

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO EN INGENIERÍA**

**“EVALUACION DE LA RADIACIÓN NO IONIZANTE (RNI)
GENERADA POR LAS ESTACIONES RADIO BASE DE TELEFONÍA
CELULAR EN EL VALLE DE LOS CHILLOS”**

JUAN CARLOS GÓMEZ ROMERO

DIANA PATRICIA ORTIZ GARCÉS

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2006

CERTIFICACIÓN

Quienes al pie del presente firmamos, damos fe y testimonio que el proyecto de grado, previo a la obtención del título en Ingeniería Electrónica, titulado “**Evaluación de la Radiación No Ionizante (RNI) generada por las estaciones Radio Base de Telefonía Celular en el Valle de los Chillos**” fue desarrollado en su totalidad por la Señorita **Diana Patricia Ortiz Garcés** con C.I. 171581447-9 y el Señor. **Juan Carlos Gómez Romero** con C.I. 110381735-7, bajo nuestra dirección y tutela.

Certificamos lo antepuesto para su uso de la manera que se creyere conveniente, nos suscribimos.

Dr. Nikolai Espinosa

DIRECTOR

Ing. Raúl Haro

CODIRECTOR

Agradecimiento

Gracias a Dios porque ha sido Él quien me ha dado la vida, los sueños y la fortaleza para luchar cada instante por ellos, y ha sido Él quien me ha ayudado a conseguir todas las metas que me he propuesto.

A mis padres por su apoyo, su paciencia, su dedicación y por todo aquello que me han brindado y que hemos compartido a lo largo de mi vida; por inculcar en mí el sentido de responsabilidad, la fuerza de voluntad y las ganas de luchar por mis sueños.

A mis hermanos y cuñados por compartir las alegrías, las penas y por siempre darme palabras de aliento.

A mis sobrinos y sobrina los pequeños que han alegrado mi corazón

A Angelito por el amor y la confianza que ha depositado en mí, por tu preocupación y comprensión, por ayudarme a seguir firme en momentos difíciles y por recordarme que es importante concluir lo que se ha empezado.

A todos mis amigos, por su valiosa y verdadera amistad en todo momento y en toda circunstancia, especialmente a Evelyn y Liss.

A mi compañero de tesis y amigo, Juan Carlos, gracias por esta oportunidad, por tu confianza y por tu apoyo.

A todos mis profesores, quienes con su guía han sabido instruirme, al C.I.C.T.E. por la oportunidad que me brindaron, en especial al Dr. Nikolai Espinosa por todo su apoyo y colaboración en la dirección de este proyecto de grado; de igual manera al Ing. Raúl Haro, codirector de este proyecto, por toda su colaboración.

Diana Patricia

Agradecimiento

Quiero dar gracias a Dios, por todos y cada uno de los días de mi vida, por que ha sido Él quien me ha dado la fuerza, valor y dedicación para alcanzar mis objetivos, a sido Él quien me ha dado mi familia, mis amigos, mi vida y a todas las personas que quiero.

A mi madre, hermanos, sobrinos y toda mi familia por sus consejos, apoyo, dedicación y por todo aquello que me han sabido brindar en esta etapa tan importante y tan difícil pero no imposible de alcanzar.

A Diana Patricia por acompañarme en cumplir esta meta, gracias amiga por todo este esfuerzo, lo logramos.

A todos mis amigos en especial a Alex y Esteban, por su eterna y sincera amistad en cada instante, a mis compañeros de aulas; a todos y cada uno de ustedes, por todas las cosas que realizamos juntos.

A todos mis profesores de la Facultad de Ingeniería Electrónica, gracias maestros por su tiempo y enseñanza, ustedes han sabido guiarme y hacer de mí a mas de un profesional una persona llena de valores morales y profesionales, en especial al Ing. Fabián Sáenz, amigo ante todo .

Finalmente, un agradecimiento a todo el personal y cuerpo de Ingenieros del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas del Ejército por la confianza depositada en la realización de este proyecto de Tesis, en especial al Dr. Nikolai Espinosa y al Ing. Raúl Haro ,apoyo constante en la realización de este proyecto de Investigación, gracias por todo.

Juan Carlos Gómez Romero

Dedicatoria

Esta tesis es parte de mi vida y comienzo de otras etapas, por esto y más se la dedico:

A mi mami Magdalena, una mujer llena de amor y que se ha sacrificado por sus hijos; por su amor, su sabiduría y por enseñarme que no hay límites, que lo que me proponga lo puedo lograr, solo depende de mí.

