

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LOS
CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DEBIDOS A LAS
ANTENAS DE TELECOMUNICACIONES EN LA
CIUDAD DE CALI**

INFORME FINAL

Enero de 2006

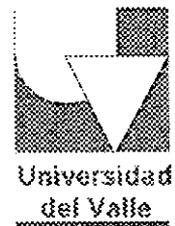


TABLA DE CONTENIDO

1. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	5
3.1 CAMPO ELÉCTRICO	6
3.1.1 Campo Eléctrico de una Carga Puntual	7
3.2 CAMPO MAGNÉTICO	8
3.3 ONDA ELECTROMAGNÉTICA	10
3.3.1 Longitud y Frecuencia de la Onda Electromagnética	11
3.4 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	12
4. ANTENAS DE TELECOMUNICACIONES	14
4.1 DEFINICIONES	15
4.1.1 Campo Electromagnético Perturbado	15
4.1.2 Campo Electromagnético No Perturbado	16
4.1.3 Campo Lejano	16
4.1.4 Campo Cercano	16
4.2.1 Telecomunicaciones	17
4.2.2 Antena	17
4.3 OPERACIÓN BÁSICA DE UNA ANTENA	18
4.4 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE UNA ANTENA	18
4.4.1 Patrón de Radiación	18
4.4.2 Resistencia de Radiación y Eficiencia de Antena	19
4.4.3 Potencia Radiada Efectiva (ERP)	20
4.4.4 Polarización de la Antena	20
4.4.5 Ancho de Haz de la Antena	20
4.4.6 Ancho de Banda de la Antena	21
4.5 ANTENAS DE TELEFONÍA CELULAR	21

5.	POSIBLES EFECTOS DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	35
5.1	ANTECEDENTES	25
5.2	EL TEMA DE LOS CAMPOS	27
5.3	POSIBLES EFECTOS DE LOS CAMPOS	28
5.4	TIPOS DE FUENTES	30
5.5	TIPOS DE EFECTOS	31
5.5.1	Calentamiento	31
5.5.2	Resonancia	31
5.5.3	A Escala Celular	32
5.5.4	Sobre la Salud	32
5.5.5	Sobre Equipos Sensibles	33
6.	MEDICIONES DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	35
6.1	TIPOS DE MEDICIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO	35
6.1.1	Mediciones de Emisión	37
6.1.2	Mediciones de Inmisión	37
6.2	EQUIPO DE MEDICIÓN UTILIZADO	38
6.3	PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN	39
6.4	RESULTADOS DE LAS MEDICIONES	42
7.	SIMULACIÓN DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	48
7.1	CARACTERÍSTICAS DE LA APLICACIÓN	50
7.1.1	Portabilidad	51
7.1.2	Lenguaje de Desarrollo	51
7.1.3	Documento del Proyecto	51
7.1.4	Archivo del Proyecto	52
7.1.5	Reusabilidad	53
7.2	CÁLCULO DE DENSIDAD DE POTENCIA	54
7.2.1	Introducción	54
7.2.2	Procedimiento Implementado en CellGIS	55
8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	59
8.1	REGULACIONES DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	59
8.1.1	Recomendación del ICNIRP	60

8.1.2	Normativa Colombiana	61
8.2	RESULTADOS DE LAS MEDICIONES	67
8.3	CASOS ESPECIALES	71
8.3.1	Antena de Telefonía Celular	71
8.3.2	Antena de Radio AM	75
8.3.3	Múltiples Antenas	75
8.4	PROCEDIMIENTOS INTERNOS	76
9.	CONCLUSIONES	78
10.	BIBLIOGRAFÍA	80

1. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

TÍTULO: Evaluación del Impacto Ambiental de los Campos Electromagnéticos Debido a las Antenas de Telecomunicaciones en la Ciudad de Cali	
GRUPOS DE INVESTIGACIÓN: Grupo de Investigación en Alta Tensión GRALTA – Universidad del Valle Grupo de Percepción y Sistemas Inteligentes PSI – Universidad del Valle Grupo de Informática y Telecomunicaciones I2T – Universidad ICESI	
INVESTIGADOR PRINCIPAL: Guillermo Aponte – Univalle	
PARTICIPANTES: Beatriz Ramirez – DAGMA Gisela Arizabaleta – DAGMA Carlos Pinedo – Univalle Adolfo Escobar – Univalle Andres Navarro – ICESI Claudio Muñoz – CAERCEM	
ENTIDADES: Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente DAGMA Universidad del Valle Universidad ICESI Centro Argentino de Estudios de Radiocomunicaciones y CEM CAERCEM	
FINANCIACIÓN	
DAGMA:	\$ 50.000.000
UNIVALLE:	\$ 58.000.000
ICESI:	\$ 22.000.000
TOTAL	\$ 130.000.000
CIUDAD: Cali (Valle)	FECHA DE INICIO: 01 de Febrero de 2005
	FECHA DE FINALIZACIÓN: 01 de Febrero de 2006

2. INTRODUCCIÓN

Desde los comienzos del uso de la energía eléctrica ha existido la preocupación acerca de los posibles efectos de los campos electromagnéticos en la salud humana, lo que ha originado numerosos estudios, relacionados principalmente con la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica.

El efecto de las frecuencias superiores, principalmente utilizadas en telecomunicaciones, no llamaron la atención del público hasta que la proliferación de antenas en el ámbito urbano encendió una luz de alerta a la que acudieron presurosos tanto los organismos gubernamentales como las empresas propietarias de las instalaciones, las organizaciones de vecinos, ecologistas, etc.

Últimamente se ha despertado gran preocupación en la sociedad por los posibles riesgos adversos para la salud debidos a los campos electromagnéticos de alta frecuencia generados por las antenas de AM, FM, microondas, telefonía fija inalámbrica y telefonía celular; este es un tema de actualidad sobre el cual se ha creado mucha especulación. Existe gran interés en hacer claridad sobre los riesgos, niveles permitidos, procedimientos de evaluación y verificación de las emisiones electromagnéticas.

Sobre este tema hay dos actitudes extremas: la posición conservadora que propone prohibir la instalación de nuevas antenas, incluso retirar las existentes; en contraste la posición tecnológica establece que no se detenga el avance tecnológico hasta que no se demuestre el efecto adverso o de riesgo para las personas. La telefonía móvil hoy en día forma parte de la vida cotidiana. Lo razonable es que debe llegarse a la decisión más conveniente, considerando los costos que se esté dispuesto a pagar y los riesgos asociados.

Los sistemas de telefonía móvil utilizan la transmisión de ondas electromagnéticas permitiendo la comunicación de sus usuarios desde cualquier lugar. Para satisfacer las necesidades de los usuarios, los operadores deben desplegar una tupida red de estaciones base que proporcione una cobertura con la calidad adecuada.

El Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente DAGMA, en conjunto con la Universidad ICESI y la Universidad del Valle, y con la asesoría del Centro Argentino de Estudios de Radiocomunicaciones y Compatibilidad ElectroMagnética CAERCEM, desarrollaron activamente el proyecto denominado "EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DEBIDOS A LAS ANTENAS DE TELECOMUNICACIONES EN LA CIUDAD DE CALI" que tenía como propósito establecer los valores máximos de campos electromagnéticos de alta frecuencia a los cuales están diariamente expuestos las personas en la ciudad de Cali y si estos valores pueden o no considerarse como aceptables, para las personas. El proyecto estaba enmarcado dentro de los siguientes aspectos:

- Determinar los niveles de campo electromagnético generados por las antenas de telecomunicaciones instaladas en la Ciudad de Cali.
- Definir un procedimiento para simular en computador los campos electromagnéticos de una nueva instalación.
- Definir un procedimiento para evaluar los proyectos de instalación de nuevas antenas de telecomunicaciones.
- Definir procedimiento para atender las quejas de la ciudadanía relacionadas con los campos electromagnéticos de alta frecuencia.

Se efectuaron mediciones de inmisión de campo electromagnético en 50 puntos distribuidos en distintas zonas de la ciudad de Cali, con el propósito de identificar y caracterizar los niveles de inmisión de campo electromagnético y de esta forma conocer los niveles de campo electromagnético existentes en el medio ambiente de la ciudad.

3. LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

El movimiento de cargas eléctricas en un metal conductor (como una antena de una emisora de radio o TV), origina ondas de campo eléctrico y magnético (denominadas ondas electromagnéticas EM) que se propagan a través del espacio vacío a la velocidad c de la luz ($c = 300.000 \text{ km/s}$) tal y como se muestra en la figura 1.

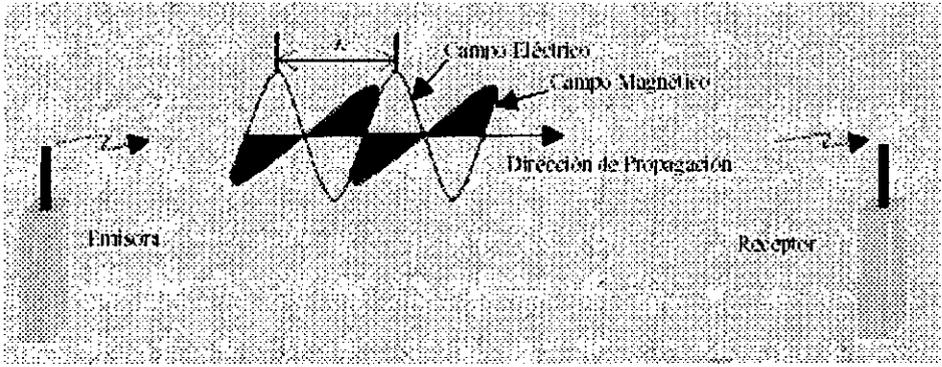


Fig. 1. Propagación de una onda electromagnética

Estas ondas radiadas llevan asociada una energía electromagnética que puede ser captada por una antena receptora (la antena de TV en una casa o por la pequeña antena incorporada en un teléfono móvil). Sin embargo, los campos eléctricos y magnéticos pueden existir independientemente uno del otro, como los campos eléctricos que se originan entre las nubes y tierra durante una tormenta, antes de saltar el rayo [1].

3.1 CAMPO ELÉCTRICO

Tanto la fuerza eléctrica como la gravitacional son ejemplos de fuerza de acción a distancia que resultan extremadamente difíciles de visualizar. A fin de resolver este hecho, los físicos postularon la existencia de un material invisible llamado éter, que se suponía llenaba todo el espacio. De este modo ellos podían explicar la fuerza de atracción gravitacional, que rodea todas las masas. Un campo de este tipo existe en cualquier región del espacio donde una masa testigo o de prueba experimenta una fuerza gravitacional. La intensidad del campo en cualquier punto será proporcional a la fuerza que experimenta cierta masa dada en dicho punto.

El concepto de un campo también puede aplicarse a objetos cargados eléctricamente. El espacio que rodea un objeto cargado se altera por la presencia de un campo eléctrico en ese espacio.

Se dice que un campo eléctrico existe en una región del espacio en la que una carga eléctrica experimente una fuerza eléctrica. Esta definición suministra una prueba para la existencia de un campo eléctrico. Simplemente se coloca una carga en el punto en cuestión. Si se observa una fuerza eléctrica, en ese punto existe un campo eléctrico.

De la misma manera que la fuerza por unidad de masa proporciona una definición cuantitativa de un campo gravitacional, la intensidad de un campo eléctrico puede representarse mediante la fuerza por unidad de carga. Se define la intensidad del campo eléctrico E en un punto en términos de la fuerza F experimentada por una carga positiva pequeña

+q cuando se coloca en dicho punto. La magnitud de la intensidad del campo eléctrico esta dada por:

$$E = F/q \tag{1}$$

3.1.1 Campo eléctrico de una carga puntual

El campo eléctrico de una carga puntual Q en un punto P a una distancia r de la carga está representado por un vector de magnitud [2]:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \tag{2}$$

Algunas líneas representativas del campo eléctrico para una carga puntual positiva se aprecian en la figura 2a. Se puede observar que en los dibujos bidimensionales sólo se muestran las líneas del campo que están en el plano que contiene a la carga. Las líneas están dirigidas radialmente hacia afuera de la carga en todas las direcciones.

Dado que la carga de prueba es positiva, al ser colocada en este campo, sería repelida por la carga q, por lo que las líneas están radialmente dirigidas hacia afuera desde la carga positiva. En forma similar, las líneas de campo eléctrico de una carga negativa puntual están dirigidas hacia la carga (figura 2b). En ambos casos las líneas siguen la dirección radial, se prolongan al infinito y se juntan más cuando están más cerca de la carga; lo cual indica que la intensidad del campo se incrementa al acercarse a la carga.

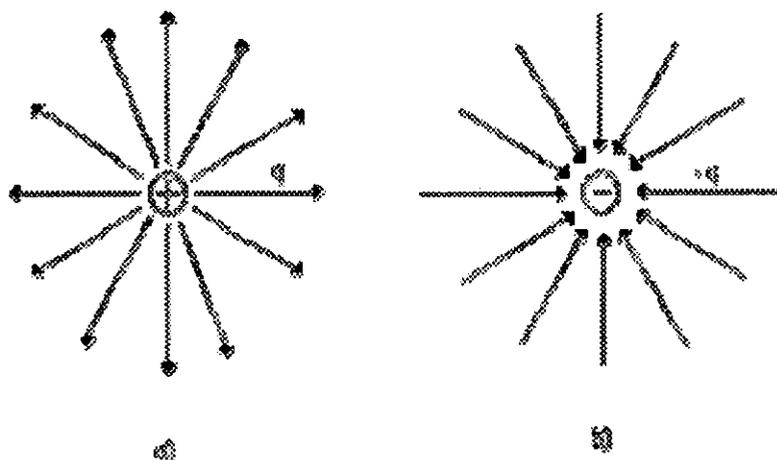


Fig. 2. Líneas de campo eléctrico de una carga puntual
a) positiva y b) negativa

3.2 CAMPO MAGNÉTICO

Una barra imantada o un cable que transporta corriente pueden influir en otros materiales magnéticos sin tocarlos físicamente porque éstos objetos producen un campo magnético. Los campos magnéticos suelen representarse mediante líneas de campo magnético o líneas de fuerza (ver figura 3).

En cualquier punto, la dirección del campo magnético es igual a la dirección de las líneas de fuerza, y la intensidad del campo es inversamente proporcional al espacio entre las líneas.

Los campos magnéticos influyen sobre los materiales magnéticos y sobre las partículas cargadas en movimiento. En términos generales, cuando una partícula cargada se desplaza a través de un campo

magnético, experimenta una fuerza que forma ángulos rectos con la velocidad de la partícula y con la dirección del campo.

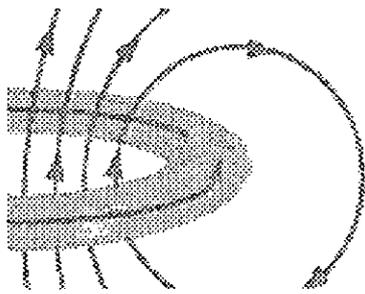


Fig. 3. Líneas de campo magnético

Diversos experimentos realizados con cargas móviles a diferentes velocidades en un punto del espacio, indican que [3]:

- La fuerza es proporcional al valor de la carga y a la velocidad v de la partícula
- El valor y la dirección de F dependen de la velocidad de la partícula y de la magnitud y dirección del campo magnético
- Si la partícula se mueve en dirección paralela al campo magnético, la fuerza es cero
- La fuerza sobre una carga negativa es de sentido opuesto a la ejercida sobre una positiva y de igual velocidad

Estas observaciones se pueden resumir escribiendo la fuerza magnética en la forma:

$$F = q \cdot \vec{v} \times \vec{B} \tag{3}$$

3.3 ONDA ELECTROMAGNÉTICA

Las ondas electromagnéticas (EM) se componen simultáneamente como su nombre lo indica, de un campo eléctrico (E) y un campo magnético (H). La intensidad de los campos alrededor de una fuente de radiación depende estrechamente de la potencia radiada y de la distancia existente entre la fuente y los objetos en el ambiente. Dependiendo de las propiedades dieléctricas de los objetos, la energía de la onda es reflejada, refractada, difractada, dispersada y absorbida por tales objetos.

