



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE  
SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo**

**TESIS DE GRADO**

**Previo a la obtención del Título:**

**Ingeniero en Telecomunicaciones  
con Mención en Gestión Empresarial**

**TEMA:**

**Estudio del nivel de RF en Cerro Azul y su incidencia en el  
medio ambiente**

**REALIZADO POR:**

Darío Vladimir Romero Hidalgo

Ana Andrea Zumba Quezada

**DIRECTOR:**

Ing. Luzmila Ruilova

**Guayaquil – Ecuador**

**2009 – 2010**



## **TESIS DE GRADO**

TEMA:

**Estudio del nivel de RF en Cerro Azul y su incidencia en el medio ambiente**

**Presentada a la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo,  
Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad  
Católica de Santiago de Guayaquil**

**REALIZADO POR:**

Darío Romero Hidalgo

Andrea Zumba Quezada

Para dar cumplimiento con uno de los requisitos para optar por el título de:  
**Ingeniero en Telecomunicaciones con Mención en Gestión Empresarial**

Ing. Luzmila Ruilova  
Director de Tesis

Ing.....

Ing.....

**Vocal**

**Vocal**

**Ing. Héctor Cedeño**  
**Decano de la Facultad**

**Ing. Pedro Tutivén**  
**Director de Carrera**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el proyecto de grado titulado “**Estudio del nivel de RF en Cerro Azul y su incidencia en el medio ambiente**”, desarrollado por Darío Romero Hidalgo y Andrea Zumba Quezada fue realizado, corregido y terminado, razón por la cual está apto para su presentación y sustentación.

**Ing. Luzmila Ruilova**  
**DIRECTORA DE TESIS**

## **DEDICATORIA**

*Con todo el cariño y esfuerzo que hemos puesto en este trabajo, se lo dedicamos a Dios, a nuestros padres y a personas que nos han apoyado a lo largo de nuestra vida universitaria.*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a todas aquellas personas que nos han ayudado para que este trabajo de investigación haya alcanzado los objetivos trazados.

A nuestra Directora de Tesis Ing. Luzmila Ruilova por todo su esfuerzo y colaboración en todo momento para con nosotros.

Al profesor, Ing. Manuel Romero por habernos guiado y motivado para seguir adelante con nuestro trabajo.

Y principalmente a nuestros padres, por la paciencia y el apoyo que nos han dado durante todos estos años para poder culminar esta gran etapa de nuestras vidas.

# INDICE

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS.....	XI
INTRODUCCION.....	XVI
ANTECEDENTES.....	XVII
JUSTIFICACION.....	XVIII
DEFINICION DEL PROBLEMA.....	XIX
HIPOTESIS.....	XIX
OBJETIVOS GENERALES.....	XIX
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	XX

## CAPITULO 1

### CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

1.1	Características físicas de los campos electromagnéticos.....	1
1.1.1	Campo Eléctrico.....	1
1.1.2	Campo Magnético.....	3
1.2	Ondas y Radiación.....	5
1.2.1	Campos Cercanos (Región de Fresnel).....	9
1.2.2	Campos Lejanos (Región de Fraunhofer).....	11
1.2.3	El Espectro Electromagnético.....	12
1.2.4	Tipos de radiación.....	14

1.2.5	Interacción de los Campos Electromagnéticos con el Tejido Biológico.....	15
1.2.6	Interacción de los Campos Electromagnéticos de Radiofrecuencia con el Tejido Biológico.....	16

## **CAPITULO 2**

### **EFFECTOS BIOLOGICOS Y EN LA SALUD**

2.1	Valores a los que estamos sometidos.....	23
2.1.1	Fuentes Naturales.....	23
2.1.2	Fuentes Artificiales.....	23
2.2	Efectos Sobre La Salud.....	25
2.3	Cáncer y Exposición a Campos de RF.....	28
2.4	Efectos de las Radiaciones No Ionizantes .....	30
2.4.1	Los Efectos térmicos.....	30
2.4.2	Los Efectos no-térmicos.....	31
2.4.2.1	La Proliferación celular.....	31
2.4.2.2	Flujo de iones de calcio.....	32
2.4.2.3	Ornitina Decarboxilasa (ODC) y Poliaminas.....	32
2.4.2.4	Melatonina.....	33
2.4.2.5	Los Efectos en Membranas celulares.....	33
2.4.2.6	Efectos en el Sistema Nervioso central.....	34
2.4.2.7	Efectos sobre comportamiento.....	34
2.4.2.8	Mecanismos de Acción.....	35

2.4.2.9	Daño genético.....	35
2.4.2.10	Cáncer.....	36

### **CAPITULO 3**

#### **REGULACIÓN**

3.1	Recomendaciones ICNIRP.....	37
3.1.1	Restricciones básicas.....	37
3.1.2	Niveles de Referencia.....	38
3.1.2.1	Niveles de referencia para corrientes inducidas por contacto.....	41
3.1.2.2	Exposición a frecuencias múltiples.....	42
3.2	Estándar IEEE para Exposición Humana a los Campos de Radio Frecuencia Electromagnetica, 3 Khz A 300 Ghz.....	46
3.2.1	Restricciones Básicas y Exposición Máxima Permisible para frecuencias entre 3kHz – 5MHz.....	46
3.2.2	Restricción Básica y Exposición Máxima Permisible para frecuencias entre 100 kHz y 3 GHz.....	48
3.3	LA RECOMENDACIÓN UIT-T K-52 (Orientación Sobre el Cumplimiento de los Limites de Exposición de las Personas a los Campos Electromagnéticos)..	51
3.3.1	Emisiones No Intencionales.....	52
3.3.2	Emisiones Intencionales.....	52
3.3.3	Procedimientos de Evaluación de la Exposición a los CEM.....	52
3.3.4	Procedimiento de Evaluación del Nivel de Exposición.....	53



3.4	RECOMENDACIÓN UIT-T K.61 (Directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen los límites de exposición de las personas).....	54
3.4.1	Situaciones típicas.....	55
3.4.2	Apantallamiento y dispersión.....	57
3.4.3	Variabilidad de la fuente.....	58
3.4.4	Métodos de cálculo.....	59
3.5	Procedimiento de Medición y Control.....	60
3.5.1	Método de medición.....	60
3.5.2	Cálculo para el estudio técnico de emisiones de RNI (Cálculo de la distancia de seguridad).....	62
3.5.3	Delimitación de Áreas Controladas.....	64
3.5.4	Modificación de las Estaciones Radioeléctricas fijas instaladas.....	65

## **CAPITULO 4**

### **ANALISIS PRELIMINAR DEL SITIO**

4.1	Identificación del sitio.....	67
4.2	Propagación.....	68
4.2.1	Cartas Topográficas.....	68
4.2.2	Perfil Topológico.....	69
4.3	Identificación de las zonas de cobertura de la antena.....	74
4.4	Barridos de frecuencia.....	75

4.4.1	Análisis en el rango: 5925-6425 MHz.....	75
4.4.2	Análisis en el rango: 6425-7110 MHz.....	77
4.4.3	Análisis en el rango: 7110-7500 MHz.....	78
4.4.4	Análisis en el rango: 7500-7900 MHz.....	80
4.4.5	Análisis en el rango: 7900-8500 MHz.....	81
4.5	Determinación de la ruta y puntos de estudio.....	82
4.6	Configuración del equipo usado para el trabajo de campo.....	85

## **CAPITULO 5**

### **MEDICIONES**

5.1	Trabajo de Campo: Adaptación de los Resultados de las Mediciones de Potencia en el Área de Incidencia.....	87
5.2	Primera Fase de Mediciones.....	88
5.3	Análisis de las Primeras Mediciones.....	91
5.4	Segunda Fase de Mediciones.....	93
5.5	Análisis de las Segundas Mediciones.....	95

CONCLUSIONES.....	97
-------------------	----

RECOMENDACIONES.....	98
----------------------	----

GLOSARIO.....	100
---------------	-----

BIBLIOGRAFIA.....	106
-------------------	-----

## INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

### CAPITULO 1: CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Figura 1.1	Visualización del Campo Eléctrico.....	2
Figura 1.2	Campo Magnético.....	5
Figura 1.3	Onda Electromagnética y sus principales características físicas.....	6
Figura 1.4	Región de Fresnel.....	9
Tabla 1.1	Espectro Radioeléctrico.....	12

### CAPITULO 2: EFECTOS BIOLÓGICOS Y EN LA SALUD

Figura 2.1	Campos Electromagnéticos del sol.....	23
Figura 2.2	Fuentes RF en el medio ambiente.....	24
Figura 2.3	Efectos sobre humanos.....	26
Figura 2.4	Relación cáncer-ondas electromagnéticas.....	29

### CAPITULO 3: REGULACIÓN

Figura 3.1.	Ilustración figurada de las zonas de exposición.....	53
Figura 3.2	Apantallamiento y Dispersión.....	57
Figura 3.3	Esquema de Zonas.....	62
Figura 3.4	Distancia a emisor.....	63
Figura 3.5	Señalizaciones.....	65
Tabla 3.1	Restricciones básicas para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos para frecuencias hasta 10GHz.....	38

Tabla 3.2	Restricciones básicas para la densidad de potencia para frecuencias entre 10 y 300 GHz.....	38
Tabla 3.3	Niveles de referencia ICNIRP – Exposición Poblacional.....	40
Tabla 3.4	Límites máximos permisibles ICNIRP – Exposición Ocupacional.....	41
Tabla 3.5	Niveles de Referencia corrientes de contacto variables en el tiempo provenientes de objetos conductores (f= frecuencia en KHz).....	42
Tabla 3.6	Niveles de Referencia para corrientes inducidas en cualquier extremidad a frecuencias entre 10 y 110 MHz.....	42
Tabla 3.7	Restricciones básicas para exposición del público en general de los principales sistemas de telecomunicaciones.....	45
Tabla 3.8	Niveles de referencia para exposición del público en general de los principales sistemas de telecomunicaciones.....	46
Tabla 3.9	Restricciones básicas en varias regiones del cuerpo.....	47
Tabla 3.10	Exposición Máxima Permisible en cabeza y torso: f = 3 kHz a 5 MHz (f esta expresado en KHz).....	47
Tabla 3.11:	Exposición Máxima Permisible Extremidades: f = 3 kHz a 5 MHz (f esta expresado en kHz).....	47
Tabla 3.12	Exposición Máxima Permisible de Campo Eléctrico – exposición en todo el cuerpo humano f = 3 kHz a 100 kHz.....	48
Tabla 3.13:	Restricciones básicas para frecuencias entre 100 kHz y 3 GHz.....	49
Tabla 3.14	Exposición máxima permisible para el nivel superior (personas en ambientes controlados).....	50
Tabla 3.15	Nivel de Acción (MPE para el público general cuando un programa de seguridad RF es inasequible.....	50

Tabla 3.16	Niveles de acción de exposición máximos permisibles para servicios y sistemas de telecomunicaciones.....	51
------------	--	----

Tabla 3.17	Selección de técnicas numéricas.....	59
------------	--------------------------------------	----

#### **CAPITULO 4: ANALISIS PRELIMINAR DEL SITIO**

Figura 4.1	Sitio de Estudio.....	67
------------	-----------------------	----

Figura 4.2	Vista satelital del Área y Azimut.....	69
------------	--	----

Figura 4.3	Azimut 0°.....	69
------------	----------------	----

Figura 4.4	Azimut 30°.....	70
------------	-----------------	----

Figura 4.5	Azimut 60°.....	70
------------	-----------------	----

Figura 4.6	Azimut 90°.....	70
------------	-----------------	----

Figura 4.7	Azimut 120°.....	71
------------	------------------	----

Figura 4.8	Azimut 150°.....	71
------------	------------------	----

Figura 4.9	Azimut 180°.....	71
------------	------------------	----

Figura 4.10	Azimut 210°.....	72
-------------	------------------	----

Figura 4.11	Azimut 240°.....	72
-------------	------------------	----

Figura 4.12	Azimut 270°.....	72
-------------	------------------	----

Figura 4.13	Azimut 300°.....	73
-------------	------------------	----

Figura 4.14	Azimut 330°.....	73
-------------	------------------	----

Figura 4.15	Cobertura de la Antena.....	74
-------------	-----------------------------	----

Figura 4.16	Polarización Horizontal 5925-6425 MHz.....	76
-------------	--	----

Figura 4.17	Polarización Vertical 5925-6425 MHz.....	77
-------------	--	----

Figura 4.18	Polarización Horizontal 6425-7110 MHz.....	77
Figura 4.19	Polarización Vertical 6425-7110 MHz.....	78
Figura 4.20	Polarización Horizontal 7110-7500 MHz.....	78
Figura 4.21	Polarización Vertical 7110-7500 MHz.....	79
Figura 4.22	Polarización Horizontal 7500-7900 MHz.....	80
Figura 4.23	Polarización Vertical 7500-7900 MHz.....	80
Figura 4.24	Polarización Horizontal 7900-8500 MHz.....	81
Figura 4.25	Polarización Vertical 7900-8500 MHz.....	81
Figura 4.26	Zona de estudio.....	82
Figura 4.27	Ruta de Estudio.....	83
Figura 4.28	Puntos de Medición.....	84
Figura 4.29	Puntos de Medición en Periferia del Cerro.....	85
Figura 4.30	Narda NBM-550.....	86

## **CAPITULO 5: MEDICIONES**

Figura 5.1	Variación de densidad de potencia en primeras mediciones.....	90
Figura 5.2	Delimitación de Zonas.....	92
Figura 5.3	Densidad de antenas de Radio y Televisión.....	93
Figura 5.4	Variación de densidad de potencia en segundas mediciones.....	95
Tabla 5.1	Conversión de unidades.....	88
Tabla 5.2	Primeras mediciones de Densidad de Potencia.....	89

Tabla 5.3	Intensidad de Campo Eléctrico y Magnético.....	90
Tabla 5.4	Exposición Ocupacional.....	91
Tabla 5.5	Exposición Poblacional.....	91
Tabla 5.6	Segundas mediciones de Densidad de Potencia.....	94
Tabla 5.7	Intensidad de Campo Eléctrico y Magnético.....	94

## **INTRODUCCION**

Los avances tecnológicos en la actualidad, han conllevado a implementar gran cantidad de antenas transmisoras siendo estas la base fundamental en donde se desarrollan nuevas tendencias aplicadas en la modernización del campo de las Telecomunicaciones.

El desarrollo de los equipos transmisores de RF (Radio frecuencia) ha revolucionado el campo de las comunicaciones inalámbricas y la gestión de la información. El desarrollo de estas tecnologías ha permitido el aumento de accesibilidad de comunicación a sitios remotos y a reducir costos en la instalación y mantenimiento de sistemas. Al mismo tiempo, ofrecen cada vez más mayor velocidad y fiabilidad. Otro avance importante es la digitalización de las señales, proceso en el cual la frecuencia y la amplitud de una señal se codifica digitalmente mediante técnicas de muestreo adecuadas, es decir, técnicas para medir la amplitud de la señal a intervalos muy cortos, para posteriormente transmitir a nivel de RF.

Con estos antecedentes, se considera necesaria la realización de un estudio para determinar el grado de afectación que estos sistemas causan progresivamente a sitios copados de transmisores en la ciudad de Guayaquil tal como lo es Cerro Azul, aprovechando la circunstancia de que la Facultad Técnica para el Desarrollo cuenta con convenios con entidades reguladoras del espectro electromagnético en nuestro país, sobre el cual se hará el respectivo estudio.

Para registrar los valores medidos y el control remoto de las funciones incorporadas en los sistemas, se utilizará instrumentos de medición y un estudio de la propagación de la señal en el sector para identificar las zonas de mayor contaminación de RF, y así comparar y demostrar las afectaciones que pudiéramos encontrar en el sitio.

Se ha propuesto dejar a la Facultad Técnica, las herramientas necesarias para la aplicación futura, para que los estudiantes puedan desarrollar prácticas en el área de propagación y conozcan los métodos necesarios para mediciones de RF.



Por ello se entregará un software para estudios de propagación y documentos detallados de normas y regulaciones establecidas para el control de radiación en el medio ambiente, los cuales serán de gran ayuda a los profesores y de gran complemento académico a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones. Con todo esto, se pretende contribuir con la universidad para su desarrollo en el campo técnico y en los avances tecnológicos en el que se encuentra inmerso nuestro medio. Esta es una manera práctica de agradecer a la institución por todo la ayuda brindada a lo largo de nuestra carrera a nivel profesional.

## **ANTECEDENTES**

La humanidad desde los primeros años ha estado expuesta a muchas fuentes naturales de energía electromagnética existentes en el ambiente. Sin embargo, desde inicios del siglo pasado han proliferado las fuentes artificiales, tales como transmisores de radio y televisión, enlaces de telecomunicaciones y satélites, así como los teléfonos celulares y las estaciones base.

La exposición continua y prolongada de un tejido a niveles de potencia muy elevados de RF (Radiofrecuencia) produce un calentamiento, que según el nivel de energía, puede ser perjudicial. Entonces, la cercanía a una fuente de RF con niveles de potencia elevados puede producir daños en los tejidos, especialmente cuando la capacidad de termorregulación corporal es incapaz de disipar el calor producido por esa fuente.

Los campos magnéticos de frecuencia baja inducen corrientes circulantes en el organismo. La intensidad de estas corrientes depende de la intensidad del campo magnético exterior. Si es suficientemente intenso, las corrientes podrían estimular los nervios y músculos o afectar a otros procesos biológicos.

Los niveles de campos de radiofrecuencia a los que normalmente están expuestas las personas son mucho menores que los necesarios para producir un calentamiento significativo. Las directrices actuales se basan en el efecto calefactor de las ondas de

radio. Los científicos están investigando también la posibilidad de que existan efectos debidos a la exposición a largo plazo a niveles inferiores al umbral para el calentamiento del organismo.

No se pone en cuestión que por encima de determinados umbrales los campos electromagnéticos puedan desencadenar efectos biológicos. Según experimentos realizados con voluntarios sanos, la exposición a corto plazo a los niveles presentes en el medio ambiente o en el hogar no produce ningún efecto perjudicial manifiesto. La exposición a niveles más altos, que podrían ser perjudiciales, está limitada por directrices nacionales e internacionales. La controversia que se plantea actualmente se centra en si bajos niveles de exposición a largo plazo pueden o no provocar respuestas biológicas e influir en el bienestar de las personas.

Algunas personas han atribuido un conjunto difuso de síntomas a la exposición de baja intensidad a campos electromagnéticos en el hogar. Los síntomas notificados incluyen dolores de cabeza, ansiedad, suicidios, depresiones, náuseas, fatiga y pérdida de la libido.

## **JUSTIFICACIÓN**

La elección de este tema se originó debido a la problemática radioeléctrica que existe en el medio ambiente, ya sea debido a efectos biológicos, técnicos y tecnológicos de diferentes dispositivos de telecomunicaciones que abundan en la ciudad de Guayaquil y que requiere de un estudio crítico para así colaborar con la sociedad.

Este tema está enfocado en estudios, investigaciones y mediciones realizadas en el Cerro Azul ubicado en la ciudad de Guayaquil, debido a que esta es un área muy copada de antenas para transmisión a diferentes frecuencias y cada año el número de las mismas aumenta considerablemente sin tener en cuenta los daños que esto podría producir a los sectores periféricos del cerro. Por otro lado, se considera que no se ha realizado un estudio a profundidad sobre este tema, y se ha decidido obtener la suficiente información

para preparar una completa investigación basada en los cálculos y mediciones que se ejecutaron.

Gracias a los convenios que la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil tiene con la Superintendencia de Telecomunicaciones, se facilitaron equipos de mediciones y documentos que apoyen este estudio, y se considera que se debe aprovechar dichos beneficios para la investigación y ponerla a disposición de los estudiantes.

## **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

La carencia de pruebas y de un estudio a profundidad acerca del nivel de Radio Frecuencia en Cerro Azul y su incidencia en el medio ambiente impiden determinar si los daños que las emisiones de las antenas podrían producir a los sectores periféricos del cerro.

## **HIPOTESIS**

La realización de un estudio de campo en el área de Cerro Azul incluyendo la zona periférica de esta y la obtención de datos técnicos de las diferentes antenas instaladas en el sector permitirían determinar las soluciones al problema anteriormente definido, puesto que dichos datos ayudarán a calcular si existen niveles de radiación más allá de los permitidos.

## **OBJETIVO GENERAL**

Identificar los problemas que ocasionan las RNI (Radiaciones no ionizantes) en el Sector de Cerro Azul para posteriormente planificar y proponer recomendaciones y posibles soluciones para aportar con la sociedad.

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Recopilar información acerca de la propagación de ondas electromagnéticas, su influencia en la salud humana y la regulación de dichos parámetros.
2. Hacer las respectivas mediciones de parámetros como campo eléctrico, campo magnético y densidad de potencia.
3. Vincular datos encontrados con los límites detallados en los reglamentos de protección de emisiones de radiación especificados por la CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones).
4. Proyectar las diferentes soluciones a los problemas encontrados en nuestro estudio.

## **CAPITULO 1**

### **CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS**

Para la realización de este trabajo es necesario conocer los principios del electromagnetismo, así como la teoría de propagación de ondas en el espacio y su incidencia en áreas cercanas y lejanas a la fuente para tener una noción clara de los parámetros que podrían afectar al medio ambiente. Además de un estudio del espectro radioeléctrico, tipos de radiación y su interacción con tejidos biológicos y conocer de esta manera los daños que estos pueden producir.

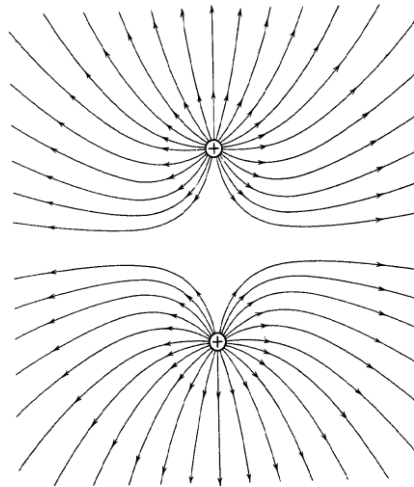
#### **1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS**

En la actualidad, diferentes tipos de aplicaciones y productos industriales hacen uso de la energía electromagnética. Una forma de esta energía, cuya importancia es cada vez más significativa en todo el mundo, la constituye la radiofrecuencia (RF), dentro de la que se incluyen las ondas de radio y las microondas, hoy en día ampliamente utilizadas en telecomunicaciones, radiodifusión y otros servicios. Las emisiones de RF pueden ser estudiadas en términos de energía, radiación o campo. La radiación se define como la propagación de la energía a través del espacio en forma de ondas o partículas. Esta radiación electromagnética puede entenderse como el conjunto de ondas eléctricas y magnéticas que conjuntamente se desplazan por el espacio y son generadas por el movimiento de cargas eléctricas que puede tener lugar en un objeto metálico conductor, como una antena.

##### **1.1.1 Campo Eléctrico**

Las cargas eléctricas se atraen o se repelen de acuerdo a sus signos ejerciendo fuerzas mutuas entre ellas, siendo el campo eléctrico el parámetro básico que permite describir esta interacción. El campo eléctrico  $E$  es una cantidad vectorial que se debe especificar en magnitud y dirección. Un sistema de cargas eléctricas produce un campo eléctrico en todos

los puntos del espacio y cualquier otra carga colocada en el campo experimentará una fuerza debido a dicho campo; pero también podría haber un efecto de la carga sobre el campo pudiendo distorsionarlo si la carga es lo suficientemente grande. En la Figura 1.1 se presenta la Visualización del Campo Eléctrico.



**Figura 1.1 Visualización del Campo Eléctrico**

La fuerza  $F$  ejercida sobre un punto de un cuerpo infinitamente pequeño conteniendo una carga  $q$  positiva colocada en un campo eléctrico  $E$  está dado por:

$$F=qE \quad (1.1)$$

Sin embargo la intensidad de campo eléctrico puede expresarse también en términos del potencial eléctrico  $V$  que con frecuencia es más fácil y más útil medir, debido a que es mucho menos dependiente de la geometría física de un sistema dado (ej. la ubicación y los tamaños de los conductores).

La diferencia de potencial  $V$  entre dos puntos en un campo eléctrico  $E$  está definido por  $V=W/q$ , donde  $W$  es el trabajo realizado por el campo para causar el movimiento de una carga  $q$  entre dos puntos. El trabajo realizado es  $W=Fd$ , donde  $d$  es la separación entre los dos puntos; lo que utilizando la ecuación (1.1) da  $W=qEd$ .

De  $V=W/q$ , se deduce que:

$$E=V/d \quad (1.2)$$

En la práctica la unidad utilizada para la intensidad de campo eléctrico es el voltio por metro (V/m). Los campos eléctricos tal como se puede ver en la ecuación (1.1) ejercen fuerzas sobre partículas cargadas. En un material eléctricamente conductivo, tal como el tejido viviente, estas fuerzas originarán cargas en movimiento que provocarán que fluya una corriente eléctrica.

La corriente eléctrica puede ser expresada en términos de la intensidad de corriente  $I$  que es el flujo de cargas por la sección del conductor; pero frecuentemente es especificada por la densidad de corriente  $J$ , que es un parámetro más informativo y expresa la magnitud de la corriente que fluye a través de una unidad de superficie perpendicular a su dirección y es directamente proporcional a  $E$  en una amplia variedad de materiales. Por lo tanto:

$$J=\sigma E \quad (1.3)$$

La unidad SI (Sistema internacional) de la densidad de corriente es el amperio por metro cuadrado ( $A/m^2$ ) y  $\sigma$  es la conductividad eléctrica del medio cuya unidad es el siemens por metro (S/m).

### **1.1.2 Campo Magnético**

Los campos magnéticos también son producidos por cargas eléctricas, pero solo cuando estas cargas están en movimiento. Los campos magnéticos a su vez ejercen fuerzas sobre otras cargas, solo cuando están en movimiento. Las cantidades vectoriales fundamentales que describen un campo magnético son la intensidad de campo magnético  $H$  y la densidad de flujo magnético  $B$  (también llamada inducción magnética).

La magnitud de la fuerza  $F$  que actúa sobre una carga eléctrica  $q$  en movimiento con una velocidad  $v$  en dirección perpendicular a un campo magnético de densidad de flujo  $B$  está dado por:

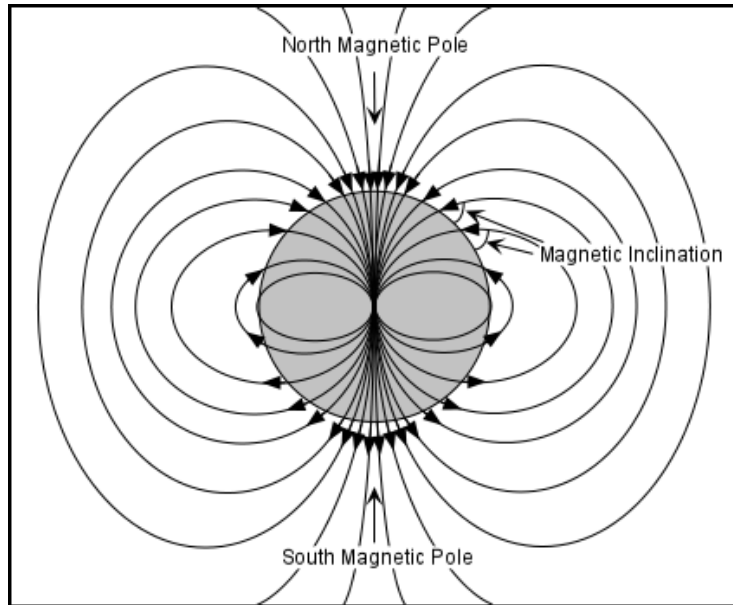
$$F=qvB \quad (1.4)$$

Donde la dirección de  $F$ ,  $v$  y  $B$  son mutuamente perpendiculares. En el caso de que la dirección de  $v$  fuera paralela a  $B$ ,  $F$  sería cero, lo que significa que un campo magnético no realiza un trabajo físico porque la fuerza de Lorentz, generada por su interacción con una carga en movimiento es siempre perpendicular a la dirección del movimiento. Las unidades básicas de la densidad de flujo magnético son derivadas a partir de la ecuación dando como resultado para el sistema MKS el Newton segundo por Coulomb metro (N s/C m) que de acuerdo al SI es el tesla (T) y la unidad CGS (sistema cegesimal de unidades) es el Gauss que equivale a  $10^{-4}$  T.

La intensidad de campo magnético  $H$  es la fuerza con la cual el campo actúa sobre un elemento de corriente situada en un punto en particular. El valor de  $H$  es medido en amperio por metro (A/m).

La densidad de flujo magnético  $B$  es un parámetro más completo porque incluye propiedades del medio expuesto por lo que generalmente es usada para describir el campo magnético generado por las corrientes que fluyen en los conductores (donde  $B=\mu H$ ). El valor de  $\mu$  (la permeabilidad magnética) es determinado a partir de las propiedades del medio. En la Figura 1.2 se muestra el patrón de radiación de un campo magnético.





**Figura 1.2 Campo Magnético**

## **1.2 ONDAS Y RADIACIÓN**

Las ecuaciones de Maxwell son el fundamento de la teoría clásica de los campos electromagnéticos. Estas ecuaciones son muy poderosas y son la base de la teoría de la propagación de las ondas electromagnéticas, en el espacio libre, en el aire, en el agua y en la tierra, en líneas de transmisión, en guías de ondas y explican el funcionamiento de las antenas, pero para la propagación en sistemas complejos, tales como los cuerpos de seres humanos y de animales, son difíciles de resolver.

Un tipo de las soluciones de las ecuaciones de Maxwell son las ecuaciones de ondas de los campos eléctricos y magnéticos. Cuando las cargas o corrientes fuentes de las ondas oscilan y la frecuencia de oscilación es suficientemente alta, los campos  $E$  y  $H$  producidos serán irradiados, es decir se radiopropagarán.