A mi papí Jorge, por su amor y confianza, y porque a pesar de las circunstancias de estos años se que cuento con él en todo momento.

A mi Angelito por ser mi mejor amigo y compañero; por siempre darme un amor incondicional y su apoyo; por permanecer a mi lado en los momentos en los que los estudios ocuparon mi tiempo y esfuerzo. Por que junto a ti, la alegría es mayor y la tristeza disminuye significativamente.

Diana Patricia

Dedicatoria

A mi madre Martha Mireya, quien ha sido el mayor apoyo que he tenido durante toda mi vida y durante la culminación de mi carrera profesional, ha sido ella quien ha dedicado toda su vida y ha querido para mí siempre lo mejor. Gracias Madre, por su paciencia, por su amor y por su vida; esta meta alcanzada por mí es gracias a Usted y para Usted con mucho amor.

A mi hermana Vanessa ejemplo de dedicación y constancia, gracias por todos tus consejos serás siempre mi guía, a mi hermana Giovanna parte esencial en mi vida y muestra de lo que se puede hacer junto a su esposo Jimmy con el amor y trabajo en la mano. A mis sobrinos Daniela Alejandra y David Alejandro, fuentes de inspiración y alegría.

A mis Abuelitos Papa Raúl y Mama Elvita, los dos ángeles vivos mas preciados que tengo, gracias abuelitos por toda su enseñanza y paciencia, esto es para ustedes dos.

A mi tío Ángel Elías, eres el árbol al cual me he arrimado toda la vida, gracias por estar ahí cuando más lo he necesitado, éste sueño cumplido es ahora tuyo

A todos y cada uno de mis tíos y primos que han sido siempre un ejemplo constante de lo que una familia unida puede lograr. Gracias por todos sus consejos.

Finalmente a todas las personas que luchan día a día por ser honestas y a pesar de las dificultades que se presenten, se muestran como personas correctas llenas de valores y nos enseñan que el trabajo y una amistad sincera es el único medio por el cual se consiguen las metas.

Juan Carlos Gómez Romero

PRÓLOGO

El proyecto “EVALUACION DE LA RADIACIÓN NO IONIZANTE (RNI) GENERADA POR LAS ESTACIONES RADIO BASE DE TELEFONÍA CELULAR EN EL VALLE DE LOS CHILLOS”, tiene por objetivo desarrollar el Primer Mapa de Radiación No Ionizante y medir la Contaminación Electromagnética.

Las telecomunicaciones vienen experimentando en los últimos años un gran desarrollo en el Ecuador, siendo la telefonía móvil e Internet los servicios de mayor crecimiento. Mismo que ha generado una preocupación a nivel mundial sobre los efectos a la salud que causaría el uso de celulares y las radiobases presentes cerca de nuestros hogares.

En este proyecto la máxima importancia se asignó a los resultados obtenidos de las mediciones realizadas versus las simulaciones obtenidas con el software RADIA, puesto que la validez estadística de las comparaciones presentadas o la lógica científica de las conclusiones obtenidas fue analizada en comparación a los límites máximos ocupacional y poblacional.

Se tomo en cuenta 13 radiobases y los niveles de radiación medidos en cada una de ellas se encuentran dentro de los límites establecidos por el CONATEL, siendo sus valores de Densidad de potencia menores en relación a los establecidos. Esta investigación pretende establecer el inicio de una cadena de investigaciones que estamos seguros se realizaran referentes a este tema de actualidad.

INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN	2
1.1. INTRODUCCIÓN.....	2