En casi todos los casos, una onda EM puede estudiarse como una onda plana que se propaga perpendicularmente al plano formado por los dos vectores de campo (E y H) (figura 4), los cuales se relacionan por la impedancia del espacio libre ($Z = 377$ ohms) de la siguiente manera:

$$\mathbf{E} = \mathbf{Z} \times \mathbf{H} \quad (4)$$

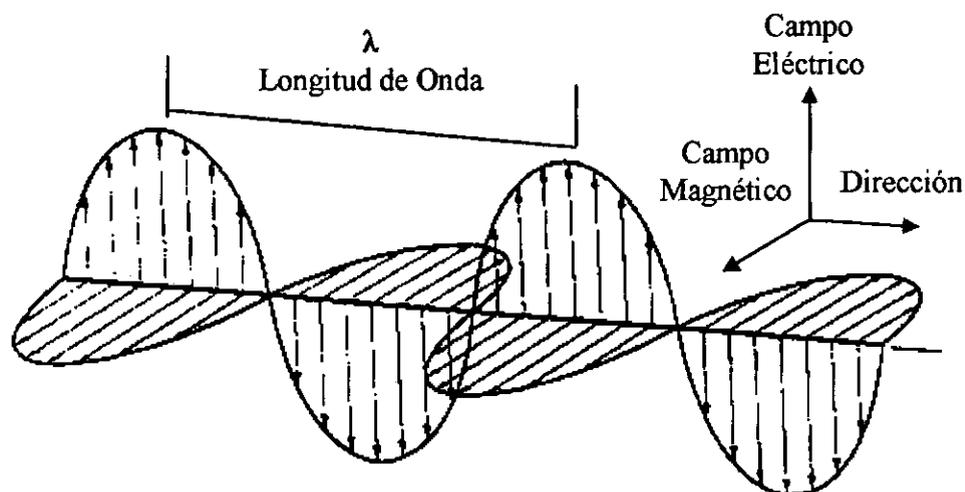


Fig. 4. Propagación de una onda electromagnética

Las ondas planas también se caracterizan porque E y H decrecen en una proporción de $1/r$, donde r es la distancia a la fuente. La energía transportada por unidad de tiempo, por una onda EM, se calcula a través de la densidad de potencia en un punto, realizando el producto vectorial de la intensidad del campo eléctrico y magnético:

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} \quad (5)$$

donde S es llamado el vector de Poynting, el cual representa la densidad de potencia y la dirección de propagación de la energía. S varía en una proporción de $1/r^2$, donde r es la distancia a la fuente.

3.3.1 Longitud y frecuencia de la onda electromagnética

Al igual que cualquier otro fenómeno ondulatorio, la radiación electromagnética se puede caracterizar por su longitud de onda y su frecuencia.

La longitud de onda (λ en metros) es la distancia que existe entre los puntos correspondientes a un ciclo completo de la onda electromagnética, (ver figura 1). La frecuencia es el "número de ondas electromagnéticas" que pasan por un determinado punto en un segundo. La unidad de la frecuencia es el Hertz (Hz) y es igual a un ciclo por segundo.

La longitud de onda (λ) y la frecuencia (f) de una señal electromagnética están relacionadas a través de $\lambda = c/f$. Como el valor de c es la velocidad de la luz ($c = 3 \times 10^8$ m/s), la longitud de onda de las señales electromagnéticas de alta frecuencia es muy corta, mientras

que las señales de baja frecuencia tienen una longitud de onda muy larga.

3.4 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El espectro electromagnético (EM), se extiende desde frecuencias extremadamente bajas, aproximadamente 60 Hz 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 EM que tienen frecuencias en el intervalo de 3 kHz a 300 GHz (ver figura 5).

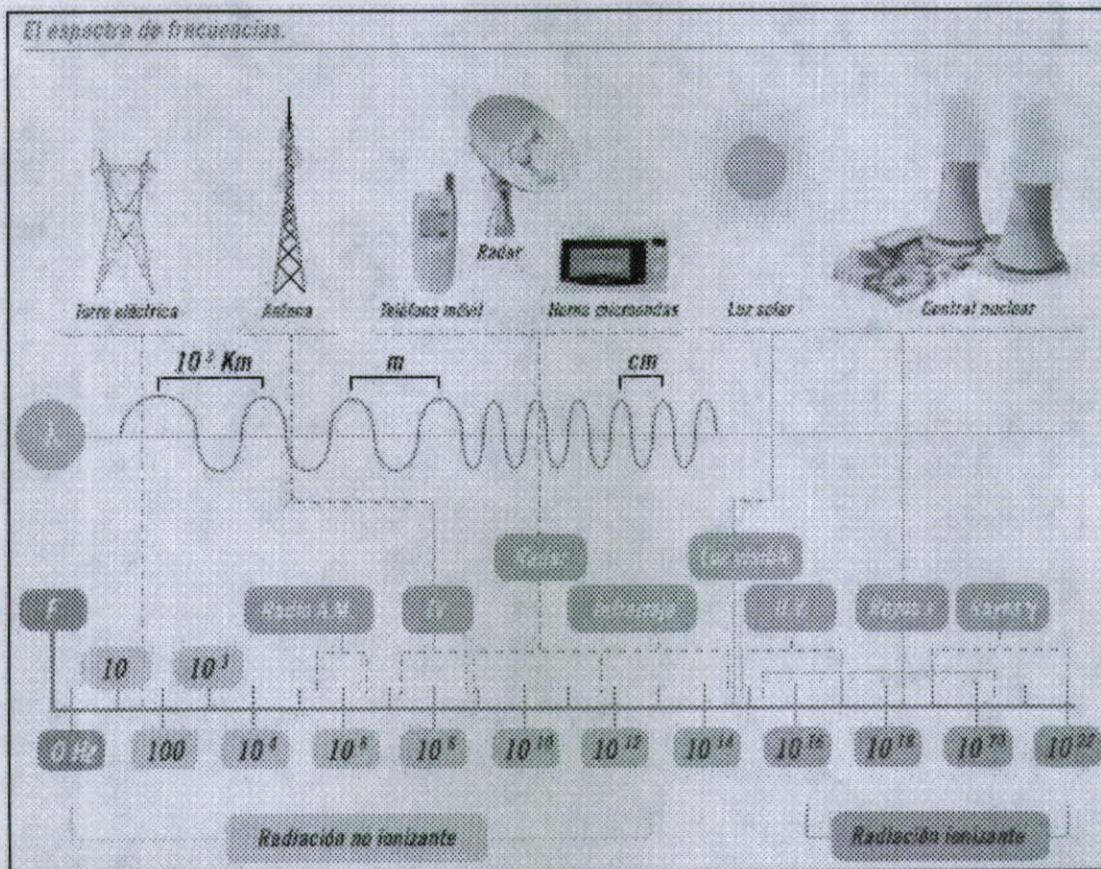


Fig. 5. Espectro electromagnético

El espectro se encuentra dividido en regiones limitadas, sea por la tecnología o por los fenómenos físicos bajo consideración. De esta manera, a nivel físico el espectro tiene dos regiones: la región de radiación no-ionizante y la de radiación 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 células, mientras que en la segunda se produce ionización en la materia, es decir, los efectos de la radiación pueden romper los enlaces de las moléculas.

4. ANTENAS DE TELECOMUNICACIONES

Al referirse a los campos electromagnéticos de alta frecuencia, se está abarcando la parte del espectro denominada de Radiofrecuencia (RF), la cual está conformada por ondas que tienen frecuencias en el intervalo de 3 kHz a 300 GHz.

El uso de los campos electromagnéticos de alta frecuencia se concentra fundamentalmente en servicios de telecomunicaciones dirigidos a los ciudadanos, industria y gobiernos.

Radio, televisión, telefonía móvil celular, sistemas de comunicaciones personales PCS (*Personal Communication Systems*), teléfonos inalámbricos, sistemas de comunicación vía radio para policía y servicios de urgencia como bomberos, radioaficionados, sistemas de comunicación punto a punto mediante microondas, radioenlaces o sistemas de comunicaciones vía satélite, constituyen algunos de los ejemplos de las muchas aplicaciones de los campos electromagnéticos de alta frecuencia en materia de telecomunicaciones [4].

La utilización de los campos a alta frecuencia está regulada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, organismo que ha dividido el espectro electromagnético en once bandas de frecuencia, de las cuales siete se encuentran en el rango de las microondas y RF (tabla 1).

Tabla 1. Asignación de frecuencias por la UIT

Sigla	Denominación	Gama de frecuencia
ELF	EXTREMELY LOW FREQUENCIES Frecuencias extremadamente bajas	3 Hz a 30 Hz
SLF	SUPER LOW FREQUENCIES Frecuencias súper altas	30 Hz a 300 Hz
ULF	ULTRA LOW FREQUENCIES Frecuencias ultra altas	300 Hz a 3 kHz
VLF	VERY LOW FREQUENCIES Frecuencias muy bajas	3 kHz a 30 kHz
LF	LOW FREQUENCIES Frecuencias bajas	30 kHz a 300 kHz
MF	MEDIUM FREQUENCIES Frecuencias medias	300 kHz a 3 MHz
HF	HIGH FREQUENCIES Frecuencias altas	3 MHz a 30 MHz
VHF	VERY HIGH FREQUENCIES Frecuencias muy altas	30 MHz a 300 MHz
UHF	ULTRA HIGH FREQUENCIES Frecuencias ultra altas	300 MHz a 3 GHz
SHF	SUPER HIGH FREQUENCIES Frecuencias súper altas	3 GHz a 30 GHz
EHF	EXTREMELY HIGH FREQUENCIES Frecuencias extremadamente altas	30 GHz a 300 GHz

4.1 DEFINICIONES

4.1.1 Campo Electromagnético Perturbado

Es la situación en que un objeto físico se halla presente en el lugar o espacio considerado, en este caso la distribución de energía electromagnética (EM) será cambiada por la presencia del objeto; esta

condición está referida como "Campo EM" perturbado por la presencia del objeto [5].

4.1.2 Campo Electromagnético No Perturbado

Es la situación en la que no se encuentra presente un objeto físico en el lugar o espacio considerado, en este caso la distribución del campo electromagnético (EM) se define como "no perturbado"; esta condición se refiere al caso del medio libre de objetos.

4.1.3 Campo Lejano

La región del espacio donde la onda radiada se comporta como una onda plana se define como campo lejano y el límite a partir del cual se inicia esta región, medida como la distancia en metros a la fuente de radiación, está dado por: $r \geq 2D^2/\lambda$ siendo D la dimensión máxima de la antena. Esta es la situación habitual en el caso de altas frecuencias.

4.1.4 Campo Cercano

La región del espacio contenida entre la fuente y el campo lejano es llamada campo cercano. En el campo cercano los campos eléctricos y magnéticos no necesariamente son perpendiculares y por lo tanto no se comportan como ondas planas.

4.2 ANTENAS DE TELECOMUNICACIONES

Para realizar los análisis de la exposición poblacional a campos electromagnéticos de alta frecuencia producidos por antenas de telecomunicaciones es necesario tener claros algunos conceptos de

comunicaciones; además se debe adquirir un conocimiento básico sobre las características y el funcionamiento de las antenas. A continuación se presentan algunos conceptos y definiciones que pueden ser de gran ayuda.

4.2.1 Telecomunicaciones

Recientemente la palabra "telecomunicación" se ha incorporado al vocabulario cotidiano; en la televisión y en los diarios aparecen anuncios que dicen que las telecomunicaciones le cambiarán la vida y lo llevarán hacia el progreso, y que cada vez se podrá acceder a más y más servicios diferentes: Internet, teléfonos móviles con video incorporado, etc, todo esto en el contexto de un nuevo tipo de empresas llamadas operadores de telecomunicaciones.

Su definición más sencilla y comprensible es ésta: es toda emisión, recepción y transmisión, de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos y cualquier tipo de datos, por cable, radio, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos.

4.2.2 Antena

Una antena es un dispositivo formado por un conjunto de conductores que unido a un generador, permite la emisión de ondas de radio frecuencia por el espacio libre, o que, conectado a una impedancia (Resistencia), sirve para captar las ondas emitidas por una fuente lejana. Las antenas deben de dotar a la onda radiada con un aspecto de dirección [6].

4.3 OPERACIÓN BÁSICA DE UNA ANTENA

Para explicar el funcionamiento de una antena de una manera clara y sencilla se puede analizar el siguiente fenómeno: Si una corriente circula por un conductor, se creará un campo eléctrico y un campo magnético en sus alrededores; pero al observar que la distancia entre las dos líneas que forman el conductor es pequeña, (cero por ser un conductor continuo) no se creará una onda que se propaga, puesto que la contribución que presenta el conductor superior (alimentación) se anulará con la que presenta el conductor inferior (retorno) [7].

Por el contrario, si se separan en un punto los dos conductores, los campos que crean las corrientes ya no se anularán entre sí, si no que se creará un campo eléctrico y magnético que formará una onda que se puede propagar por el espacio.

4.4 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE UNA ANTENA

Una antena va a formar parte de un sistema, por lo tanto, se tienen que definir parámetros que la describan y permitan evaluar el efecto que va a producir sobre dicho sistema [8].

4.4.1 Patrón de Radiación

Es un diagrama polar que representa las intensidades de los campos o las densidades de potencia en varias posiciones angulares en relación con una antena (ver figura 6). Si el patrón de radiación se traza en términos de la intensidad del campo eléctrico (E) o de la densidad de

potencia (P), se llama patrón de radiación absoluto. Si se traza la intensidad del campo o la densidad de potencia en relación al valor en un punto de referencia, se llama patrón de radiación relativa.

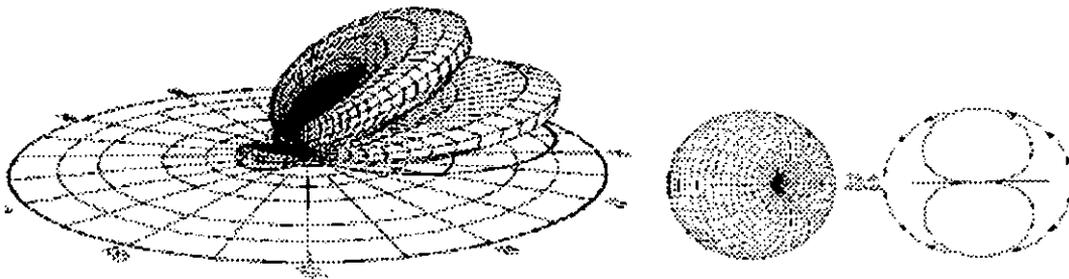


Fig. 6. Diagrama de radiación de una antena

4.4.2 Resistencia de Radiación y Eficiencia de Antena

No toda la potencia suministrada a la antena se irradia. Parte de ella se convierte en calor y se disipa. La resistencia de radiación es un poco "irreal", en cuanto a que no puede ser medida directamente. La resistencia de radiación es igual a la relación entre la potencia radiada por la antena y el cuadrado de la corriente en su punto de alimentación.

La eficiencia de antena es la relación entre la potencia radiada por una antena y la suma de la potencia radiada y la potencia disipada o la relación entre la potencia radiada por la antena y la potencia total de entrada:

$$\eta = \frac{P_{\text{radiada}}}{P_{\text{entregada}}} = \frac{I^2 R_r}{I^2 R_r + I^2 R_{i1}} = \frac{R_r}{R_r + R_{i1}} \quad (6)$$

4.4.3 Potencia Radiada Efectiva (ERP)

Es la potencia radiada en una dirección dada, debida a la ganancia de la antena.