Las ideas básicas de la propagación de onda están ilustradas en la Figura 1.3. La distancia entre las crestas o entre los valles de una onda sinusoidal es definida como la longitud de onda, y usualmente es denotada por  $\lambda$ .

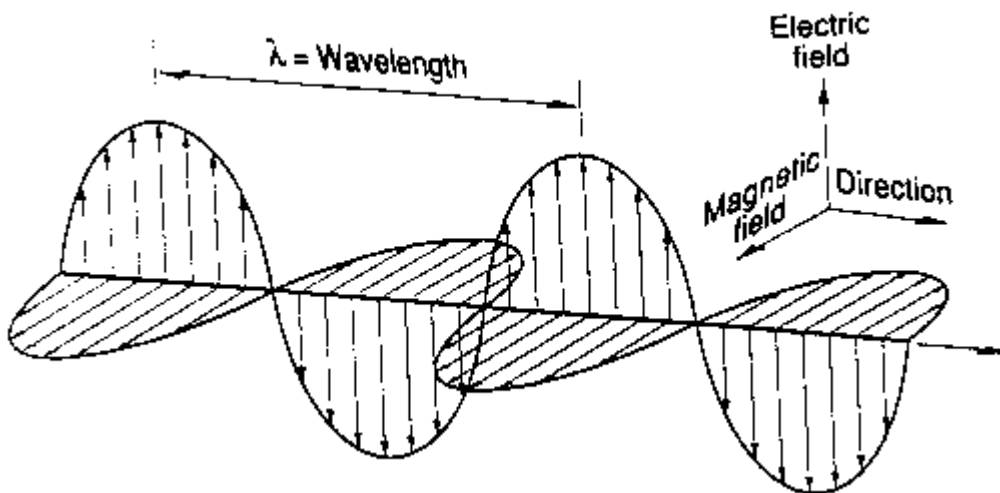
La longitud de onda y la frecuencia (el número de ondas que pasan a través de un punto dado en una unidad de tiempo), denotado por  $f$ , están relacionadas y determinan las características de radiación electromagnética. La frecuencia, la longitud de onda y la velocidad de propagación están relacionadas y a excepción de la frecuencia dependen de las características eléctricas del medio en que la onda se propaga.

$$\lambda = v/f \quad (1.5)$$

Donde:

$\lambda$ : es la longitud de onda

$v$ : es la velocidad de propagación,  $v$  es igual a la velocidad de la luz y  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío o en el aire ( $c=3 \times 10^8$  m/s en el aire),  $f$ : es la frecuencia



**Figura 1.3 Onda Electromagnética y sus principales características físicas**

Cuando la RF atraviesa el material biológico, su velocidad se reduce y su longitud de onda llega a ser más pequeña que en el aire.

Comúnmente se utilizan dos modelos aproximados de la propagación de las ondas: el modelo de onda esférica y el modelo de onda plana.

Una onda esférica es una buena aproximación a algunas ondas electromagnéticas que ocurren. Sus frentes de onda tienen superficies esféricas y cada cresta y depresión tiene una superficie esférica. En cada superficie esférica, los campos  $E$  y  $H$  son constantes. Los frentes de onda se propagan radialmente hacia afuera de la fuente y  $E$  y  $H$  son ambos tangenciales a las superficies esféricas. Este modelo de propagación es utilizado básicamente para distancias medias con respecto a la longitud de onda de la fuente.

Las características de una onda esférica son:

- a)  $E$ ,  $H$  y  $k$  son mutuamente perpendiculares.
- b) El cociente  $\eta = E/H$  es constante y es llamado impedancia de la onda y se mide en unidades de resistencia eléctrica en ohmios. Para el espacio libre  $\eta_0 = E/H = 377\Omega$ . Para otros medios y para campos sinusoidales en estado estacionario, la impedancia de onda incluye pérdidas en el medio en el cual la onda se desplaza.
- c) Tanto  $E$  y  $H$  se atenúan en forma proporcional a  $1/r$ , donde  $r$  es la distancia de la fuente.

Una onda plana es otro modelo que aproximadamente representa algunas ondas electromagnéticas. Las ondas planas tienen características similares a las ondas esféricas porque en los puntos distantes en las fuentes, la curvatura de los frentes de ondas esféricas es tan pequeña que parecen ser casi planas. El modelo de la propagación de onda plana en tejidos biológicos de capas planas es aplicable cuando el radio de la curvatura de la superficie del tejido es grande en comparación con la longitud de onda. Este modelo es utilizado para distancias grandes respecto de la longitud de onda.

Las características a) y b) de la onda esférica se mantienen en el modelo de onda plana tanto  $E$  y  $H$  son constantes sobre cualquier frente de onda perpendicular a  $k$ . Es decir a grandes distancias la atenuación es más lenta.

En la propagación de onda plana de los campos de las ondas de RF (campo lejano), la potencia que cruza una unidad de área normal a la dirección de propagación es usualmente designada por el símbolo  $S$ . Cuando las intensidades del campo eléctrico y magnético se expresan en V/m y A/m,  $S$  representa sus productos, el cual resulta VA/m<sup>2</sup>, es decir, W/m<sup>2</sup> (vatios por metro cuadrado).

En el espacio libre, las ondas electromagnéticas se dispersan uniformemente en todas las direcciones desde un punto teórico (fuente isotrópica). Conforme la distancia de la fuente puntual aumenta, el área de la superficie de los frentes de la onda aumenta como el cuadrado de la distancia, de modo que la fuente de potencia se dispersa sobre un área más grande.

Como la densidad de potencia  $S$  corresponde también al cociente de potencia radiada total y el área de la superficie esférica encierra a la fuente, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente y puede ser expresada como:

$$S = P/4\pi r^2 \quad (1.6)$$

Donde:

P: es el total de potencia radiada

r: es la distancia de la fuente.

En el caso de las ondas planas, se cumple que

$$S = E^2/377 \quad (1.7)$$

$$S = 377 H^2 \quad (1.8)$$

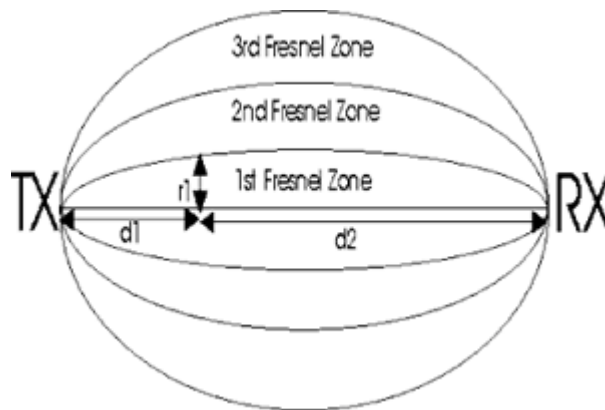
Por consiguiente para la mayoría de mediciones y cálculos de los campos de RF solo se necesita el campo  $E$  o el campo  $H$ .

### 1.2.1 Campos Cercanos (Región de Fresnel)

En regiones cercanas a las fuentes, los campos son llamados campos cercanos. En los campos cercanos los campos  $E$  y  $H$  no son necesariamente perpendiculares y están desacoplados, de hecho no siempre son caracterizados convenientemente por las ondas. Con frecuencia son de naturaleza menos propagantes y por consiguiente son llamados campos de borde (periféricos), campos de inducción, campos cercanos reactivos, o modos evanescentes.

Los campos cercanos con frecuencia varían rápidamente en el espacio y la evaluación de su propagación es complicada ya que los máximos y mínimos de los campos  $E$  y  $H$  no ocurren en los mismos puntos a lo largo de la dirección de propagación.

En la región de campo cercano del haz principal la densidad de potencia puede alcanzar un máximo antes de que comience a decrecer con la distancia y la estructura del campo electromagnético puede ser altamente no homogénea y habrá variaciones sustanciales de la impedancia de la onda plana de 377 ohmios, podría haber campos eléctricos puros en algunas regiones y campos magnéticos puros en otras. En la Figura 1.4 se muestra la Región de Fresnel.



**Figura 1.4 Región de Fresnel**

La exposición en el campo cercano es más difícil de especificar porque se deben medir separadamente el campo eléctrico y el campo magnético y porque los patrones de los

campos son muchos más complicados; en esta situación la densidad de potencia ya no es una cantidad apropiada para expresar las restricciones a la exposición.

Las expresiones matemáticas para campos cercanos generalmente contienen términos en  $1/r$ ,  $1/r^2$ ,  $1/r^3$  y otros de orden superior, donde  $r$  es la distancia de la fuente al punto en el cual el campo es determinado. Los objetos localizados cerca de las fuentes podrían afectar fuertemente la naturaleza de los campos cercanos, p. ej. Ubicar una sonda cerca de una fuente para medir los campos podría cambiar la naturaleza de los campos considerablemente.

### **Campos cercanos reactivos**

Es el espacio que rodea a la antena y donde predomina el campo reactivo. Se asume que esta región normalmente se extiende hasta una longitud de onda de la fuente.

$$R_{\text{nr}} = \lambda \quad (1.9)$$

### **Campos cercanos reactivos radiantes**

Es una región de transito en la cual el campo radiante toma valores importantes respecto del campo reactivo, se extiende hasta algunas longitudes de la fuente.

$$R_{\text{nr}} = L^2/4\lambda \quad (1.10)$$

### **Campos cercanos radiantes**

Es la región situada entre el campo cercano reactivo y la región de campo lejano donde predomina el campo de radiación. Aunque la radiación no se propaga como una onda plana, las componentes eléctrica y magnética pueden considerarse localmente normales. Esta región existe únicamente si  $L$  es grande en comparación con  $\lambda$ . A nivel local tiene las mismas características que los campos lejanos.

### 1.2.2 Campos Lejanos (Región de Fraunhofer)

A grandes distancias de la fuente, la contribución de los términos en  $1/r^2$ ,  $1/r^3$  y de orden mayor son depreciables comparados con la correspondiente al término  $1/r$  en relación a la magnitud del campo, lo que implica una diferencia importante respecto de los campos cercanos, por lo que los campos son llamados campos lejanos.

Estos campos son aproximadamente ondas esféricas que pueden a su vez ser aproximados a una región limitada de espacio por ondas planas. Usualmente es más fácil realizar mediciones en campos lejanos que en campos cercanos y los cálculos para la absorción de campo lejano son mucho más fáciles que para la absorción de campo cercano.

En la región de campo lejano:

- Los vectores  $E$  y  $H$  y la dirección de propagación son mutuamente perpendiculares.
- La fase de los campos  $E$  y  $H$  son las mismas, y el cociente de las amplitudes  $E/H$  es constante a través del espacio. En espacio libre, la relación  $Z_0 = E/H = 377$  ohmios, y es conocida como impedancia característica del espacio libre.
- La densidad de potencia de la onda en el eje de propagación, es decir la potencia por unidad de área normal a la dirección de propagación, esta relacionada a los campos eléctricos y magnéticos por la expresión:

$$S = EH = E^2/377 = H^2 \cdot 377 \quad (1.11)$$

El límite entre las regiones de campo cercano y campo lejano con frecuencia se toma como:

$$R_{ff} = 2L^2/\lambda \quad (1.12)$$

Donde:

$R_{nf}$ : límite de la región de campo cercano

$R_{ff}$ : distancia al inicio de la región de campo lejano

r: distancia de la fuente

L: es la dimensión más larga de la antena fuente

$\lambda$ : es la longitud de onda de los campos

El límite entre el campo cercano y las regiones de campo lejano no está bien definido porque la atenuación de los términos de órdenes mayores a  $1/r$  es gradual conforme a la distancia a la fuente aumenta.

### 1.2.3 El Espectro Radioeléctrico

Las ondas electromagnéticas se agrupan bajo distintas denominaciones según su frecuencia, aunque no existe un límite muy preciso para cada grupo. Además, una misma fuente de ondas electromagnéticas puede generar al mismo tiempo ondas de varios tipos (Tabla 1.1).

ESPECTRO DE FRECUENCIA		
Banda	Frecuencia	Aplicaciones
Audible	20 - 20 KHz	Acústica
Frecuencias Extremadamente Bajas	30 - 300 Hz	Comunicaciones submarinas
Frecuencias Ultra Bajas	300 Hz - 3KHz	No se aplica
Frecuencias Muy Bajas	3 K - 30 KHz	Navegación, clima
Frecuencias Bajas	30 K - 300 KHz	Navegación, comunicaciones marítimas, sistemas de tiempo y sistemas de información del clima
Frecuencias Medias	300 K - 3 MHz	Radio AM, radio móvil
Frecuencias Altas	3 M - 30 MHz	Banda ciudadana, radio de onda corta, radio móvil
Frecuencias Muy Altas	30 MHz - 300 MHz	Radio amateur, TV VHF, radio FM, satélite móvil
Frecuencias Ultra Altas	300 MHz - 3 GHz	Microondas, satélite, TV UHF, telefonía celular y PCS, redes de área local inalámbricas
Frecuencias Super Altas	3 GHz - 30 GHz	Microondas, satélite, redes de área local inalámbricas
Frecuencias Extremadamente Altas	30 GHz - 300 GHz	Microondas, satélite, radiocalización
Luz Infraroja	300 GHz - 400 THz	Redes de área local inalámbricas, fibra óptica
Luz Visible	400 THz - 1 PHz	No se aplica
Luz Ultravioleta	1 PHz - 30 PHz	No se aplica
Rayos X	30 PHz - 30 EHz	No se aplica
Rayos gamma y cósmicos	> 30 EHz	No se aplica

**Tabla 1.1 Espectro Radioeléctrico**



**Ondas de radio:** son las utilizadas en telecomunicaciones e incluyen las ondas de radio y televisión. Su frecuencia oscila desde unos pocos hercios hasta mil millones de hercios. Se originan en la oscilación de la carga eléctrica en las antenas emisoras (dipolo- radiantes).

**Microondas:** Se utilizan en las comunicaciones del radar o la banda UHF ( Ultra-High-Frequency, Frecuencia Ultra Alta) y en los hornos de las cocinas. Su frecuencia va desde los mil-millones de hercios hasta casi el billón. Se producen en oscilaciones dentro de un aparato llamado magnetrón. El magnetrón es una cavidad resonante formada por dos imanes de disco en los extremos, donde los electrones emitidos por un cátodo son acelerados originando los campos electromagnéticos oscilantes de la frecuencia de microondas.

**Infrarrojos:** Son emitidos por los cuerpos calientes. Los niveles energéticos implicados en rotaciones y vibraciones de las moléculas caen dentro de este rango de frecuencias. Los visores nocturnos detectan la radiación emitida por los cuerpos a una temperatura de 37 °. Sus frecuencias van desde  $10^{11}$ Hz a  $4 \times 10^{14}$ Hz. La piel humana también detecta el calor y por lo tanto las radiaciones infrarrojas.

**Luz visible:** Incluye una franja estrecha de frecuencias, los humanos tienen unos sensores para detectarla (los ojos, retina, conos y bastones). Se originan en la aceleración de los electrones en los tránsitos energéticos entre órbitas permitidas. Entre  $4 \times 10^{14}$ Hz y  $8 \times 10^{14}$ Hz.

**Ultravioleta:** Comprende de  $8 \times 10^{14}$ Hz a  $1 \times 10^{17}$ Hz. Son producidas por saltos de electrones en átomos y moléculas excitados. Tiene el rango de energía que interviene en las reacciones químicas. El sol es una fuente poderosa de UVA (rayos ultravioleta) los cuales al interactuar con la atmósfera exterior la ionizan creando la ionosfera. Los ultravioleta pueden destruir la vida y se emplean para esterilizar. La piel humana detecta la radiación ultravioleta y el organismo se pone a fabricar melanina para protegernos de la radiación. La capa de ozono nos protege de los UVA.

**Rayos X:** Son producidos por electrones que saltan de órbitas internas en átomos pesados. Sus frecuencias van de  $1,1 \times 10^{17}$  Hz a  $1,1 \times 10^{19}$  Hz. Son peligrosos para la vida: una exposición prolongada produce cáncer.

**Rayos gamma:** comprenden frecuencias mayores de  $1 \times 10^{19}$  Hz. Se origina en los procesos de estabilización en el núcleo del átomo después de emisiones radiactivas. Su radiación es muy peligrosa para los seres vivos.

#### **1.2.4 Tipos de Radiación**

Las ondas electromagnéticas se dividen en dos grandes grupos:

- Las Radiaciones Ionizantes
- Las Radiaciones No Ionizantes

##### **Las Radiaciones Ionizantes (RI)**

Contienen suficiente energía para causar ionización, separando electrones de los átomos o moléculas. Su interacción con la materia puede cambiar las reacciones químicas del cuerpo por lo que pueden dañar los tejidos biológicos incluyendo efectos sobre el ADN (Acido Desoxi-ribonucleico) – el material genético del cuerpo humano. Los rayos Gamma y los rayos X son formas de radiación ionizante.

##### **Las Radiaciones No Ionizantes (RNI)**

Son las ondas electromagnéticas cuyas frecuencias se extienden desde 0 Hz hasta aproximadamente  $3 \times 10^{15}$  Hz, frecuencia en la cual la energía del fotón iguala a  $2 \times 10^{-18}$  J ó 12,4 eV y se hace comparable a la energía de enlaces de los electrones con los átomos, por lo que antes de esa frecuencia, las ondas electromagnéticas no tienen la suficiente energía como para romper los enlaces atómicos.

Entre las RNI de las ondas electromagnéticas se incluyen, los campos estáticos (resonancia nuclear magnética), de los campos de baja frecuencia (redes de energía eléctrica, trenes, etc.), los campos de microondas (telecomunicaciones, radar, hornos microonda), la radiación infrarroja, la luz visible, la radiación ultravioleta, etc.

### 1.2.5 Interacción de los Campos Electromagnéticos con el Tejido Biológico

Las características más importantes de un material biológico para la interacción con los campos electromagnéticos son: la forma, dimensiones físicas y sus propiedades físicas como la permitividad dieléctrica y la permeabilidad magnética.

En la práctica en las frecuencias de operación de RF todos los tejidos biológicos humanos pueden ser considerados esencialmente no magnéticos y sus permeabilidades magnéticas son aproximadas a la del vacío mientras que la permitividad dieléctrica depende fuertemente de la frecuencia y es el factor más importante para la determinación de la energía electromagnética absorbida. Para la mayoría de los materiales biológicos, la permeabilidad  $\mu$  es igual a  $\mu_0$ , el valor de la permeabilidad del espacio libre (aire) ( $1.257 \times 10^{-6}$  H/m) y por lo tanto, para los materiales biológicos, los valores de  $B$  y  $H$  están relacionados por la constante  $\mu_0$ .

La permitividad dieléctrica del tejido biológico depende del tipo del tejido, contenido de agua, temperatura y generalmente decrece con la frecuencia debido a la falta de habilidad de las cargas en el tejido para responder a las frecuencias más altas de los campos aplicados y es posible definirla de acuerdo a la formula siguiente:

$$\epsilon = \epsilon_0 (\epsilon' - j \epsilon^n) \quad (1.13)$$

Donde  $\epsilon'$  y  $\epsilon^n$  se relacionan mediante el parámetro conocido como la tangente de pérdida:

$$\tan \delta = \epsilon^n / \epsilon' \quad (1.14)$$

Donde  $\epsilon_0$ , es la permitividad del vacío,  $\epsilon^n$  es la constante dieléctrica relativa (con respecto al vacío) y  $\epsilon'$  es el factor de pérdida relativo. En frecuencias por debajo de 1 MHz el tejido del cuerpo es anisotrópico; es decir la conductividad es dependiente de la dirección.

Los tejidos con baja proporción de agua como el tejido adiposo y el tejido óseo tienen baja conductividad la cual se incrementa con la frecuencia, mientras los tejidos con alta proporción de agua como la piel y el músculo tienen mayor conductividad.

La constante dieléctrica define la capacidad del medio para almacenar la energía eléctrica, mientras que el factor de pérdida define las pérdidas de potencia en el medio. En materiales biológicos a frecuencias de microondas, la pérdida de potencia se debe a pérdidas por “fricción” por flujo de carga y rotación dipolar. El factor de pérdida y la conductividad ( $\sigma$ ) se interrelacionan de la siguiente manera:

$$\sigma = 2\pi f \epsilon_0 \epsilon' \quad (1.15)$$

### **1.2.6 Interacción de los Campos Electromagnéticos de Radiofrecuencia con el Tejido Biológico**

La interacción de los campos de RF con la materia puede ser descrita en términos de sus propiedades eléctricas, las cuales reflejan macroscópicamente las interacciones a nivel molecular o celular. Los mecanismos básicos de interacción involucran los fenómenos de relajación debido a la rotación de moléculas polares, tales como las del agua, amino ácidos, proteínas, lípidos, la polarización interfacial de la carga espacial debido a las estructuras homogéneas (p. ej. membranas celulares), y conducción iónica.

Estas interacciones a nivel molecular, a nivel macroscópico se refleja principalmente como absorción de calor por parte del tejido biológico.

La energía necesaria para aumentar la temperatura de un cuerpo se puede expresar como:

$$Q = \Delta T C_e m \quad (1.16)$$

Siendo Q la energía necesaria para aumentar en  $\Delta T$  la temperatura de un cuerpo de masa m y calor específico  $C_e$ . La velocidad con que aumenta la temperatura será:

$$\Delta T/\Delta t = Q/\Delta t m C_e$$

$$Q/\Delta t = m C_e \Delta T/\Delta t \quad (1.17)$$

Donde:

$Q/\Delta t$ : será la potencia calorífica necesaria para generar la diferencia de temperatura T.

La tasa de absorción específica (SAR) viene a ser la potencia calorífica por unidad de masa y sus unidades son W/kg, donde “específica” se refiere a la masa normalizada, “absorción”, la absorción de energía; y “tasa” la relación entre el cambio de energía debido a la absorción y lapso necesario para completarlo.

$$SAR = C_e \Delta T/\Delta t \quad (1.18)$$

Debido a diferente composición de los tejidos que forman parte del organismo  $C_e$  no es constante.

Un cálculo directo del aumento de temperatura esperado  $\Delta T$  en  $^{\circ}K$  en el tejido expuesto a campos de RF para un tiempo ( $\Delta t$  segundos) puede hacerse de la ecuación:

$$\Delta T = (SAR) \Delta t/C_e \quad (1.19)$$

El SAR es una unidad dosimétrica importante porque nos da una medida de la absorción de energía que puede manifestarse en calor y porque nos da una medida de los campos internos que podrían afectar el sistema biológico en otras formas diferentes al efecto térmico. Los campos internos son fuertemente dependientes de los campos incidentes, las frecuencias y las propiedades del tejido biológico. El SAR es definido, en un punto en el tejido absorbente.

El SAR es la velocidad del incremento de la energía (dW) absorbida o disipada por unidad de masa (dm) contenida en un elemento de volumen (dV) de una densidad de masa ( $\rho_m$ ), la energía absorbida por unidad de volumen  $dW_c$ .

$$SAR = \frac{d}{dt} \frac{dW}{dm} = \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{\rho_m} \frac{dW}{dV} \right)$$

$$SAR = (dW_c/dt)/\rho_m \quad (1.20)$$

El SAR local está dado por el SAR promedio en el tiempo en un punto dado.

$$SAR_{local} = \frac{1}{\rho_m} \frac{1}{T} \int \zeta \frac{dw}{dt} dt$$

$$SAR_{local} = \frac{1}{\rho_m} \frac{1}{T} \int \zeta dw$$

$$SAR_{local} = P_t/\rho_m \quad (1.21)$$

El SAR local está relacionado al campo interno E

$$SAR_{local} = P_t/\rho_m = \sigma |E_i|^2/\rho_m = \omega \epsilon_0 \epsilon^n |E_i|^2/\rho_m \quad (1.22)$$

$$SAR_{local} = J_i^2/\rho_m \sigma \quad (1.23)$$

Siendo  $\sigma$  la conductividad en Siemens/m,  $\rho_m$  la densidad del tejido corporal en  $kg/m^3$ ,  $J_i$  el valor de la densidad inducida de corriente eléctrica en Amperios/m, y  $E_i$  el campo eléctrico en el interior del organismo, en Voltios/m, todos ellos referidos al tejido corporal correspondiente.

De esta manera, si el campo E y la conductividad se conocen en un punto dentro del objeto, el SAR en aquel punto puede fácilmente ser encontrado; en cambio, si el SAR y la conductividad en un punto en el objeto son conocidos, el campo E en aquel punto puede fácilmente ser encontrado.

El SAR de cuerpo completo esta dado por  $SAR_{promedio}$

$$SAR_{promedio} = \frac{1}{V} \int \frac{P_t}{\rho_m} dV$$
$$SAR_{promedio} = \int \frac{P_t}{M} dV \quad (1.24)$$

Donde M es la masa total del tejido absorbente. En la práctica, el término “SAR promedio de cuerpo completo” es con frecuencia reducido a “SAR promedio”

La densidad de potencia absorbida en el tejido (en mW/cm<sup>2</sup>) puede ser calculada a partir de:

$$W = \frac{\sigma}{2} |E_i|^2 \quad (1.25)$$

Donde  $E_i$  es la magnitud del campo eléctrico interno (en V/m). La absorción de la potencia de los campos electromagnéticos de RF resulta en una reducción progresiva de la densidad de potencia (o la magnitud del campo eléctrico interno) a medida que la onda penetra en el tejido. La profundidad de penetración es la distancia que la onda propagada debe recorrer antes de que la intensidad de campo eléctrico disminuya por un factor de 1/e.

La profundidad de penetración para los tejidos biológicos con mucha agua es mucho menor que la penetración en los tejidos con poca agua es decir la profundidad de penetración disminuye cuando la conductividad aumenta, también cuando la frecuencia aumenta.

Las curvas agudas, puntos y bordes concentran campos  $E$ . Cuando se ubican perpendicular a los campos  $E$ , conduciendo cables y placas causan una perturbación mínima a los campos; cuando se ubican paralelos a ellos, perturbación máxima.

Los objetos comparados pequeñamente a la longitud de onda causan poca perturbación y/o esparcimiento de los campos electromagnéticos.

Para la polarización E, la tasa aumenta cuando un objeto llega a ser más grande y más delgado, y disminuye cuando un objeto llega a ser más pequeño y a engordar.

La potencia absorbida también es dependiente del coeficiente de reflexión complejo en la interfase de dos medios que tienen diferentes propiedades. Los tejidos con más contenido de agua son más flácidos que los materiales secos (grasa, hueso) y por lo tanto absorben más energía de los campos electromagnéticos y la densidad de potencia absorbida pico es siempre máxima en la piel para el modelo de capas planas, lo que no necesariamente da como resultado una temperatura elevada de la piel, debido a factores ambientales, por ejemplo, enfriamiento de la superficie.

El concepto de SAR es una herramienta simple y útil para cuantificar las interacciones de los campos de RF con sistemas vivientes, pues permite la comparación de los efectos biológicos experimentales observados para varias especies bajo diferentes condiciones de exposición y proporciona el único medio para extrapolación de los datos de experimentos en animales a peligros potenciales para la salud de los seres humanos expuestos a RF.

Algunas características a tomar en cuenta son:

- El SAR promedio es una función de la frecuencia; el SAR promedio depende de la polarización de onda y es más grande para la polarización E (el campo eléctrico E es el paralelo al eje mayor del cuerpo), excepto para las frecuencias más altas, donde es ligeramente más grande para la polarización H (el campo magnético es paralelo al eje mayor del cuerpo).
- El SAR promedio varía con las especies lo cual es importante en la extrapolación de los resultados de los estudios experimentales en animales a las exposiciones en seres humanos.

La frecuencia del SAR máximo normalizado respecto de una densidad de potencia promedio de  $1\text{W}/\text{m}^2$  varía con el tamaño de la persona tendiendo a incrementarse cuando el tamaño de la persona disminuye, p. ej. en el caso de un hombre de 1.75m, 70kg aislado de tierra la frecuencia del SAR máximo está en el orden de 70MHz, mientras que conectado a



tierra eléctrica debido al efecto imagen de las corrientes y voltajes inducidos prácticamente duplica su estatura y la frecuencia a la cual se obtiene el SAR máximo está en el orden de 30MHz, para un niño de 0.74m, 10kg el SAR máximo se obtiene aproximadamente a 200MHz.

Las distribuciones del SAR en el cuerpo son altamente no uniformes, con proporciones típicas entre el pico espacial y los SAR promedio de cuerpo completo en el orden de 150:1 a 200:1. Un campo incidente uniforme generalmente no produce un campo uniforme interno.

En todas las frecuencias investigadas, el SAR máximo está en la superficie del cuerpo, con puntos calientes de menor magnitud localizados en el interior del cuerpo. Sin embargo prácticamente toda la energía es depositada dentro de alrededor del 20% del volumen del cuerpo más cercano a la antena. Estos datos son muy útiles para especificar, p. ej. la potencia máxima de salida de los transmisores portátiles para cumplir con los límites máximos permisibles en términos del SAR.

## **CAPITULO 2**

### **EFFECTOS BIOLÓGICOS Y EN LA SALUD**

Se sabe que la exposición continua y prolongada a niveles de potencia muy elevados de radiación de RF puede resultar dañina debido a la capacidad de energía de RF de calentar rápidamente los tejidos biológicos. Este es, como se ha visto, el principio de funcionamiento de los hornos microondas, en los cuales la exposición a densidades de potencia elevadas en torno a  $100\text{mW}/\text{cm}^2$  (milivatios por cada centímetro cuadrado) o más tiene como consecuencia el calentamiento de los tejidos. El daño en seres vivos puede tener lugar cuando el mecanismo de termorregulación es incapaz de disipar el calor que pueda haber sido generado, dicho de otra forma, cuando los mecanismos de refrigeración del tejido no son suficientes para evitar que se produzca el calentamiento. Bajo ciertas condiciones de exposición a energía de RF con una densidad de potencia de entre  $1\text{-}10\text{ mW}/\text{cm}^2$  el calentamiento del tejido puede comenzar a ser medible, lo que no implica que cause daño. Además de la intensidad, 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.