CAPITULO II

TEORÍA GENERAL DE ANTENAS Y TELEFONÍA CELULAR.....	5
2.1 GENERALIDADES DE LAS ANTENAS	5
2.1.1 PARÁMETROS FUNDAMENTALES DE ANTENAS.....	6
2.1.1.1 <i>Intensidad de Radiación</i>	6
2.1.1.2 <i>Potencia Radiada.....</i>	6
2.1.1.3 <i>Impedancia.....</i>	7
2.1.1.4 <i>Eficiencia</i>	8
2.1.1.5 <i>Polarización.....</i>	8
2.1.1.6 <i>Diagramas de Radiación</i>	9
2.1.1.7 <i>Ángulo de Media Potencia.....</i>	10
2.1.1.8 <i>Directividad</i>	10
2.1.1.9 <i>Ganancia.....</i>	11
2.1.1.10 <i>Relación Frente / Atrás (F/E).....</i>	12
2.1.1.11 <i>Ancho de Banda de la Antena.....</i>	12
2.1.1.12 <i>Longitud y Área Efectiva</i>	15
2.1.2 TIPOS DE ANTENAS	15
2.1.2.1 <i>Antenas Alámbricas.-.....</i>	16
2.1.2.2 <i>Antenas de apertura y Reflectores.-</i>	16
2.1.2.3 <i>Agrupaciones de Antenas</i>	17
2.1.2.4 <i>Antenas Parabólicas.....</i>	17
2.2 SISTEMAS MÓVILES	18
2.2.1 ANTECEDENTES HISTORICOS.....	18
2.2.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA CELULAR	22
2.2.3 ANTENAS DE TELEFONÍA CELULAR.....	27
2.2.3.1 <i>Downtilt (Inclinación del haz).....</i>	27
2.2.3.2 <i>Antenas Omnidireccionales.....</i>	28
2.2.3.3 <i>Antenas Direccionales con Panel Reflector (Paneles).....</i>	29
2.2.3.4 <i>Antenas Automatizadas – RET</i>	34
2.2.4 TECNOLOGÍAS DE ACCESO MULTIPLE	34
2.2.4.1 <i>Modos de Operación en Comunicaciones Inalámbricas</i>	38
2.2.4.2 <i>CDMA 2000 1x</i>	39
2.2.4.3 <i>GSM (Sistema Global de Comunicación Móvil).....</i>	39

2.2.5 FRECUENCIAS DE OPERACIÓN.....	41
2.2.5.1 <i>Antecedentes de las Comunicaciones Celulares en el Ecuador</i>	41
2.2.5.2 <i>Operadoras Celulares Actuales y Bandas de Frecuencias</i>	42

CAPITULO III

RADIACIONES NO IONIZANTES	44
3.1 GENERALIDADES	44
3.1.1 <i>Antecedentes sobre Radiaciones No Ionizantes</i>	46
3.1.2 <i>Fuentes de Radiación No Ionizante</i>	47
3.1.3 <i>Clasificación de las Radiaciones No Ionizantes por la Frecuencia</i>	56
3.1.4 <i>Efectos Sobre la Salud</i>	57
3.2 NORMATIVAS.....	74
3.2.1 <i>Comparación y Resumen de Normas</i>	75
3.2.2 <i>Análisis de los Estándares</i>	82
3.2.2.1 <i>Similitudes de los Estándares</i>	82
3.2.2.2 <i>Diferencias entre los Estándares</i>	83

CAPITULO IV

EMF – SOFT (SOFTWARE DE GESTIÓN DE MEDICIONES).....	85
4.1 ANTECEDENTES.....	85
4.2 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE.....	85
4.2.1 <i>Funciones Generales</i>	86
4.2.2 <i>Características de los Usuarios</i>	86
4.2.3 <i>Restricciones Generales</i>	87
4.2.4 <i>Dependencias del Software</i>	87
4.3 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA EMF- SOFT	89
4.3.1 <i>Requerimientos de Hardware</i>	89
4.3.2 <i>Requerimientos de Software</i>	89
4.3.3 <i>Atributos del Software</i>	90
4.4 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS.....	90
4.4.1 <i>Clase RADIOBASE</i>	91
4.4.2 <i>Clase ANTENAS</i>	93
4.4.3 <i>Clase CAMPO</i>	94
4.4.4 <i>Clase POTENCIA</i>	95
4.4.5 <i>Clase USUARIO</i>	96
4.5 ARQUITECTURA DE LA INTERFAZ DE USUARIO.....	96
4.5.1 <i>Datos recibido por PROTEK 3290</i>	97
4.5.2 <i>Datos recibido por SmartField Meter</i>	97
4.5.3 <i>Diseño de la Jerarquía de Comandos</i>	98

4.6 DISEÑO DE LA INTERFAZ GRAFICA DE USUARIO GUI.....	100
4.6.1 <i>Desarrollo de la Interfaz Gráfica de Usuario.....</i>	100

