Comunicación y Transporte y representan la realidad nacional.
- 7) Recomendar el uso del dispositivo “Manos libres” de los teléfonos móviles con el fin de evitar la radiación, atendiendo al “Principio de precaución” que manifiesta “Si bien es cierto que no existen evidencias que permitan asegurar que las telecomunicaciones inalámbricas causan daño a la salud humana, tampoco hay evidencias de lo contrario”.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- 1) Existe una indiscutible preocupación social por los efectos de los CEM sobre la salud pública. Ello se debe al vertiginoso crecimiento de las tecnologías, en especial a la masiva expansión de la telefonía celular, la falta de información rigurosa y por una percepción del riesgo distorsionada. Para evitar estos problemas el Ministerio de Comunicaciones debería elaborar y difundir información, en un formato fácilmente comprensible, destinada a explicar a los ciudadanos los conocimientos actuales acerca de los efectos de los CEM sobre la salud pública.
- 2) Las autoridades de salud deberían realizar campañas informativas entre los ciudadanos para promover un uso racional del teléfono móvil, con objeto de reducir exposiciones excesivas e innecesarias, especialmente en niños, adolescentes, mujeres gestantes, portadores de implantes activos, etc.

Asimismo, debería ponerse especial interés en la realización de campañas contra el uso de teléfonos móviles mientras se conduce, o en áreas particularmente sensibles en el interior de hospitales.

- 3) Se recomiendan la implementación de un sistema de información georeferenciado que presente los resultados de las mediciones realizadas y que pueda ser utilizado como fuente de difusión en línea a través de los sitios web del Ministerio Comunicaciones y de otras instituciones como el Ministerio de Protección Social.
- 4) También sería conveniente un sistema de absolución de preguntas en línea que responda a las preocupaciones de la población y de las autoridades.
- 5) Las compañías fabricantes de teléfonos móviles deberían clasificar y etiquetar sus productos en función de sus potencias de emisión. El etiquetado debe ser fácilmente comprensible para el usuario.
- 6) Como establece la Recomendación del Consejo de Ministros de la Unión Europea, deberían realizarse estudios de evaluación del riesgo que permitan identificar las fuentes o prácticas que dan lugar a exposición electromagnética de los individuos, a fin de adoptar medidas adecuadas de protección sanitaria.
- 7) Dependiendo de la naturaleza de la exposición, los trabajadores deben informarse sobre las características del ambiente electromagnético en que desempeñan sus tareas.
- 8) La Universidad del Cauca debería fomentar en su Facultad de Ciencias de la Salud, la investigación clínica, experimental y epidemiológica sobre los efectos de la exposición a CEM procedentes de cualquier fuente emisora. Por su parte la Facultad de Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones debería formar un grupo de trabajo en este tema, como responsables y a la vanguardia de estas investigaciones que son preocupación del público en general; en este sentido se recomienda a las dos citadas facultades y otros programas de investigación establezcan líneas prioritarias de financiación para el estudio de los citados efectos.

- 9) El procedimiento para la solicitud, autorización, instalación e inspección de antenas de telefonía debería clarificarse con el fin de garantizar que los ciudadanos estén correctamente informados a la hora de adoptar decisiones sobre la instalación de estos equipos en sus propiedades.
- 10) Por un principio de precaución debería evitarse que el haz de emisión directa de las antenas de telefonía afecte a espacios sensibles como escuelas, centros de salud, hospitales o parques públicos. En zonas donde sea posible deben arbitrarse medidas más eficaces para promover entre las compañías operadoras el uso compartido de las estaciones base para minimizar o reducir el impacto visual de las antenas.
- 11) Establecer normas arquitectónicas claras que regulen la localización de estas estructuras en las cubiertas y terrazas de edificaciones existentes e incorporen el componente de mimetizaje.

## REFERENCIAS

1. **Artículo:** Adriana Carrera. Evolución de los teléfonos móviles. Martes 11 de Julio de 2006. [www.elmundoonline.com](http://www.elmundoonline.com)
2. Michel Mouly and Marie-Bernadette Paulet. Current Evolution of GSM Systems. IEEE Personal Communications. USA.
3. <http://www.iec.org> (International Engineering Consortium).
4. **Artículo:** Michel Mouly. Palaisean the authors cop. The GSM system for mobile communications. 2002.
5. [http://www.itu.int/itudoc/itu-d/publicat/foc\\_gr-es](http://www.itu.int/itudoc/itu-d/publicat/foc_gr-es)
6. Rafael J. Risco Gonzales-Vigil. Global System for Mobile Communication. Telefonía Móvil GSM. 2002.
7. John Scourias. The GSM tutorial. International Engineering Consortium Overview of the Global System for Mobile communications. [www.iec.org](http://www.iec.org)
8. GSM Info Online. <http://www.gsmworld.com/gsminfo/gsminfo.htm>
9. <http://es.wikipedia.org/wiki/Handover>
10. **Presentación:** Northern Telecom. Descripción general de redes celulares inalámbricas. Noviembre de 2004. Presentación.
11. **Presentación:** Francisco Cerón. Ingeniería de Radio Frecuencias. Redes celulares inalámbricas Radio enlaces GSM. Noviembre de 2004.
12. Mag. Ing. Víctor Cruz Ornetta. La Telefonía Móvil y la Salud. Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones. 2002. [www.inectel.gov.pe](http://www.inectel.gov.pe)
13. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería Departamento de Electrónica. Proyecto Estudio de los Límites de la Exposición Humana a Campos Electromagnéticos Producidos por Antenas de Telecomunicaciones y Análisis de su Integración al Entorno.