Los estudios sobre los efectos de los campos electromagnéticos datan de los años 1950. Actualmente la base de datos del Proyecto Internacional Campos Electromagnéticos señala un total de 2462 estudios de diversos tipos de los cuales 2346 a radiofrecuencia incluyendo 1137 estudios sobre telefonía móvil.

Como punto de partida es conveniente establecer una clara diferencia entre lo que es un efecto biológico y un efecto en la salud. El efecto biológico es una respuesta fisiológica medible a la exposición a campos electromagnéticos, que no necesariamente es peligrosa para la salud; mientras que un efecto adverso a la salud es un efecto biológico fuera del

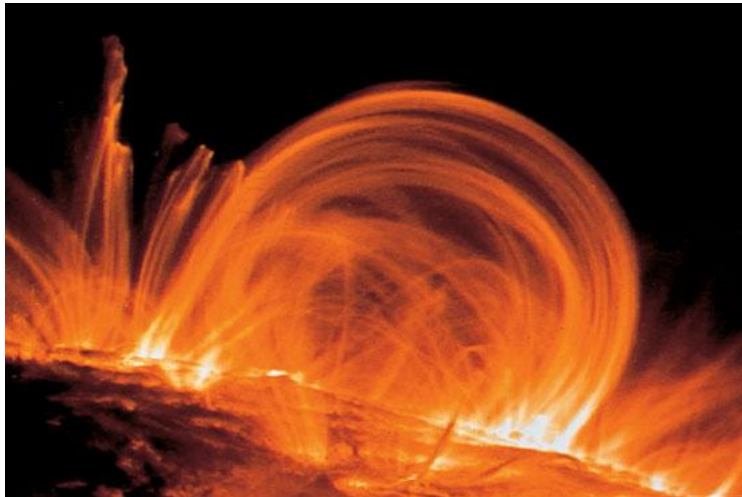
rango normal de compensación fisiológica del cuerpo que es perjudicial a la salud o al bienestar de las personas

## **2.1 VALORES A LOS QUE ESTAMOS SOMETIDOS**

Como se comentó con anterioridad, hay dos fuentes de campos de RF, las naturales y las artificiales.

### **2.1.1 Fuentes Naturales**

Las densidades de potencia a las que el ser humano se ve expuesto debido a estas fuentes son muy bajas, teniendo únicamente algo de relevancia el sol, cuya densidad de potencia (de RF) en la superficie es inferior a  $0.01 \text{ mw/m}^2$ . La Figura 2.1 muestra los campos electromagnéticos del sol.

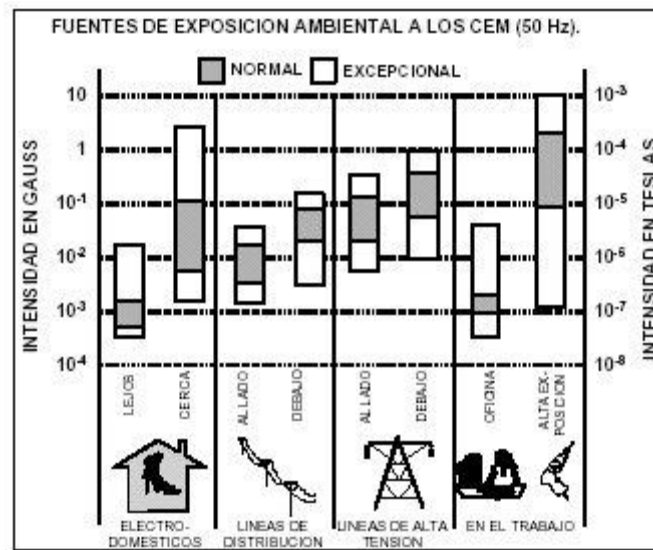


**Figura 2.1 Campos Electromagnéticos del sol**

### **2.1.2 Fuentes Artificiales**

Van a ser las causantes de la inmensa mayoría de campos de RF a los que se ve sometido el hombre. Se distinguen las siguientes situaciones:

- **Comunidad:** La mayoría de los campos de RF encontrados en este entorno son debidos a transmisiones de TV y de radios comerciales y a otros equipos de telecomunicaciones, como pueden ser los propios de la telefonía móvil. Un estudio llevado a cabo en EEUU encontró que en las grandes ciudades, el nivel medio de radiación de RF está en torno a los 50 uw/m<sup>2</sup>, y que el 1% de la población de dichas ciudades se encuentra expuesta a radiaciones de RF superiores a 10 mw/m<sup>2</sup>. La Figura 2.2 muestra algunas fuentes de RF en el medio ambiente.



**Figura 2.2 Fuentes RF en el medio ambiente**

- **Casa:** Las fuentes de RF que se encuentran en el domicilio incluyen hornos de microondas, teléfonos móviles, alarmas, pantallas y equipos de recepción de TV. Los hornos microondas, que pudieran ser fuente de altos niveles de RF están sometidos a standards que limitan las pérdidas de los mismos. Así, el nivel medio encontrado en este entorno no supera las decenas de uw/m<sup>2</sup>.
- **Lugar de trabajo:** Hay un gran número de procesos industriales que emplean campos de RF tales como calentadores dieléctricos empleados en la laminación de madera y el sellado de plásticos, calentadores industriales de inducción y hornos de microondas, equipos de diatermia en medicina, para tratar el dolor y la inflamación en tejidos corporales, o equipos electro-quirúrgicos para cortar o soldar tejidos. Dichos campos

pueden sobrepasar las decenas de  $w/m^2$ , con lo que dichos niveles de exposición han de ser regulados tanto a nivel nacional como internacional.

## **2.2 EFECTOS SOBRE LA SALUD**

Los efectos sobre la salud de las ondas electromagnéticas son muy variados en función de su frecuencia; es decir, de la energía que portan sus fotones. Abarcan desde los efectos nulos, para muy bajas frecuencias, hasta efectos gravísimos en el caso de los rayos gamma o de los rayos cósmicos.

Las ondas de telefonía móvil quedan dentro del rango de la radiación electromagnética no-ionizante; es decir, no portan suficiente energía para poder romper los enlaces químicos. Este hecho es de una trascendencia fundamental, pues determina que las ondas, por sí solas, no puedan deteriorar materiales sensibles como el ADN o complejos enzimáticos, o bien, inducir la formación de sustancias extrañas. Dado que en el deterioro del ADN se encuentra la base de los procesos mutágenos y cancerígenos, el carácter no-ionizante de estas ondas adquiere una importancia capital.

No obstante se ha argumentado sobre la posibilidad de efectos bioquímicos por cooperación, de forma que la radiación potencie sustancias o fenómenos que conjuntamente pudieran producir alteraciones, no producidas individualmente. Así mismo se han señalado, como hipotéticas causas de modificaciones bioquímicas, fenómenos de resonancia.

Aparte de los efectos bioquímicos, las ondas electromagnéticas, presentan claros aspectos biofísicos. En el rango de frecuencias que nos importa el efecto térmico es manifiesto y su influencia en la salud innegable. Además, otros fenómenos biofísicos tales como la creación de dipolos, alteración en las corrientes de fluidos orgánicos, alteraciones en los electrolitos, etc., se han señalado como causas hipotéticas, aunque al día de la fecha no manifiestas, de alteraciones en la salud.

Dejando aparte el efecto térmico, que se tratará seguidamente, el resto de las hipotéticas causas, bioquímicas o biofísicas, de alteraciones conducentes a efectos negativos sobre la salud no se muestran, en el presente, evidentes en modo alguno. No obstante, la postura lógica y científica es la de continuar su estudio en el futuro, sin bajar en ningún momento la guardia (Figura 2.3).



**Figura 2.3 Efectos sobre humanos**

El efecto térmico es debido a que todo campo electromagnético variable, y una onda es eso, induce corrientes eléctricas, y éstas a su vez disipan energía, en mayor o menor cuantía dependiendo de los coeficientes de conductividad e inducción. La disipación de energía contribuye evidentemente a la elevación de la temperatura, que será de forma local o general dependiendo que la irradiación sea local o general.

Así las cosas, una irradiación general, si es lo suficientemente intensa para que los mecanismos de reestablecimiento del equilibrio térmico se vean superados, producirá un estado de salud alterado correspondiente con una hipertermia y presentará los signos y síntomas de tal estado febril, así como las consecuencias que tal estado conlleva si se prolonga excesivamente en el tiempo.

Análogamente una irradiación parcial produce una elevación de la temperatura localmente en la zona irradiada, que pondrá en marcha los mecanismos de reestablecimiento del equilibrio térmico. Vistas así las cosas, pudiera parecer que la irradiación local tiene

consecuencias menos graves que la general, pero esto es engañoso en algunos casos, ya que la lesión local puede ser grave si hay dificultades para equilibrar la temperatura, por ejemplo por ser un tejido poco o nada vascularizado (tal es el caso de las cataratas), aunque para que se produzca esta lesión se necesitan intensidades muy altas (densidades de potencia mayores de  $100 \text{ W/m}^2$ ) así como un tiempo prolongado de exposición. Por otra parte irradiaciones muy localizadas pueden ser a la vez muy intensas, o sobre tejidos muy sensibles a la temperatura.

La irradiación natural procedente del sol, que se centra en las frecuencias del espectro visible, tiene poca penetración en el organismo, cediendo la mayor parte de su energía en los tejidos superficiales; mecanismos de equilibrio, refinados evolutivamente, se opondrán a esta hipertermia superficial. Por el contrario, las radiofrecuencias, con longitudes de onda mucho mayores, penetran profundamente en el organismo cediendo energía en toda la masa corporal. Aunque sin darle importancia alguna en las exposiciones normales, este hecho se ha de mencionar en relación con los embarazos.

Se ve, pues, que los efectos térmicos de las radiofrecuencias pueden producir alteraciones en la salud si aquellas son lo suficientemente intensas para que la energía cedida al organismo llegue a elevar la temperatura de forma general o local. Así que se hace necesario fijar límites a la irradiación para que no se traspase el umbral, con un generoso margen de precaución, por encima del cual se manifiestan los efectos térmicos.

Llegado este punto, conviene dividir los efectos sobre la salud imputados a las ondas electromagnéticas de radiofrecuencia en dos grupos:

1. Uno haría referencia a los efectos térmicos, que brevemente se han esbozado en párrafos anteriores, y que son conocidos, estudiados y aceptados de forma unánime.
2. Y el otro grupo incluiría el resto de los efectos sobre la salud, a saber, la mutagenicidad, la carcinogenicidad y los efectos nerviosos, principalmente; sobre los que también hay una opinión mayoritaria, con alguna discrepancia en sectores muy minoritarios, del ámbito de la investigación.

En el presente, la Comunidad Científica es de la opinión de que no hay evidencias que avalen que las radiofrecuencias usadas en telefonía móvil producen efectos sobre la salud, aparte de los térmicos. Se han dedicado a este aspecto innumerables experimentos, tanto "in vitro" como "in vivo", negativos en su inmensa mayoría, a pesar de que la exposición a la que se somete el objeto de experimentación suele estar muy por encima de las densidades de energía que se recomiendan en los estándares de protección.

En resumen, al día de hoy, no hay evidencias científicas de que las ondas electromagnéticas utilizadas en la telefonía móvil produzcan otro efecto sobre la salud distinto del térmico. Efecto, este último, que habrá que evitar imponiendo limitaciones en la emisión.

### **2.3 CÁNCER Y EXPOSICIÓN A CAMPOS DE RF**

Según los datos y experimentos que se han realizado hasta la actualidad, no está ni mucho menos demostrado que la exposición de un sujeto a campos de radiofrecuencias aumente el riesgo en el mismo de desarrollar algún tipo de cáncer.

Un reciente estudio en el cual se ubicaban ratones alterados genéticamente en las proximidades de un transmisor de RF (similar a los empleados en comunicaciones móviles), encontró que la probabilidad de desarrollar un cáncer era superior en aquellos ratones sometidos a los campos de RF.

Asimismo, varios estudios epidemiológicos, han sugerido algún tipo de relación entre la exposición a campos de RF y el desarrollo de cánceres y tumores. No obstante, dichos estudios parecen no aportar la suficiente información como para evaluar el verdadero riesgo de desarrollo de cánceres en seres humanos debido a la exposición a campos de RF.

En realidad los resultados obtenidos por distintos estudios llegan a ser inconsistentes, pudiendo ser una explicación de dicha inconsistencia el hecho de que resultan ser estudios muy diferentes en cuanto a diseño, ejecución e interpretación de los resultados obtenidos.

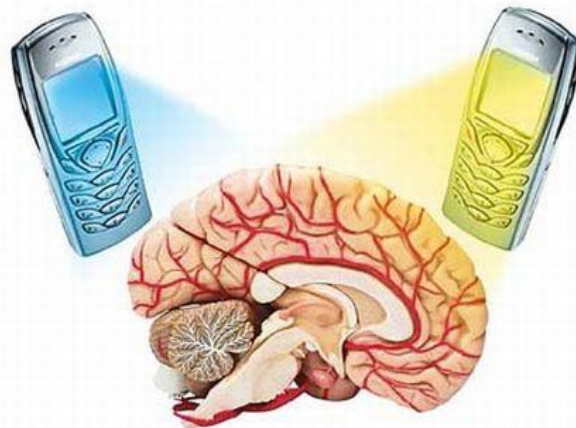


En otro estudio de esta índole, se ha comprobado como la exposición a campos de RF de baja intensidad (intensidad insuficiente para producir calentamiento, efecto no térmico), de gatos y conejos, altera la actividad cerebral de los mismos, pues modifica la movilidad el ion de calcio. Este efecto también se ha visto en tejidos aislados y células. Otros estudios han sugerido que los campos de RF alteran el ritmo de proliferación de células, que cambian la actividad enzimática e incluso que afectan al ADN de las células.

No obstante y de nuevo cabe comentar que ni los efectos encontrados, ni sus implicaciones sobre la salud humana son lo suficientemente conocidos.

### **Nuevos datos no sustentan la relación cáncer – ondas electromagnéticas**

No existe una relación fuerte entre la presencia de cáncer y las ondas electromagnéticas generadas por cables de conducción eléctrica, según lo informaron expertos del Instituto Nacional de Ciencias de Salud Ambiental de Estados Unidos en la última edición de Causes Cáncer Control. Después de revisar la literatura científica disponible y realizar una investigación durante más de 6 años, los investigadores no encontraron pruebas sólidas de dicha relación, aunque aseguraron que identificaron un riesgo pequeño en estudios ocupacionales, por lo que recomiendan a las personas y empresas reducir la exposición a las posibles fuentes de ondas electromagnéticas. (*REUTERS ENERO, 2001*) (Figura 2.4)



**Figura 2.4 Relación cáncer-ondas electromagnéticas**

## 2.4 EFECTOS DE LAS RADIACIONES NO IONIZANTES

Se plantea que los efectos de las radiaciones no ionizantes son de 3 tipos: térmico, no térmicos y atérmicos.

- **Los Efectos Térmicos** ocurren cuando hay energía de RF suficiente para causar un aumento medible en la temperatura del objeto o persona (por ejemplo, más de 1°C).
- **Los Efectos No-térmicos** son aquellos que ocurren cuando la energía de la onda es insuficiente para elevar las temperaturas por encima de las fluctuaciones de temperatura normales del sistema biológico estudiado.
- **Los Efectos Atérmicos** ocurren cuando hay energía suficiente para causar un aumento en la temperatura del cuerpo, pero no se observa ningún cambio en la temperatura debido al enfriamiento natural o externo.

### 2.4.1 Los Efectos térmicos

En general están bien documentados los efectos térmicos de los campos de RF. Estos incluyen: cambios en la regulación de temperatura, función endocrina, función cardiovascular, respuesta inmune, actividad del sistema nervioso y comportamiento. Sólo se han observado cambios genéticos en presencia de una elevación sustancial de temperatura. Los efectos irreversibles, que incluyen cataratas y los efectos de desarrollo en la descendencia, han sido citados en exposiciones superiores a 10 W/Kg (RSC, 1999). A más bajas intensidades, entre 1 - 4 W/Kg, no se espera que ocurran estos efectos irreversibles. Efectos fisiológicos y del comportamiento a exposición térmica moderada a RF son considerados reversibles con la cesación de exposición.

Los efectos más sensibles hallados son las respuestas del comportamiento. Se ha identificado en los estudios del comportamiento a corto plazo un nivel de exposición umbral de 4 W/Kg, y éstos se han usado para determinar niveles de 0.4 W/Kg para exposiciones profesionales y 0.08 W/Kg para exposiciones públicas. Basándose en los

resultados de los estudios a largo plazo, se sugiere que un umbral para el efecto en el comportamiento en las ratas puede ser más bajo - entre un SAR de 1.5 y 3.6 W/Kg a 1300 MHz, y 0.4 y 0.7 W/Kg a 2450 MHz. Todavía se piensa que estos efectos son debidos a los efectos térmicos, aun cuando no se han medido los cambios de temperatura de cuerpo entero. Generalmente se supone que los efectos adversos de RF sólo ocurren a niveles dónde ocurre también el calentamiento. Las fuerzas del campo a que el público general es expuesto están bastante por debajo de aquéllos en que ocurren cambios térmicos. Varios dispositivos médicos usan la energía electromagnética y pueden producir exposición mayor a 4 W/Kg. La Imagen por Resonancia Magnética (MRI) es la fuente principal de exposición de RF de uso médico en Canadá. Los límites de la exposición son 2 W/Kg sobre un 25% del cuerpo para las exposiciones de 15 minutos, o menos, y se ha establecido 1 W/Kg para las exposiciones mayores de 15 minutos. La FDA americana ha aprobado recientemente una terapia de RF para el insomnio psicofisiológico crónico. Esta terapia es eficaz a niveles por debajo de 4 W/Kg.

#### **2.4.2 Los Efectos no-térmicos**

Se han citado muchos efectos en campos de fuerza que no inducen cambios de temperatura. Se debate actualmente la importancia sobre la salud de estos cambios, con resultados de estudios humanos experimentales que varían mucho y son inconsistentes. Incluso los mejores estudios tienen limitaciones severas. Se han informado varios efectos biológicos a SAR por debajo de 0.08 W/Kg o densidades de potencia (dependiendo de las frecuencias) de 2-10 W/m<sup>2</sup>. Éstos incluyen los efectos en la proliferación celular, flujo del ion de calcio, permeabilidad de la barrera hematoencefálica, comportamiento, y la enzima decarboxylase de ornitina.

##### **2.4.2.1 La Proliferación celular**

El aumento en la proliferación celular se une al desarrollo de cáncer. Se ha estudiado la influencia de exposición de RF en la proliferación celular in vitro con resultados mixtos.

#### **2.4.2.2 Flujo de iones de calcio**

La posibilidad de las ondas electromagnéticas de aumentar el flujo de iones del calcio fuera de células se demostró primero en 1975 por Bawin. Este efecto se ha usado como un marcador para el efecto sobre el sistema nervioso en los experimentos in vitro. No es dosis dependiente. Más bien muestra un "efecto de ventana". Ciertas frecuencias, densidades de potencia, modulaciones, y temperaturas son eficaces y otras no son. No hay pendiente clara, por ejemplo el efecto puede ser mayor a frecuencias más altas o puede ser mayor a densidades de potencia más altas. Se han observado respuestas a densidades de potencia tan bajas como 0.05 W/Kg con RF de 915 MHz. La Sociedad Real de Canadá [1] hace notar que hay datos insuficientes para evaluar estos efectos a bajos niveles de exposición con RF sobre 1000 MHz ya que éstos no se han investigado. Concluye que esas ventanas de densidad de potencia se han observado para la frecuencia sumamente baja (ELF) modulada o RF y portadores del microonda y que en esos ELF-modulados la radiación de RF podría efectuar el flujo del calcio del tejido del cerebro.

#### **2.4.2.3 Ornitina Decarboxilasa (ODC) y Poliaminas**

La decarboxilasa de Ornitina (ODC) es una enzima que se relaciona con el crecimiento celular y desarrollo. Hay una correlación entre los niveles aumentados de ODC y un aumento en el crecimiento celular y multiplicación de células normales o cancerosas. Se ha demostrado que un aumento pequeño de actividad de ODC ocurre tanto en cultivos celulares como en animales expuestos a varias ondas electromagnéticas. Una a cuatro horas de exposición a frecuencias de radio moduladas de 450 MHz a un SAR de 0.08 W/Kg producían un 1.5 - 2.6 de aumento en el nivel de ODC. Las células de mamífero pueden ser sensibles a exposiciones de componentes magnéticos de baja frecuencia, microondas y RF a SARs de entre 0.1 a 2.5 W/Kg, y estos efectos puede ocurrir en menos de una hora de exposición [1].

Aunque la expresión de ODC se ha relacionado con varios efectos, el de mayor preocupación ha sido la relación con el cáncer. La producción de ODC ha sido asociada

con la promoción de cáncer más que con su iniciación o progresión. Los datos actuales sugieren que la sobre-exposición de ODC, aun cuando no esté asociada con la proliferación celular, podría ser suficiente para causar la promoción del tumor. Sin embargo, el aumento observado en ODC del ELF generalmente es mucho menor del observado por los agentes químicos dónde se han detectados hasta aumentos de 500 veces. El potencial de efectos aditivos o sinérgicos de los ELF deben ser tenidos en cuenta cuando se considera el potencial impacto en la salud de los RF, y se necesita mayor investigación en esta área antes de que los riesgos, si existen, puedan cuantificarse [1].

#### **2.4.2.4 Melatonina**

La melatonina es una hormona de la glándula pineal cuya producción es más alta durante la noche (el periodo oscuro). Juega un papel crítico en varias funciones corporales incluso en la reproducción. Dada la importancia de la luz visible en la función pineal, y de que los datos que sugieren que el ELF puede afectar a la producción y utilización de la melatonina, también es posible que la RF pudiera tener un efecto en esta hormona. Aunque algunos estudios no han mostrado impacto alguno de la RF en la producción de la melatonina, se puede concluir que éstos no son suficientes para rechazar la hipótesis de que las RF puedan afectar la función pineal, la regulación de niveles de melatonina, o la utilización celular de esta hormona [1].

#### **2.4.2.5 Los Efectos en Membranas celulares**

El flujo de calcio, potasio e iones de sodio a través de las membranas celulares es importante para las varias funciones de la célula y para la transmisión de mensajes entre las células. Diversos estudios han mostrado que ELF y RF pueden tener un impacto en el movimiento de estos iones a través de la membrana celular. Éstos han sido citados a varios niveles de la exposición (0.2-200 W/Kg) y frecuencias que van de 27 MHz a 10 GHz . La importancia de estos efectos se desconoce.

Algunos estudios han mostrado que la RF puede afectar a la barrera hemato-encefálica a niveles por debajo de las pautas de las exposiciones canadienses actuales. RF de 915 MHz

causaron un aumento significativo en la permeabilidad a 0.016 - 0 0.1 W/Kg. Los estudios realizados sugieren que la variabilidad en los resultados obtenidos en los estudios de la permeabilidad pueda ser debido a la sensibilidad de ciertas células a frecuencias específicas y/o modulaciones en las ondas [1].

#### **2.4.2.6 Efectos en el Sistema Nervioso central**

Un trabajo hecho en la Unión Soviética durante los años cincuenta sugiere que la radiación de microondas (el MW) podría tener un efecto en el cerebro (RSC, 1999). Sin embargo, estos resultados no se han reproducido posteriormente. Dado que el cerebro es la parte más activa del cuerpo eléctricamente, es posible suponer que las microondas pudieran inducir efectos dentro del sistema nervioso central.

Hay varios casos donde hay una correlación entre un efecto biológico y una condición clínica. Por ejemplo, en la enfermedad de Alzheimer una pérdida de acetilcolina conduce a deterioros de memoria y cognoscitivos. Hay evidencia para sugerir que la radiación del MW puede influir en las enzimas del colinesterasa. En estos momentos, los datos son insuficientes mostrar una relación entre la exposición del MW y Alzheimer o las enfermedades relacionadas y que además no hay evidencias para apoyar una relación entre la RF y las convulsiones o epilepsia [1].

Hay alguna evidencia de impacto de la RF en los patrones de sueño: reducción de inicio de sueño y reducción del periodo movimiento rápido del ojo (REM) del sueño. Los datos son insuficientes para dibujar cualquier conclusión firme en las implicaciones de estos resultados para la salud.

#### **2.4.2.7 Efectos sobre comportamiento**

Las normas de seguridad presentes están basadas en el umbral para los efectos sobre comportamiento de RF. Hay evidencia de que algunos campos electromagnéticos, incluso RF, tienen un impacto en el sistema nervioso a niveles donde no se espera ningún efecto

calorífico. En algunos estudios, ratas expuestas a RF han realizado peor tareas de memoria espaciales. Se ha sugerido que éstos puedan relacionarse a los cambios bioquímicos en el sistema de opioides (el control de dolor) que se ha observado a RF de 2450 Hz a 0.6 W/Kg o 10 W/m<sup>2</sup>. Campos de microondas de bajo nivel (2450 MHz a 10 W/m<sup>2</sup>) han causado los efectos sinérgicos con drogas psicoactivas.

#### **2.4.2.8 Mecanismos de Acción**

Algunos de los efectos de ondas electromagnéticas, incluso RF, no dependen de un aumento en la temperatura. Hay similitudes en frecuencias sumamente bajas (el ELF) en los efectos en el flujo de ion de calcio celular, actividad de ODC, y actividad del comportamiento al ser relacionados al sistema de opioides y aquéllos observados con los campos de RF. Las diferentes formas de ondas pueden tener efectos diferentes. ELF continuo y modulado en RF pueden producir los efectos no-térmicos diferentes a veces. Para entender mejor el mecanismo por que los efectos no-térmicos ocurren es necesario, por otra parte, que cada vez que la industria de comunicación modifique su forma de onda, necesita ser probado para determinar si puede conducir hacia un efecto biológico perjudicial [1].

#### **2.4.2.9 Daño genético**

Un número grande de estudios ha investigado el potencial de campos de RF para causar daño a los genes. Éstos no han dado resultados positivos consistentes. Un reciente estudio mostró daño del ADN en el cerebro de ratas expuestas a ondas a 2450 MHz, sin embargo estos resultados no se han corroborado. Algunos ensayos de transformación celulares sugieren que los campos de RF puedan ser sinérgicos en combinación con otros agentes conocidos o promotores.

#### **2.4.2.10 Cáncer**

La relación entre la exposición de RF y cáncer, específicamente el leucemia, se sugirió primero por Prausnitz y Susskind en 1962. Otros estudios han mostrado incremento de cáncer o formación de tumor (tumor mamario, tumores de piel) por RF solo o junto con otros agentes. Dado las dosis usadas en los experimentos, no es posible eliminar los efectos térmicos como un factor contribuyente. Un reciente estudio mostró en ratones cáncer-predisuestos un 2.4 veces de aumento de linfomas. Otros estudios no han podido reproducir este hallazgo, encuentra una reducción de tumores después de las exposiciones a RF. Dos recientes estudios a largo plazo en ratones predisuestos a tumores no muestran incidencia aumentada de cáncer del pecho o de linfoma, leucemia, o tumores del cerebro. Varios estudios animales han estudiado la habilidad de campos de RF de acelerar el desarrollo del tumor. La mayoría de éstos ha dado los resultados.



## **CAPITULO 3**

### **REGULACIONES**

Entre los standares y regulaciones de seguridad de exposición a radiaciones, los más difundidos son los del *Institute of Electrical and Electronics Engineers and American National Standards Institute* (IEEE/ANSI) y los de la *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP).

#### **3.1 RECOMENDACIONES ICNIRP**

Cabe resaltar que las recomendaciones ICNIRP son las de mayor aceptación en el mundo. Además sirven de base para los estándares de Australia – Nueva Zelanda, Brasil, Chile, La Unión Europea, Perú, Venezuela y otros países e instituciones.

##### **3.1.1 Restricciones básicas**

Son aquellas restricciones a la exposición producida por los CEM (campos electromagnéticos), y están basadas en los efectos adversos sobre la salud ya establecidos.

Dependiendo de la frecuencia y de las características cuantitativas usadas, las restricciones básicas para la exposición a los CEM están dadas en términos de la densidad de corriente, la tasa de absorción específica (SAR) o la densidad de potencia.

El ICNIRP condiciona que para “la protección contra efectos adversos a la salud se requiere que estas restricciones básicas no sean excedidas”.

En base a los efectos establecidos y tomando en cuenta un factor de seguridad de 10GHz se obtiene las restricciones básicas ocupacionales (Tablas 3.1 y 3.2).