CAPITULO V

SIMULACIÓN DE LA RADIACIÓN EN LAS ESTACIONES RADIOBASE.....	101
5.1 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN	101
5.1.1 <i>RADIA 1.1</i>	101
5.1.2 <i>Aplicaciones de RADIA 1.1</i>	102
5.1.4 <i>Elementos de RADIA 1.1</i>	103
5.1.5 <i>Estructura de Funcionamiento del Programa</i>	111
5.2 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS PARA LA SIMULACIÓN	113
5.2.1 <i>Antenas.....</i>	113
5.2.2 <i>Medio.....</i>	117
5.2.3 <i>Escala.....</i>	120
5.2.4 <i>Cálculo</i>	121
5.2.5 <i>Tamaño de Malla.....</i>	125
5.2.6 <i>Parámetros de las Antenas.....</i>	125
5.3 CONSIDERACIONES DE DISEÑO DEL MAPA DIGITAL.	125
5.3.1 <i>Relieve Topográfico.....</i>	125
5.3.2 <i>Información Disponible.....</i>	132
5.3.3 <i>Simulaciones</i>	132
5.4 CLASIFICACION E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	136
5.4.1 <i>SIMULACION 1.....</i>	136
5.4.2 <i>SIMULACIÓN 2.....</i>	139
5.4.3 <i>SIMULACIÓN 3.....</i>	141
5.4.4 <i>SIMULACIÓN 4.....</i>	144

CAPITULO VI

MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN EN LAS ESTACIONES RADIOBASE	147
6.1 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DE MEDICIÓN	147
6.1.1 <i>Analizador de Campos de Radiofrecuencia Protek 3290.....</i>	148
6.1.2 <i>Medidor de Campo Eléctrico Smart Fieldmeter.....</i>	150
6.1.3 <i>GPS.....</i>	152
6.1.4 <i>Telémetro Láser</i>	153
6.1.5 <i>Trípode.....</i>	154
6.1.6 <i>Computadoras Portátiles.....</i>	154
6.2 UBICACIÓN DE LAS RADIO – BASES EN EL MAPA DIGITAL.....	155

6.3 DETERMINACION DE LOS PARÁMETROS DE LAS RADIO BASES Y LOS PANELES BIDIRECCIONALES DE SERVICIO CELULAR.....	159
6.3.1 Radio Base 1	160
6.3.2 Radio Base 2	160
6.3.3 Radio Base 3	160
6.3.4 Radio Base 4	161
6.3.5 Radio Base 5	162
6.3.6 Radio Base 6	162
6.3.7 Radio Base 7	163
6.3.8 Radio Base 8	163
6.3.9 Radio Base 9	164
6.3.10 Radio Base 10	164
6.3.11 Radio Base 11	165
6.3.12 Radio Base 12	165
6.3.13 Radio Base 13	166
6.4 DESCRIPCIÓN DE PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN.....	166
6.4.2 Procedimiento de Medición.....	168
6.5 ADQUISICION DE DATOS	171

CAPITULO VII

PONDERACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	175
7.1 OBTENCIÓN DE LA DENSIDAD DE POTENCIA	175
7.2 ANALISIS EN LOS ERRORES DE LA MEDICIÓN	175
7.3 PROCESAMIENTO DE LAS MEDICIONES CON LA AYUDA DE EMF – SOFT.	177
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	¡Error! Marcador no definido.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones vienen experimentando en los últimos años un gran desarrollo en el Ecuador y el mundo, siendo la telefonía móvil junto con el Internet los servicios de mayor crecimiento.

Los teléfonos móviles, por su gran capacidad de comunicación mediante sus diferentes variantes (Servicio telefónico, Servicio troncalizado, Servicio móvil satelital, Servicio PCS, etc.), forman parte integrante de nuestras vidas y se predice que en el año 2006 las comunicaciones móviles estarían involucrando alrededor de 1600 millones de usuarios en todo el mundo.

Desde la introducción de los teléfonos móviles en los años 80 el crecimiento de los teléfonos móviles y sus estaciones bases ha sido continuo y con una tasa de crecimiento cada vez mayor, encontrándonos con países como China que a pesar de tener una penetración relativamente baja ya bordea los 150 millones de usuarios.