4.4.4 Polarización de la Antena

La polarización de una antena se refiere sólo a la orientación del campo eléctrico radiado desde ésta. Una antena puede polarizarse en forma lineal (por lo regular, polarizada horizontalmente o verticalmente, suponiendo que los elementos de la antena se encuentran dentro de un plano horizontal o vertical), en forma elíptica, o circular.

Si una antena irradia una onda electromagnética polarizada verticalmente, la antena se define como polarizada verticalmente; si la antena irradia una onda electromagnética polarizada horizontalmente, se dice que la antena está polarizada horizontalmente; si el campo eléctrico gira en un patrón elíptico, está polarizada elípticamente; y si el campo eléctrico gira en un patrón circular, está polarizada circularmente.

4.4.5 Ancho de Haz de la Antena

El ancho de haz de la antena es solo la separación angular entre los dos puntos de media potencia en el lóbulo principal del patrón de radiación del plano de la antena, por lo general tomado de uno de los planos principales (ver figura 7).

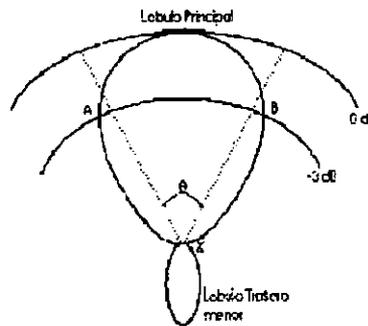


Fig. 7. Ancho de haz de la antena

4.4.6 Ancho de Banda de la Antena

El ancho de banda de la antena se define como el rango de frecuencias sobre las cuales la operación de la antena es satisfactoria. Esto, por lo general se toma entre los puntos de media potencia.

4.5 ANTENAS DE TELEFONÍA CELULAR

Todo sistema de telefonía móvil cuenta con una red de estaciones base (EB) constituidas por equipos de transmisión, recepción y control. Estas estaciones bases son operadas por un controlador entre cuyas tareas se encuentra la adaptación de las velocidades de transmisión de voz y datos y la comunicación de mensajes de error al centro de operación y mantenimiento.

Las antenas base de estos sistemas habitualmente están ubicadas a una altura de entre 15 y 60 metros en torres de comunicaciones, zonas elevadas, o sobre las azoteas de edificios en áreas urbanas, estratégicamente seleccionados por los propios operadores del servicio

(compañías telefónicas). En áreas suburbanas es más habitual utilizar antenas sectoriales en estaciones base.

Estas antenas son paneles rectangulares de entre 30 y 120 cm de longitud y normalmente se encuentran distribuidas en grupos de tres (ver figura 8). En cada grupo una antena se utiliza para transmitir señales a unidades móviles, mientras que las otras dos antenas de cada grupo se utilizan para recibir señales.



Fig. 8. Antenas de telefonía celular

Los sistemas de telefonía móvil celular que se basan en el estándar GSM utilizan frecuencias entre 800 y 900 MHz. Los nuevos sistemas de comunicaciones personales (DCS/PCS) usan frecuencias entre 1800 y 1900 MHz.

4.5.1 Características de las Telecomunicaciones Móviles

- Operación bajo la forma de una red de células (celdas).

- En vez de utilizar un transmisor de gran potencia y gran cobertura se subdivide el área de cobertura en áreas más pequeñas llamadas células que tiene como elemento central a las estaciones bases. Estas estaciones bases son instalaciones fijas que se interconectan con los teléfonos móviles mediante ondas electromagnéticas de radiofrecuencia.
- Las estaciones bases también se comunican con las centrales de sus propias redes o las de otras redes móviles para comunicarse con otros abonados móviles y con las centrales de telefonía fija para interconectar a los abonados móviles con los abonados de telefonía fija mediante campos electromagnéticos, por lo tanto las personas en las cercanías tanto del teléfono como de la estación base son sometidas a exposición por radiaciones electromagnéticas.
- Las antenas que producen la radiación de RF, son montadas sobre torres, postes o en forma distribuida en las paredes en la parte más alta de los edificio, pues necesitan estar a cierta altura para poder tener una cobertura más amplia.

Las celdas a su vez se dividen en sectores, en lugar de utilizar una antena que irradia señal equitativamente en todas la direcciones (antena omnidireccional), son utilizadas antenas que solo irradian haces angostos de 120° (en un arreglo de tres lados) ó 60° (en un arreglo de seis lados).

La sectorización permite un pequeño incremento en la capacidad y afrontar una mayor pérdida por espacio libre debido a que la ganancia

de las antenas sectoriales le da al móvil una señal más fuerte, lo que incrementa el rango de cobertura. Además, en las ciudades, la sectorización previene las reflexiones multitrayecto que podrían ocurrir si se utiliza una antena omnidireccional, debido a que en un sector las señales se envían en un haz más angosto reduciendo la posibilidad de reflexiones.

La configuración sectorizada de las estaciones base permite utilizar menor potencia en los transmisores, debido a que una antena omnidireccional típicamente tiene una ganancia de menor que una antena utilizada en un sector.

De acuerdo a la forma de radiación de las antenas, estas no radian mucha energía hacia abajo (ver figura 9). En el caso de estar instalada en la azotea de un edificio, esta absorberá gran parte de esta radiación.

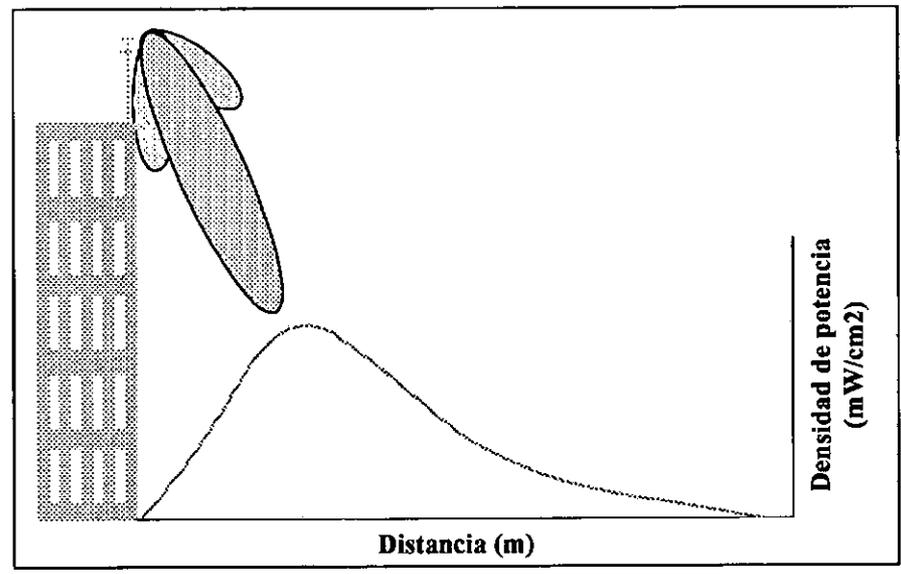


Fig. 9. Radiación de una antena de telefonía celular

5. POSIBLES EFECTOS DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

5.1 ANTECEDENTES

Luego que en 1888 Hertz comprobó empíricamente las predicciones formuladas por Maxwell, comenzó la era de la tecnología eléctrica. Hacia 1897 Marconi utilizaba la posibilidad de producir radiaciones para enviar señales a distancias del orden de 20 kilómetros y tan sólo 4 años más tarde, comunicarse instantáneamente a través del Océano Atlántico. Edison perfeccionaba su primera luz eléctrica en 1879 y en 1882 se instaló la primera central eléctrica en la ciudad de Nueva York [9].

Por lo tanto, alrededor del año 1900 comenzó la globalización de la explotación de la energía eléctrica y, como consecuencia, el hombre pasó a habitar un ambiente electromagnético que difería bastante del natural que hasta entonces disfrutaba. El motor que impulsó tales cambios estaba dado por las ventajas tanto económicas como sociales de la nueva tecnología. Ya en ese entonces, comenzaron a plantearse las primeras inquietudes con respecto a los efectos de los campos sobre los seres vivos y, en particular, sobre los humanos.

La primera conclusión fue que, debido a que los campos electromagnéticos no se manifestaban con algún síntoma evidente en el cuerpo, no eran perjudiciales. Para ello, se hicieron varias experiencias muy espectaculares y publicitadas en el propio laboratorio de Edison: un

perro fue sometido a un campo magnético muy intenso durante varias horas sin demostrar ningún malestar evidente y voluntarios dijeron no sentir ningún efecto particular cuando pusieron sus cabezas durante varias horas, en un campo magnético intenso que era encendido o apagado alternativamente.

Hoy en día la humanidad enfrenta una situación novedosa y a la vez preocupante, ya que cualquier actividad humana está íntimamente relacionada con sistemas industriales, científicos, médicos, de comunicaciones de todo tipo, de navegación, de computación, etc, cuyo funcionamiento, de una u otra manera depende de la existencia de señales eléctricas y de ondas electromagnéticas.

Por lo tanto, la cantidad de generadores de campos electromagnéticos de todo tipo se ha multiplicado en forma exponencial, cubriendo, prácticamente, todo el espectro.

La posibilidad de recepción de las señales deseadas depende de que el sistema emisor "coloque" en el lugar apropiado una intensidad de campo de nivel suficiente como para superar el mínimo indispensable para el receptor. Dicho mínimo depende de una cantidad de factores: tipo de servicio, antenas utilizadas, frecuencia, condiciones del entorno, etc.

La presencia de cualquier emisor, deseado o no, se manifiesta por la existencia de un campo electromagnético, que es necesario para el funcionamiento del sistema, pero que también da lugar a preocupaciones cuando se lo considera desde el punto de vista de otros

equipos que puedan ser susceptibles a él o de las personas que están sometidas a sus efectos.

Lo anterior se ilustra con el caso del teléfono móvil, que opera comunicándose con una instalación fija conocida como estación base empleando para ello radiación de alta frecuencia (RF) y que adicionalmente a su función de comunicación esta exponiendo a las personas cercanas a esta radiación.

5.2 EL TEMA DE LOS CAMPOS

El tema de la incidencia de los campos electromagnéticos en la salud humana ha sido tratado en muchos foros y publicaciones, de una manera que es al menos temeraria. En las investigaciones serias realizadas hasta la fecha no se ha demostrado aún la incidencia dañina de los campos electromagnéticos en la salud de los seres humanos; tampoco se ha descartado que no lo sean, porque existe desde el punto de vista científico, una posibilidad de que futuros trabajos de investigación así lo demuestren [10].

La acción conservadora tendería a poner la salud humana ante todo, prohibiendo la generación de ondas electromagnéticas, en consecuencia, no se deberían instalar más estaciones base de telefonía celular y se tendría que retirar las existentes. La posición tecnológica diría que hasta que se demuestre lo contrario y respetando las normas en vigencia, no debe preocupar el avance tecnológico.

No debe existir una posición ganadora, debe llegarse a la decisión más conveniente, considerando los costos que se esté dispuesto a pagar y los riesgos asociados. En este proceso es muy valioso el aporte de las experiencias y avances de otros países.

5.3 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 [11].

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.

La radiación asociada a los sistemas de comunicación está dentro de las denominadas como no-ionizantes, ya que no provoca la descomposición química de los elementos constituyentes de la materia en iones, como ocurre en las ionizantes.

Entre los factores que influyen para que un ser vivo pueda soportar o no cierta cantidad de radiación electromagnética sin efectos perjudiciales, se pueden citar: temperatura, humedad ambiente, cantidad de potencia ya absorbida por exposiciones anteriores (efecto memoria), así como su estado clínico general.

En cada caso debe tenerse en cuenta que lo importante es el nivel de campo que llega y el grado de absorción del mismo, 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.

Se acepta que el SAR (specific absorption rate), es una unidad adecuada para consideraciones dosimétricas. Representa la relación en que la energía electromagnética se convierte en calor en el tejido (Watt/gramo). Según el caso, se considera el SAR promedio en el individuo completo o el SAR localizado en un determinado y a veces muy pequeño volumen.

5.4 TIPOS DE FUENTES

Las fuentes contaminantes pueden ser intencionales o no intencionales. En el primer grupo están aquellas que producen la interferencia a raíz de su propio y correcto funcionamiento, pero que cumpliendo con la misión para la cual han sido diseñadas, dan lugar no solo a los resultados deseados sino también a otros indeseados o imprevistos. Este sería el caso de transmisores de comunicaciones, de los instrumentos y aparatos de uso médico, científico e industrial destinados a generar cualquier tipo de oscilaciones eléctricas. En todos ellos, la "colocación" de campos electromagnéticos en determinado lugar es indispensable y se lo hace en forma intencional [12].

Son en cambio fuentes no intencionales de campos electromagnéticos aquellas que generan señales que no estaba previsto que fueran producidas y que por lo tanto no son necesarias para el correcto funcionamiento del aparato o sistema que las produce, pero que dan lugar a interferencia, es el caso por ejemplo de máquinas eléctricas, la ignición en motores y las lámparas fluorescentes, entre otros.

5.5 TIPOS DE EFECTOS

Entre los efectos mas conocidos de los campos electromagnéticos están los siguientes [13]:

5.5.1 Calentamiento

Durante muchos años, se consideró que el único efecto producido por las radiaciones era el de calentamiento y sobre esta hipótesis se desarrollaron las normas y guías de prevención. En ocasiones aparecen quemaduras superficiales que delatan el calentamiento, pero en 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 genitales.

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.

5.5.2 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 1 GHz y 3 GHz son particularmente

peligrosas porque es el rango en el que pueden resonar el cerebro y los ojos.

5.5.3 A Escala Celular

Aparentemente, las zonas sensibles de las células se encuentran en su superficie y están constituidas por cadenas de proteínas que funcionarían, en cierto modo, de transductores capaces de llevar la señal al interior de la célula, siendo los potenciales en las membranas celulares, del orden de 105 V/cm. Con un gradiente eléctrico en la membrana de la célula de 105 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 célula.

5.5.4 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 como si buscara 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 (fantomas) 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.

5.5.5 Sobre Equipos Sensibles

Hoy en día se cuenta con muchos equipos que tienen un alto grado de sofisticación y que son sensible 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 una degradación. 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.

6. MEDICIONES DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Cuando se desean realizar mediciones de campo electromagnético se deben tener en cuenta algunos factores importantes; por ejemplo, el lugar donde se va a efectuar la medición, la distancia a la fuente de radiación, las variables a medir, las unidades de medición, el tipo de medición; además se debe estar familiarizado con las normas que hacen referencia a este tipo de mediciones, con los límites de exposición y con los instrumentos de medición.

6.1 TIPOS DE MEDICIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO

Dado que un campo electromagnético cuenta con dos componentes, una eléctrica y otra magnética, resulta a menudo conveniente expresar la intensidad de un campo de radiofrecuencia RF en términos de las unidades propias de cada una de sus componentes. El campo eléctrico se mide habitualmente en voltios por metro (V/m) mientras que el campo magnético se mide en Amperios por metro (A/m).

Otra unidad comúnmente utilizada para caracterizar un campo de RF es la densidad de potencia. La densidad de potencia resulta mucho más útil cuando el lugar de medida está muy lejos de la antena emisora, zona que en la terminología electromagnética se conoce como la zona de campo lejano de una antena.

La densidad de potencia se define como la potencia por unidad de área. Por ejemplo la densidad de potencia puede estar expresada en milivatios por centímetro cuadrado (mW/cm^2) o microvatios por centímetro cuadrado ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$). Un milivatio es igual a 0.001 vatios de potencia y un μW es igual a 0,000001 vatios.