Características de la exposición	Rango de Frecuencias	Densidad de Corriente para cabeza y tronco ( $\text{mA m}^{-2}$ ) (rms)	SAR promedio en todo el cuerpo ( $\text{Wkg}^{-1}$ )	SAR localizado cabeza y tronco ( $\text{Wkg}^{-1}$ )	SAR localizado (extremidades) ( $\text{Wkg}^{-1}$ )
Exposición ocupacional	hasta 1 Hz	40	--	--	--
	1 - 4 Hz	40/f	--	--	--
	4 Hz – 1 kHz	10	--	--	--
	1 - 100 kHz	f/100	--	--	--
	100 kHz - 10 MHz	f/100	0,4	10	20
	10 MHz - 10 GHz	--	0,4	10	20
Exposición al público en general	hasta 1 Hz	8	--	--	--
	1 - 4 Hz	8/f	--	--	--
	4 Hz – 1 kHz	2	--	--	--
	1 - 100 kHz	f/500	--	--	--
	100 kHz - 10 MHz	f/500	0,08	2	4
	10 MHz - 10 GHz	--	0,08	2	4

**Tabla 3.1 Restricciones básicas para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos para frecuencias hasta 10GHz**

Tipo de Exposición	Densidad de Potencia ( $\text{Wm}^{-2}$ )
Exposición Ocupacional	50
Exposición a Público en General	10

**Tabla 3.2 Restricciones básicas para la densidad de potencia para frecuencias entre 10 y 300 GHz**

### 3.1.2 Niveles de Referencia

Las restricciones básicas son parámetros físicos cuyo cumplimiento asegura que no haya efectos sobre la salud pero son bastante difíciles de medir, especialmente en el campo, por lo que es necesario relacionarlas con parámetros que sean más fáciles de medir. Dichos parámetros son conocidos como los niveles de referencia. Los niveles de referencia son obtenidos, mediante el uso de modelos matemáticos y por extrapolación de los resultados de las investigaciones de laboratorio a frecuencias específicas.

Para frecuencias hasta 10GHz a partir de las restricciones básicas están dadas en términos de la densidad de corriente y el SAR local y de cuerpo entero se obtienen los niveles de referencia en términos de las intensidades de campo eléctrico y magnético, la densidad de flujo magnético y la densidad de potencia, para frecuencias de 10 a 300 GHz los niveles de referencia son exactamente iguales a las restricciones básicas que están dadas en términos de la densidad de potencia.

Para bajas frecuencias se utilizan diversos métodos de medición y modelos de cálculo para desarrollar los niveles de referencia de intensidad de campo a partir de las restricciones básicas.

Para el campo magnético se asume que el campo tiene conductividad homogénea e isotrópica aplicándose modelos de espirales conductores circulares simples para estimar la corriente inducida en diferentes órganos y regiones del cuerpo, como en el caso de la cabeza y se utilizan modelos elipsoidales más complejos para simular el tronco o todo el cuerpo y así estimar las densidades de corriente inducidas en la superficie del cuerpo.

En el caso del campo eléctrico los modelos toman en cuenta las diferentes condiciones de exposición, tamaño, forma y posición del cuerpo expuesto en el campo que pueden implicar grandes variaciones en la densidad de carga superficial resultando una distribución variable no uniforme de corriente dentro del cuerpo.

Para campos eléctricos sinusoidales a frecuencias menores de 10MHz, la magnitud de la densidad de corriente inducida dentro del cuerpo se incrementa con la frecuencia y varía inversamente con la sección transversal del cuerpo, siendo relativamente alta en el cuello, muñecas y tobillos que son los lugares con menor sección.

Para frecuencias por debajo de los 10MHz el campo eléctrico y el campo magnético están desacoplados debiéndose evaluar la conformidad con los límites en forma separada.

Por encima de 10MHz las intensidades de campo eléctrico y magnético pueden ser obtenidas a partir de la restricción básica SAR de cuerpo entero utilizando datos experimentales y modelos numéricos. Las intensidades de campo magnético son calculadas a partir de la fórmula de la impedancia del medio para el vacío  $\eta_0 = E/H = 377\text{ohmios}$  válida para el campo lejano. En el campo cercano, las curvas del SAR ya no son válidas, pues los campos eléctricos y magnéticos están desacoplados. Para una aproximación conservadora a los niveles de exposición pueden ser utilizados los niveles de campo lejano dado que los campos eléctricos y magnéticos independientemente no pueden exceder las restricciones del SAR.

Los niveles de referencia ICNIRP se muestran en las tablas 3.3 y 3.4 respectivamente, considerando un tiempo de exposición para la evaluación del promedio en el caso del SAR o S, tiempo en el cual en algún o algunos instantes los límites pueden ser excedidos bajo la condición de que el promedio de exposición no exceda los límites.

<b>Rango de Frecuencias (MHz)</b>	<b>Intensidad de Campo Eléctrico (<math>\text{Vm}^{-1}</math>)</b>	<b>Intensidad de Campo Magnético (<math>\text{Am}^{-1}</math>)</b>	<b>Densidad de Flujo Magnético (<math>\mu\text{T}</math>)</b>	<b>Densidad de Potencia (<math>\text{Wm}^{-2}</math>)</b>
Hasta 1 Hz	–	$3,2 \times 10^4$	$4 \times 10^4$	–
1 – 8 Hz	10 000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	–
8 – 25 Hz	10 000	$4000 / f$	$5000 / f$	–
0,025 – 0,8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	–
0,8 – 3 kHz	$250 / f$	5	6,25	–
3 – 150 kHz	87	5	6,25	–
0,15– 1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	–
1 – 10 MHz	$87 / f^{0,5}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	–
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 – 2000 MHz	$1,375 f^{0,5}$	$0,0037 f^{0,5}$	$0,0046 f^{0,5}$	$f / 200$
2 - 300 GHz	61	0.16	0.20	10

**Tabla 3.3 Niveles de referencia ICNIRP – Exposición Poblacional**

Al igual que para las restricciones básicas, inicialmente se obtienen los niveles de referencia ocupacionales y a partir de ellos mediante la utilización de un factor de seguridad se obtienen los niveles de referencia para la exposición de público en general han

sido obtenidos a partir de los datos para exposición ocupacional mediante el uso de varios factores en todo el rango de frecuencias.

Rango de Frecuencias (MHz)	Intensidad de Campo Eléctrico ( $Vm^{-1}$ )	Intensidad de Campo Magnético ( $Am^{-1}$ )	Densidad de Flujo Magnético ( $\mu T$ )	Densidad de Potencia ( $Wm^{-2}$ )
Hasta 1 Hz	–	$1,63 \times 10^5$	$2 \times 10^5$	–
1 – 8 Hz	20 000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	–
8 – 25 Hz	20 000	$2 \times 10^4 / f$	$2,5 \times 10^4 / f$	–
0,025 – 0,82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	–
0,82 – 65 kHz	610	24,4	30,7	–
0,065 – 1 MHz	610	$1,6 / f$	$2 / f$	–
1 – 10 MHz	$610 / f$	$1,6 / f$	$2 / f$	–
10 – 400 MHz	61	0,16	0,2	10
400 – 2000 MHz	$3 f^{0,5}$	$0,008 f^{0,5}$	$0,01 f^{0,5}$	$f / 40$
2 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50

**Tabla 3.4 Límites máximos permisibles ICNIRP – Exposición Ocupacional**

### 3.1.2.1 Niveles de referencia para corrientes inducidas por contacto

Se dan niveles de referencia para corrientes inducidas con el fin de evitar Shock y quemaduras por contacto con las mismas. Estos niveles se dan para frecuencias hasta los 110 MHz, implicando la frecuencia de radio FM.

En la tabla 3.5 se indican los niveles de referencia. Para la exposición ocupacional los valores son el doble del público en general debido a que los límites de la corriente en los que se presentan respuestas biológicas en niños y mujeres en edad adulta por contacto, son aproximadamente  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{2}{3}$ , respectivamente, de los límites para el caso de los hombres en edad adulta.

Para el caso de frecuencias en el rango de 10 a 110MHz, en la tabla 3.6 se indican los niveles de referencia para las extremidades que están por debajo de las restricciones básicas del SAR localizado. En el que el nivel de referencia ocupacional es  $\sqrt{5}$  veces el público.

Tipo de Exposición	Rango de Frecuencias	Corriente de Contacto Máxima (mA)
Exposición Ocupacional	Hasta 2,5 kHz	1,0
	2,5 - 100 kHz	0,4 f
	100 kHz - 110 MHz	40
Exposición de Público en General	Hasta 2,5 kHz	0,5
	2,5 - 100 kHz	0,2f
	100 kHz - 110 MHz	20

**Tabla 3.5 Niveles de Referencia corrientes de contacto variables en el tiempo provenientes de objetos conductores (f= frecuencia en KHz)**

Tipo de Exposición	Corriente (mA)
Exposición Ocupacional	100
Exposición a Público General	45

**Tabla 3.6 Niveles de Referencia para corrientes inducidas en cualquier extremidad a frecuencias entre 10 y 110 MHz.**

### 3.1.2.2 Exposición a frecuencias múltiples

En circunstancias reales la exposición a los CEM incluye más de una frecuencia. Para calcular la exposición límite a este tipo de exposición combinada, el ICNIRP ha desarrollado las siguientes fórmulas:

- En función de la Densidad de Corriente Inducida (J)

Para estímulos eléctricos, relativos a las frecuencias hasta 10MHz, las densidades de corriente inducida deben ser sumadas según la siguiente fórmula:

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{10\text{MHz}} \frac{J_i}{J_{L,i}} \leq 1 \quad (3.1)$$

Donde:

$J_i$  = Densidad de corriente en la frecuencia  $i$

$J_{L,i}$  = Densidad de corriente límite de la frecuencia  $i$  según la tabla 3.1

- En función del SAR

Para los efectos térmicos, aplicable sobre los 100KHz, tanto el SAR y las densidades de potencia deben ser sumados según la siguiente fórmula:

$$\sum_{i=100\text{KHz}}^{10\text{GHz}} \frac{\text{SAR}_i}{\text{SAR}_L} + \sum_{i=10\text{GHz}}^{300\text{GHz}} \frac{S_i}{S_L} \leq 1 \quad (3.2)$$

Donde:

$\text{SAR}_i$  = El SAR debido a la exposición a la frecuencia  $i$

$\text{SAR}_L$  = El SAR límite según la tabla 3.1

$S_i$  = Densidad de potencia en la frecuencia  $i$

$S_L$  = La densidad de potencia límite según la tabla 3.2

- En función de las intensidades de Campo Eléctrico (E) y Campo Magnético (H)

**Frecuencias entre 1Hz y 10MHz:**

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{1\text{MHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{i>1\text{MHz}}^{10\text{MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1 \quad (3.3)$$

$$\sum_{j=1\text{Hz}}^{65\text{KHz}} \frac{H_j}{H_{L,j}} + \sum_{j>65\text{KHz}}^{10\text{MHz}} \frac{H_j}{b} \leq 1 \quad (3.4)$$

Donde:

$E_i$  = Intensidad de Campo Eléctrico en la frecuencia  $i$

$E_{L,i}$  = Intensidad de Campo Eléctrico límite de la frecuencia  $i$  según la tabla 3.3 y 3.4

$H_j$ = Intensidad de Campo Magnético en la frecuencia j

$H_{lj}$ = Intensidad de Campo Magnético límite en la frecuencia j según la tabla 3.3 y 3.4

$a$ = 610V/m, para el caso de exposición ocupacional y 87V/m, para el caso de exposición del público en general.

$b$ =24.4A/m (30.7 $\mu$ T), para el caso de exposición ocupacional y 5A/m (6.25 $\mu$ T), para el caso de exposición del público en general.

### Frecuencias superiores a los 100KHz

Que es donde se producen los efectos térmicos:

$$\sum_{i=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left( \frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{f>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left( \frac{E_{t,i}}{E_{t,i}} \right)^2 \leq 1 \quad (3.5)$$

$$\sum_{f=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left( \frac{H_f}{d} \right)^2 + \sum_{f>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left( \frac{H_f}{H_{t,j}} \right)^2 \leq 1 \quad (3.6)$$

Donde:

$E_i$ = Intensidad de Campo Eléctrico en la frecuencia i.

$E_{li}$ = Intensidad de Campo Eléctrico límite de la frecuencia i según tablas 3.3 y 3.4

$H_j$ = Intensidad de Campo Magnético en la frecuencia j

$H_{lj}$  = Intensidad de Campo Magnético límite de la frecuencia j según tabla 3.3 y 3.4

$c$ = 610/f  $\text{Vm}^{-1}$  (f en MHz) para el caso de exposición ocupacional y 87/f<sup>0.5</sup>  $\text{Vm}^{-1}$  para exposición del público en general.

$d$ =1,6/f  $\text{Am}^{-1}$  (f en MHz) para el caso de exposición ocupacional y 0,73/f  $\text{Am}^{-1}$  para exposición del público en general



- En función de la Corriente de Contacto (I)

Este factor se considera entre las frecuencias de 10-110 MHz, para la corriente de contacto y para la corriente en las extremidades, respectivamente, se debe aplicar lo siguiente:

$$\sum_{j=1 \text{ Hz}}^{110 \text{ MHz}} \frac{I_j}{I_{L,j}} \leq 1 \qquad \sum_{i=10 \text{ MHz}}^{110 \text{ MHz}} \left( \frac{I_i}{I_{L,i}} \right)^2 \leq 1 \qquad (3.7)$$

Donde:

I<sub>j</sub>= Corriente de contacto a la frecuencia j

I<sub>Lj</sub>= Corriente de contacto límite a la frecuencia j según tabla 3.5

I<sub>i</sub>= Corriente en las extremidades a la frecuencia i

I<sub>Li</sub>= Corriente de contacto límite a la frecuencia i según tabla 3.6

Servicios	Rango de Frecuencia (MHz)	SAR promedio cuerpo entero (Wkg <sup>-1</sup> )	SAR localizado (cabeza y tronco) (Wkg <sup>-1</sup> )	SAR localizado (extremidades) (Wkg <sup>-1</sup> )
Radio FM	88-108 MHz	0,08	NA	NA
VHF TV	54-88MHz 174-216 MHz	0,08	NA	NA
UHF TV	407-806 MHz	0,08	NA	NA
Troncalizado 800 MHz	806-869 MHz	0,08	2	4
Telefonía móvil 800 MHz	824-894 MHz	0,08	2	4
Telefonía móvil 900 MHz	890-960 MHz	0,08	2	4
PCS 1800	1710-1880 MHz	0,08	2	4
PCS 1900	1850-1900 MHz	0,08	2	4

**Tabla 3.7 Restricciones básicas para exposición del público en general de los principales sistemas de telecomunicaciones**

Servicios	Rango de Frecuencia (MHz)	Intensidad de campo E ( $Vm^{-1}$ )	Intensidad de campo H ( $Am^{-1}$ )	Densidad de flujo B ( $\mu T$ )	Densidad de potencia de onda plana equivalente Seq ( $Wm^{-2}$ )
Radio FM	88-108 MHz	28,0	0,073	0,092	2,0
VHF TV	54-88MHz 174-216 MHz	28,0	0,073	0,092	2,0
UHF TV	407-806 MHz	29,8	0,08	0,099	2,0
Troncalizado 800 MHz	806-869 MHz	40,0	0,10	0,13	4,3
Telefonía móvil 800 MHz	824-894 MHz	40,6	0,11	0,14	4,4
Telefonía móvil 900 MHz	890-960 MHz	41,0	0,11	0,14	4,5
PCS 1800	1710-1880 MHz	56,9	0,15	0,19	8,6
PCS 1900	1850-1900 MHz	60,5	0,16	0,20	9,7

**Tabla 3.8 Niveles de referencia para exposición del público en general de los principales sistemas de telecomunicaciones**

### **3.2 ESTÁNDAR IEEE PARA EXPOSICION HUMANA A LOS CAMPOS DE RADIO FRECUENCIA ELECTROMAGNETICA, 3 KHz A 300 GHz.**

El Committee on Man and Radiation (COMAR) del Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) es consciente de la preocupación entre el público por la seguridad de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia (RF) y microondas (MW) generados por los teléfonos móviles y otros dispositivos de comunicación inalámbricos.

#### **3.2.1 Restricciones Básicas y Exposición Máxima Permisible para frecuencias entre 3kHz – 5MHz**

La tabla 3.9 se refiere a las restricciones básicas de las diferentes áreas del cuerpo humano en términos de campo eléctrico dentro del tejido biológico (in situ). Las restricciones básicas de campo eléctrico in situ se aplican en el promedio aritmético determinado sobre (encima) una línea recta de 5 mm largo orientado en alguna dirección dentro del tejido identificado en la tabla. El promedio de tiempo rms de la medida es 0.2 segundos.

		Nivel de Acción	Personas en Ambiente Controlado
<b>Tejido Expuesto</b>	<b>fe (Hz)</b>	<b>Eo (rms) (V/m)</b>	<b>Eo (rms) (V/m)</b>
Cabeza	20	$5.89 \times 10^{-3}$	$1.77 \times 10^{-2}$
Corazón	167	0.943	0.943
Extremidades	3350	2.10	2.10
Otros tejidos	3350	0.701	2.10

**Tabla 3.9 Restricciones básicas en varias regiones del cuerpo**

### Exposición Máxima permisible para Campo Magnético

En la tabla 3.10 se muestra la exposición máxima permisible para el campo magnético, por la exposición de la cabeza y torso. Esta tabla asegura la conformidad de las restricciones básicas presentadas en la tabla anterior.

Rango de Frecuencias (KHz)	Nivel de acción		Personas en Ambiente Controlado	
	B <sub>rms</sub> (mT)	H <sub>rms</sub> (A/m)	B <sub>rms</sub> (mT)	H <sub>rms</sub> (A/m)
3,0 - 3,35	0,687/f	547/f	2,06/f	1640/f
3,35 - 5000	0,205	163	0,615	490

**Tabla 3.10 Exposición Máxima Permisible en cabeza y torso: f = 3 kHz a 5 MHz (f esta expresado en KHz)**

### Exposición de las extremidades

La exposición máxima permisible para las extremidades (piernas y brazos) se presentan en la tabla 3.11:

Rango de Frecuencias (KHz)	Nivel de acción		Personas en Ambiente Controlado	
	B <sub>rms</sub> (mT)	H <sub>rms</sub> (A/m)	B <sub>rms</sub> (mT)	H <sub>rms</sub> (A/m)
3,0 - 3,35	3,79/f	3016/f	3,79/f	3016/f
3,35 - 5000	1,13	900	1,13	90

**Tabla 3.11: Exposición Máxima Permisible Extremidades: f = 3 kHz a 5 MHz (f esta expresado en kHz)**

## Exposición Máxima Permisible de Campo Eléctrico

La exposición máxima permisible de campo eléctrico sinusoidal uniforme en el cuerpo humano se presenta en la tabla 3.12 en términos de campo eléctrico externo imperturbable. El campo imperturbable es constante en magnitud, dirección y la fase relativa sobre la extensión espacial al rodear el cuerpo humano. El tiempo promedio para las medidas en rms deberán ser 0.2 segundos.

	Nivel de Acción	Personas en Ambiente Controlado
Rango de Frecuencia (Hz)	E (rms) (V/m)	E (rms) (V/m)
3 -100	614	1842

**Tabla 3.12 Exposición Máxima Permisible de Campo Eléctrico – exposición en todo el cuerpo humano  $f = 3$  kHz a 100 kHz.**

### 3.2.2 Restricción Básica y Exposición Máxima Permisible para frecuencias entre 100 kHz y 3 GHz.

Las restricciones básicas promedio del cuerpo humano se presentan en la tabla 3.13, están establecidos los efectos adversos en la salud asociados con el calentamiento del cuerpo durante la exposición al cuerpo humano. Consistente con el análisis usado en el estándar anterior; se ha aplicado un factor de seguridad tradicional de 10 para los umbrales SAR establecidos para tales efectos, obteniendo un SAR de 0.4 W/Kg promedio sobre el cuerpo humano. En ausencia de un programa de seguridad de radiofrecuencia, las restricciones básicas del nivel mas bajo también pueden usarse para el público en general, para el cual el nivel mas bajo proporciona mayor seguridad que una exposición continua a largo plazo sobre la población en general estaría con riesgo de efectos adversos.

		<b>Nivel a de acción del SAR<sup>b</sup> (W/kg)</b>	<b>Personas en ambientes controlados SAR<sup>c</sup> (W/kg)</b>
Exposición cuerpo entero	Promedio cuerpo entero (WBA)	0,08	0,4
Exposición localizada	Localizada (Pico espacial-promedio)	2 <sup>c</sup>	10 <sup>c</sup>
Exposición localizada	Extremidades <sup>d</sup>	4 <sup>c</sup>	20 <sup>c</sup>
<sup>a</sup> BR para el público en general cuando un programa de seguridad RF es inasequible			
<sup>b</sup> SAR es promediado sobre los tiempos promedios apropiados.			
<sup>c</sup> Promediado sobre cualquieras 10 g de tejido (definido como el volumen del tejido en la forma de un cubo).			
<sup>d</sup> Las extremidades son los brazos y las piernas distal de los codos y las rodillas respectivamente			

**Tabla 3.13: Restricciones básicas para frecuencias entre 100 kHz y 3 GHz**

### **La Exposición Máxima Permissible para frecuencias entre 100 kHz y 300 GHz**

Para la exposición humana de energía electromagnética de radiofrecuencia desde 100 kHz a 300 GHz; la exposición máxima permissible se expresa en términos de intensidad de campo eléctrico (E) e intensidad de campo magnético (H) en rms y la densidad de potencia equivalente a la onda plana en el espacio libre (S) y son presentadas en función de la frecuencia en las tablas 3.14, 3.15 y 3.16. Para situaciones de exposición a campos múltiples, por ejemplo diferentes fuentes de campo de frecuencias, se determina sumando los porcentajes aplicados a las exposiciones máximas permisibles que cada campo de frecuencia representa y debe asegurarse que esta suma no exceda el 100%. En dichas tablas se asegura el cumplimiento de las restricciones básicas en el SAR promedio del cuerpo completo.

Rango de frecuencias (MHz)	Intensidad de campo eléctrico [E] <sup>a</sup> RMS (V/m)	Intensidad de campo magnético [H] <sup>a</sup> RMS (V/m)	Densidad de potencia (S) RMS Campo E, Campo H (W/m <sup>2</sup> )	Tiempo promediado [E] <sup>2</sup> , [H] <sup>2</sup> o S min
0,1 - 1,0	1842	16,3 / f <sub>M</sub>	(9000,100000/f <sub>M</sub> <sup>2</sup> ) <sup>b</sup>	6
1,0 - 30	1842/f <sub>M</sub>	16,3 / f <sub>M</sub>	(9000/f <sub>M</sub> <sup>2</sup> ,100000/f <sub>M</sub> <sup>2</sup> )	6
30 - 100	61,4	16,3 / f <sub>M</sub>	(10,100000/f <sub>M</sub> <sup>2</sup> )	6
100 - 300	61,4	0,163	10	6
300 - 3000			f <sub>M</sub> /20	6
3000 - 30000			100	19,63/f <sub>G</sub> <sup>1,079</sup>
30000 - 300000			100	2,524/f <sub>G</sub> <sup>0,476</sup>

Nota: f<sub>M</sub> es la frecuencia en MHz, f<sub>G</sub> es la frecuencia en GHz

**Tabla 3.14 Exposición máxima permisible para el nivel superior (personas en ambientes controlados)**

Rango de frecuencias (MHz)	Intensidad de campo eléctrico [E] <sup>a</sup> RMS (V/m)	Intensidad de campo magnético [H] <sup>a</sup> RMS (V/m)	Densidad de potencia (S) RMS Campo E, Campo H (W/m <sup>2</sup> )	Tiempo <sup>b</sup> promediado [E] <sup>2</sup> , [H] <sup>2</sup> o S (min)	
0,1 - 1,34	614	16,3 / f <sub>M</sub>	(1000,100000/f <sub>M</sub> <sup>2</sup> ) <sup>c</sup>	6	6
1,34 - 3	823,8 / f <sub>M</sub>	16,3 / f <sub>M</sub>	(1800/f <sub>M</sub> <sup>2</sup> ,100000/f <sub>M</sub> <sup>2</sup> )	f <sub>M</sub> <sup>2</sup> /0,3	6
3,00 - 30	823,8 / f <sub>M</sub>	16,3 / f <sub>M</sub>	(1800/f <sub>M</sub> <sup>2</sup> ,100000/f <sub>M</sub> <sup>2</sup> )	30	6
30 - 100	27,5	158,3 / f <sub>M</sub> <sup>1,908</sup>	(2/3400000/f <sub>M</sub> <sup>3,336</sup> )	30	0,0636 f <sub>M</sub> <sup>1,337</sup>
100 - 400	27,5	0,0729	2	30	30
400 - 2000			f <sub>M</sub> /200	30	
2000 - 5000			10	30	
5000 - 30000			10	150 / f <sub>G</sub>	
30000 - 100000			10	25,24 / f <sub>G</sub> <sup>0,476</sup>	
100000 - 300000			(90 f <sub>G</sub> - 7000) / 200	5048/[(9 f <sub>G</sub> - 700)f <sub>G</sub> <sup>0,476</sup> ]	

Nota: f<sub>M</sub> es la frecuencia en MHz, f<sub>G</sub> es la frecuencia en GHz

**Tabla 3.15 Nivel de Acción (MPE para el público general cuando un programa de seguridad RF es inasequible)**

Servicio	Rango de frecuencias (MHz)	$E_{rms}$ (V/m)	$H_{rms}$ (A/m)	$S_{rms}$ Campo E, Campo H		Tiempo de promediación $[E]^2$ , $[H]^2$ o S (min)	
VHF TV	54 - 88	27,50	0,13	2,00	6.27	30	6
FM broadcast	88 - 108	27,50	0,08	2,00	2.14	30	6
VHF TV	174 - 216	27,50	0,07	2,00	2.00	30	6
Trunking 800 MHz	806 - 869			4,19		30	
Mobile Telephony 800 MHz	824 - 894			4,30		30	
Mobile Telephony 900 MHz	890 - 960			4,63		30	
PCS 1800 MHz	1710 - 1880			8,98		30	
PCS 1900 MHz	1850 - 1900			9,38		30	

**Tabla 3.16 Niveles de acción de exposición máximos permisibles para servicios y sistemas de telecomunicaciones**

### **3.3 LA RECOMENDACIÓN UIT-T K-52 (Orientación Sobre el Cumplimiento de los Límites de Exposición de las Personas a los Campos Electromagnéticos)**

Esta recomendación presenta las definiciones de los parámetros atingentes, relevantes a la exposición de los CEM (Campos Electromagnéticos) producidos por los servicios de telecomunicaciones; tales como: ganancia de antena, potencia media, tiempo de promediación, exposición continua, corriente de contacto, exposición controlada/ocupacional, directividad, potencia irradiada isotrópica, exposición, nivel de exposición, exposición no uniforme/exposición corporal parcial, región de campo lejano, público en general, corriente inducida, emisor intencional, región del campo cercano, densidad de potencia de onda plana equivalente, diagrama de campo relativo, ganancia numérica relativa, exposición de corta duración, absorción específica, exposición no controlada de la población general, operarios, emisor no intencional, longitud de onda.

En la recomendación se determina la clasificación de un equipo de telecomunicaciones como emisor de campos electromagnéticos intencional o no intencional.

### **3.3.1 Emisiones No Intencionales**

Se refiere a los transmisores que producen los CEM debido a las emisiones de espurias. Estos campos normalmente tienen una magnitud por debajo de los límites de seguridad es por ello que no es necesario una evaluación de los CEM.

### **3.3.2 Emisiones Intencionales**

Los servicios de telecomunicaciones utilizan los CEM como insumos para realizar las comunicaciones y podrían estar por encima de los límites de seguridad dependiendo de las características de la estación radioeléctrica.

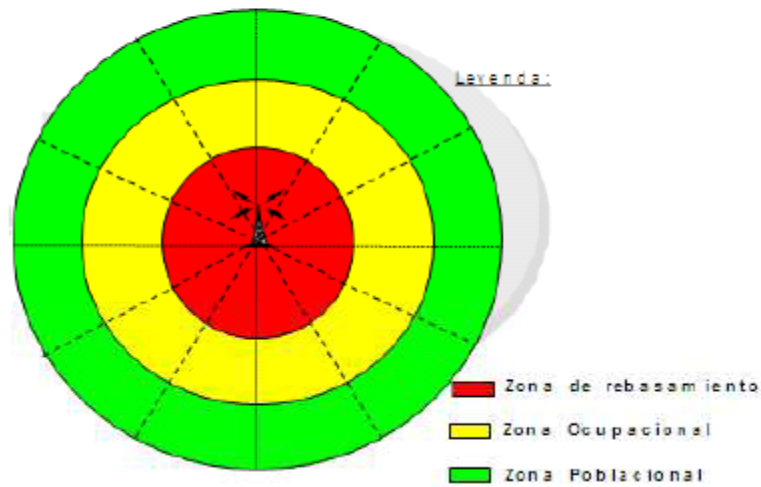
### **3.3.3 Procedimientos de Evaluación de la Exposición a los CEM**

Cuando existen emisiones intencionales, es necesario realizar una evaluación de la exposición a los CEM. Siendo el objetivo clasificar la exposición a los CEM dentro de una de las tres zonas siguientes (Figura 3.1):

- Zona de Conformidad: La exposición a los CEM está por debajo de los límites a la exposición poblacional.
- Zona Ocupacional: La exposición a los CEM está por encima de los límites aplicables a la exposición poblacional.
- Zona de Rebasamiento: La exposición a los CEM está por encima de los límites aplicables a la exposición ocupacional.



## ESQUEMA DE LAS ZONAS



**Figura 3.1. Ilustración figurada de las zonas de exposición**

### 3.3.4 Procedimiento de Evaluación del Nivel de Exposición

La evaluación de los CEM considera las condiciones de emisión más desfavorables y la totalidad de las fuentes que afectan en determinado punto. El nivel de exposición dependerá de la potencia de transmisión, ganancia de la antena, frecuencia, ubicación de la antena, dirección e inclinación del haz. Adicional a estos parámetros, las instalaciones se clasifican de acuerdo a las tres clases siguientes:

#### **Inherentemente Conformes**

Son fuentes que producen campos que normalmente cumplen los límites de exposición a pocos centímetros de la fuente.