De acuerdo al Consejo Nacional de Telecomunicaciones en Ecuador a fecha Abril de 2006 la cantidad de usuarios en telefonía móvil es de 7.183.183,00 usuarios; OTECEL con 2.584.877,00 y CONECEL con 4.598.306,00 usuarios, sobrepasando a la cantidad de usuarios de las redes de telefonía fija 2.123.475,00.¹

¹ Datos tomados a fecha 12 de Junio de 2006, de la pagina de estadísticas del CONATEL

En el Ecuador, las redes de telefonía móvil ya sobrepasaron en número de usuarios a las redes de telefonía fija y debido a su relativa facilidad de implementación en algunos casos son la única alternativa de comunicación de los pobladores de muchas zonas urbano-marginales.

Sin embargo, este crecimiento ha generado una preocupación a nivel mundial, que aumenta paralela al crecimiento de las redes móviles, sobre los efectos a la salud que causaría el uso de los teléfonos móviles y las estaciones bases presentes y cada vez más cercanas a nuestros hogares.

Se ha realizado una revisión bibliográfica principalmente basada en datos obtenidos de investigaciones realizadas por otros países que han mostrado una preocupación sobre este tema de investigación , y también, en referencias obtenidas por contacto directo con los investigadores o de informes de comités expertos . Los trabajos que a partir de la lectura de los resúmenes de ellos y/o las referencias a ellos de los Informes de Comités de Expertos, fueron considerados los más importantes, fueron obtenidos para un análisis detallado de ellos, y en especial de los resultados obtenidos, como de los materiales y métodos utilizados, y en especial de la metodología del análisis estadístico.

Se analizaron además los siguientes informes realizados por comités de expertos y sus conclusiones:

- a. The EMF Program, 2005;
- b. A review of the potential health risks of radiofrequency fields from wireless telecommunication devices - Expert pannel report prepared at the request of the Royal Society of Canada for Health Canada, 1999;
- c. Informes de la International Commission On Non-ionizing Radiation Protection ICNIRP;
- d. Informes de INICTEL, Perú.
- e. Proyecto Estudio de los Límites de la Exposición humana a Campos Electromagnéticos producidos por antenas de telecomunicaciones y Análisis de su integración al entorno, Comisión de Regulación de Telecomunicaciones – CRT Informe Final, Colombia, entre los principales

La máxima importancia se asignó a los resultados obtenidos de las mediciones realizadas versus las simulaciones obtenidas con el software RADIA, puesto que la validez estadística de las comparaciones presentadas o la lógica científica de las conclusiones obtenidas fue analizada en comparación a los límites máximos ocupacional y poblacional.

Somos conscientes de que nuestra percepción de la radiación electromagnética y sus efectos en la salud dará forma a nuestras acciones al respecto, en términos de la investigación y regulación que influirán en el desarrollo de servicios tan importantes que formarán la base tecnológica de la nueva sociedad de la información. Tomando en cuenta esto y las premisas básicas del desarrollo sostenible, esta investigación pretende desarrollar el Primer Mapa de Radiación No Ionizante par el Valle de los Chillos y establecer el inicio de una larga cadena de investigaciones que estamos seguros se realizaran referentes a este tema de actualidad.

CAPITULO 2

TEORÍA GENERAL DE ANTENAS Y TELEFONÍA CELULAR

2.1 GENERALIDADES DE LAS ANTENAS

Una antena es definida según “IEEE standard definitions of terms for antennas”¹ como “el medio para irradiar o recibir las ondas de radio”; en otras palabras las antenas transforman las ondas propagadas por los conductores metálicos en ondas propagadas a través del espacio abierto.

Las Antenas pueden servir para recepción de señales; recibiendo ondas electromagnéticas y conduciéndolas a un receptor; o pueden actuar en la transmisión de señales; transmitiendo ondas electromagnéticas producida por un transmisor. Como se muestra en la figura 2.1.

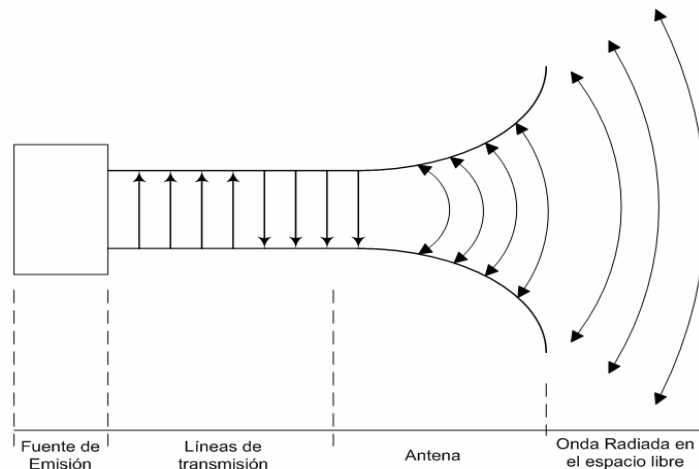


Figura 2.1.- Una antena como un medio de transmisión

¹IEEE Std 145-1983; IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Antenna , vols. AP-17, N° 3, 22 de Junio de 1983, ISBN: 0-7381-4343-X.