En campo lejano, el campo eléctrico y magnético se encuentran relacionados de manera conocida ($E = Z \times H$. onda plana), por lo que conociendo una de estas magnitudes, queda definida la otra y por tanto la densidad de potencia.

En la zona de campo cercano, en las proximidades de la antena la relación entre las componentes eléctrica y magnética del campo de RF es complicada. En este caso se hace necesario el conocimiento de ambas componentes de campo para poder caracterizarlo completamente.

Es habitual, sin embargo, que algunos equipos de medida den los valores para su equivalente en campo lejano incluso para las medidas efectuadas en la zona de campo cercano. Para medidas efectuadas por encima de los 300 MHz es suficiente con medir el campo eléctrico para caracterizar el entorno de RF siempre que las medidas no se hagan demasiado cerca de la antena emisora.

Según el tipo de equipo que se use para medir el campo electromagnético, las mediciones se clasifican en:

6.1.1 Mediciones de Emisión

Medición del valor promedio de la intensidad de campo eléctrico o magnético en la zona ocupacional para una fuente de radiofrecuencia determinada, la cual opera a una frecuencia específica. Para ello se utilizan equipos de medición en banda angosta (ver figura 10).

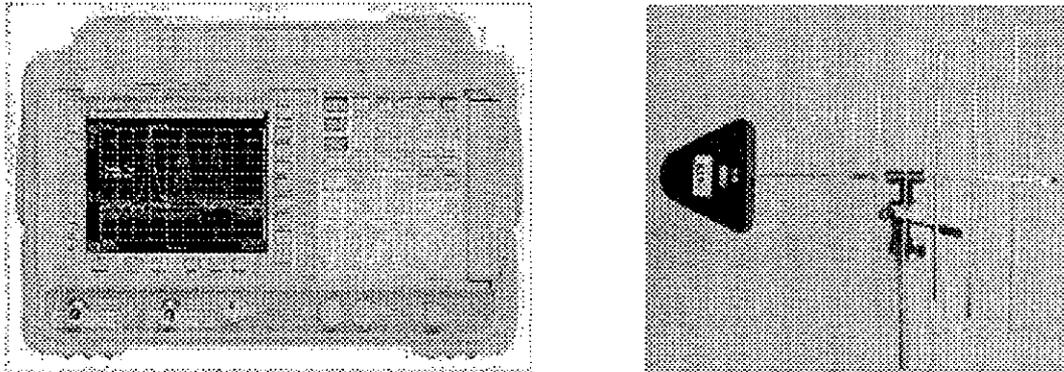


Fig. 10. Analizador de espectro y antena

6.1.2 Mediciones de Inmisión

Valor ponderado de campo electromagnético (eléctrico o magnético) producto del aporte de energía de múltiples fuentes de radiofrecuencia, en cada una de las posibles zonas de exposición a campos electromagnéticos. En este tipo de mediciones se utilizan equipos de banda ancha.

Para el análisis de la exposición poblacional se implementó un protocolo para la medición de inmisión, ya que desde el punto de vista de la seguridad, la sumatoria de todas las fuentes de radiación es a lo que está expuesta la población (ver anexo A).

6.2 EQUIPO DE MEDICIÓN UTILIZADO

El instrumento con el cual se realizaron las mediciones en este proyecto es un medidor isotrópico de campo electromagnético, con el que se puede realizar la medición de inmisión; este equipo es el modelo EMR - 300 de la marca NARDA (ver figura 11) y fue adquirido por el Grupo de Investigación en Alta Tensión de la Universidad del Valle con el objetivo de incursionar y desarrollar los conocimientos en el área de los campos electromagnéticos de alta frecuencia (Radiación no ionizante) [14].

Este medidor utiliza diferentes sondas de medición, dependiendo de la necesidad que se tenga, es decir, si se necesita medir el campo eléctrico o el magnético y además la banda de frecuencia en la cual está funcionando el campo que se desea medir.



Fig. 11. Medidor de campo electromagnético de banda angosta

Posteriormente los valores almacenados pueden ser analizados y procesados en el programa Excel a través del software incluido en el kit de transferencia de datos (ETS - 1).

El Grupo en estos momentos dispone de dos sondas (ver figura 12), una para campo eléctrico con las siguientes características: rango de frecuencia desde 100 kHz hasta 3 GHz y el rango de medida va desde 0.2 V/m hasta 320 V/m. La otra sonda es para campo magnético la cual tiene las siguientes especificaciones: rango de frecuencia desde 3 kHz hasta 3 MHz y el rango de medida va desde 0.25 A/m hasta 250 A/m.

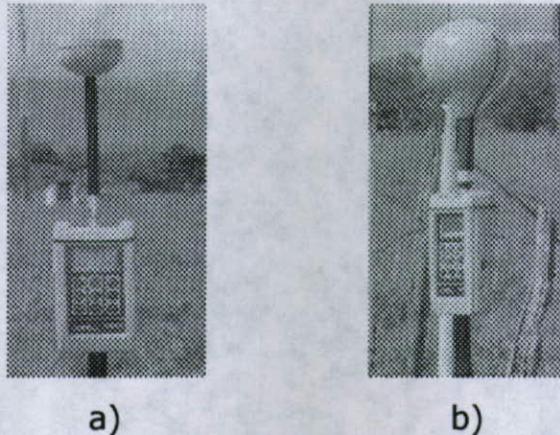


Fig. 12. Sensores de campo a) eléctrico y b) magnético

6.3 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN [15]

Antes de iniciar la medición se debe hacer un recorrido por todo el sitio con el objetivo de reconocer el tipo de instalación y determinar de acuerdo a sus características los puntos de mayor interés para medir.

Los aspectos a tener en cuenta durante este reconocimiento son los siguientes:

- Identificar las zonas accesibles para el público en general, próximas a la antena radiante.
- Verificar si existen lugares de residencia habitual a distancias cortas de las antenas radiantes, especialmente en la dirección de máxima radiación.
- Observar si se encuentran edificios u otros obstáculos, estimando de qué manera su presencia puede afectar al proceso de medida, fundamentalmente debido a reflexiones.
- Observar la presencia de escuelas, hospitales, parques públicos, etc., situados en lugares próximos a las antenas.
- Identificar la presencia de otras fuentes de señal radioeléctrica en las inmediaciones del entorno de medida y su posible aporte a la medida total en un punto determinado.

Una vez determinada la zona de medición y los puntos de medida correspondientes, se debe proseguir con la etapa de medición. Las mediciones deben incluir:

- Medición sobre cuatro direcciones ortogonales a partir de la antena (Perfiles), como se observa en la figura 13.

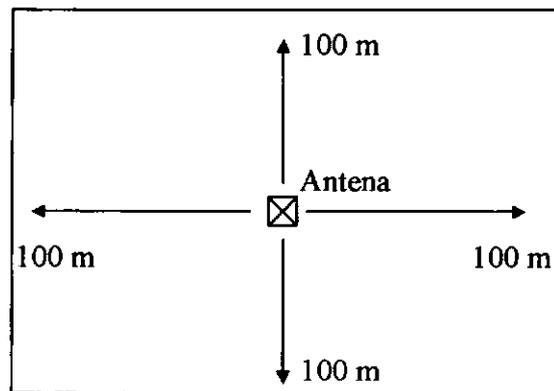


Fig. 13. Perfiles de medición

- Mediciones a aproximadamente 2, 12, 50 y 100 metros del soporte, a una altura de 1,8 metros. Para garantizar la altura de medición se utiliza un trípode (ver figura 14)
- Tiempo de integración de 6 minutos



Fig. 14. Ubicación del medidor

Los anteriores son requerimientos que en muy pocos casos se pueden cumplir, como por ejemplo en mediciones de campos producidos por emisoras de radio AM, en las que se tiene una antena que radia de una manera omnidireccional y que está situada en campos despejados, generalmente en las afueras de la ciudad.

Cuando se realizan mediciones dentro de la ciudad, por ejemplo de estaciones de telefonía celular y de radio FM, las distancias y la dirección de los puntos de medición están condicionadas por las características de la ubicación de la antena, es decir, se debe observar en que direcciones

están radiando las antenas (sectorizadas) y que lugares están expuestos a radiación.

La altura a la que se realizan las mediciones generalmente es a 1,8 metros, pero esta altura puede ser diferente si se encuentran características que lo requieran, como es el caso de mediciones en escuelas o jardines infantiles, donde hay presencia de niños, la altura puede ser 1 metro ó un valor acorde con la altura a la que se presenta el mayor tipo de exposición.

Si la zona de medición o parte de ella se encuentra dentro del área de campo cercano de la antena, es necesario medir tanto el campo eléctrico como el campo magnético para determinar si el sitio cumple o no con los niveles de máxima exposición permitida. En este caso, los máximos valores obtenidos de las dos mediciones serán los que determinen la compatibilidad del sitio.

6.4 RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

Durante el proyecto se efectuaron mediciones de inmisión de campo electromagnético en 50 sitios distribuidos en distintas zonas de la ciudad de Cali (ver figura 15), con el propósito de identificar y caracterizar los niveles de inmisión de campo electromagnético en estos puntos y de esta forma tener una muestra representativa de los niveles de campo electromagnético existentes en el medio ambiente de la ciudad.

Estos sitios se escogieron de un listado inicial, entregado por la Personería Municipal en el 2004, de aproximadamente 200 lugares donde se encontraban antenas de telecomunicaciones y en común acuerdo entre el DAGMA y la Universidad del Valle. En el anexo B se encuentran los informes de medición de cada uno de los 50 sitios.



Fig. 15. Ubicación de los sitios de medición

Las mediciones se desarrollaron en diferentes sitios de la ciudad, de tal manera que se lograra abarcar la mayor posibilidad de situaciones de exposición a campo electromagnético por parte de la población. En la tabla 2 se muestra la dirección de los 50 sitios y el sistema medido.

Tabla 2. Ubicación de los sitios medidos

No.	Dirección	Sitio de medición
1	Cra 85B No. 13B-70	Azotea
2	Calle 5 con Cra 50	Azotea
3	Club Hípico La Bocha	Campo despejado
4	Av. Cañasgordas con Cra 122	Calle
5	Av. 3N No. 18N-26	Sitio de Interés Especial
6	Cra 83 B con CII 14 A	Calle
7	Cra 83 A con CII 25	Azotea
8	Cra 100 # 16-20	Azotea
9	Cra 102 con CII 15 A	Azotea
10	Calle 16 con Cra 73 y 76	Calle
11	Cra 83 C # 17-31	Calle
12	Cra 85 A # 45-53	Calle
13	Cra 98 # 16-50	Calle
14	Cra 85 C # 15-119	Calle
15	Cra 55 con CII 17	Calle
16	CII 11 # 41A-36	Sitio de Interés Especial
17	Cra 100 # 11-60	Azotea
18	Cra 36 A con CII 12	Sitio de Interés Especial
19	Universidad del Valle	Campo despejado
20	Ancianato San Miguel	Sitio de Interés Especial
21	Cra 45 No. 2A-56	Calle
22	Cra 56 No. 1B-66	Sitio de Interés Especial
23	Calle 3D No. 75-12	Calle
24	Cra 62 No. 3-167	Calle
25	Cra 59 No. 1F-26	Calle
26	Cra 64A No. 12A-63	Calle
27	Instituto Tobías Emanuel	Sitio de Interés Especial
28	Cra 26C No. 5C-06	Calle

29	Cra 27 No. 5A-26	Calle
30	Cra 48 No. 4-29	Calle
31	Calle 5B 13 Bis con Cra 38	Calle
32	Cra 49 No. 51-04	Calle
33	Plaza de Caicedo	Sitio de Interés Especial
34	Plaza de San Francisco	Sitio de Interés Especial
35	Hospital Infantil Club Noel	Sitio de Interés Especial
36	Parque de Santa Rosa	Sitio de Interés Especial
37	Av. 3GN con Calle 48	Calle
38	Calle 28N No. 6Nbis-15	Calle
39	Av. 5N con Calle 23	Sitio de Interés Especial
40	Calle 16 No. 6N-21	Calle
41	Cra 94 con Calle 25	Calle
42	Calle 30A con Calle 41	Calle
43	Calle 52 con Cra 3	Calle
44	Calle 34 No. 3N-68	Calle
45	Cerro de las Tres Cruces	Sitio de Interés Especial
46	Cra 32 No. 17-83	Calle
47	Calle 16 No. 42-12	Calle
48	Calle 42 No. 6N-21	Calle
49	Av. 5Oeste No. 22-12	Calle
50	Cra 27 No. 85-26	Calle

Dentro de esos 50 sitios, se determinó que algunos de ellos eran de interés especial, ya que se encontraban dentro o cerca de escuelas, hospitales o lugares representativos de la ciudad. En la tabla 3 se puede observar la lista de estos sitios de interés especial.

En la figuras 16 y 17 se presentan la gráfica de variación de la densidad de potencia (mW/cm^2) en función del tiempo para un punto en

particular y la gráfica de valores máximos y promedios en todos los puntos, respectivamente, obtenidas en uno de los sitios.

Tabla 3. Sitios de interés especial

No.	Sitio de medición	Tipo de servicio
1	Edificio Torre de Cali	Telefonía celular
2	Unidad Recreativa Los Castores	Telefonía fija inalámbrica
3	Unidad Recreativa Olímpico	Telefonía celular
4	Ancianato San Miguel	Telefonía celular
5	Seminario Teológico Bautista	Telefonía celular y fija inalámbrica
6	Instituto Tobías Emanuel	Telefonía celular
7	Plaza Caicedo	Telefonía celular y fija inalámbrica
8	Plazoleta San Francisco	Telefonía celular
9	Hospital Infantil Club Noel	Telefonía celular
10	Parque Santa Rosa	Telefonía celular
11	Parque Versailles	Telefonía celular y fija inalámbrica
12	Cerro de las tres Cruces	Varias