#### **Normalmente Conformes**

Las instalaciones normalmente conformes contienen fuentes que producen CEM que puede sobrepasar los límites de exposición pertinentes. Sin embargo, como resultado de prácticas

de instalación normales y del uso típico de estas fuentes para fines de comunicación, la zona de rebosamiento de estas fuentes no es accesible a las personas en condiciones ordinarias. Como es el caso de las antenas montadas en torres suficientemente altas o las estaciones terrenas de haz estrecho apuntadas al satélite. Puede ser necesario que el personal de mantenimiento que tenga que acercarse mucho a los emisores tenga que adoptar precauciones en algunas instalaciones normalmente conformes.

### **Provisionalmente Conformes**

Estas instalaciones requieren medidas especiales para conseguir la conformidad.

Para determinar la clase de instalación se definen:

- Un conjunto de parámetros de referencia de la antena.
- Un conjunto de condiciones de accesibilidad.
- Se determina la PIRE umbral.

### **3.4 RECOMENDACIÓN UIT-T K.61 (Directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen los límites de exposición de las personas)**

La Recomendación hace referencia a las directrices sobre la medición y predicción numérica de los CEM para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones en las frecuencias de 9kHz a 300GHz no están por encima de los límites permisibles de exposición de las personas.

Define los siguientes parámetros: región de campo lejano, región de campo cercano, radiofrecuencia, absorción específica, tasa de absorción específica, longitud de onda.

La Recomendación UIT-T K.52 señala un procedimiento para facilitar el cumplimiento de los límites de seguridad de la exposición de las personas a los campos electromagnéticos.

Los pasos necesarios para lograr este cumplimiento son los siguientes:

- Identificar los límites de conformidad adecuados
- Determinar si es necesario evaluar la exposición a los EMF para la instalación de los equipos en cuestión.
- Si es necesaria dicha evaluación, puede realizarse mediante cálculos o mediciones.
- Si la evaluación indica que pueden sobrepasarse los límites de exposición pertinentes en zonas donde puede haber personas, deben aplicarse las medidas correspondientes para reducir/evitar esa exposición.

La recomendación K.61 orienta en la selección de los métodos de cálculo con la finalidad de comprobar los límites de exposición a que están expuestas las personas.

### **3.4.1 Situaciones típicas**

En las mediciones normalmente aparece uno de los siguientes casos:

- Se conoce la fuente del campo electromagnético y al menos una de sus características. El campo electromagnético procedente de otras fuentes es despreciable a efecto de consideraciones de conformidad. El objetivo consiste en determinar las zonas de conformidad para esta fuente conocida.
- Las fuentes del campo electromagnético son desconocidas. El objetivo es determinar la conformidad de un emplazamiento concreto o verificar los campos electromagnéticos en la región fuera de banda para confirmar que pueden despreciarse otras fuentes electromagnéticas.
- El objetivo consiste en determinar la conformidad en un emplazamiento concreto y si se observa que no existe dicha conformidad, averiguar la contribución relativa de las fuentes a la no conformidad.

En el primer caso debe conocerse con precisión la banda de frecuencias de emisión. La potencia transmitida, la polarización y el diagrama de antena pueden conocerse de forma aproximada. Por consiguiente, las mediciones pueden centrarse en la gama de frecuencias de interés. La Recomendación K.52 debe emplearse para obtener una estimación de la intensidad de campo a fin de determinar la instrumentación adecuada que hay que utilizar.

En el segundo caso puede que sea necesario comprobar todo el espectro de frecuencias. Una alternativa consiste en realizar una medición con una sonda de banda ancha que integre varias frecuencias.

El tercer caso es una ampliación del segundo, si las mediciones iniciales indican que no hay conformidad, es necesario realizar mediciones selectivas en frecuencia utilizando, por ejemplo, una antena y un analizador de espectro.

Los límites generalmente se expresan como valores eficaces de una onda continua promediada a lo largo de un periodo definido. Por ejemplo, los límites de referencia ICNIRP (es decir, el campo) deben promediarse a lo largo de cualquier periodo de seis minutos en frecuencias por debajo de 10 GHz y a lo largo de un periodo de  $68/f$  1.05 minutos en frecuencias superiores a 10 GHz.

### **Promediado espacial**

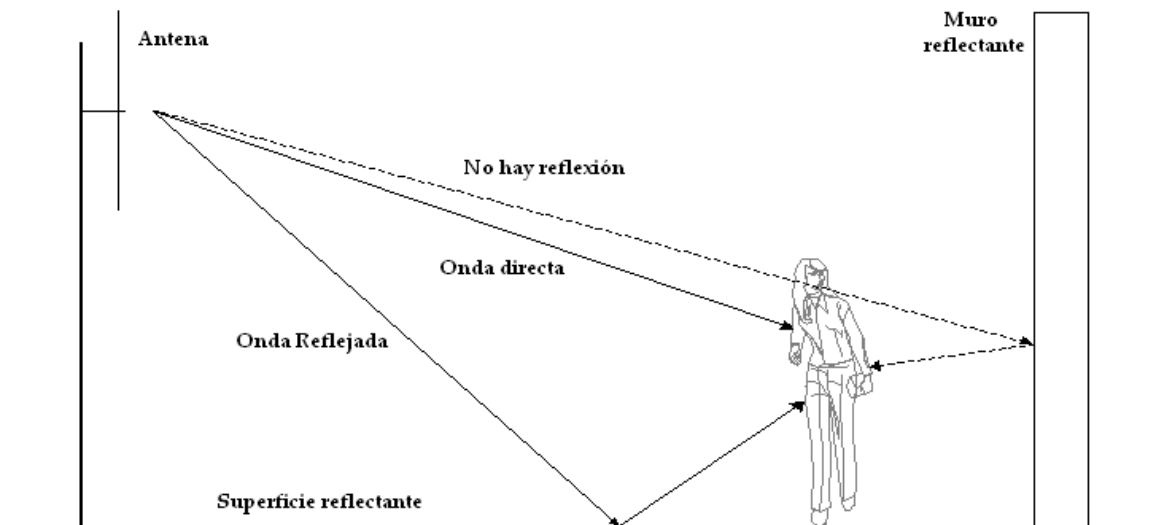
En las instalaciones de telecomunicaciones, los valores de campo más elevados aparecen en lugares próximos a las antenas en zonas donde los campos pueden variar apreciablemente a escala del tamaño de las personas. En estos casos es necesario realizar una promediación espacial para obtener un resultado más preciso.

## Cantidades

Las normas de exposición normalmente se refieren a la componente eléctrica y magnética o a los límites de densidad de potencia. Sólo se miden individualmente cuando sea preciso a causa de las propiedades del campo relativas a las regiones de campo.

### 3.4.2 Apantallamiento y dispersión

La intensidad del campo electromagnético varía con la posición espacial debido al efecto de la reflexión y la dispersión sobre las estructuras conductoras adyacentes. La escala de esta variabilidad es función de la longitud de onda y es importante considerarla para determinar los emplazamientos de máxima exposición y utilizar el promediado espacial de manera adecuada.



**Figura 3.2 Apantallamiento y Dispersión**

Como las normas de exposición especifican los límites de la exposición de las personas, debe considerarse el efecto del propio cuerpo sobre el diagrama de campo.

La figura 3.2 muestra una situación en la que la presencia de una persona absorbería la onda incidente creando una región de sombra e impidiendo una reflexión que, de

producirse, incrementaría el campo en el emplazamiento donde se encuentra el cuerpo humano.

Estos tipos de efectos, especialmente a las frecuencias de microondas, pueden dar lugar a una sobreestimación del campo durante las mediciones o los cálculos numéricos realizados cerca de objetos reflectantes.

### **3.4.3 Variabilidad de la fuente**

Las fuentes de telecomunicaciones a veces son variables debido a la variabilidad de la potencia transmitida y del diagrama de antena que son especialmente importantes.

#### **Variabilidad de la potencia**

Al evaluar la exposición debe tenerse en cuenta la máxima potencia total radiada por el transmisor. La potencia transmitida por un sistema de telecomunicaciones podría variar debido al control automático de potencia o a la variabilidad en la utilización del canal (que es un efecto pequeño).

#### **Variabilidad de la antena**

Aunque es menos común que la variabilidad de la potencia, algunos sistemas de telecomunicaciones utilizan antenas activas que pueden modificar dinámicamente su diagrama de radiación.

#### **Fuentes intermitentes**

Algunas fuentes utilizadas en telecomunicaciones son intermitentes. Tales fuentes emiten energía de RF únicamente si necesitan transmitir alguna información.

Estas fuentes pueden funcionar de forma regular, transmitiendo datos a intervalos periódicos o según un horario definido.

Dichas fuentes también pueden funcionar de forma irregular transmitiendo datos únicamente si son activadas por un operador o si se ha acumulado un volumen suficiente de datos como para activar la transmisión.

### 3.4.4 Métodos de cálculo

Los métodos de cálculo a que hace referencia la Recomendación K.61 son en su mayoría para el campo cercano. Para campo lejano se mencionan los cálculos descritos en la Recomendación K.52.

En la tabla 3.17 se presentan los factores para la selección de los métodos de cálculo.

Zona de campo	Topología	Cantidad evaluada	Técnica numérica adecuada
Campo cercano	Abierta	Campos	FDTD, MOM
Campo cercano	Abierta	SAR	FDTD
Campo cercano	Cerrada, múltiples dispensores	Campo	FDTD, MOM
Campo cercano	Cerrada, múltiples dispensores	SAR	FDTD, MR/FDTD
Campo lejano	Abierta	Campo	Trazado de rayos, MOM
Campo lejano	Múltiples dispersores (Entorno urbano complejo)	Campo	Trazado de rayos

**Tabla 3.17 Selección de técnicas numéricas**

Técnicas numéricas o métodos de cálculo:

FDTD: Diferencia finita en el dominio del tiempo

MR/FDTD: Región múltiple de diferencia finita en el dominio del tiempo

MOM: Método de los momentos o el código electromagnético numérico (NEC)

### 3.5 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN Y CONTROL

El procedimiento de medición que será aplicado a las estaciones radioeléctricas fijas que operan en el rango de 3kHz a 300 GHz, con la finalidad de evaluar la conformidad con las disposiciones del presente Reglamento, se lo realizará de la siguiente manera:

- Como paso previo a la medición se llevará a cabo un levantamiento visual del lugar de instalación del sistema irradiante, y se tomarán fotografías para dar una vista panorámica del entorno de la antena considerada.
- Se deberá efectuar la medición en los puntos accesibles al público donde la misma sea prácticamente realizable.
- A efectos de evitar posibles acoplamientos capacitivos, los puntos de medición deben encontrarse a una distancia no inferior a 20 cm de cualquier objeto.
- Se calculará el punto de frontera entre el campo cercano y el campo lejano al fin de medir:
  - En el campo lejano el campo eléctrico E o el campo magnético H.
  - En el campo cercano el campo eléctrico E y el campo magnético H

Considerando que el punto de frontera está dado por el máximo entre:

$$\text{Máx } (3\lambda; 2D^2/\lambda) \quad (3.8)$$

Donde:

D: Es el diámetro de la antena. (m)

$\lambda$ : Longitud de onda. (m)

#### 3.5.1 Método de medición

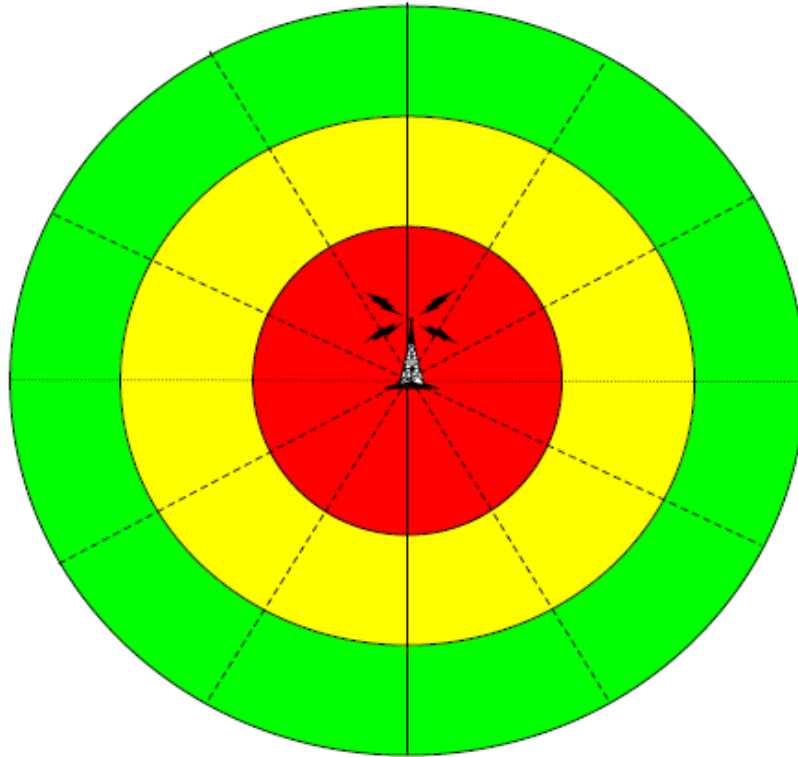
- El encargado de realizar las medidas correspondientes deberá colocarse en el límite del cálculo teórico de la zona ocupacional y la zona poblacional, (que sea físicamente realizable), cubriendo un área radial cada 30 grados.



- Si el resultado de la medición es superior al establecido en el artículo 3.1.2 del presente Reglamento, se deberá continuar midiendo hasta encontrar el punto que permita cumplir con los límites establecidos.
- Para cada uno de los radiales deberá cubrirse lo establecido en el punto 1.
- Se repetirá los puntos 1, 2 y 3 al fin de determinar la zona de rebasamiento.
- Una vez establecidos y cumplidos los límites máximos de exposición se procederá con levantamiento de la señalización que sea visible al público en general y a los operarios en el caso de la zona de rebasamiento.

**Notas:**

- a) En aquellos casos en los que el responsable técnico de la SUPTEL, considere que los puntos precedentes no se ajusten para la medición, dadas las características de la instalación y funcionamiento, podrá determinar otros puntos de medición, aclarando en el informe correspondiente las justificaciones del caso.
- b) Los puntos de medición deberán quedar perfectamente definidos sobre el croquis a presentar en el informe técnico de inspección, con el fin de permitir la realización de controles periódicos.
- c) En los casos que corresponda, las mediciones se realizarán en las horas de mayor tráfico, para lo cual el concesionario deberá poner a disposición de la SUPTEL la información que requiera.



Legenda:

Zona de rebasamiento

Zona Ocupacional

Zona Poblacional

— Líneas de 30°

Puntos de mediciones: intersecciones entre la zona Ocupacional y las líneas de 30°

**Figura 3.3 Esquema de Zonas**

### **3.5.2 Cálculo para el estudio técnico de emisiones de RNI (Cálculo de la distancia de seguridad)**

#### **Determinación de la Distancia de Seguridad**

- a) A partir del peor de los casos se establece la densidad de potencia de la onda plana equivalente.
- b) Se aplica presente cálculo solo a campo lejano.

Para determinar la distancia de seguridad se debe utilizar la siguiente fórmula:

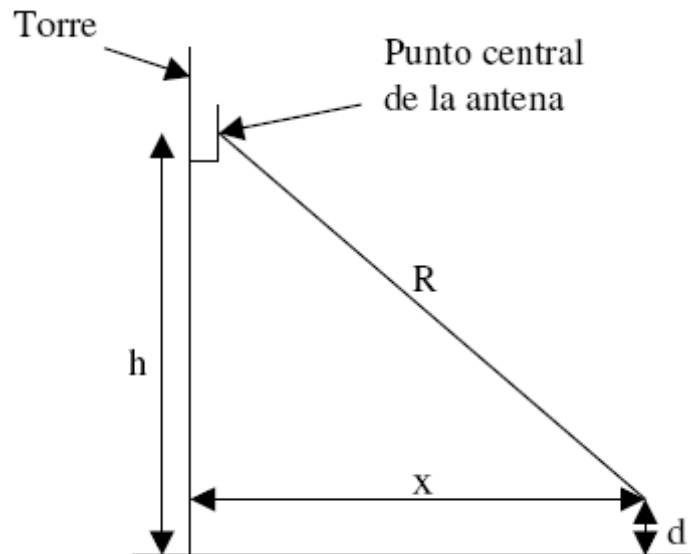
$$S_{\text{lím}} = \text{PIRE} / \pi R^2 \quad (3.9)$$

Donde:

$S_{\text{lím}}$  : Densidad de Potencia de la onda plana equivalente. ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

**PIRE:** Producto de la potencia suministrada a la antena y la máxima ganancia de la antena respecto a una antena isotrópica, y sin tomar en cuenta las pérdidas. (W)

**R:** Es la distancia entre el punto central de la fuente radiante y el supuesto individuo expuesto a Campos Electro-Magnéticos. (m)



**Figura 3.4 Distancia a emisor**

$$R^2 = X^2 + (h - d)^2 \quad (3.10)$$

### Condiciones de Aplicación

- Para definir el límite máximo de la zona de exposición poblacional y ocupacional se debe tomar los valores de  $S_{\text{lím}}$  definidos en el artículo 3.1.2 del Reglamento indicado.

- b) El cálculo del PIRE se tomará en cuenta el máximo de la potencia y el máximo de la ganancia en los catálogos de los equipos.
- c) Para las frecuencias bajo 10 MHz, no se puede determinar la distancia debido a que los valores de Slím no están determinados, por lo tanto, las zonas de exposición poblacional y ocupacional serán determinadas por la SUPTEL durante el control.
- d) Para efectos de cálculo, tomar como referencia que d sea igual a 1.5 m.
- e) Se debe seguir el procedimiento del formato como se presenta a continuación.

### **3.5.3 Delimitación de Áreas Controladas**

Es obligatorio que las áreas controladas se encuentren señalizadas apropiadamente, teniendo en cuenta las siguientes características:

El acceso al área controlada debe ser permitido solo a personal autorizado, conocedor de las actividades y de los límites de exposición ocupacional respectiva, así como de la necesidad de tomar las precauciones debidas bajo ambiente ocupacional

En el caso de una zona de rebasamiento, es obligatorio que el personal autorizado a ingresar en dicha zona cuente con las protecciones necesarias que aseguren que los límites de exposición ocupacional por efecto de las emisiones RNI no afecten a la salud.

Debe establecerse señalización visible para identificar claramente la zona de rebasamiento, que comprende el área sobre los límites de exposición ocupacional y por tanto debe restringirse el acceso a los operarios y al público en general.

En caso de determinarse zonas que superan los límites de emisión de RNI para exposición poblacional y ocupacional, la señalización será dispuesta tomando en cuenta lo establecido en el Reglamento.

## Señalización de advertencia

Una vez determinadas las zonas que superan los límites de emisión de RNI para exposición poblacional y ocupacional, la señalización de advertencia será como se muestra a continuación:



Figura 3.5 Señalizaciones

### 3.5.4 Modificación de las Estaciones Radioeléctricas fijas instaladas

En el caso de realizar modificaciones en las estaciones radioeléctricas fijas instaladas, que impliquen la alteración de los niveles de campo electromagnético emitidos, tales como:

- Cambio de altura de la antena
- Cambio del P.I.R.E.
- Cambio de la Ganancia de la antena
- Cambio de frecuencia
- Cambio de ancho de banda

Los concesionarios de frecuencias que posean estaciones radioeléctricas fijas deben realizar un nuevo estudio técnico de emisiones RNI, y someterlo a consideración de la SNT, la cual autorizará las modificaciones respectivas y será la SUPTEL la que realizará el Informe Técnico de Inspección de RNI como lo contempla el presente Reglamento, el cual debe ser presentado a la SNT en el término de veinte días hábiles, contados a partir de la fecha de autorización de las modificaciones por parte de la SNT

El incumplimiento de lo establecido en el Reglamento, dará lugar a que la SUPTEL imponga las sanciones previstas en la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada.

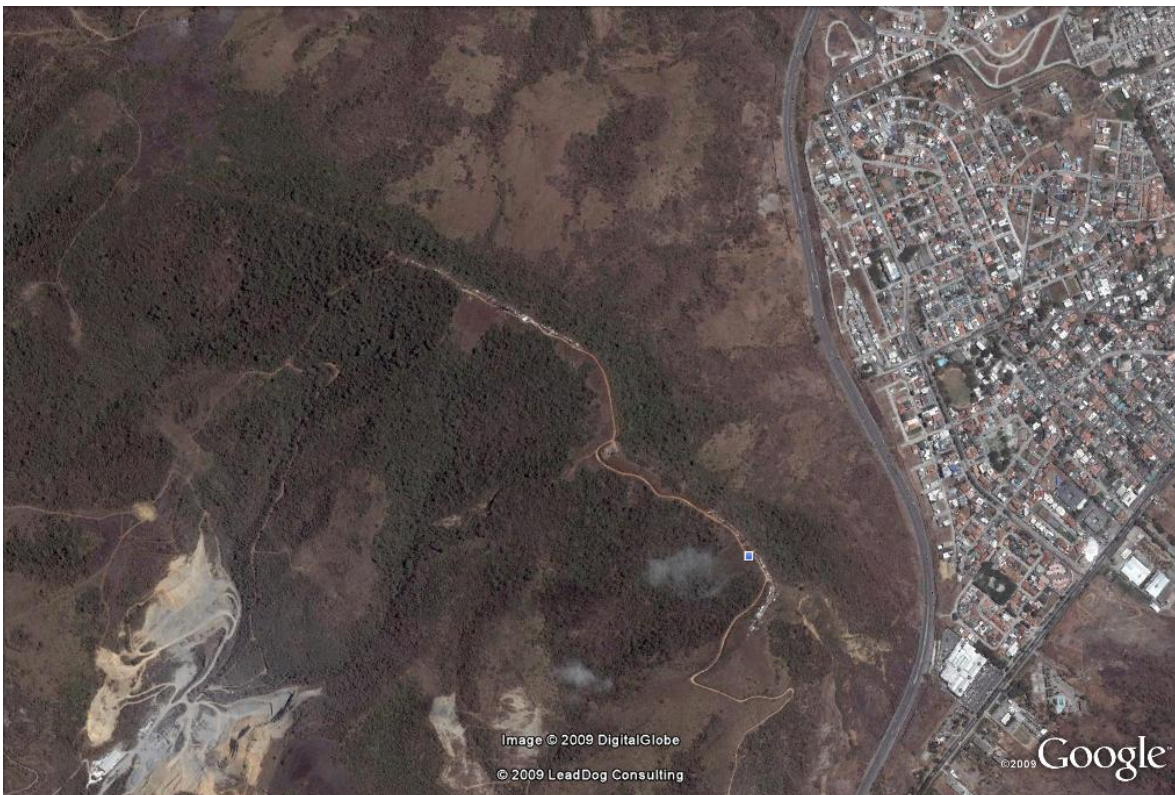
## CAPITULO 4

### ANALISIS PRELIMINAR DEL SITIO

Antes de comenzar con el proceso de mediciones en Cerro Azul era necesario conocer las características físicas del entorno de cobertura ya que esto requiere un análisis previo que consiste en identificar los diferentes sectores de cobertura, escoger el área de estudio y realizar el procedimiento de digitalización y cuantificación de los puntos elegidos.

#### 4.1 IDENTIFICACION DEL SITIO

Para la realización de un estudio de propagación se ha designado un punto estratégico en Cerro Azul (figura 4.1), ubicado en una posición intermedia en el cerro lo que hará más exitoso el estudio.



**Figura 4.1 Sitio de Estudio**

Las coordenadas del sitio son las siguientes:

2° 9'56.50"Sur

79°57'24.18"Oeste

Se llegará al lugar ingresando desde la garita principal ubicada en la Vía Perimetral, portando los respectivos permisos de la Superintendencia de Telecomunicaciones (Supertel) y con personal de esta entidad.

## **4.2 PROPAGACIÓN**

Se determinará la propagación de la señal para cada azimut en sentido omnidireccional cada 30° (ver figura 4.2) para definir de esta manera un perfil topológico y así conocer las zonas de cobertura de la antena a ser estudiada.

### **4.2.1 Cartas Topográficas**

Teniendo ubicado el sitio a estudiar, se debe realizar este estudio en un radio de 20 Km a la redonda y para esto el Instituto Geográfico de la Armada ha facilitado las Cartas adecuadas de este sector.

Las Cartas Topográficas que se utilizarán serán las siguientes:

- Guayaquil
- Pascuales
- Cerro Azul
- Chongón

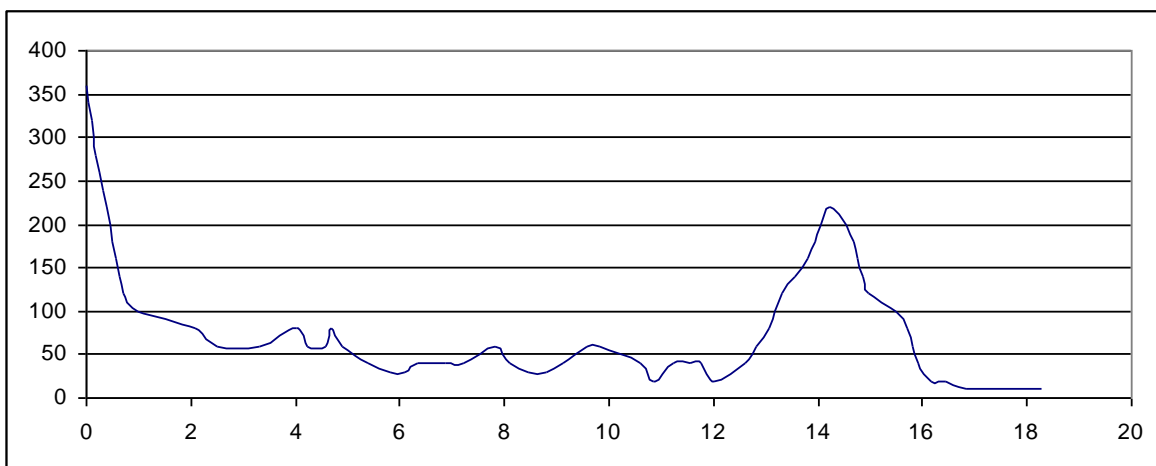




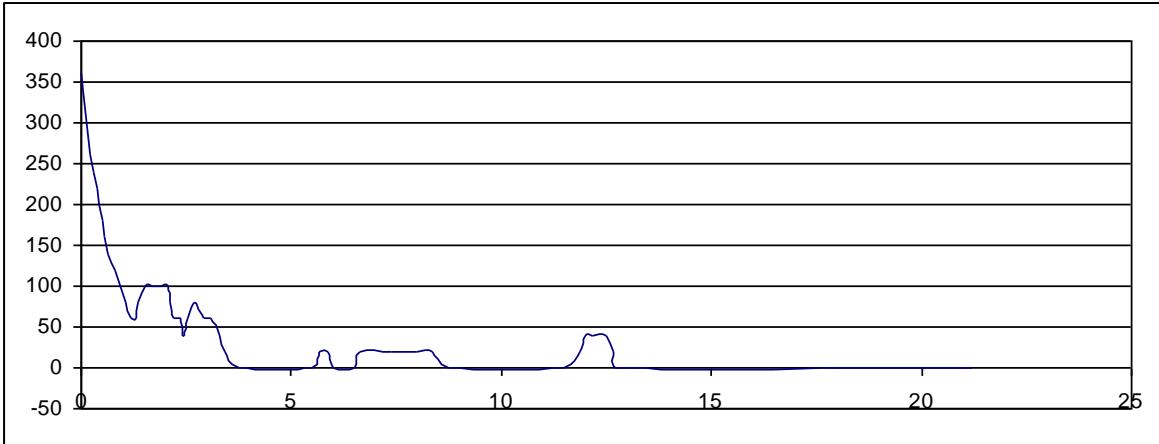
**Figura 4.2 Vista satelital del Área y Azimut**

#### 4.2.2 Perfil Topológico

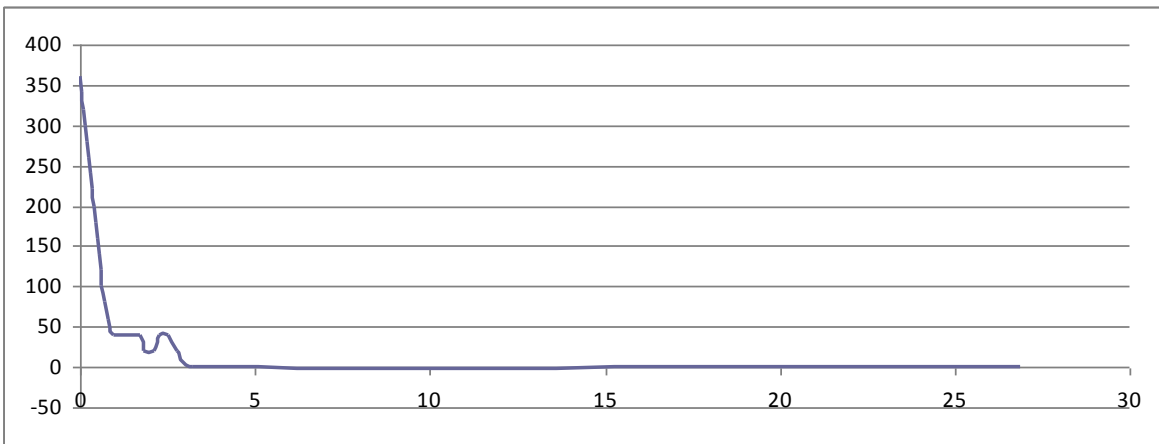
Conociendo los datos de la variación de alturas durante la propagación de la señal, se puede graficar el perfil topológico para cada azimut.