2.1.1 PARÁMETROS FUNDAMENTALES DE ANTENAS

Una antena formará parte de un sistema amplio de radiocomunicaciones. Interesará, por lo tanto, caracterizarla con una serie de parámetros que la describan y permitan evaluar el efecto sobre el sistema de una determinada antena, o bien especificar el comportamiento deseado de una antena para incluirla en ese sistema.

2.1.1.1 Intensidad de Radiación

Una de las características fundamentales de una antena es su capacidad para radiar con una cierta direccionalidad, es decir, concentrar la energía radiada en ciertas partes del espacio. Por lo tanto es conveniente cuantificar este comportamiento con algún parámetro, por lo tanto, se define Intensidad de Radiación como la potencia radiada por unidad de ángulo sólido en una determinada dirección, como se muestra en la ecuación (2.1).

$$U = |\vec{S}_{av}| \cdot r^2 \quad (2.1)$$

$$U = \text{Re}(\vec{E} \otimes \vec{H}^*) \cdot r^2$$

Donde:

S_{av} : Densidad media de Potencia.

2.1.1.2 Potencia Radiada

Se calcula integrando la Intensidad de Radiación en todas las direcciones del espacio como lo muestra la ecuación (2.2)

$$P_{rad} = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} U \cdot \text{sen}(\theta) \cdot d\theta \cdot d\phi \quad (2.2)$$

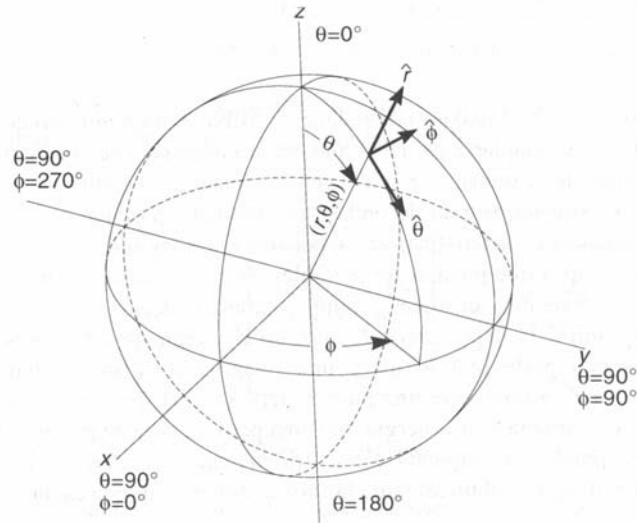


Figura 2.2.- Sistema de Coordenadas Esféricas

2.1.1.3 Impedancia

La antena ha de conectarse en el transmisor y radiar el máximo de potencia posible con un mínimo de pérdidas en ella. Habitualmente el transmisor se encuentra alejado de la antena y la conexión se hace mediante una línea de transmisión o guía de ondas, que participa también en esa adaptación, debiendo considerarse su impedancia característica, su atenuación y longitud.

A la entrada de la antena puede definirse la *impedancia de entrada* Z_A que es la impedancia que presenta la antena en sus terminales de entrada como se muestra en la figura 2.3