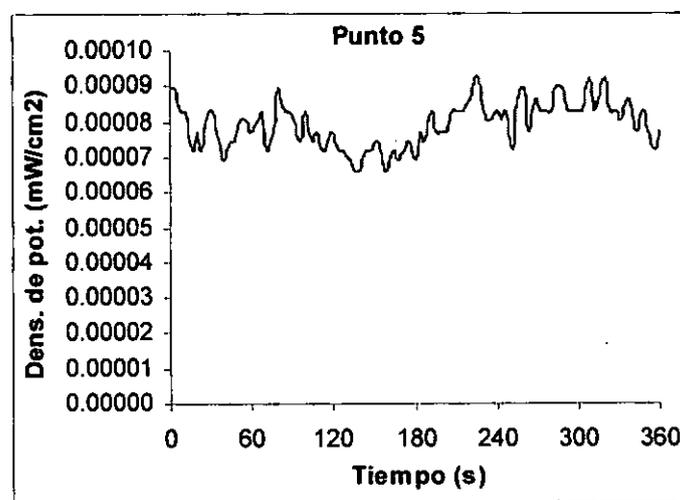


Fig. 16. Densidad de potencia en función del tiempo para un punto

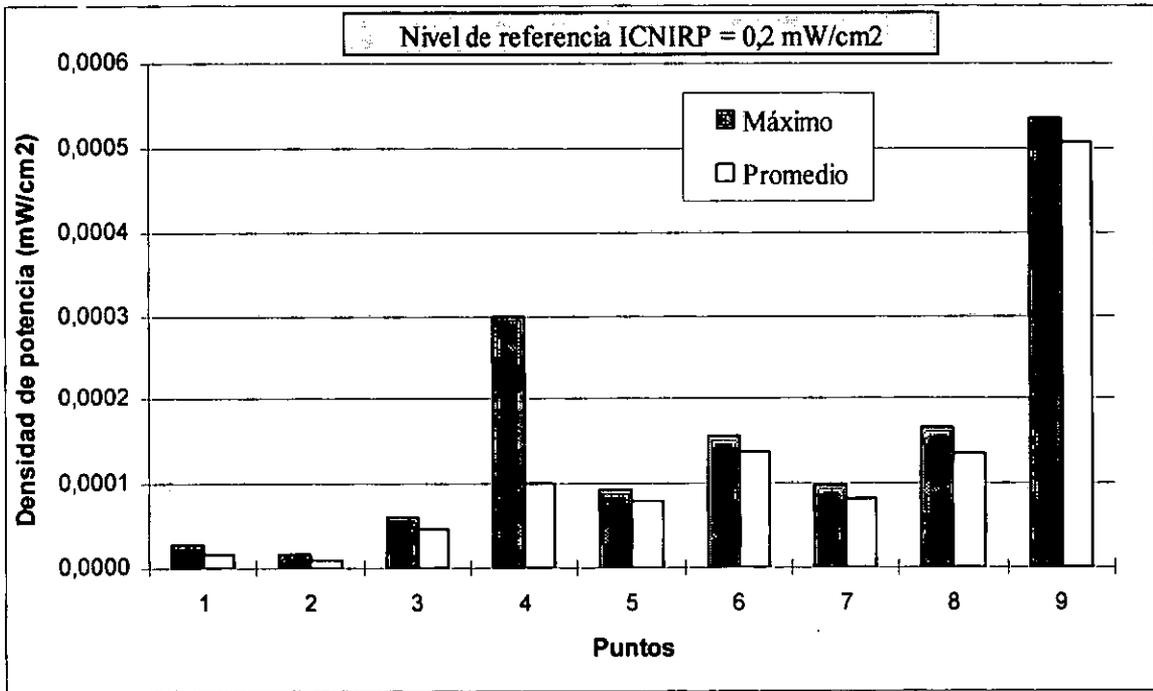


Fig. 17. Valores máximos y promedios obtenidos para todos los puntos

7. SIMULACIÓN DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Actualmente es indudable la gran penetración de los sistemas móviles inalámbricos en la sociedad y el gran crecimiento de estos sistemas y sus servicios asociados en sus diferentes formas, llámese sistemas celulares, redes locales, WiMax, tercera o cuarta generación, redes personales, redes ad-hoc, etc. Algunas características comunes a este crecimiento son: el uso de nuevas bandas de frecuencia, la convergencia hacia IP, la mayor densidad de celdas, la combinación de múltiples niveles de cobertura como exterior, interior, macro, micro, pico.

Esto plantea un reto claro para las herramientas de planificación, tanto comerciales como académicas, y abre la posibilidad de nuevas áreas de investigación y desarrollo de herramientas de propagación y planificación.

Una característica usual en los grupos de investigación en comunicaciones móviles en todo el mundo, es el desarrollo de modelos de propagación y herramientas de planificación de sistemas celulares o inalámbricos, que permite la modificación y verificación de modelos existentes, así como su uso en investigación, que en algunos casos han generado spinoffs o emprendimientos exitosos. Algunos casos que se pueden citar son: Mobile and Portable Research Group (MPRG) de Virginia Tech, que ha generado la empresa Wireless Valley, CellView de la UPV, CINDOOR de la Universidad de Cantabria, entre otros.

En Colombia y América Latina en general, existen características particulares en cuanto a la topografía del terreno, vegetación y uso de los sistemas móviles, que permiten justificar el desarrollo o adaptación (podría usarse el término "platanización") no solo de modelos de propagación existentes, sino el desarrollo de modelos propios y herramientas de planificación que se adapten a las necesidades locales.

Adicionalmente, contar con este tipo de herramientas permite generar nuevos proyectos asociados a las áreas de desarrollo actuales y futuras de los sistemas móviles, ya sean estos sistemas celulares, WLAN, WMAN ó WWAN.

Por lo expuesto en los párrafos anteriores, el grupo i2T de la Universidad Icesi, ha planteado el desarrollar una herramienta de planificación para sistemas móviles, que permita enfrentar los retos de los sistemas móviles hacia el futuro, y combine en ello el uso de herramientas abiertas multiplataforma como es java y herramientas GIS abiertas, que permita a su vez explotar algunas de las sinergias existentes entre la informática y las telecomunicaciones.

Este reto comprende dos enfoques que se pueden considerar innovadores; el primero es el uso de java y un enfoque orientado a objetos en herramientas de planificación móvil; y el segundo es la aplicación de la ingeniería de software y el desarrollo por componentes en este tipo de herramientas.

El software de simulación CellGIS se ha venido desarrollando en los últimos años, y tiene funcionalidades para realizar cálculos de propagación de señales de radio. Actualmente tiene implementado el modelo de propagación de Walfisch-Bertoni, que tiene validez en todo el rango de frecuencias de UHF (300 MHz a 3 GHz) y está en etapa de pruebas el modelo de Saunders - Bonar y el modelo de Longley - Rice.

En el proyecto financiado por el Departamento Administrativo de Gestión de Medio Ambiente de Cali (DAGMA), se le han incorporado algunas funciones adicionales a CellGIS, como es el cálculo de niveles de densidad de potencia de radiación, a partir de la información de coberturas disponible en la herramienta.

En este capítulo se hará una descripción somera de la herramienta, y de la forma como se implementó el cálculo de densidad de potencia, que permite la evaluación a priori del impacto que pueda tener una nueva instalación en la ciudad.

7.1 CARACTERÍSTICAS DE LA APLICACIÓN

7.1.1 Portabilidad

Se dice que una aplicación es portable si funciona sobre distintas arquitecturas y sistemas operativos; más aún, si su código fuente puede ser recompilado en cada una de estas plataformas. Bajo este concepto ninguna aplicación puede ser completamente portable, puesto que las tecnologías antiguas (todavía en uso) suelen ser incompatibles con las

más modernas. Sin embargo, es posible aproximarse satisfactoriamente a este enfoque siguiendo los estándares de la industria.

“La portabilidad de una aplicación es una forma de reuso en donde la aplicación es reutilizada como entrada en una plataforma diferente. La portabilidad se consigue mediante el desarrollo de acuerdo a estándares y aislando las dependencias entre plataformas”. Ian Sommerville 1995 Ingeniería de Software. Capítulo 20.

Con el fin de garantizar la portabilidad de la aplicación, se optó por la utilización de tres estándares: Java(™) , XML, ZIP.

7.1.2 Lenguaje de Desarrollo

La tecnología Java(™) ofrece una de las mejores soluciones al problema de la portabilidad: la máquina virtual. Así, no es el hardware el encargado de ejecutar el código; sino otra pieza de software (expresamente creada para este fin) la que asume la responsabilidad de servir de puente entre la máquina y la aplicación.

Dentro del proyecto, se sigue la especificación de la J2SE versión 1.5.0, considerada estable al momento de escribir este documento.

7.1.3 Documento del Proyecto

Uno de los principales objetivos de la aplicación es permitir al usuario guardar la información de sus proyectos de manera unificada, de tal forma que pueda ser interpretada por distintas aplicaciones y brinde un modelo común y sencillo para describir sus componentes. Para lograr este fin, se utiliza el estándar XML que permite representar y almacenar información en formato legible y razonablemente comprensible.

Por otra parte, el uso de XML permite dar una persistencia descentralizada a dicha información, ya que de esta forma los datos de cada usuario son almacenados de manera independiente; contrario al modelo de bases datos relacionales, según el cual todos los usuarios de la aplicación dependen de un depósito común (como MySQL, PostgreSQL, etc.). Para aclarar este concepto se muestra en la figura 18 los distintos modelos de persistencia de datos.

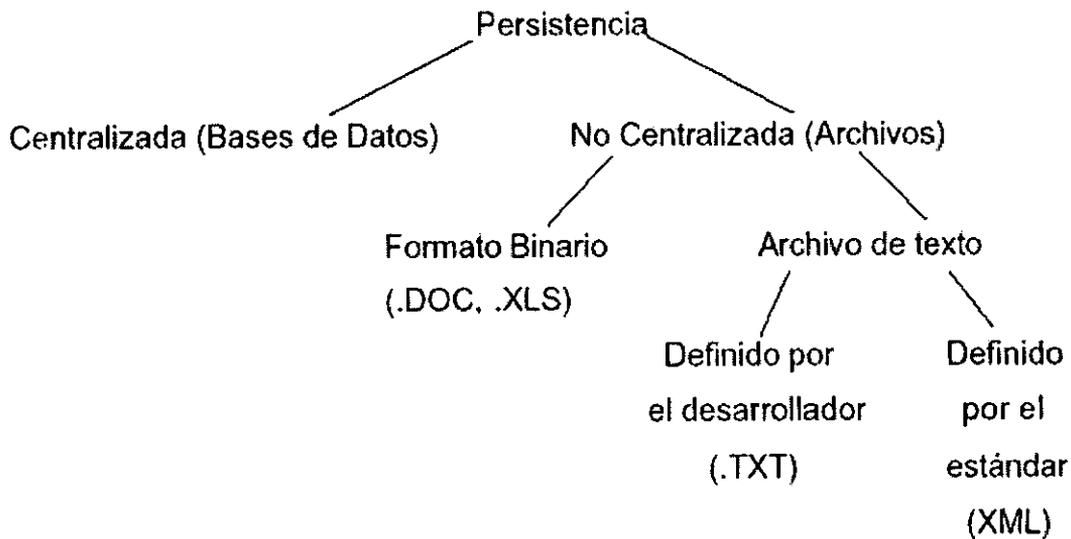


Fig. 18. Modelos de persistencia de datos

7.1.4 Archivo del Proyecto

Con el fin de brindar al usuario la facilidad de transportar sus proyectos, la aplicación aprovecha las características brindadas por el estándar de compresión de archivos ZIP, para empaquetar toda la información relativa a un proyecto de usuario.

La información utilizada para el análisis y diseño de redes celulares (mapas, coberturas, antenas y herramientas) suele ocupar una gran cantidad de espacio en los medios de almacenamiento; el tamaño de estos archivos puede variar en grandes proporciones (desde 1 MB hasta archivos de más de 60 MB). Por este motivo, la información es empaquetada y comprimida en un archivo ZIP brindando mayor facilidad al usuario en el momento de transportar su proyecto a otros medios (CD, Memory Key, Diskette, etc.) y a través de Internet (Correo electrónico, ftp, etc.).

7.1.5 Reusabilidad

La definición de la arquitectura de un sistema en términos de componentes reutilizables que se comunican entre si mediante interfaces que describen la funcionalidad ofrecida por cada uno de ellos, contribuye a la construcción de aplicaciones más eficaces y robustas.

Las ventajas que brinda este enfoque son:

- Reducción del costo y riesgo de nuevas versiones (menores períodos de desarrollo, menor probabilidad de incurrir en errores (bugs)
- Claridad que permite a los nuevos desarrolladores comprender la naturaleza de la aplicación y realizar un trabajo más eficaz.

En la figura 19 se muestra una pantalla donde se puede identificar la interfaz de usuario y la forma como se visualizan las coberturas de radio de cualquier estación base seleccionada o puesta en la herramienta.

7.2 CÁLCULO DE DENSIDAD DE POTENCIA

7.2.1 Introducción

El objetivo del módulo incorporado en CellGIS es generar mapas de niveles de radiación que ayuden a limitar la exposición que pueda tener el público en general a los campos electromagnéticos. Para esto se toma la información de coberturas que entrega la herramienta CellGIS y se utilizan los procedimientos y valores establecidos en la norma UIT K.52: Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos.



Fig. 19. Interfaz de usuario del programa

Hay varias razones para haber recurrido a esta norma: la primera de ellas es que la norma colombiana recoge la recomendación de la UIT en lo referente a los niveles de radiación permitidos, pero no establece el procedimiento para calcular estos valores, que sí está establecido en la norma UIT. La segunda razón es que tanto los niveles como los procedimientos de cálculo que se establecen en la recomendación UIT son los más exigentes que hay hasta el momento.

Uno de los objetivos de la norma UIT K.52 es facilitar el cumplimiento por parte de los operadores en las instalaciones de telecomunicaciones con respecto a los límites de seguridad cuando existe riesgo de exposición de las personas a los campos electromagnéticos que son producidos por los equipos de telecomunicaciones que están en la gama de 9 kHz a 300 GHz.

7.2.2 Procedimiento Implementado en CellGIS

El funcionamiento del procedimiento de cálculo supone la existencia en la base de datos de las coberturas de radio existentes en las proximidades del área que se quiere analizar y que pueden afectar los niveles de radiación electromagnética.

Para comenzar a hacer el cálculo, el usuario selecciona la parte del mapa que se quiere evaluar. Con esta información la herramienta determina si en el mapa hay una antena que tenga una frecuencia mayor a 10 MHz para saber que procedimiento ejecutar, pues dependiendo de esto se utilizan diferentes ecuaciones para la exposición simultánea a fuentes de diferentes frecuencias.

Con estas ecuaciones se evalúa el cumplimiento de los límites de exposición. Estas ecuaciones son una suma ponderada en la que cada fuente individualmente se prorratea de acuerdo con el límite aplicable a su frecuencia correspondiente. En el método implementado en CellGIS se utilizan los límites que hacen referencia a la exposición al público en general, pues son los de mayor interés para el DAGMA. Igualmente, se selecciona la ecuación que genere el peor escenario posible, con el fin de ser consecuentes con el principio de precaución.

Una vez la herramienta selecciona la ecuación que se va a utilizar, se recorre nuevamente el mapa seleccionado en busca de redes activas, cada vez que encuentre una red activa, se sacará su frecuencia y se mirará si en ese punto del mapa la antena tiene cobertura, si tiene cobertura se toma la potencia en ese punto y se procede a calcular el campo eléctrico, haciendo las debidas conversiones. Una vez que ya se tenga el campo eléctrico que hay en ese punto y que esta relacionado con esa antena, se le asigna el campo de referencia según la frecuencia y se suma.

Se suman todas las fuentes de radiación que tengan cobertura en ese mismo punto y se compara con el valor de referencia establecido. Estos campos de referencia, como ya se mencionó, se obtienen según la frecuencia a la que está trabajando la antena en ese punto. Así pues, dependiendo de la frecuencia de la antena se tiene un campo de referencia que se utilizará en la ecuación de exposición a múltiples fuentes; una vez se obtiene este dato se procede a hacer la sumatoria y

el resultado será almacenado en una matriz que tiene el mismo tamaño que el área seleccionada por el usuario.

Con esta matriz se obtendrá un archivo que tendrá los valores de los niveles de radiación que se generan en el área seleccionada, de acuerdo a los datos suministrados y con esto se podrán ver las diferentes zonas que se generan según el nivel de exposición a público en general.

En las figuras 20 y 21 se ilustra un ejemplo con tres coberturas que se superponen, y el resultado obtenido con el modelo de UIT K.52. Los tonos más claros de amarillo, muestran la zona sin niveles de radiación, y a medida que se oscurece el color, indica que el nivel es mayor. El ejemplo se ejecutó con valores inusualmente altos de potencia de antena, con el fin de verificar el modelo.