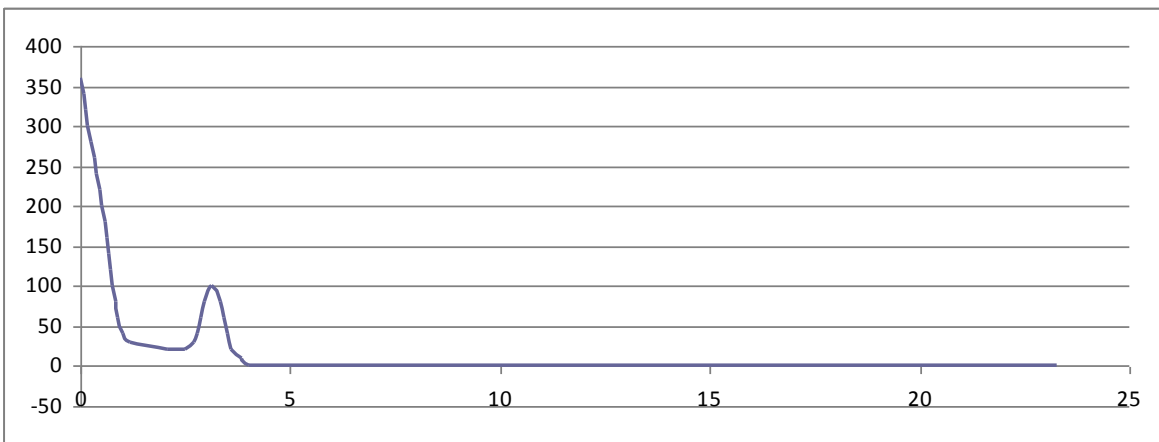
**Figura 4.3 Azimut 0°**



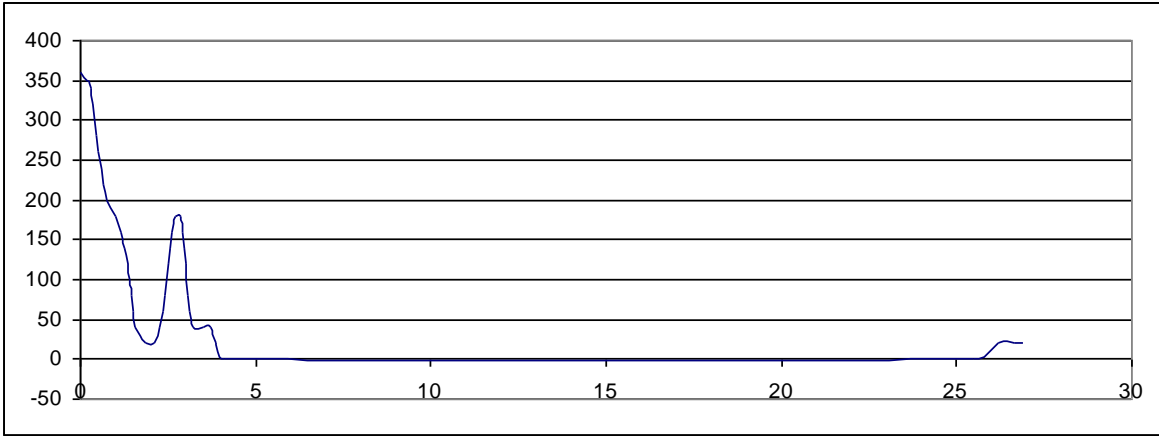
**Figura 4.4 Azimut 30°**



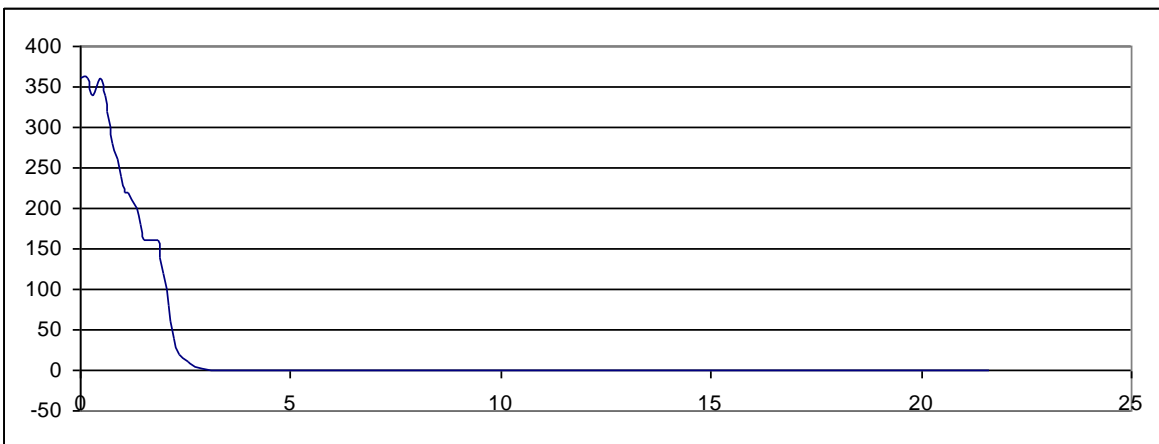
**Figura 4.5 Azimut 60°**



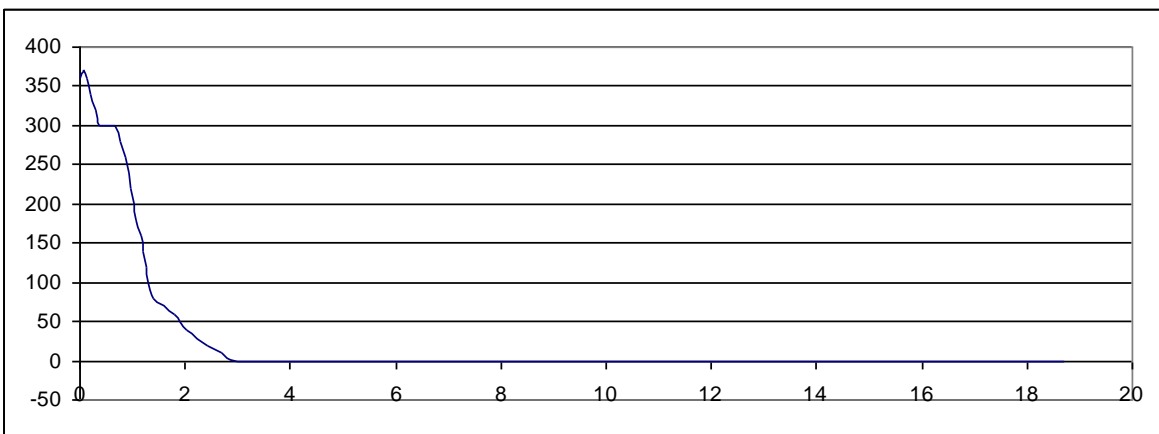
**Figura 4.6 Azimut 90°**



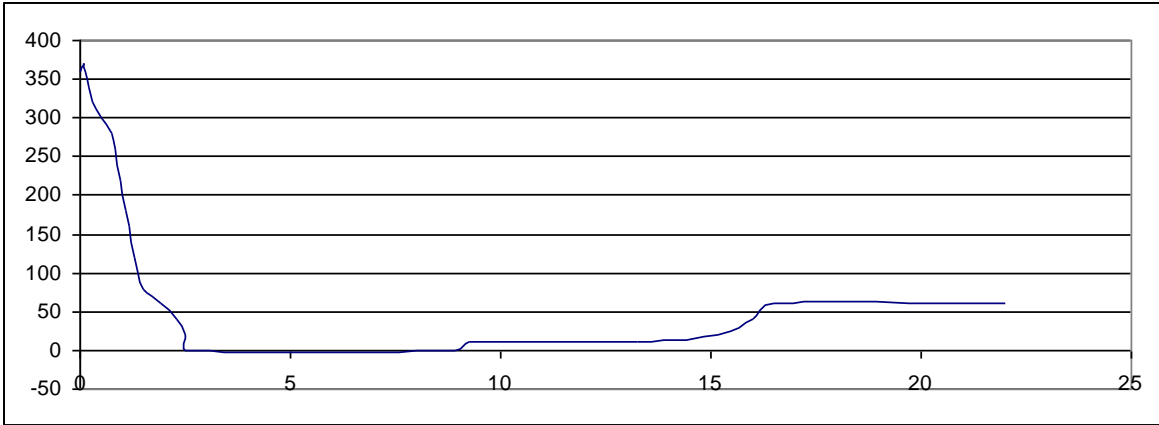
**Figura 4.7 Azimut 120°**



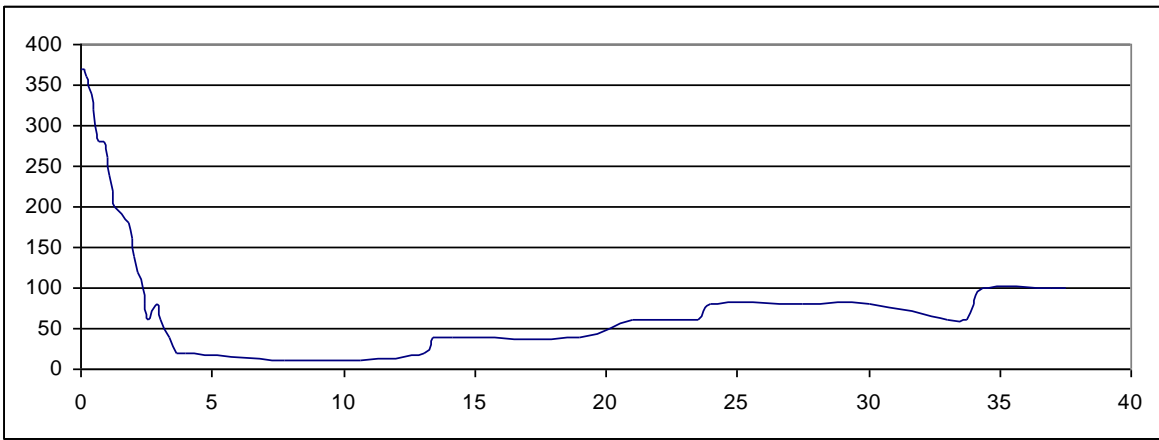
**Figura 4.8 Azimut 150°**



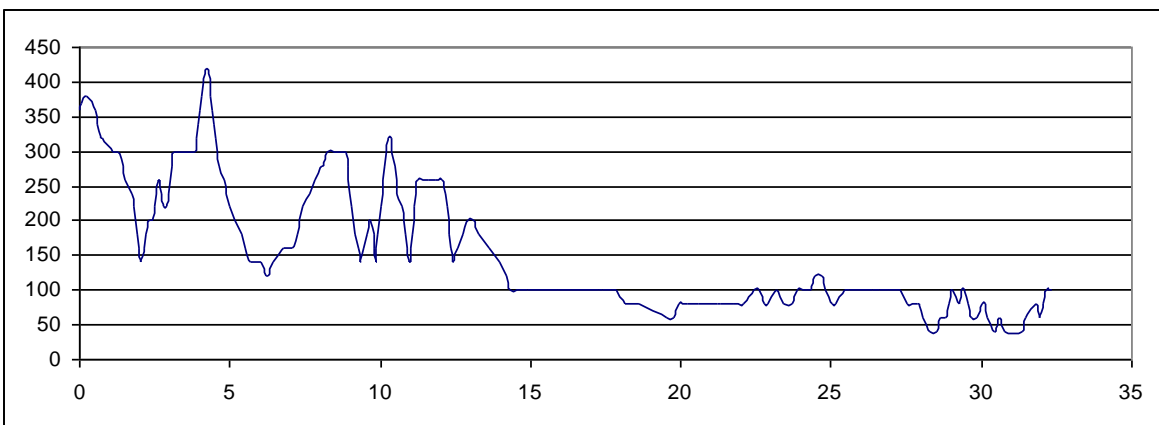
**Figura 4.9 Azimut 180°**



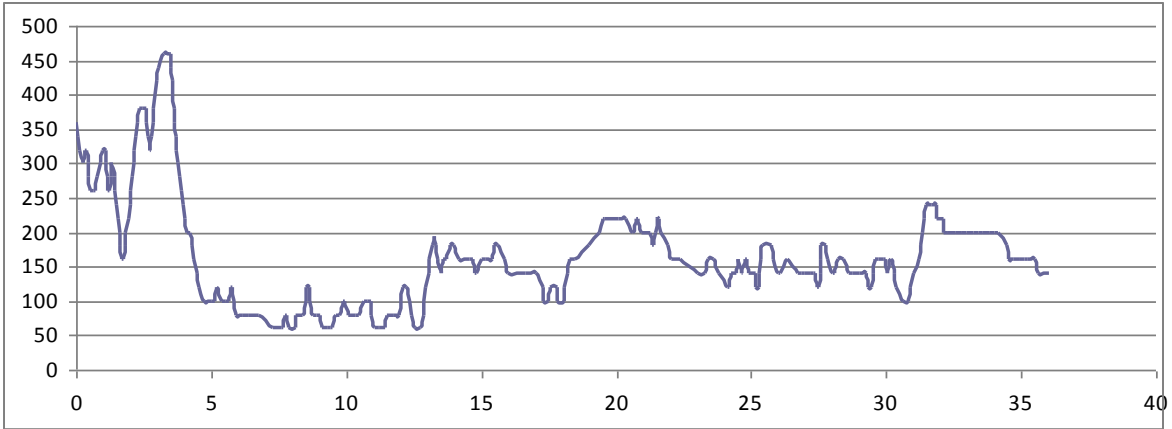
**Figura 4.10 Azimut 210°**



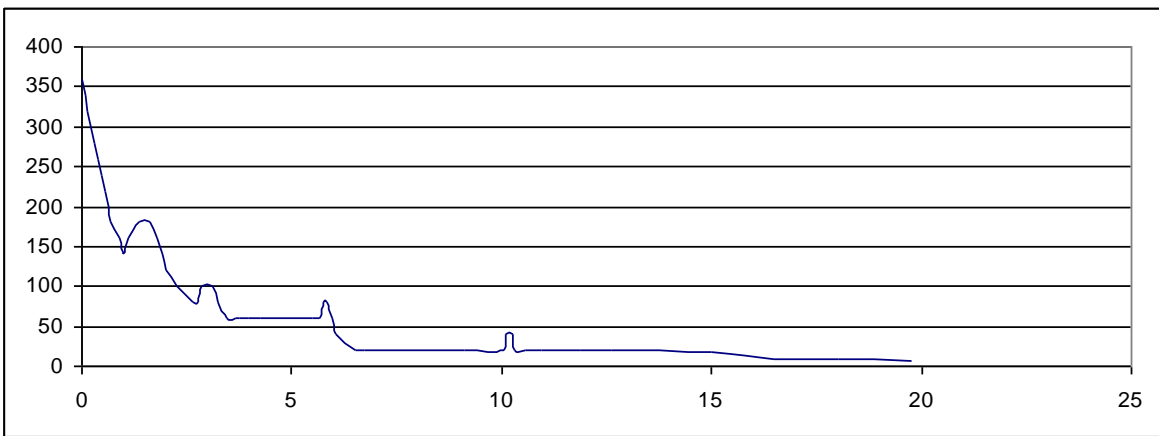
**Figura 4.11 Azimut 240°**



**Figura 4.12 Azimut 270°**



**Figura 4.13 Azimut 300°**

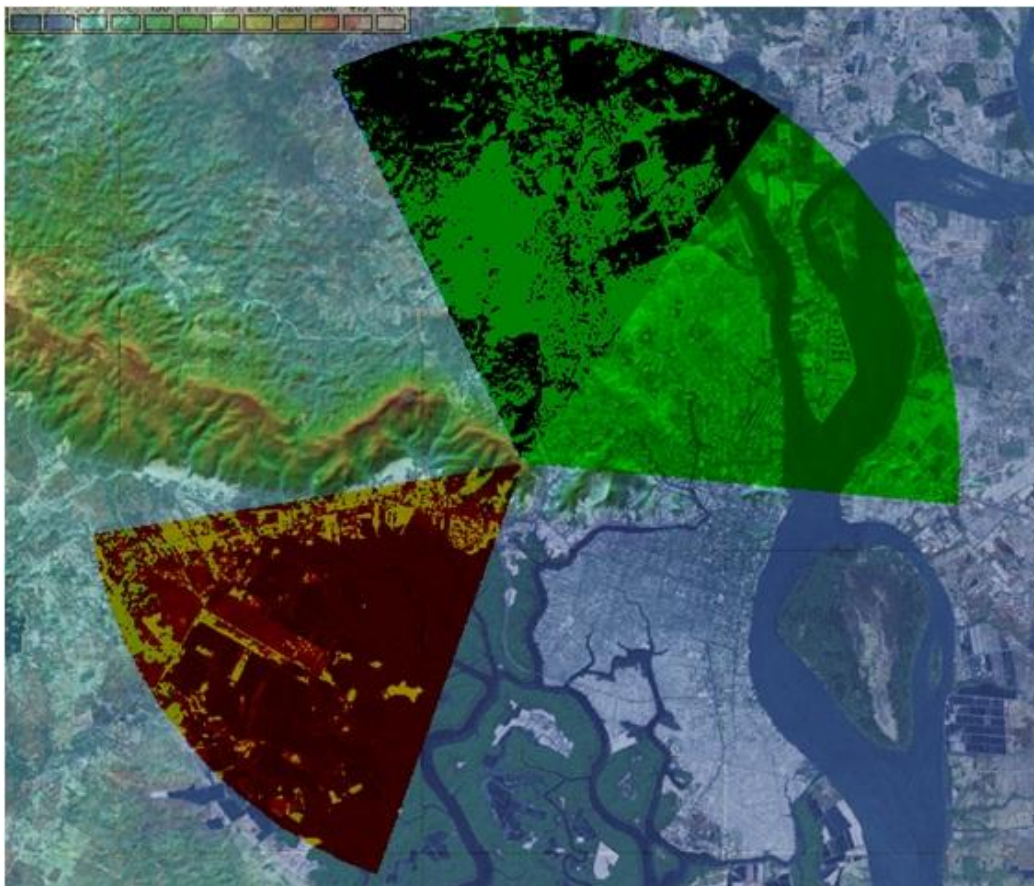


**Figura 4.14 Azimut 330°**

### 4.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE COBERTURA DE LA ANTENA

Habiéndose realizado el estudio de propagación, se puede determinar vía software la propagación de la señal sobre la ciudad de Guayaquil.

Una vez identificadas las zonas de cobertura, se puede separar las mismas para realizar un estudio focalizado en un área determinada. En la figura 4.15 se puede observar las dos zonas de cobertura.



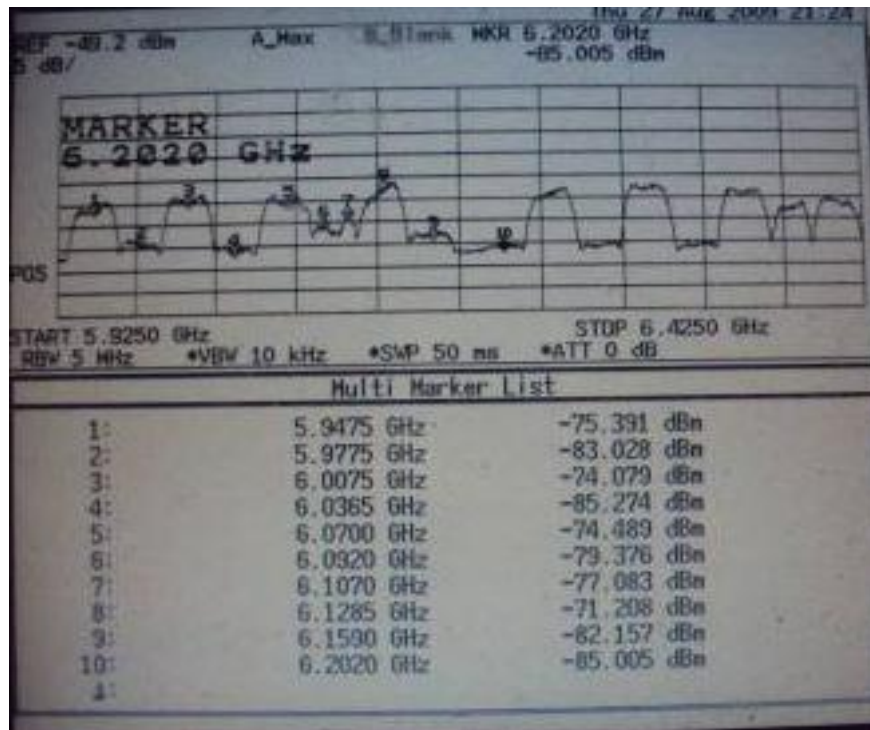
**Figura 4.15 Cobertura de la Antena**

## 4.4 BARRIDOS DE FRECUENCIA

Las gráficas que se presentan a continuación muestran los picos de frecuencia encontrados durante las mediciones con el analizador espectral marca Advantest 3272 en los diferentes rangos de frecuencias en Cerro Azul. Con lo que queda demostrado el grado de Contaminación Electromagnética en este sitio.

### 4.4.1 Análisis en el rango: 5925-6425 MHz

POLARIZACION HORIZONTAL



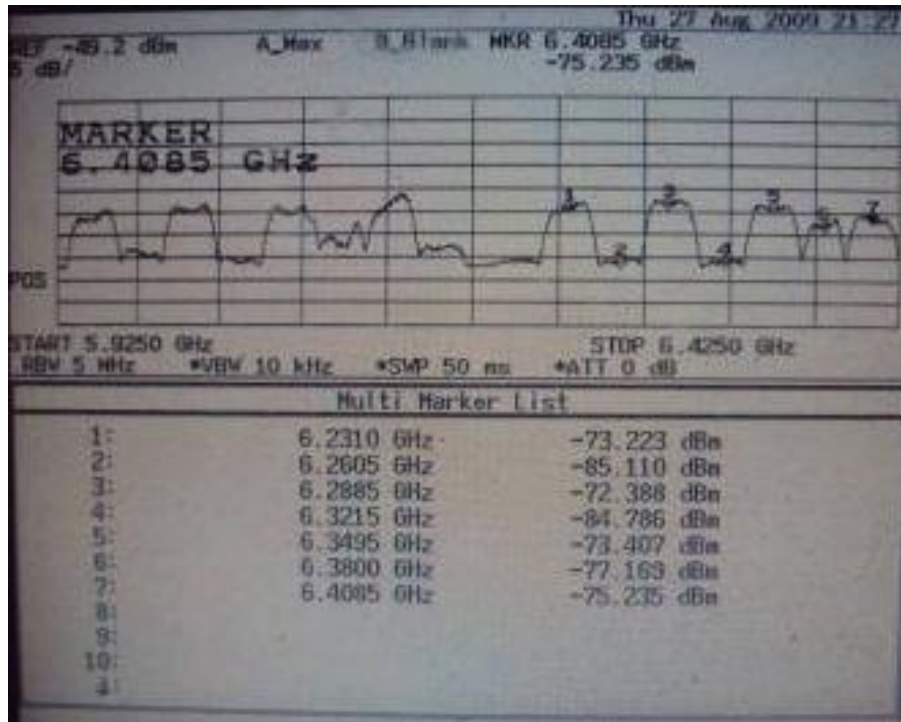
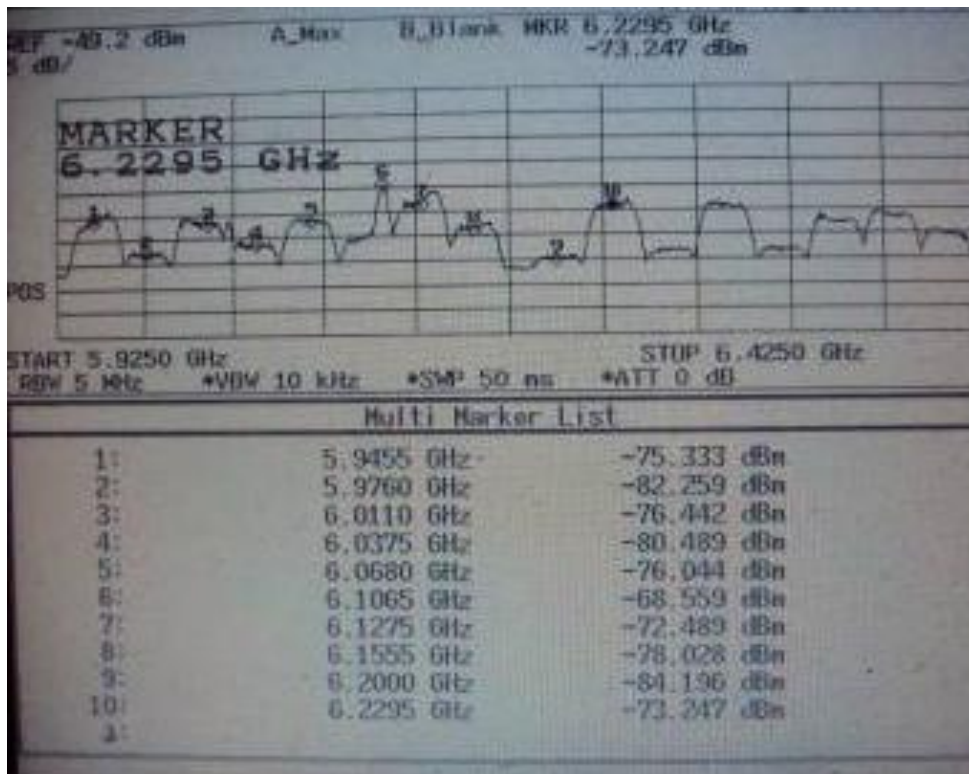