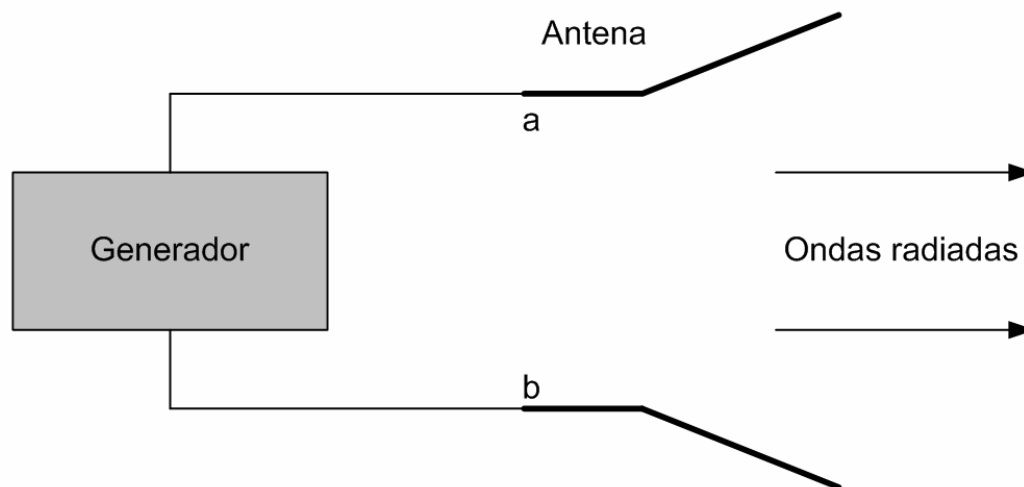


Figura 2.3.- Impedancia de Entrada

La Impedancia de Entrada se define entonces como se muestra en la Ecuación 2.3.

$$\begin{aligned} Z_A &= R_A + iX_A \\ R_A &= R_L + R_r \end{aligned} \quad (2.3)$$

Donde:

Z_A : Impedancia de la antena entre los terminales a-b

R_A : Resistencia de la antena entre los terminales a-b

X_A : Reactancia de la antena entre los terminales a-b

R_L : Resistencia de pérdidas

R_r : Resistencia de irradiación

2.1.1.4 Eficiencia

La existencia de pérdidas en la antena hace que no toda la potencia entregada por el transmisor sea radiada, por lo que se puede definir un rendimiento o *eficiencia de la antena* η_l , mediante la relación entre la potencia radiada y la entregada, o equivalentemente entre la resistencia de entrada de esa antena, si hubiera sido ideal¹, y la que presenta realmente, esta relación se muestra en la ecuación (2.4).

$$\eta_l = \frac{P_{radiada}}{P_{entregada}} = \frac{R_r}{R_r + R_\Omega} \quad (2.4)$$

Donde:

R_r : Resistencia de entrada en el caso ideal

R_Ω : Resistencia óhmica

2.1.1.5 Polarización

La polarización de una antena en una dirección es la de la onda radiada por ella en esa dirección. La polarización de una onda es la figura geométrica descrita, al transcurrir el

¹ Antena ideal equivale a antena sin pérdidas

tiempo, por el extremo del vector campo eléctrico en un punto fijo del espacio en el plano perpendicular a la dirección de propagación. Ejemplos de polarización se muestran en la figura 2.4

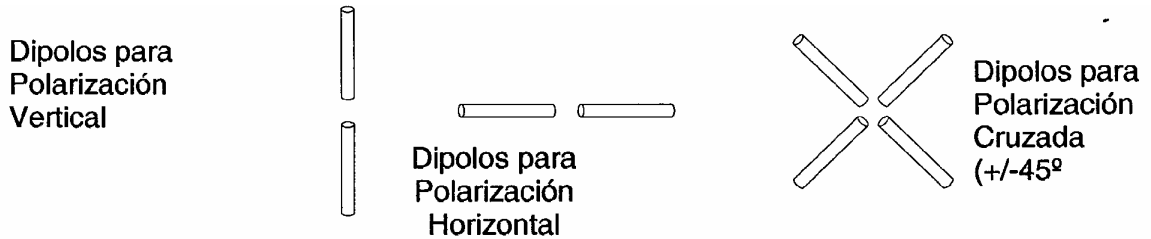
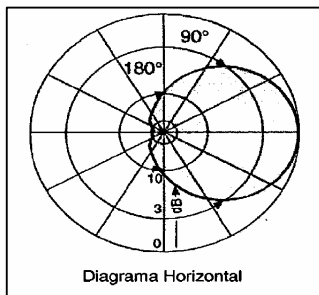


Figura 2.4.- Polarización de Antenas

2.1.1.6 Diagramas de Radiación

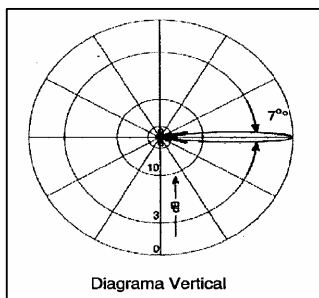
En la mayoría de los casos las características de radiación de una antena puede ser descrita por intermedio de representaciones gráficas a través de los diagramas de radiación horizontal y vertical.