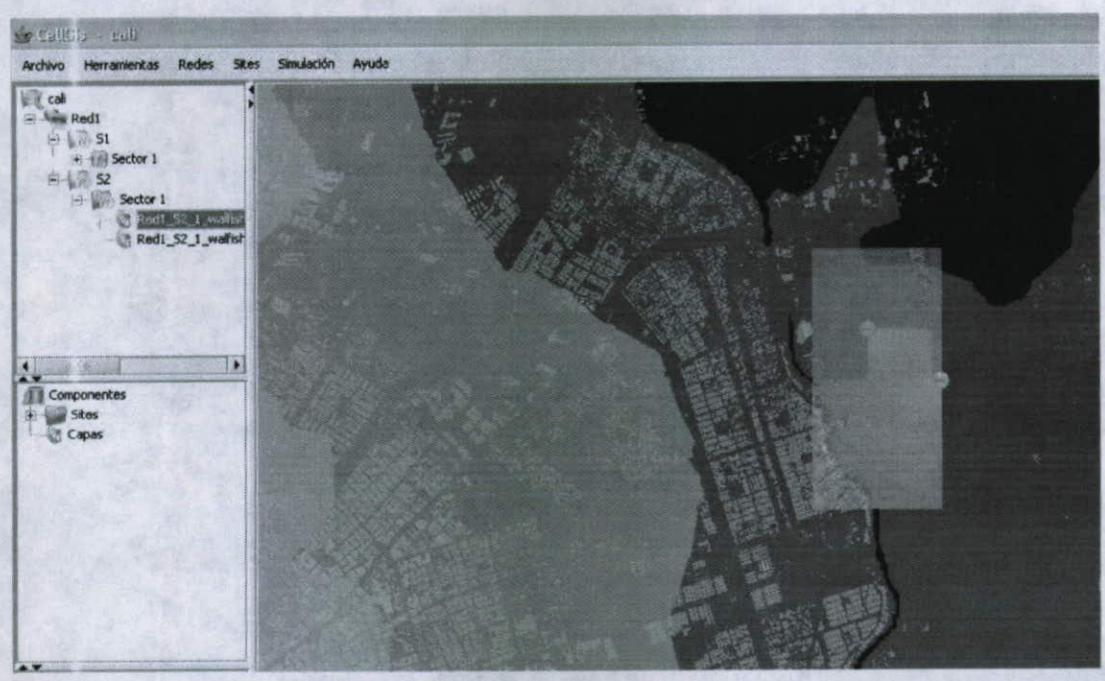


Fig. 20. Ubicación de las tres coberturas de prueba

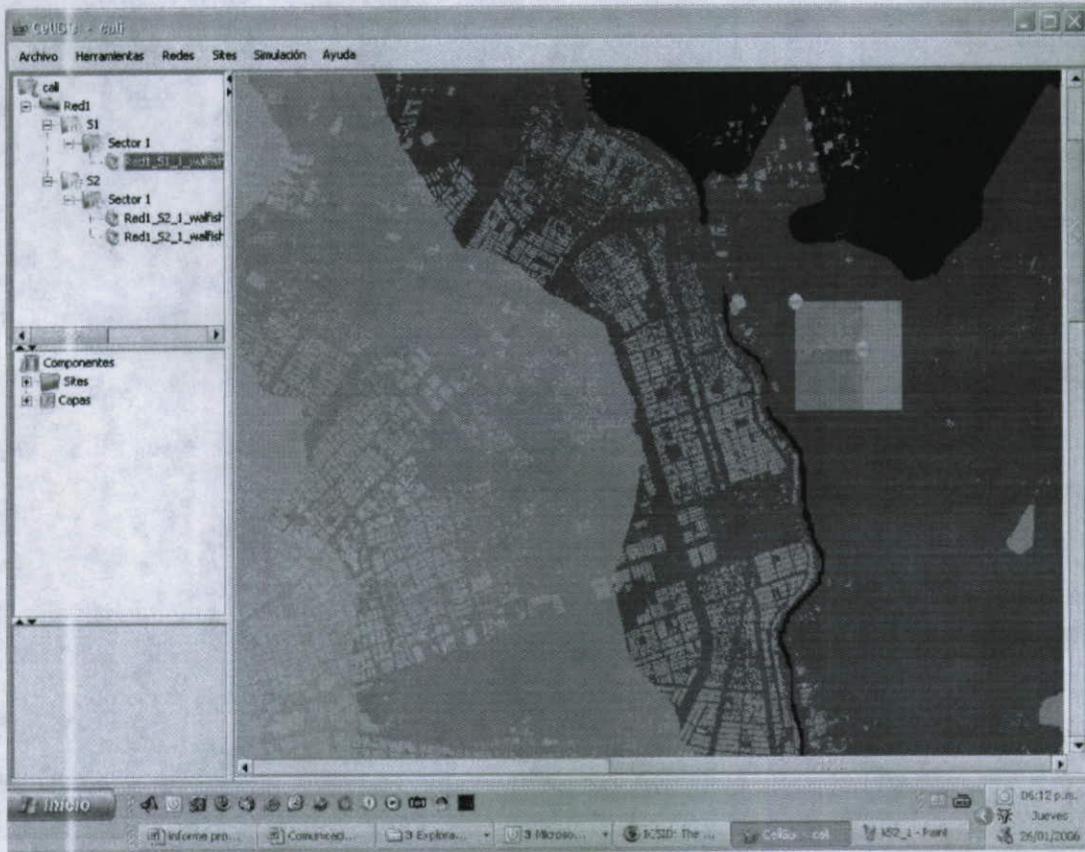


Fig. 21. Resultado del método de cálculo de densidad de potencia

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1 REGULACIONES DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

De acuerdo a la literatura científica, no hay hasta el momento estudios que permitan tener completa certeza sobre si los campos electromagnéticos tienen o no efectos sobre la salud humana, sin embargo, existen recomendaciones internacionales acerca de los límites de exposición a estos campos para las personas [16, 17].

El fenómeno más conocido y más ampliamente estudiado del efecto de la energía electromagnética radiada sobre tejidos biológicos es el calentamiento de los mismos. Tal calentamiento se produce a causa de la conducción iónica y de la vibración de las moléculas dipolares del agua y las proteínas.

La potencia absorbida por los tejidos produce una elevación de la temperatura que depende de los mecanismos de refrigeración del tejido. La distribución de los campos eléctricos y magnéticos, que produce el calentamiento en el interior del tejido, depende de la configuración de la fuente, de la geometría del tejido, de las propiedades dieléctricas del mismo y de la frecuencia de la onda electromagnética de RF, parámetro importante para determinar qué cantidad de energía puede resultar absorbida por el cuerpo humano.

La magnitud comúnmente utilizada para determinar esta absorción se conoce como Tasa de Absorción Específica, (TAE) o, en inglés, Specific Absorption Rate (SAR) y se expresa en W/kg (vatios por kilogramo) o mW/g (milivatios por gramo).

El uso de la Tasa de Absorción Específica como método de valoración de la exposición humana a energía de naturaleza electromagnética (EM) es especialmente interesante cuando la exposición se produce en la región de campo cercano.

8.1.1 Recomendación del ICNIRP [18]

Las pautas dadas por la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ICNIRP, una organización científica independiente reconocida en el ámbito mundial, para limitar la exposición a campos electromagnéticos están dadas para dos tipos de exposición; exposición ocupacional y exposición al público en general.

La exposición ocupacional consiste en la ocasionada bajo condiciones conocidas sobre adultos que han sido entrenados al respecto, y por tanto conocen bien el riesgo potencial y saben tomar las precauciones apropiadas. En contraste, la exposición al público general es la ocasionada sobre grupos de individuos de todas las edades y estados de salud, pudiendo encontrarse entre ellos individuos particularmente susceptibles.

En muchos casos, los miembros del público no tienen conocimiento de su exposición a los campos eléctricos y magnéticos. Más aún, no puede

esperarse que los miembros del público en general tomen precauciones para minimizar o evitar la exposición.

Estas consideraciones llevan a la adopción de restricciones más estrictas para el público que para el sector ocupacional. Los principios presentados tienen como objetivo limitar la exposición a campos electromagnéticos para evitar los efectos adversos sobre la salud que se conocen hasta ahora. Se dan dos tipos de principios:

- Restricciones básicas: Restricciones a la exposición a campos electromagnéticos que varían en el tiempo basadas directamente en los efectos sobre la salud conocidos.
- Niveles de referencia: Se proporcionan como una forma práctica de estimación de la exposición a campos para determinar si las restricciones básicas podrían ser excedidas. Algunos niveles de referencia se derivan de las restricciones básicas relevantes utilizando mediciones o técnicas computacionales.

8.1.2 Normativa Colombiana. (Decreto 195 del 31/01/2005)

Este decreto [19] surge motivado por la creciente demanda de servicios de telecomunicaciones por parte de la población colombiana y está titulado de la siguiente manera:

“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”

Los límites adoptados en este decreto son los recomendados por la ICNIRP, ya que fue la recomendación final dada por la Universidad Javeriana de Bogotá tras haber realizado un estudio para la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones (CRT) [20]. Este decreto fue reglamentado por la Resolución 001645 de 2005 [21].

El intervalo de frecuencias para el cual aplica el decreto cubre desde los 9 kHz hasta los 300 GHz. A continuación se describen algunos aspectos contenidos en el decreto 195.

- Declaración de Conformidad de Emisión Radioeléctrica - DCER: Es el formato que contiene la información recogida por la persona natural o jurídica, pública o privada, que es responsable de la gestión de un servicio y/o actividad de telecomunicaciones, en la cual se manifiesta el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos, el seguimiento de la metodología para asegurar la conformidad de los mismos, la adecuada delimitación de las zonas de exposición a campos electromagnéticos y las técnicas de mitigación.
- Fuente inherentemente conforme: Son aquellas que producen campos que cumplen los límites de exposición pertinentes a pocos centímetros de la fuente. No son necesarias precauciones particulares. El criterio para la fuente inherentemente conforme es una potencia de radiación de 2 W o menor.

- Zonas de exposición a campos electromagnéticos: Las zonas se definen con base en la figura 22 y se deberán delimitar por letreros o cualquier otro medio visible

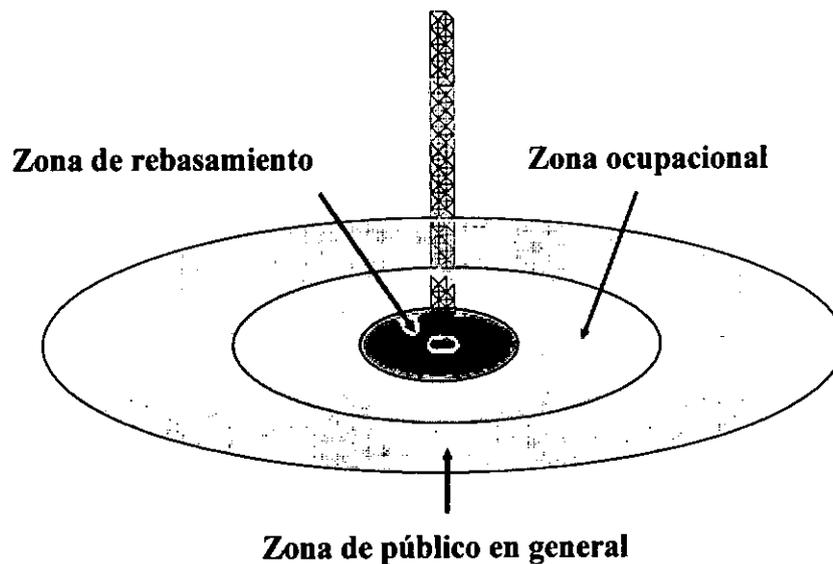


Fig. 22. Zonas de exposición a campos electromagnéticos

La zona de público en general es la zona de exposición potencial a los campos electromagnéticos que está por debajo de los límites aplicables a la exposición no controlada del público en general, y por lo tanto, también está por debajo de los límites aplicables a la exposición ocupacional, y que en el caso de múltiples fuentes, el nivel de exposición porcentual es menor al ciento por ciento (100%).

En la zona ocupacional, la exposición potencial a los campos electromagnéticos está por debajo de los límites aplicables a la exposición ocupacional, pero sobrepasa los límites aplicables a la exposición no controlada del público en general.

En la zona de rebasamiento, la exposición potencial a los campos electromagnéticos sobrepasa los límites aplicables a la exposición ocupacional y a la exposición no controlada del público en general.

- Límites máximos de exposición: se debe 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 4.

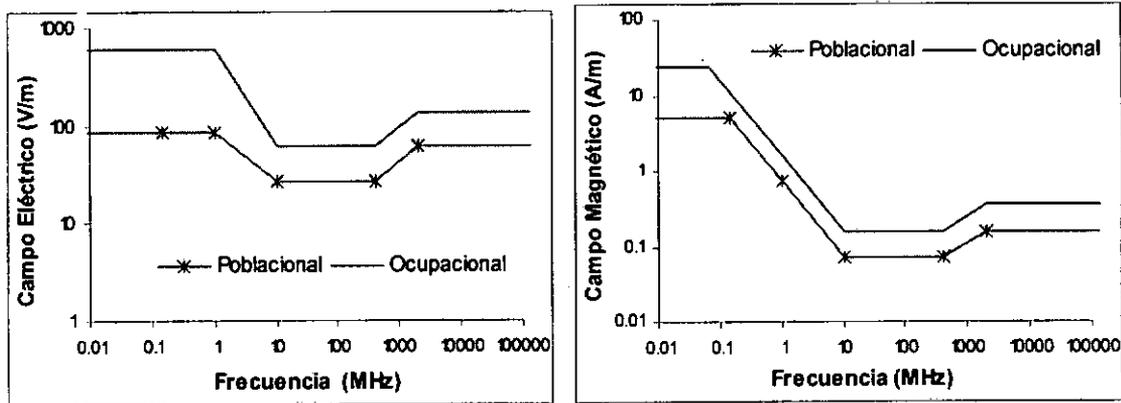
Tabla 4. Límites máximos de exposición, Decreto Colombiano

Tipo de exposición	Gama de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico E (V/m)	Intensidad de campo magnético H (A/m)	Densidad de potencia de onda plana equivalente, S (W/m ²)
Ocupacional	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	$3 f^{1/2}$	$0,008 f^{1/2}$	f/40
	2 - 300 GHz	137	0.36	50
Público en general	9 - 150 KHz	87	5	-
	0,15 - 1 MHz	87	0,73/f	-
	1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	0,73/f	-
	10 - 400 MHz	28	0,073	2
	400 - 2.000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	f/200
	2 - 300 GHz	61	0,16	10

Aun cuando los niveles de emisión de las distintas estaciones radioeléctricas que se encuentran dentro de una determinada zona ocupacional, cumplan de manera individual con los límites señalados en

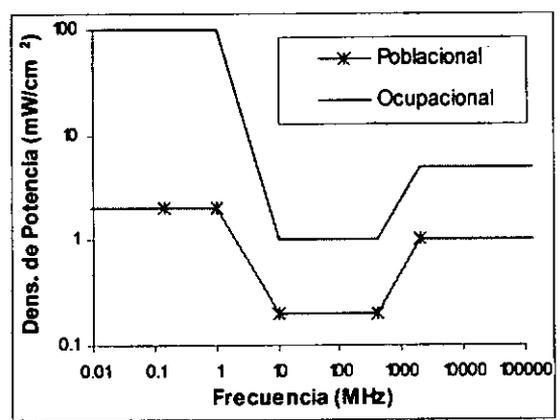
la tabla 4, se debe verificar que el nivel de exposición porcentual para campo eléctrico o magnético sea menor a la unidad, menor al ciento por ciento (100%), según la banda de frecuencia estudiada.

En la figura 23, se puede observar en forma gráfica los valores límites establecidos de exposición a campos electromagnéticos, establecidos en el Decreto 195 de 2005.



a)

b)



c)

Fig. 23. Límites de exposición para a) campo eléctrico, b) campo magnético y c) densidad de potencia

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 superan 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,
- Usar apantallamientos o mecanismos similares de protección,
- Limitar la accesibilidad de personas a la zona ocupacional en cuestión,
- Reducir la potencia de emisión o
- Trasladar la fuente de radiación a otro sitio, hasta que cada una de ellas emita por debajo de su respectivo límite.