Mayo 27 de 2002. Bogotá D.C. [www.puj.edu.co](http://www.puj.edu.co)

14. <http://www.spectrum.ieee.org/publicfeature/aug00/prad.html>
15. Luis Ayuso y Alicia Torrego. Campos electromagnéticos.  
Noviembre de 2000. Congreso Nacional del Medio Ambiente.
16. <http://www.casaciencias.org>
17. Oscar Giovanni León Suárez. Telefonía Móvil Celular. Funcionamiento y  
relación de la radiación con la salud humana.  
Barranquilla abril 27 de 2006. Conferencia
18. <http://www.monografias.com>. La telefonía celular.
19. Francisco Vargas y Alejandro Úbeda. Campos electromagnéticos y salud  
pública informe técnico elaborado por el comité de expertos.  
Informe 2003.
20. **Nota técnica:** COMAR. Nota de Información Técnica. Consideraciones  
sobre la seguridad de las estaciones base de telefonía móvil.  
Septiembre 2004. [www.ieee.org](http://www.ieee.org)
21. International EMF Project. Campos Electromagnéticos y Salud Pública.  
Hoja Informativa N° 263.  
Octubre 2001. [www.who.int/peh-emf](http://www.who.int/peh-emf)
22. Documento oficial de ALACEL elaborado con la colaboración de Mobile  
Manufacturers Forum (MMF). Antenas de telefonía móvil – campos  
electromagnéticos y salud humana.  
2003. [www.alcel.com](http://www.alcel.com)
23. Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA).  
Universidad del Valle. Grupo de Investigación en Alta Tensión GRALTA.  
Evaluación del Impacto Ambiental de los Campos Electromagnéticos  
debidos a las Antenas de Telecomunicaciones en la ciudad de Cali.  
Diciembre 15 de 2004. Santiago de Cali. [www.dagmacali.gov.co](http://www.dagmacali.gov.co)
24. Varios autores. “Contaminación Electromagnética: Un problema  
ecológico?”. Centro Argentino de Estudios de Radiocomunicaciones y  
Compatibilidad Electromagnética.  
2003. [www.itba.edu.ar/caercem](http://www.itba.edu.ar/caercem)

25. Álvarez B. Padula, V Saint R. Muñoz. "Radiaciones no ionizantes: Campos electromagnéticos generados por sistemas de comunicaciones". Centro Argentino de Estudios de Radiocomunicaciones y Compatibilidad Electromagnética.  
2003. [www.itba.edu.ar/caercem](http://www.itba.edu.ar/caercem)
26. Álvarez B. Padula, V Saint R. Muñoz. "Radiaciones no ionizantes: Efectos biológicos en las bandas de telefonía celular". Centro Argentino de Estudios de Radiocomunicaciones y Compatibilidad Electromagnética.  
2003. [www.itba.edu.ar/caercem](http://www.itba.edu.ar/caercem)
27. Álvarez B. Padula, V Saint R. Muñoz. "Campos electromagnéticos: su incremento". Centro Argentino de Estudios de Radiocomunicaciones y Compatibilidad Electromagnética.  
2003. [www.itba.edu.ar/caercem](http://www.itba.edu.ar/caercem)
28. ALACEL (Latin American Wireless industry Association). Antenas de Telefonía Móvil – Campos Electromagnéticos y Salud Humana.
29. **Nota técnica:** COMAR. Consideraciones sobre la seguridad de las estaciones base de telefonía móvil.  
Septiembre 2004. [www.ieee.org](http://www.ieee.org)
30. ALACEL (Latin American Wireless industry Association). Antenas de Telefonía Móvil – Campos Electromagnéticos y Salud Humana. Estudios & Normativa Internacional.
31. <http://www.presidencia.gov.co/decretoslinea/2005/enero/31/dec195310105.pdf>.
32. John Scuirias. Overview of the Gomal System for Mobile communications.  
University of Waterloo.
33. Narda Safety Test solutions. [www.narda-sts-de](http://www.narda-sts-de)
34. [http://www.emswireless.com/spanish/content\\_gsmintro.asp](http://www.emswireless.com/spanish/content_gsmintro.asp)  
<http://www.prpkronberg.com>
35. [www.comcel.com.co/searchcellCity.do](http://www.comcel.com.co/searchcellCity.do)
36. <http://www.narda-sts.de/pressroom>.
37. <http://www.icnirp.de/downloads.htm>
38. <http://www.arpansa.gov.au/pubs/rps3.pdf>

39. <http://www.mfe.govt.nz/publications/rma/radio-freq-guidelines-dec.html>
40. Commission of the European Union. "Implementation report on the Council Recommendation limiting the public exposure to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)".  
2002. Bélgica diario oficial de la Comunidad Europea. [www.boe.com](http://www.boe.com)
41. Unión Internacional de Telecomunicaciones. Recomendación UIT–T K.52  
“Orientación sobre el cumplimiento de los niveles de exposición de las personas a los campos electromagnéticos”  
<http://www.itu.int>