Figura 4.16 Polarización Horizontal 5925-6425 MHz

POLARIZACION VERTICAL





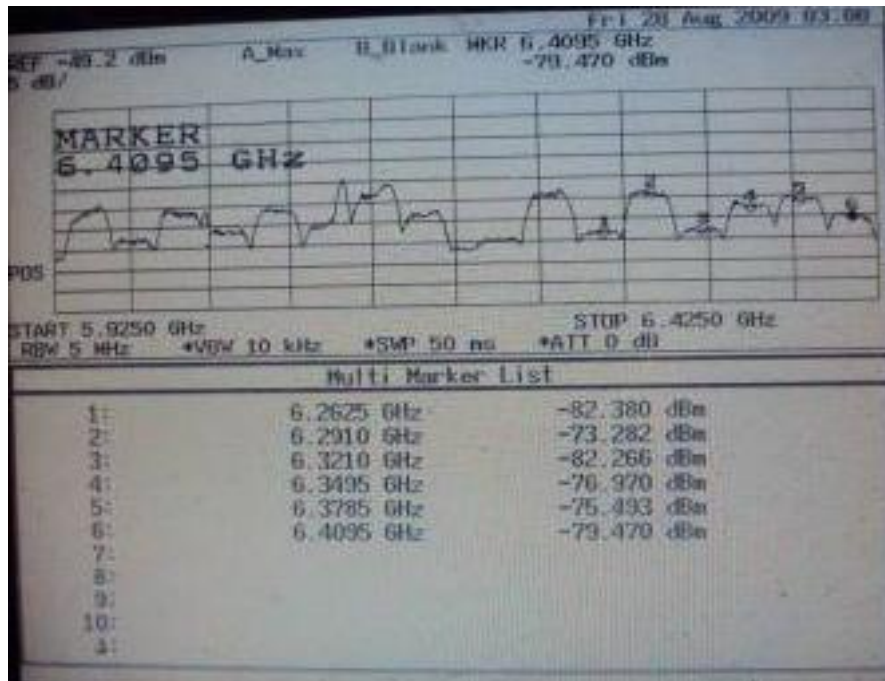


Figura 4.17 Polarización Vertical 5925-6425 MHz

#### 4.4.2 Análisis en el rango: 6425-7110 MHz

#### POLARIZACION HORIZONTAL

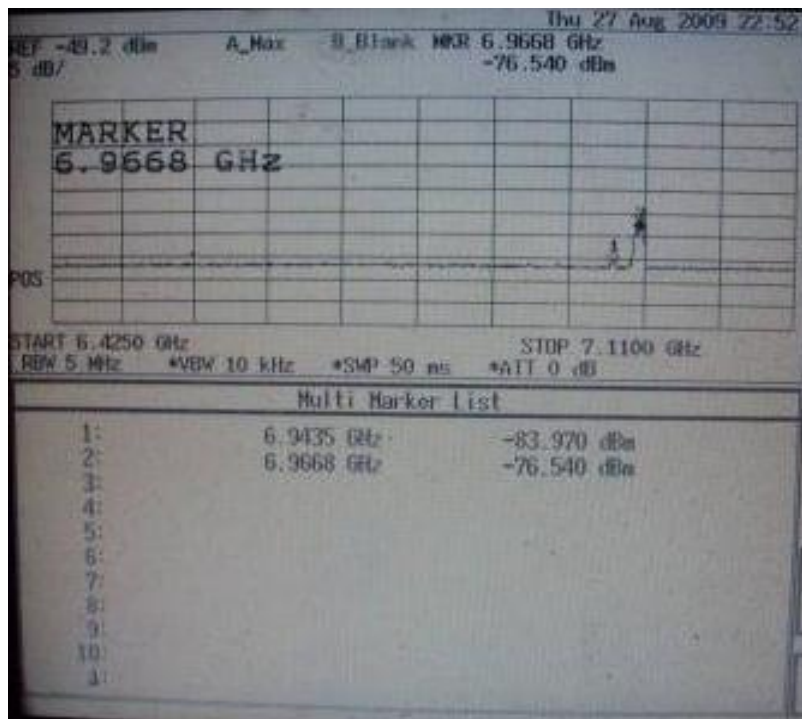


Figura 4.18 Polarización Horizontal 6425-7110 MHz

## POLARIZACION VERTICAL

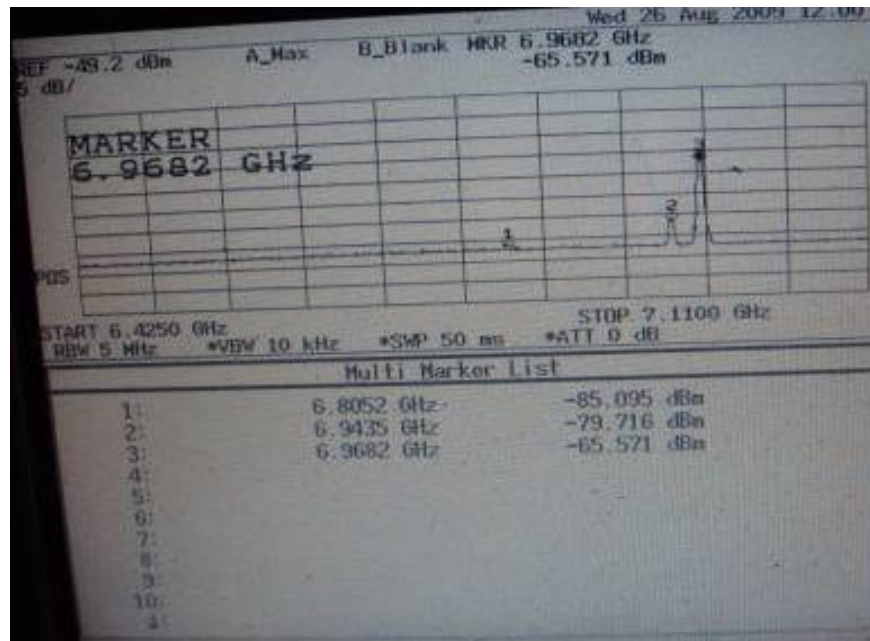


Figura 4.19 Polarización Vertical 6425-7110 MHz

### 4.4.3 Análisis en el rango: 7110-7500 MHz

## POLARIZACION HORIZONTAL

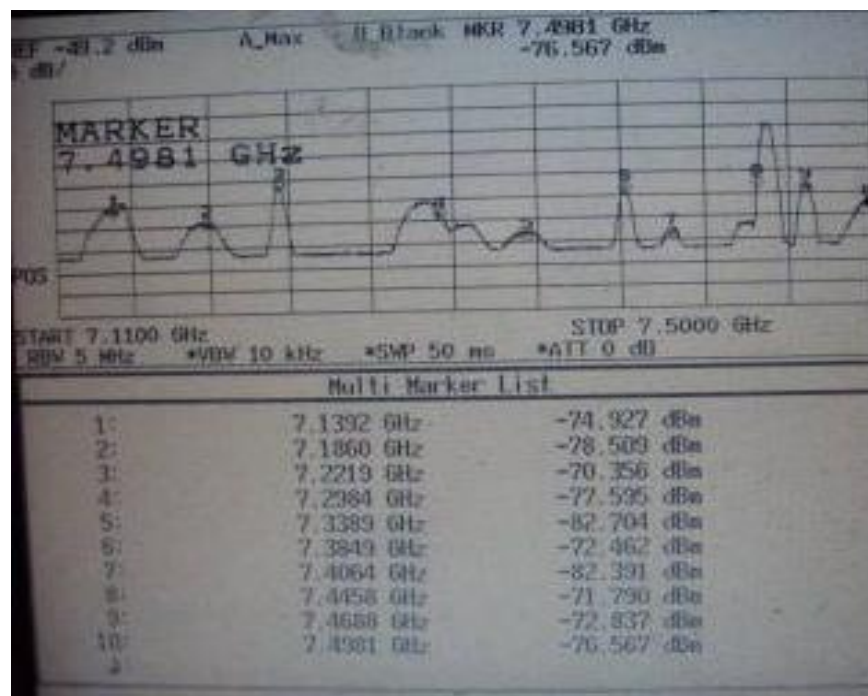


Figura 4.20 Polarización Horizontal 7110-7500 MHz

## POLARIZACION VERTICAL

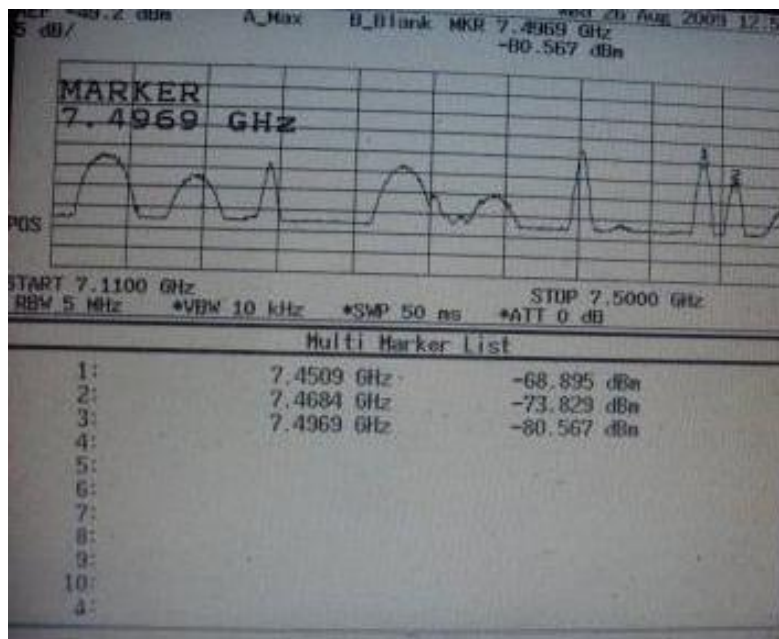
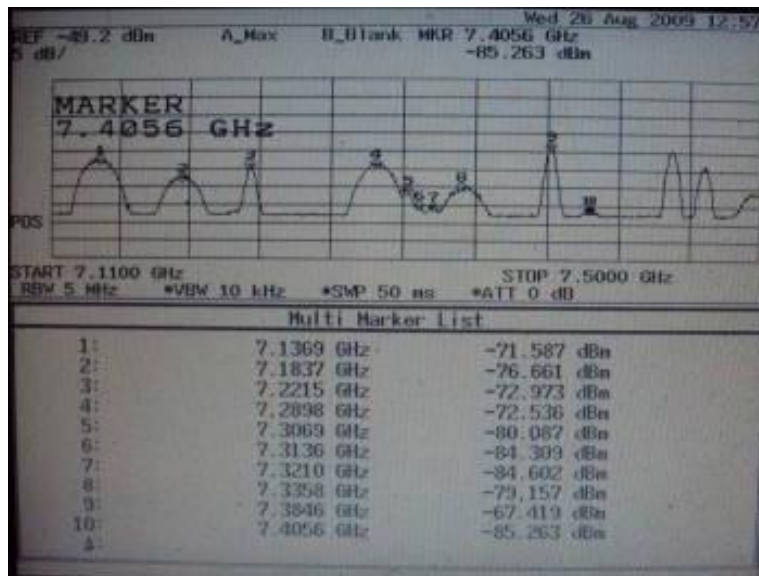


Figura 4.21 Polarización Vertical 7110-7500 MHz

#### 4.4.4 Análisis en el rango: 7500-7900 MHz

##### POLARIZACION HORIZONTAL

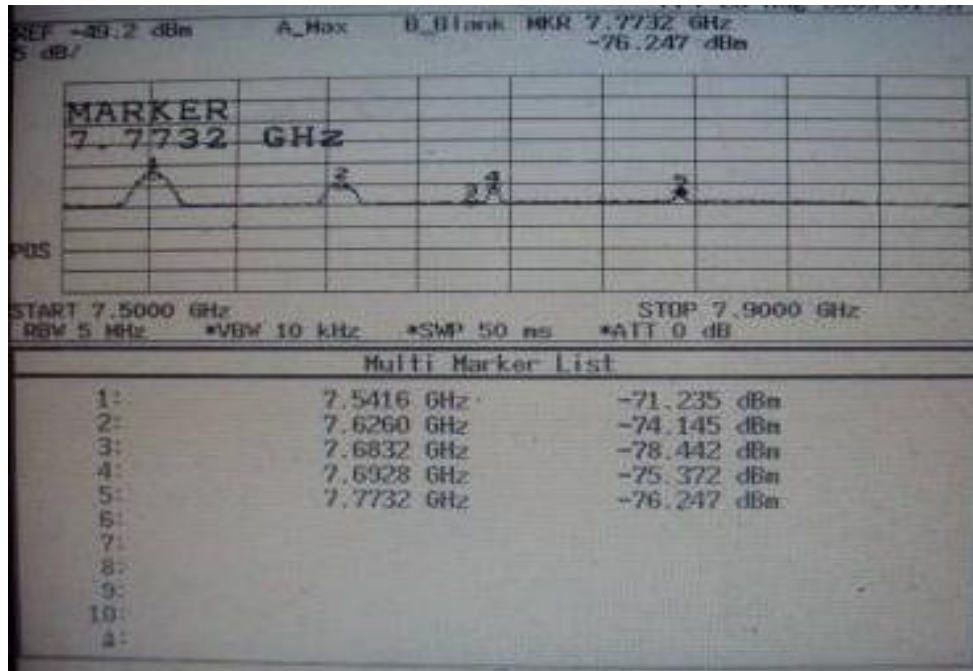


Figura 4.22 Polarización Horizontal 7500-7900 MHz

##### POLARIZACION VERTICAL

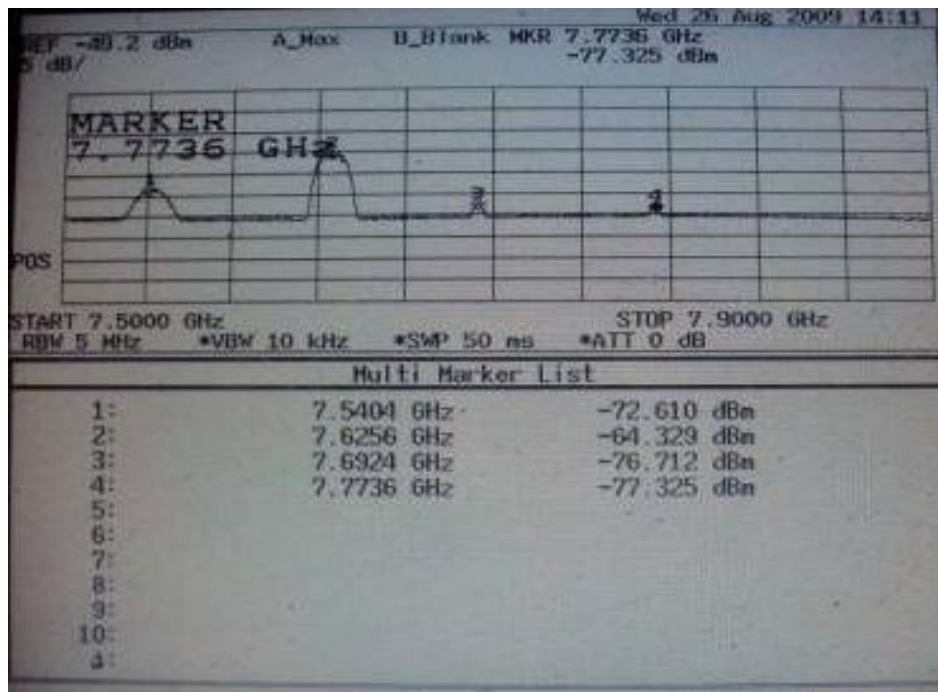


Figura 4.23 Polarización Vertical 7500-7900 MHz

#### 4.4.5 Análisis en el rango: 7900-8500 MHz

##### POLARIZACION HORIZONTAL

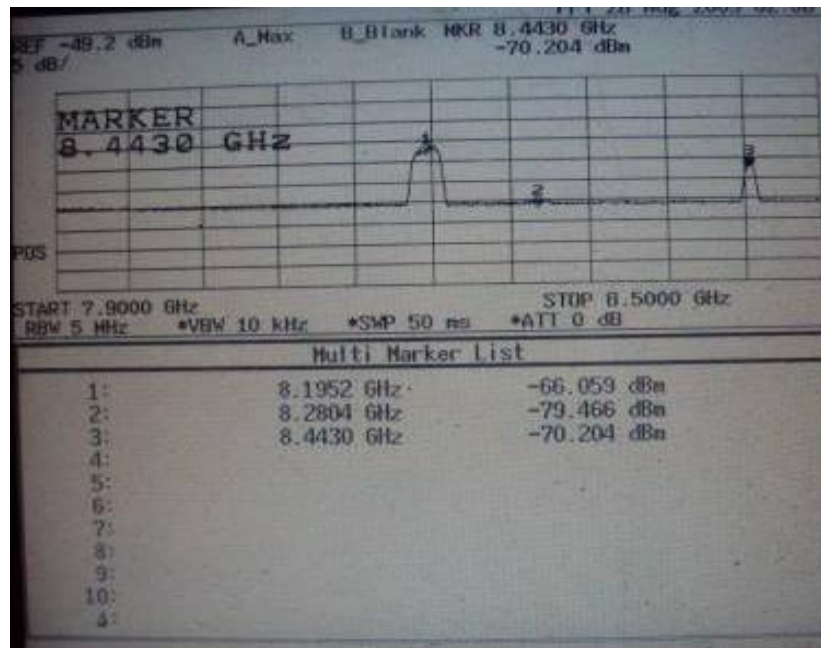


Figura 4.24 Polarización Horizontal 7900-8500 MHz

##### POLARIZACION VERTICAL

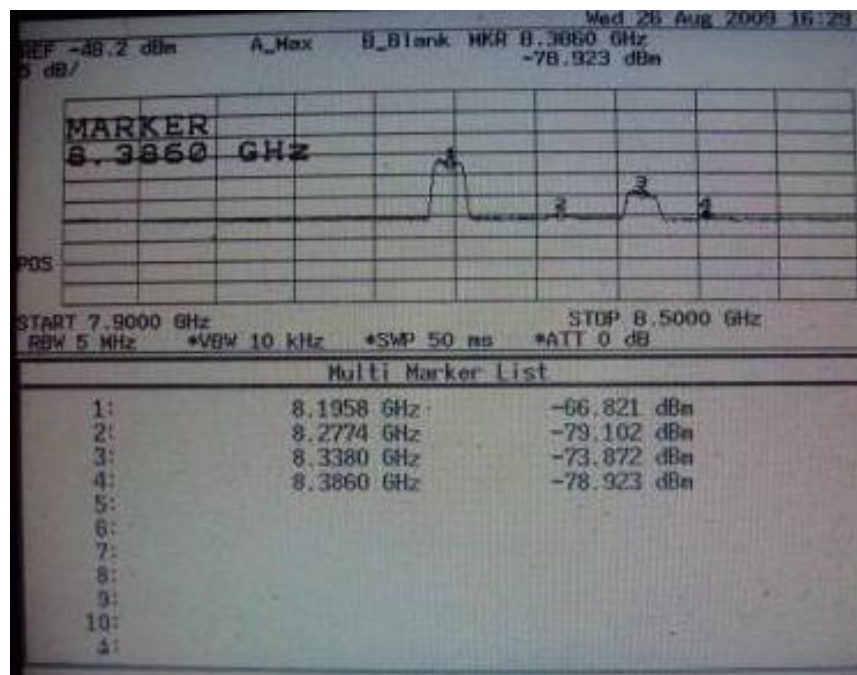
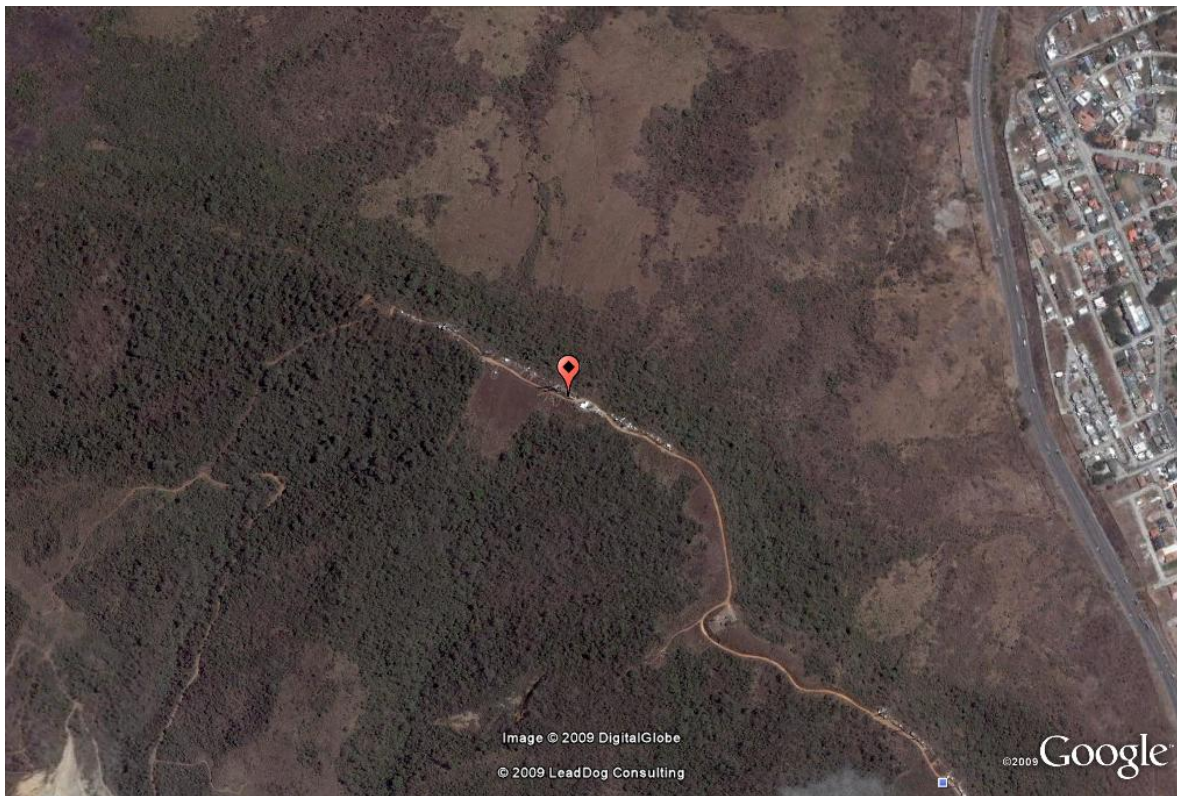


Figura 4.25 Polarización Vertical 7900-8500 MHz

## 4.5 DETERMINACIÓN DE LA RUTA Y PUNTOS DE ESTUDIO

Luego del proceso de identificación de las zonas de cobertura y sus límites, se selecciona la zona para ser objeto de estudio.

Una vez identificadas las zonas de cobertura, se puede separar las mismas para realizar un estudio focalizado en un área determinada. En la figura 4.26 se puede observar la zona de estudio.



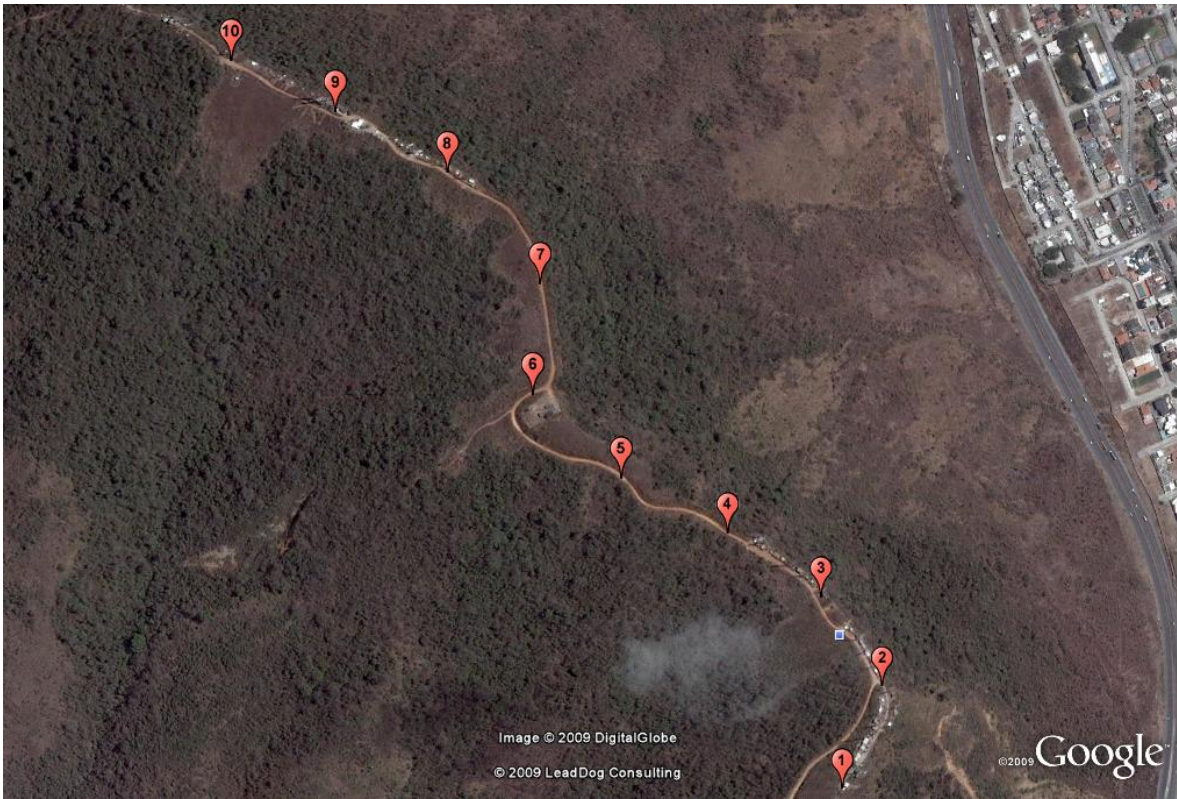
**Figura 4.26 Zona de estudio**

Luego de haber escogido la zona de estudio, se traza una ruta para elegir los puntos donde se realizan las mediciones. Esta ruta debe necesariamente atravesar varios obstáculos (estructuras, vegetación, y todo agente externo que pueda producir atenuación en la señal), y atravesará todas las estaciones ubicadas en Cerro Azul con el fin de cubrir en su totalidad la cantidad de antenas ubicadas en este sector. La Figura 4.27 muestra dicha ruta.



**Figura 4.27 Ruta de Estudio**

La ruta establecida tiene como longitud 2 Km. los cuales, por objeto de estudio, se dividirán en tramos de 200 m. para así identificar 10 puntos de estudio, como se muestra en la Figura 4.28.

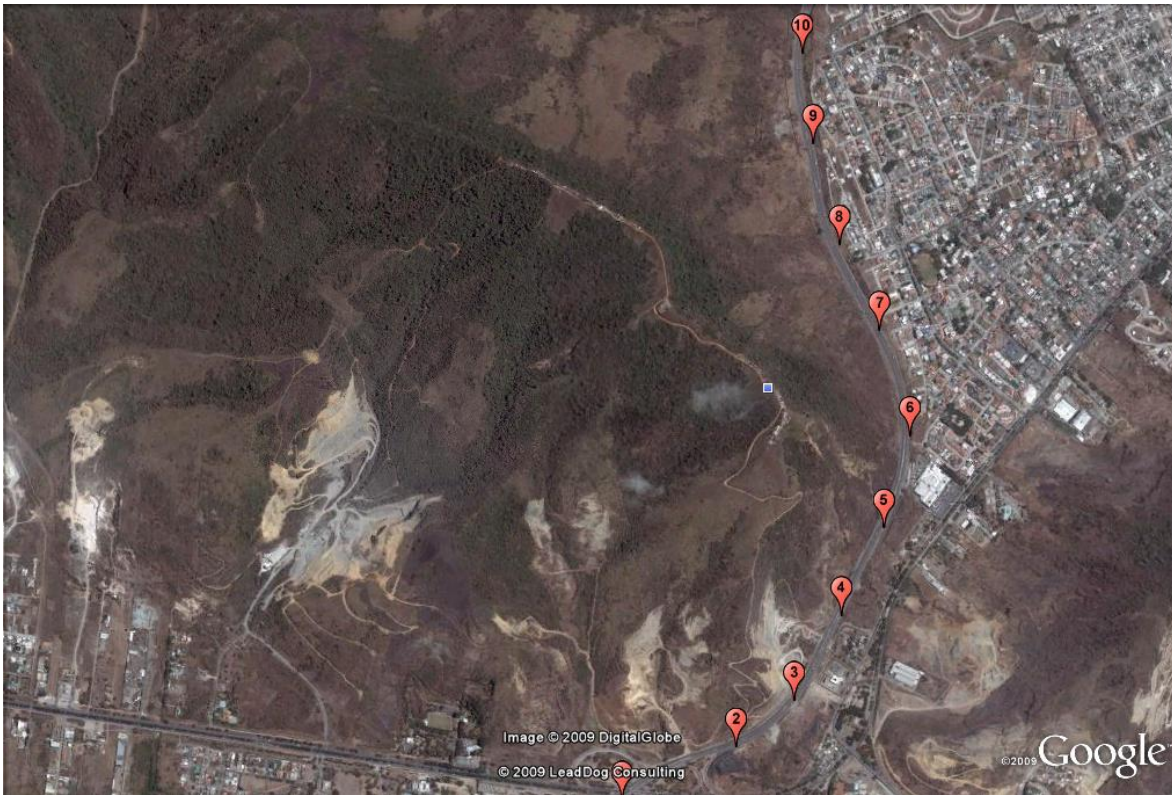


**Figura 4.28 Puntos de Medición**

Además del estudio en la cima del Cerro, se realizarán mediciones en las periferias del sitio, exactamente a lo largo del tramo de la Vía Perimetral que bordea Cerro Azul ya que esta es una ruta muy transitada y de libre acceso por parte de la población. Los Puntos de Medición en Periferia del Cerro se observan en la Figura 4.29.

En este caso, la ruta de estudio tiene una longitud de 4 Km. por lo tanto se tomarán 10 puntos para mediciones cada 400 metros.





**Figura 4.29 Puntos de Medición en Periferia del Cerro**

#### **4.6 CONFIGURACIÓN DEL EQUIPO USADO PARA EL TRABAJO DE CAMPO**

Las antenas a estudiar en Cerro Azul son de diferentes tipos: TV, Radio, Microondas, etc, por esto es que el espectro radioeléctrico se encuentra saturado en esta área. Por lo que será necesario configurar el analizador espectral NARDA NBM-550 (Figura 4.30) para que detecte de manera óptima todos estos rangos de frecuencias, de la siguiente manera:

Frecuencia mínima ( $F_{mín}$ ): 100 Khz, frecuencia máxima ( $F_{máx}$ ): 3GHz.



**Figura 4.30 Narda NBM-550**

Cabe mencionar que el equipo de mediciones proveído por la SUPERTEL tiene un costo en el mercado de \$5750,00. El cual puede ser encargado a Alemania vía Internet en la siguiente dirección:

<http://www.tessco.com/products/displayProducts.do?groupId=583&subgroupId=11>

## CAPITULO 5

### MEDICIONES

En este capítulo se expondrá el trabajo de mediciones realizado en Cerro Azul, además se determinará si los datos encontrados sobrepasan los Límites Máximos Permisibles para posteriormente plantear recomendaciones.

#### 5.1 TRABAJO DE CAMPO: ADAPTACION DE LOS RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE POTENCIA EN EL ÁREA DE INCIDENCIA

El trabajo de campo consiste en realizar las mediciones en los puntos asignados del camino de estudio. Se realizaron dos fases de diez mediciones cada una, en consecuencia se tiene veinte muestras de Densidad de Potencia en los puntos estudiados. Por defecto, el equipo Narda NBM-550 toma mediciones de Densidad de Potencia en unidades Watts/metros cuadrados. Para efectos de análisis se debe convertir esta unidad a valores de potencia en dBm.

$$P(dBm) = 10\log_{10}\left(\frac{P}{1000}\right) \quad (5.1)$$

Donde P es la potencia en watts en el punto de estudio. Finalmente la conversión de potencia de watts a dBm.

A continuación en la tabla 5.1 se presenta un ejemplo del proceso de conversión de unidades para una de las mediciones realizadas.

CEM [V/m]	$P_d = \text{CEM}^2/n$ [W/m <sup>2</sup> ]	$P = P_d \cdot A_e$ [W]	P(dBm)
0,592	9,28E-04	8,74E-12	-140,59
0,982	2,56E-03	2,41E-11	-136,19
0,594	9,34E-04	8,80E-12	-140,56
0,259	1,77E-04	1,67E-12	-147,78
0,469	5,82E-04	5,48E-12	-142,61
0,474	5,95E-04	5,60E-12	-142,52
0,681	1,23E-03	1,16E-11	-139,36
0,435	5,00E-04	4,71E-12	-143,27
0,334	2,95E-04	2,78E-12	-145,57
0,256	1,74E-04	1,64E-12	-147,86
0,273	1,97E-04	1,86E-12	-147,31
0,338	3,03E-04	2,86E-12	-145,44
0,417	4,61E-04	4,34E-12	-143,62
0,316	2,64E-04	2,49E-12	-146,04
0,279	2,06E-04	1,94E-12	-147,13

**Tabla 5.1 Conversión de unidades**

Hacia el lado derecho se observa el valor de campo electromagnético (CEM), a continuación se encuentra el valor de densidad de potencia calculado, luego el valor de potencia en vatios y finalmente se observa el valor de potencia en unidades de dbm.

## 5.2 PRIMERA FASE DE MEDICIONES

En esta etapa de desarrollo del proyecto, se utiliza todo el análisis previo realizado en los anteriores capítulos y las mediciones de campo, para finalmente determinar los valores de incidencia en el área.

En la tabla 5.2 se muestran los valores medidos con el equipo NARDA NBM-550 en los 10 puntos previamente identificados a lo largo de la ruta de 2 Km. establecida en la cima de Cerro Azul.

Estas mediciones se realizaron al medio día ya que esta es la hora de mayor tráfico.