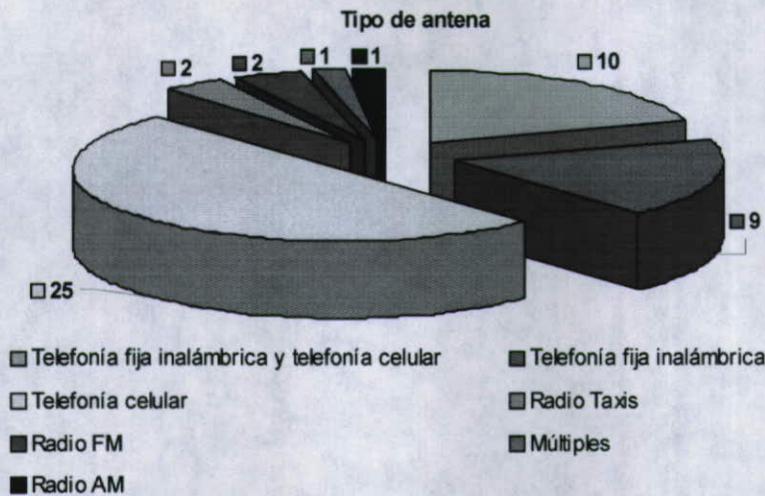
Si una vez cumplido lo anterior, el nivel de exposición porcentual continua siendo mayor a la unidad, todas las fuentes radiantes deben mitigarse proporcionalmente al aporte que realiza dicha fuente radiante.

- Fuentes radiantes con frecuencias menores a 300 MHz: Si la fuente radiante utiliza frecuencias menores a los 300 MHz (por ejemplo emisoras AM), las regiones de campo cercano poseen varios metros de diámetro y por lo tanto es necesario medir tanto el campo eléctrico como el campo magnético para determinar si el sitio cumple o no con los niveles de máxima exposición permitida. En este caso, los máximos valores obtenidos de las dos mediciones serán los que

determinen la compatibilidad del sitio.

8.2 RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

La figura 24 muestra una distribución del número de antenas medidas de acuerdo a su tipo y cantidad, en la cual se puede observar que un 50% de las antenas medidas correspondió a antenas de telefonía celular.



¡Error!

Fig. 24. Tipos de antenas medidas

En la figura 25 se muestra un distribución de las antenas medidas de acuerdo al sitio de medición, aquí se observa que aproximadamente un 58% de las mediciones se efectuaron en las calles.

Los valores registrados de las mediciones efectuadas en los distintos sitios de la ciudad se compararon contra el nivel más bajo de densidad de potencia (0,2 mW/cm²), indicado en el Decreto Colombiano 195 de

2005. La figura 26 muestra sobre un total de 50 sitios, la cantidad de puntos que se encuentran en los indicados rangos de porcentaje con respecto al valor de referencia de 0.2 mW/cm².

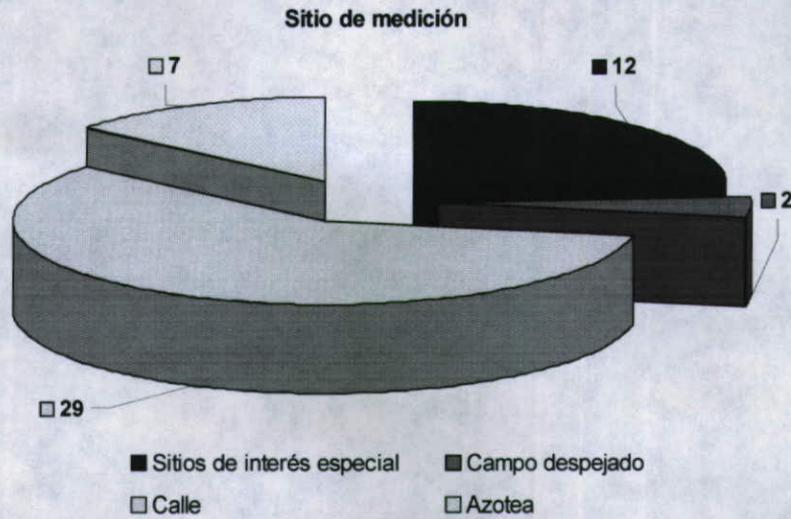


Fig. 25. Sitios de medición

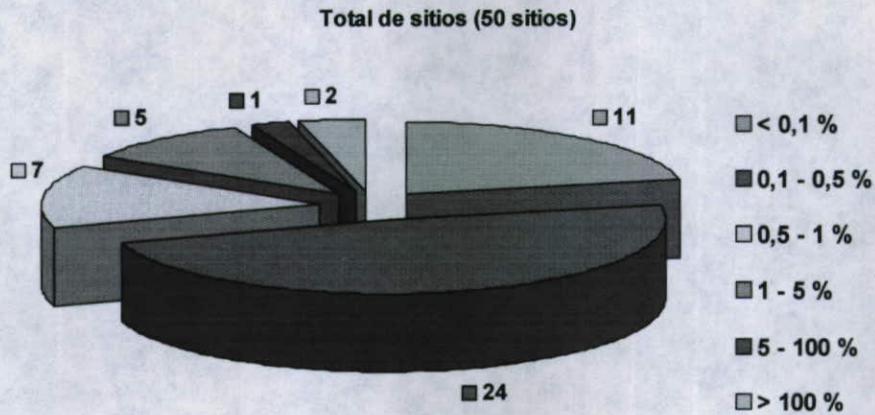


Fig. 26. Valores máximos con respecto a 0.2 mW/cm²

La figura 27 muestra sobre el total de 25 antenas de telefonía celular medidas, los sitios que se encuentran dentro de los rangos indicados de porcentaje con respecto al valor de referencia de 0.2 mW/cm^2 .

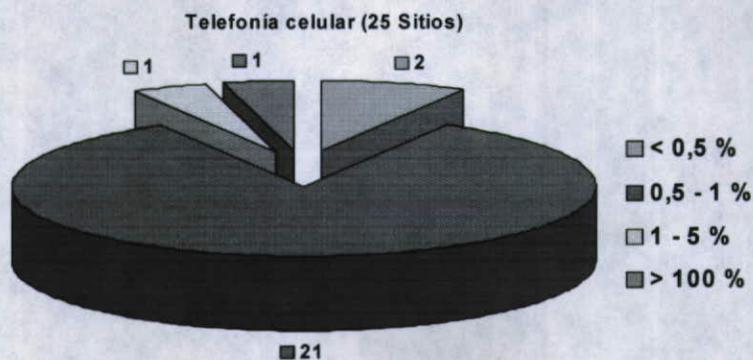


Fig. 27. Valores máximos en antenas de telefonía celular con respecto a 0.2 mW/cm^2

La figura 28 muestra sobre un total de 9 antenas de telefonía fija inalámbrica medidas, los sitios que se encuentran dentro de los indicados rangos de porcentaje del valor de referencia de 0.2 mW/cm^2

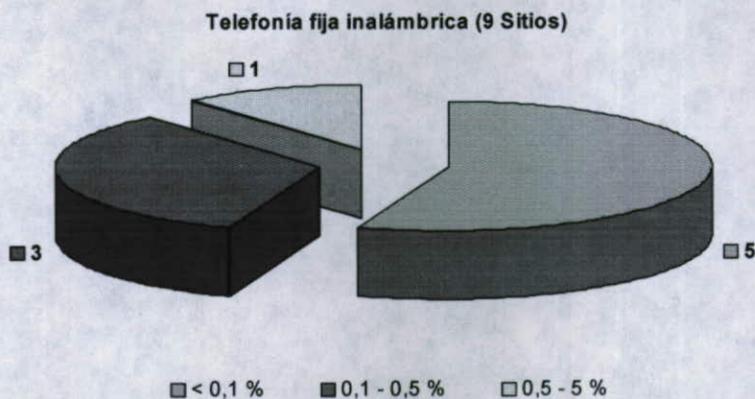


Fig. 28. Valores máximos en antenas de telefonía fija inalámbrica con respecto a 0.2 mW/cm^2

La figura 29 muestra sobre un total de 10 antenas de telefonía celular y telefonía fija inalámbrica medidas los sitios que se encuentran dentro de los indicados rangos de porcentaje del valor de referencia de 0.2 mW/cm²

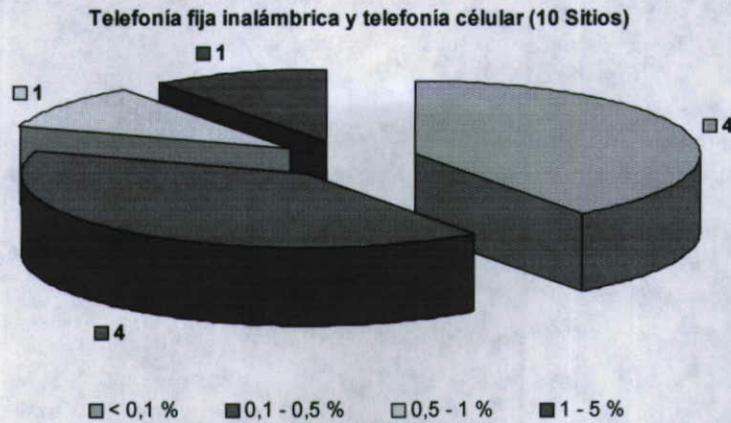


Fig. 29. Valores máximos en antenas de telefonía celular y fija inalámbrica con respecto a 0.2 mW/cm²

La figura 30 muestra sobre un total de 6 sitios con antenas de Radio FM, AM, Radio taxis y sitios con varios tipos de antenas, los lugares que se encuentran dentro de los indicados rangos de porcentaje del valor de referencia de 0.2 mW/cm²

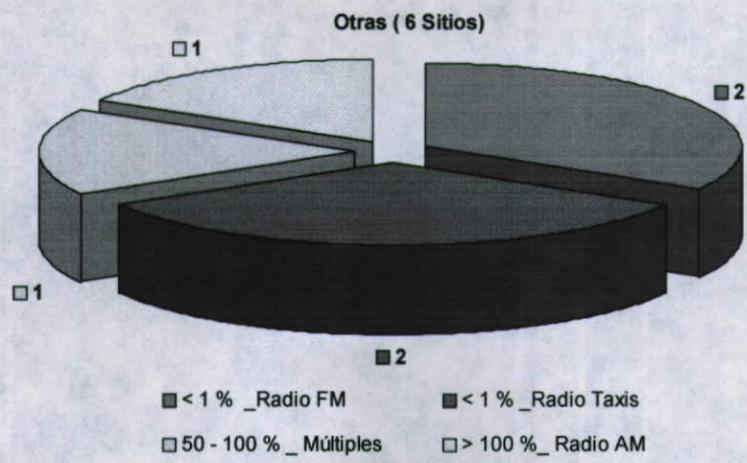


Fig. 30. Valores máximos en otros sitios con respecto a 0.2 mW/cm²

8.3 CASOS ESPECIALES

Durante la medición en los 50 sitios, se encontró que en dos de ellos los valores superaban el nivel de referencia de 0,2 mW/cm². Otro sitio presentó valores significativos, cercanos al límite.

8.3.1 Antena de Telefonía Celular

Se efectuaron mediciones en doce puntos ubicados en la azotea de un edificio, alrededor de varias antenas de telefonía celular que se encontraban en el lugar. Los puntos medidos se indican en la figura 31.

En dos de los doce puntos (7 y 12), los cuales se midieron justo al frente de una de las antenas (ver figura 32), se encontró que los niveles de densidad de potencia superaban el nivel de referencia de 0,2 mW/cm².

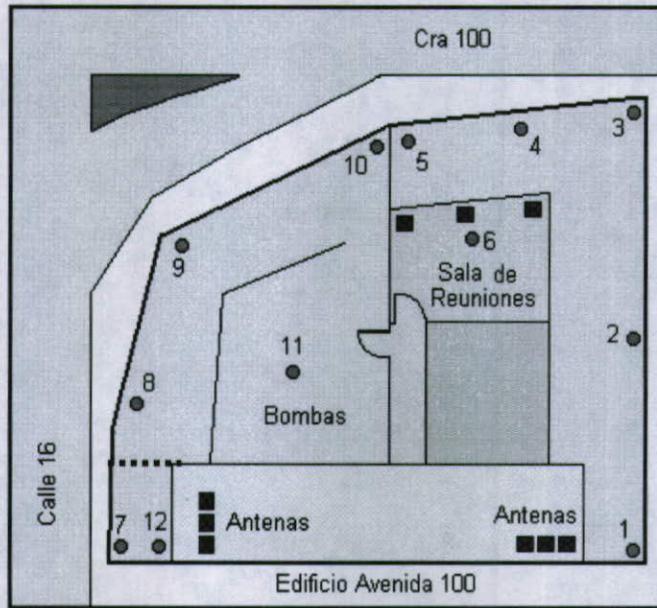


Fig. 31. Vista de planta del sitio de medición

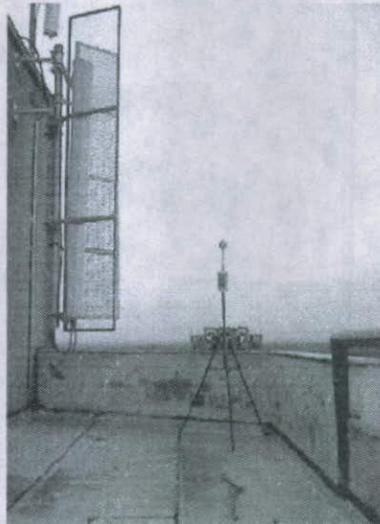


Fig. 32. Punto de medición No. 7

En la figura 33 se muestra el gráfico de los valores promedio y máximos medidos en todos los puntos.

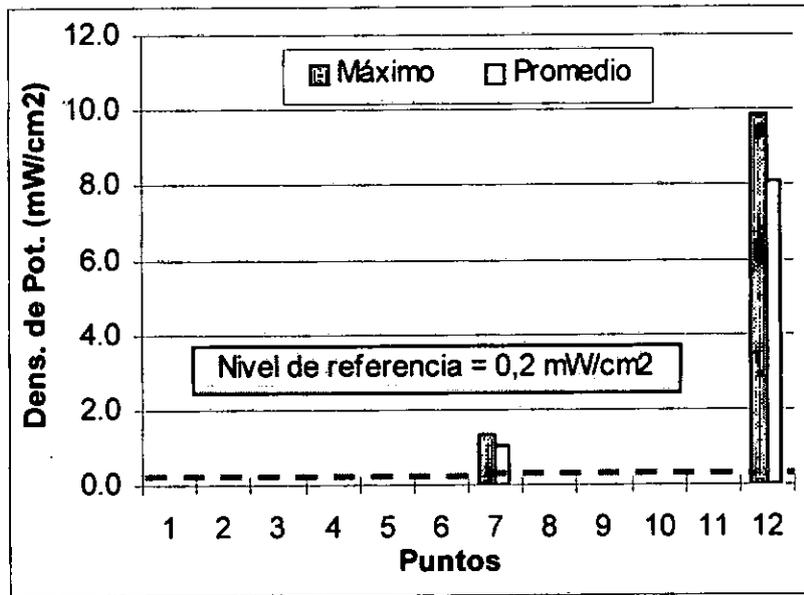


Fig. 33. Valores máximos y promedios de densidad de potencia

En este caso se podrían aplicar dos tipos de soluciones: ubicar la antena en el borde de la azotea o colocar un encerramiento alrededor de esta antena (línea punteada en la figura 31).

8.3.2 Antena de Radio AM

Se midieron 10 puntos a lo largo de dos perfiles de medición (ver figura 34). Debido a la frecuencia de operación del sistema, en cada punto se midió el valor de campo eléctrico y el de campo magnético.

En dos de los puntos de medición (1 y 6), los más cercanos a la antena, los niveles de campo medidos, superaron los límites establecidos en el Decreto Colombiano. En la figura 35 se muestran los valores medidos, promedios y máximos de campo eléctrico y magnético, en todos los puntos.

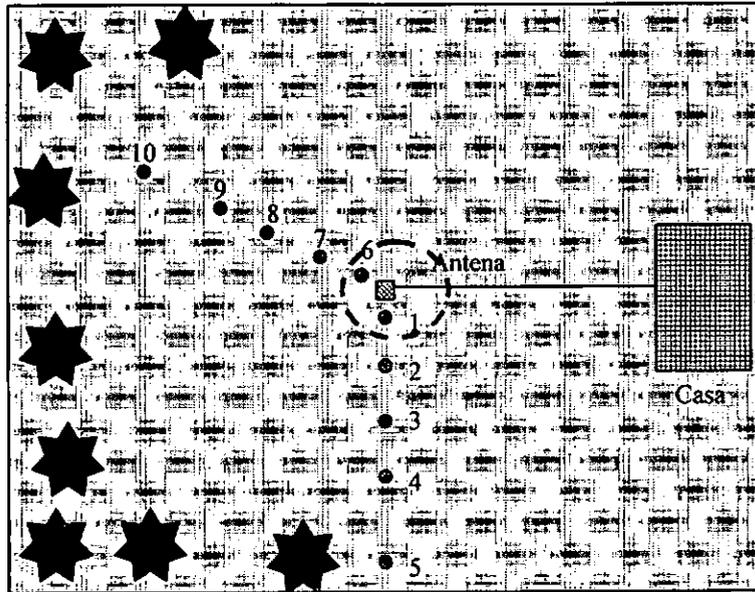
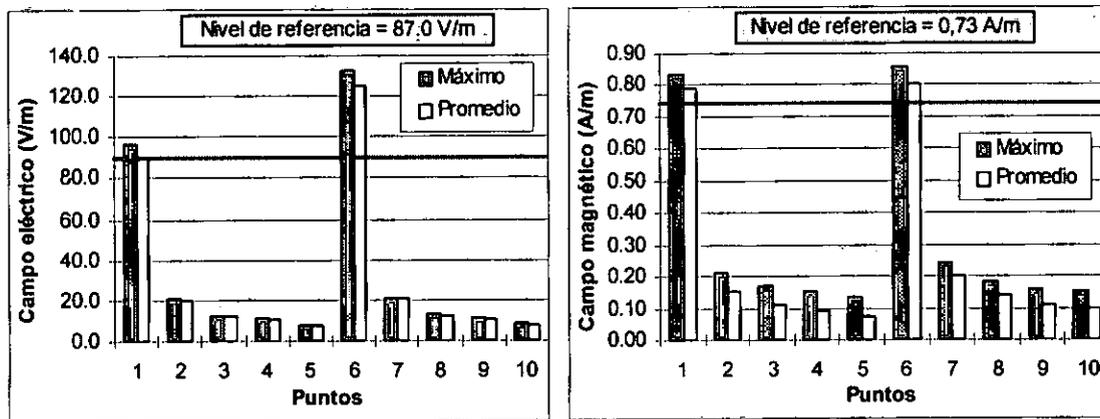


Fig. 34. Vista de planta del sitio de medición



a) Campo eléctrico

b) Campo magnético

Fig. 35. Valores máximos y promedios

En este caso la solución sería restringir el acceso de las personas, colocando alrededor de la antena un encerramiento (línea punteada en la figura 34).

8.3.3 Múltiples Antenas

Se midieron 10 puntos ubicados alrededor de las antenas que se encuentran en el Cerro de las Tres Cruces (ver figura 36).

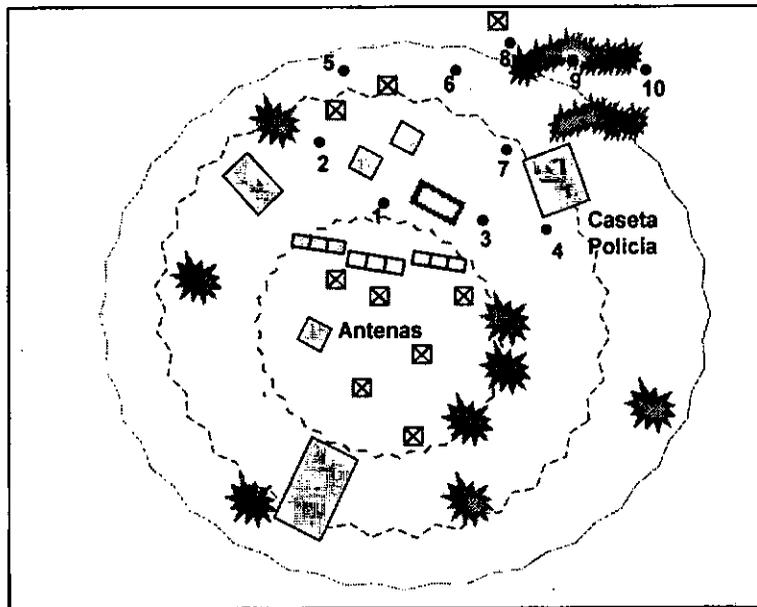


Fig. 36. Vista de planta del sitio de medición

En varios de los puntos medidos, si bien no superan los límites establecidos en el Decreto Colombiano, se encontraron valores bastante cercanos al límite de $0,2 \text{ mW/cm}^2$. En la figura 37 se muestran los valores medidos, promedios y máximos de densidad de potencia, en todos los puntos.

En este caso, se hace necesario evaluar la instalación de nuevas estaciones base, ya que si en el futuro se instalan otras antenas, es muy posible que los valores de densidad de potencia superen la normativa establecida en Colombia.

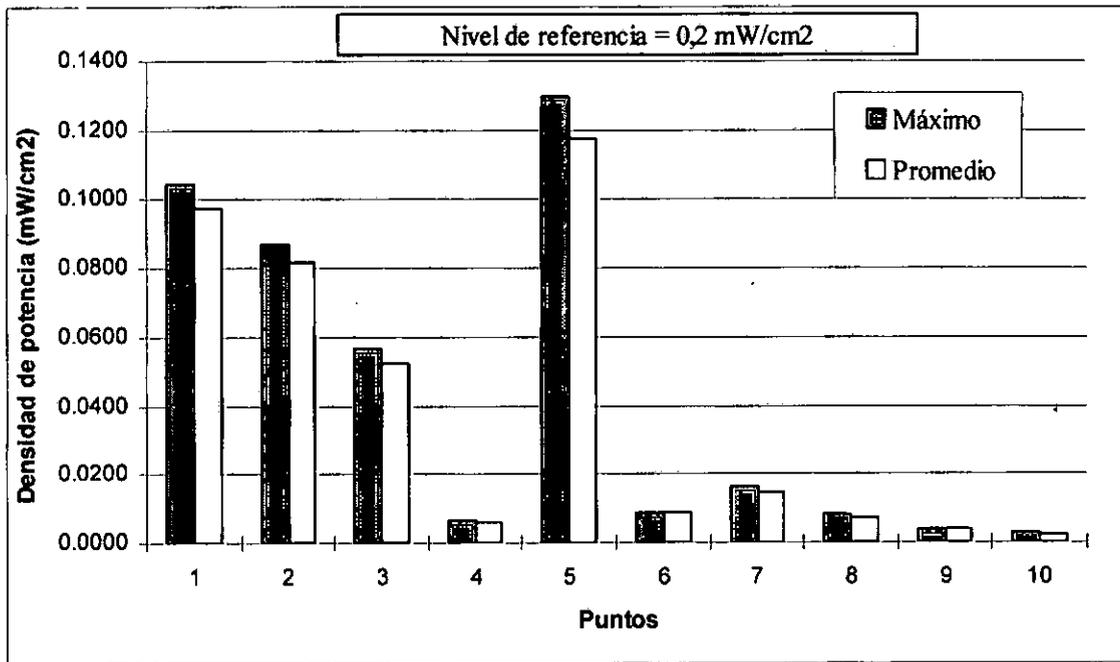


Fig. 37. Valores máximos y promedios de densidad de potencia

8.4 PROCEDIMIENTOS INTERNOS

Con base en los resultados obtenidos durante las etapas de medición y simulación de los campos electromagnéticos producidos por las antenas de telecomunicaciones, se planteó un primer borrador de los Términos de Referencia para la presentación de un Plan de Manejo Ambiental para la instalación de nuevas estaciones radio base de telecomunicaciones en la ciudad de Santiago de Cali.

Estos términos de referencia tienen por objeto regular las condiciones urbanísticas a las que se somete la localización, instalación y funcionamiento de los elementos y equipos de telefonía celular, a fin de

que su implantación genere el mínimo impacto visual y ambiental en el entorno urbano.

Igualmente se inició el desarrollo de un documento que defina los procedimientos a seguir por el DAGMA para atender las quejas de la ciudadanía relacionadas con los campos electromagnéticos de alta frecuencia producidos por las radio bases ubicadas en la ciudad de Cali.

9. CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un procedimiento de medición de campos electromagnéticos producidos por antenas de telecomunicaciones, describiendo los pasos a seguir antes, durante y después de dichas mediciones, con base en normas y recomendaciones internacionales.
- Se evaluaron los niveles de inmisión de densidad de potencia en 50 sitios en la Ciudad de Cali, estos puntos se escogieron tratando de cubrir la totalidad de la ciudad y con base en un listado preliminar entregado por la Personería Municipal.
- De acuerdo con los valores obtenidos, se encontró que en dos de los 50 sitios medidos, los niveles de campo electromagnético superaron los niveles establecidos en el Decreto Colombiano.
- De los 50 sitios medidos, 25 correspondían a sistemas de telefonía celular, de los cuales solo un sitio presentó valores superiores al límite de $0,2 \text{ mW/cm}^2$. En el resto de puntos los valores fueron inferiores al 5% de este valor.
- En 9 sitios de medición, el sistema correspondía a telefonía fija inalámbrica. En todos ellos, los valores encontrados no superaron el 5% del valor límite de $0,2 \text{ mW/cm}^2$.

- De los 50 sitios medidos, 10 correspondían a sistemas de telefonía celular y telefonía fija inalámbrica. En la totalidad de los sitios los valores de densidad de potencia fueron inferiores a $0,2 \text{ mW/cm}^2$.
- En 6 sitios de medición, el sistema correspondía a otros diferentes a los mencionados arriba (radio AM, radio FM, radio taxis y múltiples). En un sitio se encontró que los valores eran superiores al límite de $0,2 \text{ mW/cm}^2$. En todos los demás, los niveles de campo no superaron el 50% del valor límite de $0,2 \text{ mW/cm}^2$.
- Se implementó en la herramienta CellGIS un módulo para generar mapas de niveles de radiación producidos por antenas de telecomunicaciones, que ayuden a limitar la exposición que pueda tener el público en general a los campos electromagnéticos.
- Este módulo permite la evaluación de la sumatoria de todas las fuentes de radiación que aporten al sitio de cálculo y comparar contra los límites establecidos en las recomendaciones y normativas nacionales e internacionales.
- Se planteó un procedimiento inicial, que será adoptado por el DAGMA como normativa interna, para evaluar los proyectos de instalación de nuevas antenas de telecomunicaciones. Igualmente se esbozó otro procedimiento en el que se indican los pasos a seguir para atender las quejas de la ciudadanía relacionadas con los campos electromagnéticos de alta frecuencia.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Campos Electromagnéticos y Salud Pública. Informe técnico elaborado por el comité de expertos. Subdirección general de sanidad ambiental y salud laboral. Dirección general de salud pública y consumo. Ministerio de sanidad y consumo de España, 1999
- [2] Serway Raymond A. Física Tomo II. Ed. Mc Graw Hill, 1994
- [3] Bermudez, José Luis. Compatibilidad Electromagnética - Curso Teórico - Práctico. Escuela Politécnica Federal de Laussane, 2001
- [4] Exposición Humana a Campos Electromagnéticos. Grupo de Ingeniería de Microondas y Radiocomunicaciones. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, España. Noviembre 1999
- [5] Portela Adolfo, Skvarca Jorge, Matute Edgardo, Loureiro Luis. Prospección de radiación electromagnética ambiental no ionizante. Volumen I. Manual de estándares de seguridad para la exposición a radiofrecuencias comprendidas entre 100 KHz y 300 GHz. Dirección nacional de calidad ambiental. Argentina. Año 1988
- [6] Salmerón María José. Radiación, Propagación y Antenas: Para onda larga, onda corta y microondas
- [7] Conceptos básicos de Antenas. Presentación en Power Point. CRT (Comisión de Regulación de Telecomunicaciones)
- [8] Belotserkovski. Fundamentos de antenas. Ed. Marcombo-Boixerau, 1983

- [9] Alvarez, B.; Padula, V.; Saint R.; Muñoz, C. "Reflexiones acerca de la incidencia de los campos electromagnéticos en la salud humana". Página web del Centro Argentino de Estudios de Radiocomunicaciones y Compatibilidad Electromagnética, www.itba.edu.ar/caercem
- [10] Alvarez, B.; Padula, V.; Saint R.; Muñoz, C. "Contaminación Electromagnética: Un problema ecológico?". Página web del Centro Argentino de Estudios de Radiocomunicaciones y Compatibilidad Electromagnética, www.itba.edu.ar/caercem
- [11] Alvarez, B.; Padula, V.; Saint R.; Muñoz, C. "Radiaciones no ionizantes: Campos electromagnéticos generados por sistemas de comunicaciones". Página web del Centro Argentino de Estudios de Radiocomunicaciones y Compatibilidad Electromagnética, www.itba.edu.ar/caercem
- [12] Alvarez, B.; Padula, V.; Saint R.; Muñoz, C. "Radiaciones no ionizantes: Efectos biológicos en las bandas de telefonía celular". Página web del Centro Argentino de Estudios de Radiocomunicaciones y Compatibilidad Electromagnética, www.itba.edu.ar/caercem
- [13] Alvarez, B.; Padula, V.; Saint R.; Muñoz, C. "Campos electromagnéticos: su incremento". Página web del Centro Argentino de Estudios de Radiocomunicaciones y Compatibilidad Electromagnética, www.itba.edu.ar/caercem
- [14] Manual de operación del medidor de campo electromagnético, EMR-300 de la marca NARDA.
- [15] Resolución CNC N° 269/2002 de la Comisión Nacional de Comunicaciones de la República de Argentina (Protocolo para la Medición de Radiaciones No Ionizantes)

- [16] IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz. IEEE Std C95.1,1999
- [17] UIT-T K.52 "Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos"
- [18] Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), 1998
- [19] Decreto 195 del 31 de Enero de 2005. (Norma Colombiana)
- [20] Estudio de los límites de la exposición humana a campos electromagnéticos producidos por antenas de telecomunicaciones y análisis de su integración al entorno. Comisión de Regulación de Telecomunicaciones - CRT. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería departamento de electrónica. Bogotá D.C, Mayo 27 de 2002
- [21] Resolución 001645 del 29 de julio de 2005. Por la cual se reglamenta el Decreto 195 de 2005
- [22] Páginas web:
<http://www.who.int>
<http://www.itba.edu.ar/caercem>
<http://www.bahiablanca.gov.ar/ciudadan>
<http://www.gr.ssr.upm.es/antenas/>
<http://www.monografias.com/trabajos6/ante/>
http://www.upv.es/satelite/trabajos/Grupo9_99.00/antenas.htm
<http://aransa.upc.es/ffetsi/Apuntes>
http://prof.usb.ve/jaller/Guia_Maq_pdf
<http://www.icnirp.de/documents>
http://www.setsi.mcyt.es/movil/as_sanit