Punto	Referencia	Densidad de Potencia (W/m <sup>2</sup> )	Densidad de Potencia (dBm)
1	Area de Estaciones de Radio	1,017	-110,20
2	Caseta Empresa Electrica 20	0,6627	-112,06
3	Caseta Empresa Electrica 33	1,044	-110,08
4	-	0,2536	-116,23
5	-	0,07507	-121,51
6	Caseta Empresa Electrica 40	0,00578	-132,65
7	-	0,01671	-128,04
8	Caseta Empresa Electrica 42	0,007516	-131,51
9	Caseta Movistar	0,007348	-131,61
10	Caseta Empresa Electrica 68	0,01803	-127,71

**Tabla 5.2 Primeras mediciones de Densidad de Potencia**

Conociendo la Densidad de Potencia podremos determinar la Intensidad de Campo Eléctrico y la Intensidad de Campo Magnético (Tabla 5.3).

Para obtener Campo Eléctrico se utiliza la siguiente relación:

$$S = E^2/Z_a \quad (5.2)$$

Donde:

S: Densidad de potencia

E: Campo Eléctrico

Z<sub>a</sub>: Impedancia del espacio libre (377 ohms)

Para obtener Campo Magnético se utiliza la siguiente relación:

$$S = H^2 Z_a \quad (5.3)$$

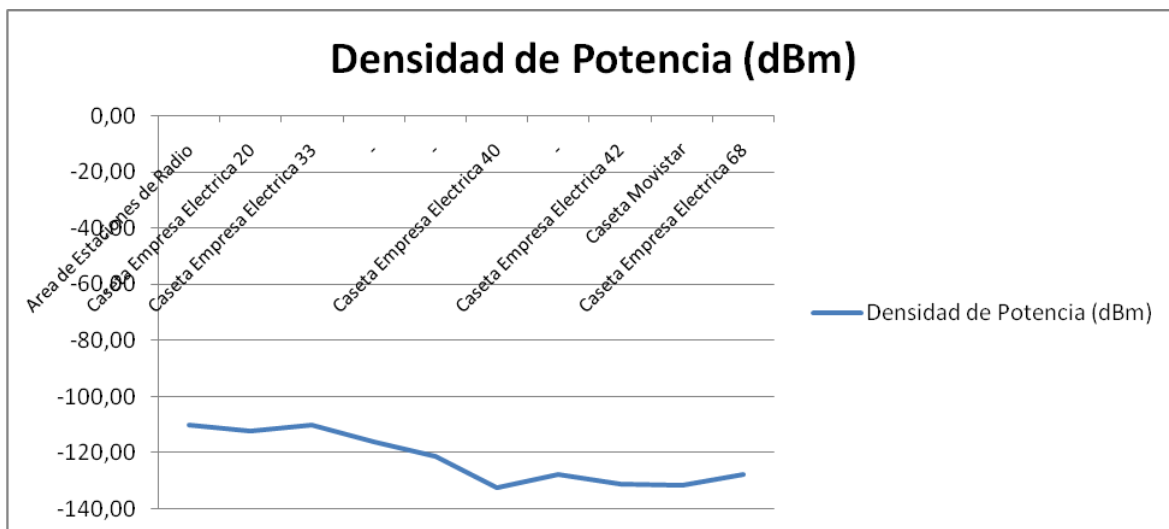
Donde:

H: Campo Magnético

Densidad de Potencia (W/m <sup>2</sup> )	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (A/m)
1,017	19,5808	0,051939
0,6627	15,8063	0,041926
1,044	19,8391	0,052623
0,2536	9,7779	0,025936
0,07507	5,3199	0,014111
0,00578	1,4762	0,003916
0,01671	2,5099	0,006658
0,007516	1,6833	0,004465
0,007348	1,6644	0,004415
0,01803	2,6072	0,006916

**Tabla 5.3 Intensidad de Campo Eléctrico y Magnético**

En la figura 5.1 podemos ver la variación de densidad de potencia en cada punto de referencia a lo largo de la ruta de mediciones.



**Figura 5.1 Variación de densidad de potencia en primeras mediciones**

### 5.3 ANALISIS DE LAS PRIMERAS MEDICIONES

Luego de haberse determinado los valores de Densidad de Potencia, Intensidad de Campo Eléctrico e Intensidad de Campo Magnético, se procederá a comparar estos valores con los límites máximos permisibles establecidos por la ICNIRP.

Debido a que las mediciones se realizaron en un rango de frecuencia entre 100 KHz y 3 GHz trabajaremos con los límites establecidos en estas frecuencias en exposición ocupacional y poblacional como muestran las tablas 5.4 y 5.5

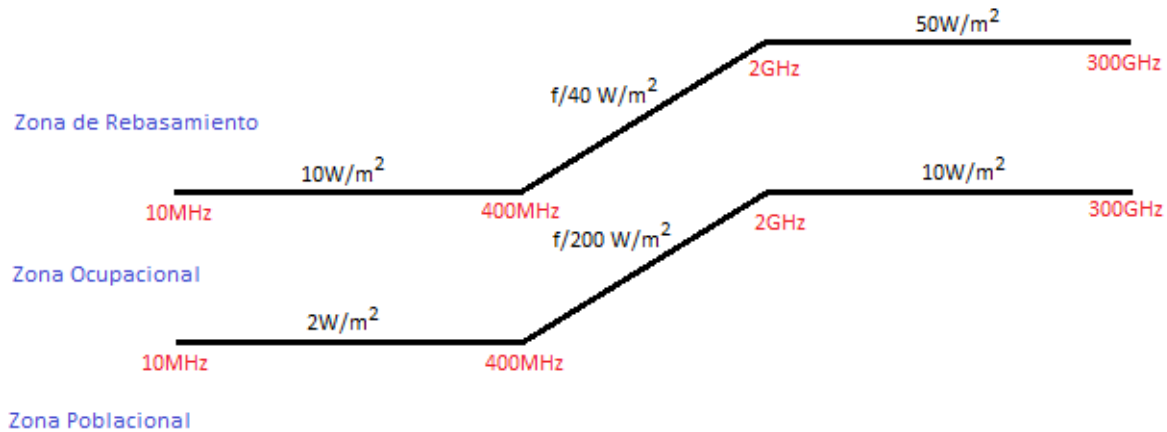
Rango de Frecuencias (MHz)	Intensidad de Campo Eléctrico ( $Vm^{-1}$ )	Intensidad de Campo Magnético ( $Am^{-1}$ )	Densidad de Flujo Magnético ( $\mu T$ )	Densidad de Potencia ( $Wm^{-2}$ )
0,065 – 1 MHz	610	1,6 / f	2 / f	–
1 – 10 MHz	610 / f	1,6 / f	2 / f	–
10 – 400 MHz	61	0,16	0,2	10
400 – 2000 MHz	$3 f^{0,5}$	$0,008 f^{0,5}$	$0,01 f^{0,5}$	f / 40
2 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50

**Tabla 5.4 Exposición Ocupacional**

Rango de Frecuencias (MHz)	Intensidad de Campo Eléctrico ( $Vm^{-1}$ )	Intensidad de Campo Magnético ( $Am^{-1}$ )	Densidad de Flujo Magnético ( $\mu T$ )	Densidad de Potencia ( $Wm^{-2}$ )
3 – 150 kHz	87	5	6,25	–
0,15– 1 MHz	87	0,73/ f	0,92 / f	–
1 – 10 MHz	$87/ f^{0,5}$	0,73/ f	0,92 / f	–
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 – 2000 MHz	$1,375 f^{0,5}$	$0,0037 f^{0,5}$	$0,0046 f^{0,5}$	f / 200
2 - 300 GHz	61	0.16	0.20	10

**Tabla 5.5 Exposición Poblacional**

De acuerdo a estos valores podríamos identificar los valores de densidad de potencia que delimitan las zonas de exposición electromagnética y así definir dichas zonas para conocer el mínimo valor límite de exposición.



**Figura 5.2 Delimitación de Zonas**

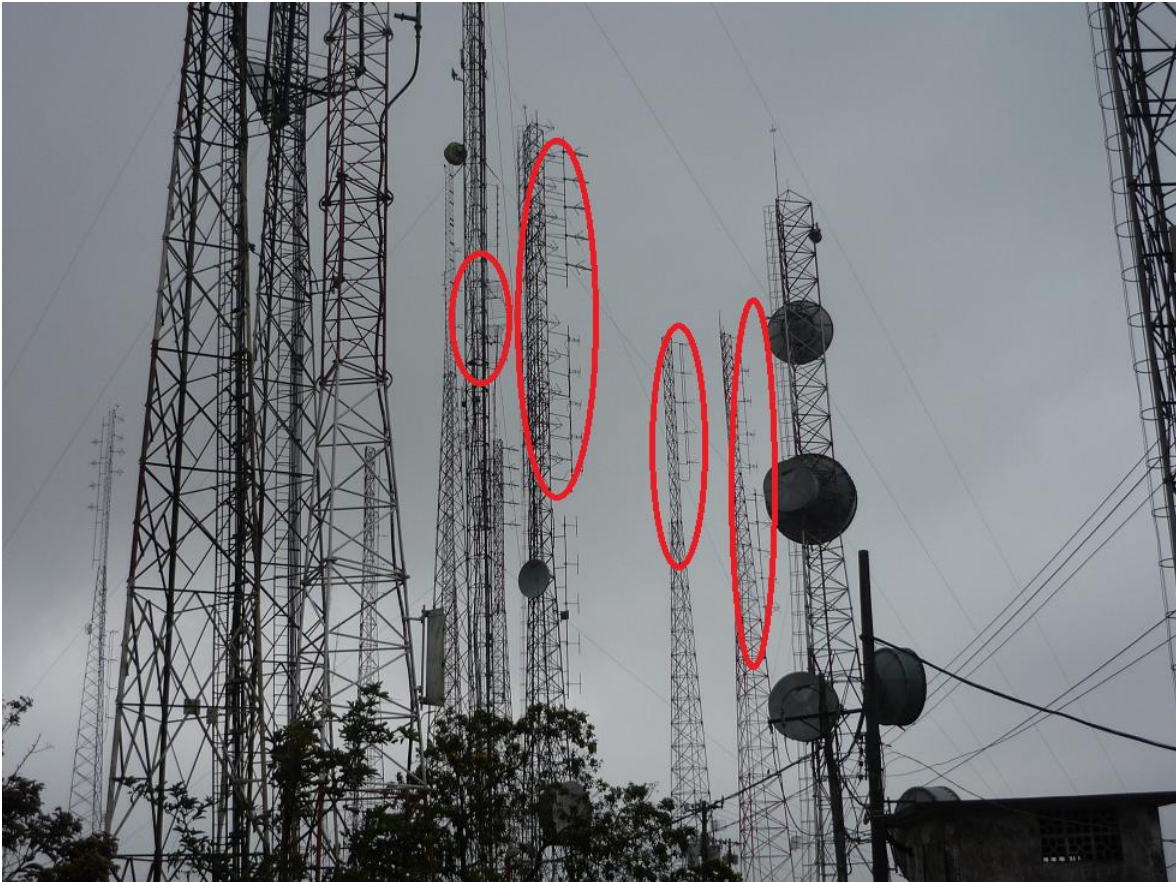
Como muestra la figura 5.2 se encontró que el mínimo valor límite que existe es  $2W/m^2$  en el caso de Zona Poblacional.

Debido a que los valores obtenidos en las primeras mediciones corresponden a un ancho de banda muy grande, se podría decir que el máximo valor permisible que podríamos encontrar en las mediciones sería  $2W/m^2$ , y si pasa este valor identificar posteriormente en que rango de frecuencia se encuentra dicho rebasamiento de potencia.

De acuerdo a la tabla 5.2 el valor más alto encontrado en el sector es de  $1,044W/m^2$  en el tercer punto de medición, esto significa que no sobrepasa el mínimo valor límite previamente definido. Con esto queda demostrada la regulación que realiza periódicamente la Superintendencia de Telecomunicaciones en este y otros sitios con gran cantidad de radiobases instaladas.



Cabe mencionar que este valor pico encontrado en este punto de medición es el más alto debido a que en este se encuentra el mayor número de antenas de radio y televisión como muestra la figura 5.3 y estas son las que irradian la mayor cantidad de potencia desde su emisor, principalmente las de AM que trabajan en la banda de 300KHz a 3MHz



**Figura 5.3 Densidad de antenas de Radio y Televisión**

#### **5.4 SEGUNDA FASE DE MEDICIONES**

En esta fase de mediciones, se tomaron 10 puntos a lo largo del tramo de la Vía Perimetral que bordea Cerro Azul, ya que es el área más próxima para exposición humana. Con esto se piensa monitorear el nivel de densidad de potencia recibida en esta área.

En la tabla 5.6 se muestran los valores medidos con el equipo NARDA NBM-550 en los 10 puntos previamente identificados a lo largo de la ruta de 4 Km. establecida a lo largo de la Vía Perimetral.

Punto	Referencia	Densidad de Potencia (W/m <sup>2</sup> )	Densidad de Potencia (dBm)
1	Inicio de distribuidor de tráfico	0,002281	-136,69
2	Fin de distribuidor de tráfico	0,000383	-144,44
3	Publicidad Zazapac	0,002147	-136,95
4	Bodegas Ceibos	0,001439	-138,69
5	-	0,006643	-132,05
6	Detrás de Riocentro Ceibos	0,005578	-132,80
7	-	0,007079	-131,77
8	-	0,009986	-130,27
9	Frente Ceibos Real	0,002879	-135,68
10	Entrada Cdla. Ceibos	0,003272	-135,12

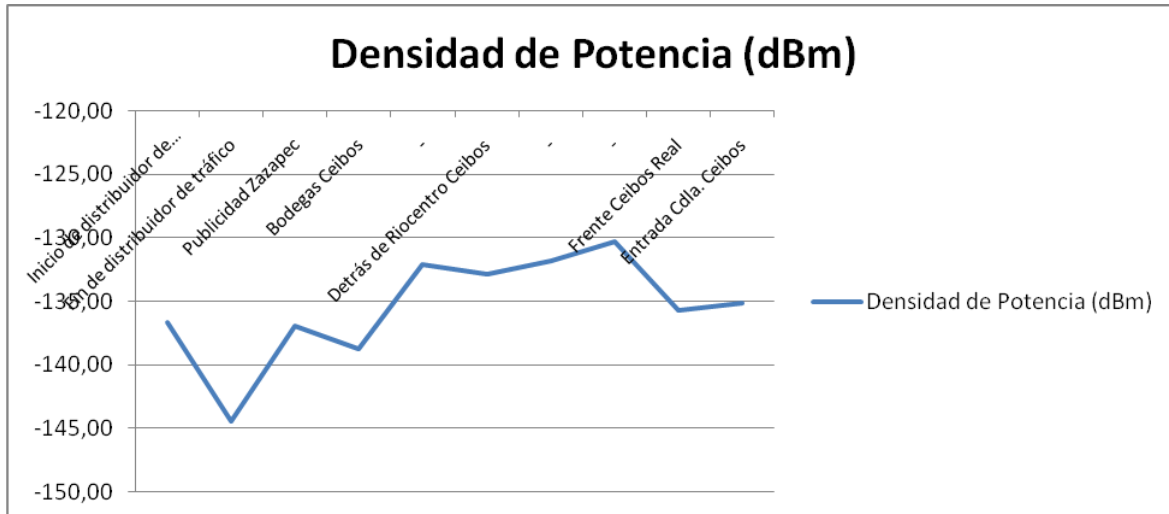
**Tabla 5.6 Segundas mediciones de Densidad de Potencia**

Conociendo la Densidad de Potencia se puede determinar, de la manera anteriormente expuesta, la Intensidad de Campo Eléctrico y la Intensidad de Campo Magnético (Tabla 5.7)

Densidad de Potencia (W/m <sup>2</sup> )	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (A/m)
0,002281	0,9273	0,002460
0,000383	0,3800	0,001008
0,002147	0,8997	0,002386
0,001439	0,7365	0,001954
0,006643	1,5825	0,004198
0,005578	1,4501	0,003847
0,007079	1,6336	0,004333
0,009986	1,9403	0,005147
0,002879	1,0418	0,002763
0,003272	1,1107	0,002946

**Tabla 5.7 Intensidad de Campo Eléctrico y Magnético**

En la figura 5.4 podemos ver la variación de densidad de potencia en cada punto de referencia a lo largo de la ruta de mediciones.



**Figura 5.4 Variación de densidad de potencia en segundas mediciones**

## 5.5 ANALISIS DE LAS SEGUNDAS MEDICIONES

Luego de haberse determinado los valores de Densidad de Potencia, Intensidad de Campo Eléctrico e Intensidad de Campo Magnético, se procede a comparar estos valores con los límites máximos permisibles establecidos por la ICNIRP.

Debido a que las mediciones se realizaron en un rango de frecuencia entre 100 KHz y 3 GHz trabajaremos con los límites establecidos en estas frecuencias en exposición ocupacional y poblacional como se muestra previamente en las tablas 5.4 y 5.5

De acuerdo a estos valores se podría identificar los valores de densidad de potencia que delimitan las zonas de exposición electromagnética y así definir dichas zonas para conocer el mínimo valor límite de exposición.

Como muestra la figura 5.2, se encontró que el mínimo valor límite que existe es  $2\text{W}/\text{m}^2$  en el caso de Zona Poblacional.

Debido a que los valores obtenidos en las segundas mediciones corresponden a un ancho de banda muy grande, se podría decir que el máximo valor permisible que se podría encontrar en las mediciones sería  $2\text{W}/\text{m}^2$ , y si pasa este valor identificar posteriormente en que rango de frecuencia se encuentra dicho rebasamiento de potencia.

De acuerdo a la tabla 5.6 el valor más alto encontrado en el sector es de  $0,009986\text{W}/\text{m}^2$  en el octavo punto de medición, esto significa que no sobrepasa el mínimo valor límite previamente definido.

Cabe mencionar que este valor pico encontrado en este punto de medición queda ubicado en un sector netamente residencial, y que aunque no haya sobrepasado los valores límites, sí es un parámetro alto en comparación a otras zonas residenciales a lo largo de la ciudad.

## CONCLUSIONES

Luego de finalizar nuestra investigación de tesis y haber realizado las respectivas mediciones en Cerro Azul hemos llegado a la conclusión que los datos encontrados en este sector no sobrepasan los límites establecidos por la ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*). Esta información técnica sacada de nuestro estudio explica los niveles de exposición a los que se encuentra sometido el público debido a las estaciones radiobase ubicadas en el sitio. Los niveles a los que se ve sometido el público están habitualmente muy por debajo de los establecidos en las normas. En consecuencia, las estaciones base en teoría no presentan ningún riesgo para la población, incluidos ancianos, mujeres embarazadas y niños.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que estos son solo límites teóricos para que no existan interferencias en el espectro, pero además de esto existen los riesgos a la salud expuestos en el Capítulo 2 los cuales hablan de potencias medias permisibles en el medio ambiente para que no haya afectación a seres humanos, los cuales están bordeando los valores resultantes de las mediciones realizadas en Cerro Azul.

En circunstancias especiales los trabajadores, y quizás otras personas, pueden estar expuestos a niveles por encima de los especificados en las normas. En estos casos, mayoritariamente cerca de transmisores de Radio AM, FM y Televisión, debe restringirse el acceso. Deben disponerse señalizaciones y diseñarse procedimientos adecuados. Además puede haber algún riesgo para personas con marcapasos, desfibriladores implantados y otros aparatos médicos implantados en el cuerpo si están a distancias muy próximas (alrededor de un metro) y en el haz de máxima radiación de las antenas en una estación base operativa. Los trabajadores que realicen su labor en proximidad a antenas activas deben seguir procedimientos de seguridad apropiados, incluyendo el uso de exposímetros o monitores personales, vestimentas protectoras, o desconectando las antenas durante los trabajos de mantenimiento.

## RECOMENDACIONES

Si bien el nivel de RF encontrado en Cerro Azul no sobrepasa límites establecidos por autoridades competentes pero si podría incidir en efectos de salud en las periferias de Cerro Azul, nos queda exponer las siguientes recomendaciones dirigidas al público en general y especialmente a la población que habita las cercanías del Cerro:

**Gobierno:** Si las autoridades reguladoras han adoptado normas de protección contra las RNI, debido a la preocupación del público se deberían introducir medidas de precaución adicionales que ayuden a reducir la exposición a los campos de RF, sin menoscabar la base científica de las normas incorporando arbitrariamente factores de seguridad adicionales a los límites de exposición. Se deberían introducir medidas preventivas como parte de una política adicional que estimule, en forma voluntaria, la reducción de los campos de RF por parte de los fabricantes de equipos y por parte del público. Detalles de estas medidas son proporcionados en un documento separado de la OMS

**Medidas simples de prevención:** Cercos, barreras, u otro tipo de medidas de protección son necesarios en algunas estaciones bases para evitar el acceso no autorizado a áreas en donde los niveles de exposición pueden estar por encima de los límites permisibles.

**Equipos de absorción de RF:** Evidencias científica no indican la necesidad de recubrimientos de absorción de RF o de otro tipo de "equipos de absorción". Éstos no pueden justificarse desde el punto de vista de la salud y la efectividad de muchos de estos equipos, en la reducción de exposición a RF.

**Consultar con la comunidad para la ubicación de estaciones base:** El emplazamiento de las estaciones base deben ofrecer buena cobertura para la señal y debe ser de fácil acceso para su mantenimiento. Si bien los niveles de los campos de RF entorno a la estación base no deben ser considerados un riesgo a la salud, la decisión sobre su emplazamiento debe considerar tanto la estética como la susceptibilidad del público. Por ejemplo, la ubicación cerca de jardines de infancia, colegios y parques recreacionales debe tener especial

consideración. La comunicación abierta y la discusión entre los operadores de telecomunicaciones, los municipios locales y el público en general durante la etapa de planificación para una nueva antena o estación puede ayudar a lograr la comprensión del público y la aceptación de la nueva estación.

**Promover información:** Un sistema efectivo de información sobre la salud y la comunicación entre científicos, el gobierno, las industrias y el público en general es necesario para incrementar el entendimiento general acerca de la tecnología y así, reducir cualquier tipo de desconfianzas y temores, tanto de los reales como los imaginarios. Esta información debe ser exacta y al mismo tiempo apropiada para el buen entendimiento de aquellos para quienes está dirigida.

**Para las estaciones repetidoras:** Se evitará colocarlas a menos de 300 m. de los lugares habitados. En ningún caso el lóbulo principal del haz de microondas que sale de la antena estará orientado hacia las viviendas o lugares de vida.

## GLOSARIO

### A

**ADN** (Acido Desoxi-ribonucleico)

### B

**B** (densidad de flujo magnético)

**BARRIDOS DE FRECUENCIA:** Es el procedimiento de estudio que se realiza en el espectro radioeléctrico para determinar frecuencias ocupadas y libres en una banda específica.

### C

**CEM** (campos electromagnéticos): Son una combinación de campos de fuerza eléctricos y magnéticos invisibles. Tienen lugar tanto de forma natural como debido a la actividad humana.

**CGS** (sistema cegesimal de unidades)

**CONATEL** (Consejo Nacional de Telecomunicaciones).

**Campos Eléctricos (E):** Tienen su origen en diferencias de voltaje: entre más elevado sea el voltaje, más fuerte será el campo que resulta.

**Campos Magnéticos (H):** Tienen su origen en la corriente eléctrica: una corriente más fuerte resulta en un campo más fuerte.

### D

**Densidad de potencia:** Potencia por unidad de superficie normal a la dirección de propagación de la onda electromagnética, en Watts por metro cuadrado ( $W/m^2$ ).



**Desfibriladore Interno:** Es la energía se administra desde el endocardio, mediante cables-electrodos.

## E

**ELF** (Extreme Low Frecuency - Extrema Baja Frecuencia)

**Espectro electromagnético:** Es la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas.

**Exposición ocupacional:** Se aplica a situaciones en las que las personas que están expuestas como consecuencia de su trabajo han sido advertidas del potencial de exposición a emisiones RNI y pueden ejercer control sobre la misma.

**Exposición poblacional:** Se define como la exposición poblacional a los niveles de emisiones de radiación no ionizantes que se aplican a la población o público en general cuando las personas expuestas no puedan ejercer control sobre dicha exposición.

**Estación radioeléctrica fija:** Estación que utiliza frecuencias específicas asignadas para su operación con coordenadas geográficas fijas. Se compone de equipos transmisores y receptores, elementos radiantes y estructuras de soporte necesarios para la prestación del servicio de telecomunicaciones.

## F

**FDA** (Food and Drug Administration - Administración de Alimentos y Fármacos)

**Frecuencia:** Es una medida que se utiliza generalmente para indicar el número de repeticiones de cualquier fenómeno o suceso periódico en la unidad de tiempo.

## H

**H** (campo magnético)

## I

**ICNIRP** (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection - Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No Ionizantes*)

**IEEE/ANSI** (Institute of Electrical and Electronics Engineers and American National Standards Institute)

**Intensidad de campo eléctrico:** Fuerza por unidad de carga que experimenta una partícula cargada dentro de un campo eléctrico. Para efectos del presente Reglamento se expresa en voltios por metro (V/m).

**Intensidad de campo magnético:** Magnitud vectorial axial que junto con la inducción magnética, determina un campo magnético en cualquier punto del espacio. Para efectos del presente Reglamento se expresa en amperios por metro (A/m).

## L

**Límites máximos de exposición:** Valores máximos de las intensidades de campo eléctrico y magnético, o la densidad de potencia asociada con estos campos, a los cuales una persona puede estar expuesta.

**Longitud de Onda:** Es la distancia entre dos líneas consecutivas, en otras palabras describe lo larga que es la onda.

## M

**MW** (microwave – microondas): Se denomina a las ondas electromagnéticas definidas en un rango de frecuencias determinado; generalmente de entre 300 MHz y 300 GHz.

**MKS** (SISTEMA MKS (metro, kilogramo, segundo))

**MRI** (Magnetic Resonance Imaging - Imagen por Resonancia Magnética )

## N

**NEC** (Numerical Electromagnetics Code- Código Electromagnético Numérico)

**Nivel de exposición porcentual:** Valor ponderado de campo eléctrico o magnético, producto del aporte de energía de múltiples fuentes de radiofrecuencia, en cada una de las posibles zonas de acceso.

## O

**ODC** (Ornitina Decarboxilasa - decarboxilasa de Ornitina)

**OMS** (Organización Mundial para la Salud)

**Onda plana:** Onda electromagnética en la cual el vector campo eléctrico y magnético permanecen en posición coincidente con el plano perpendicular a la dirección de propagación de la onda.

## P

**Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE):** Producto de la potencia suministrada a la antena y la máxima ganancia de la antena respecto a una antena isotrópica.

## R

**Radiación:** Consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.

**Radiación Electromagnética:** Es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro.

**Radiobase:** Es una instalación fija de radio para la comunicación bidireccional.

**Radiodifusión:** Es la producción y difusión de señales radioeléctricas de audio y/o video a través de ondas o cable destinadas al público en general o bien a un sector del mismo.

**REM** (Rapid Eye Movement - Movimiento ocular rápido o MOR)

**Región de campo cercano:** Zona que se encuentra adyacente a una antena, en la cual los campos no tienen la forma de una onda plana, pudiéndose distinguir dos sub-regiones: campo cercano reactivo, el cual posee la mayoría de la energía almacenada por el campo, y campo cercano de radiación, el cual es fundamentalmente radiante.

**Región de campo lejano:** Región del campo electromagnético irradiado por una antena, donde la distribución angular de dicho campo es esencialmente independiente de la distancia con respecto de la antena, y su comportamiento es predominantemente del tipo de onda plana.

**RI** (Radiaciones Ionizantes): Son aquellas radiaciones con energía suficiente para ionizar la materia, extrayendo los electrones de sus estados ligados al átomo.

**RNI (Radiación No Ionizante):** La radiación electromagnética de radiofrecuencias es una radiación no- ionizante. El término “no-ionizante” hace referencia al hecho de que este tipo de radiación no es capaz de impartir directamente energía a una molécula o incluso a un átomo de modo que pueda remover electrones o romper enlaces químicos.

## S

**SAR** (Specific Absorption Rate - Tasa de Absorción Especifica)

**SI** (Sistema internacional)

**Supertel** (Superintendencia de Telecomunicaciones)

## U

**UIT** (Union Internacional de Telecomunicaciones)

**UHF** ( Ultra-High-Frecuency, Frecuencia Ultra Alta)

**UVA** (rayos ultravioleta)

## V

**Velocidad de Propagación (v):** Es el cociente entre la distancia recorrida por el móvil y el tiempo recorrido por el mismo.

## W

**WIMAX:** siglas de Worldwide Interoperability for Microwave Access (interoperabilidad mundial para acceso por microondas).

## Z

**Zona de Fresnel:** Es el volumen de espacio entre el emisor de una onda electromagnética, acústica, etc, y un receptor, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180°.

**Zona de acceso:** Lugar por donde se accede a una estación fija radiante.

**Zona ocupacional:** Lugar donde el campo electromagnético sobrepasa los límites de exposición poblacional.

**Zona de Rebasamiento:** Lugar donde el campo electromagnético sobrepasa los límites de exposición ocupacional, y por tanto debe restringirse el acceso a los operarios y al público en general.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- John S. Seybold, Introduction to RF Propagation, Wiley and Sons, New Jersey, 2005
- Ray Horak, New World Telecommunication Dictionary, Wile Publisinh, Indiana, 2008
- <http://www.supertel.gov.ec/> - 18 de Junio 2009
- <http://www.narda-sts.com/1/content.php?pit=03-02-XX-022003> - 18 de Junio 2009
- Curso de Capacitación para la operación del medidor selectivo de Radiaciones No Ionizantes RNI Narda SRM-3000 – DIGITEC S.A.
- Emisiones Electromagnéticas No Ionizantes, Telecomunicaciones y Salud Pública – Ing. Miguel Yapur.