Así estos diagramas vienen definidos por las componentes del campo magnético (plano H) y de las componentes del campo eléctrico (plano E) que se muestran en la figura 2.5



Plano Horizontal (H)

Observando de arriba, la distribución de la energía de una antena direccional tipo panel.



Plano Vertical (E)

Observando de lado, y haciéndose un corte" la energía se distribuye de esta forma.

Figura 2.5.- Ejemplos de Diagramas de Radiación en coordenadas polares

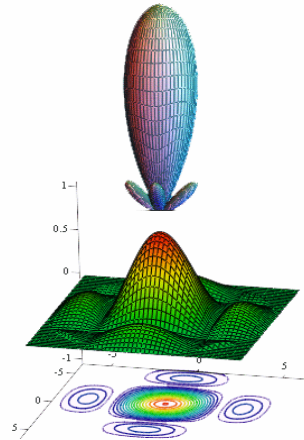


Figura 2.7.- Directividad de una Antena

2.1.1.9 Ganancia

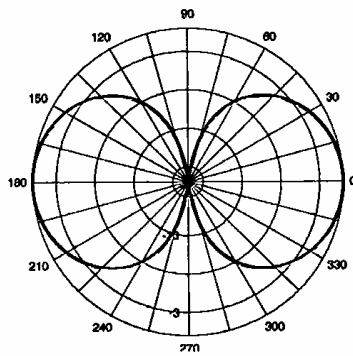
Un segundo parámetro directamente relacionado con la directividad es la *ganancia* de la antena G. Su definición es semejante a la de Directividad, pero la comparación se realiza con la potencia entregada a la antena.

La ganancia y la directividad están relacionadas por la eficiencia de la antena, como se muestra en la ecuación (2.6).

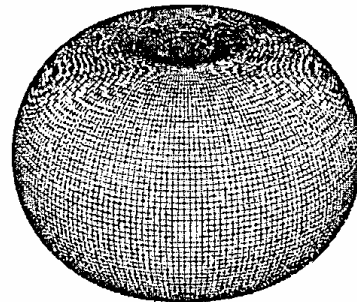
$$G = D \cdot \eta_i \tag{2.6}$$



(1 dipolo de $\lambda/2$)



78°



Ganancia 0 dB

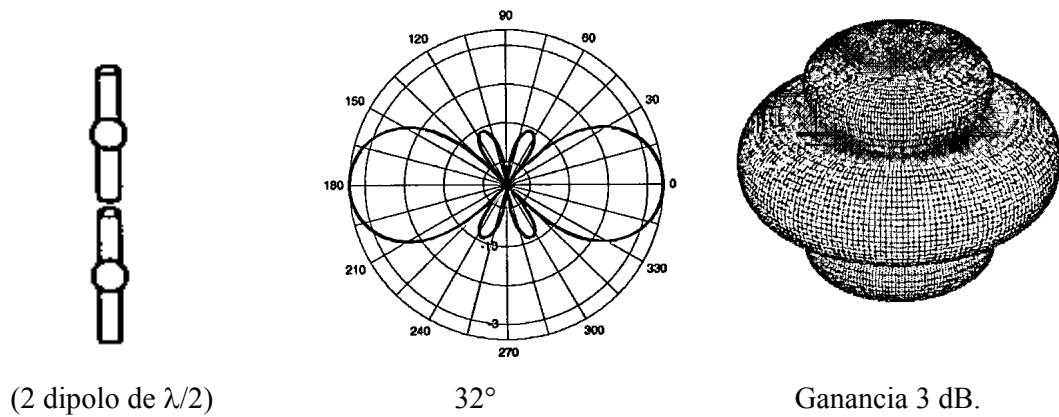


Figura 2.8.- Relación de ganancia por lóbulo de irradiación.

2.1.1.10 Relación Frente / Atrás (F/E)

Relación Frente / Espalda (F/E) es la relación de la ganancia del lóbulo principal comparado con la ganancia del lóbulo de atrás como se muestra en la figura 2.9

En cuanto mayor sea el valor (medido en dB.) de la relación Frente / Espalda será mejor el aislamiento atrás de la antenna, garantizando mayor protección a las interferencias de la señal entre antenas de una misma RBS¹.

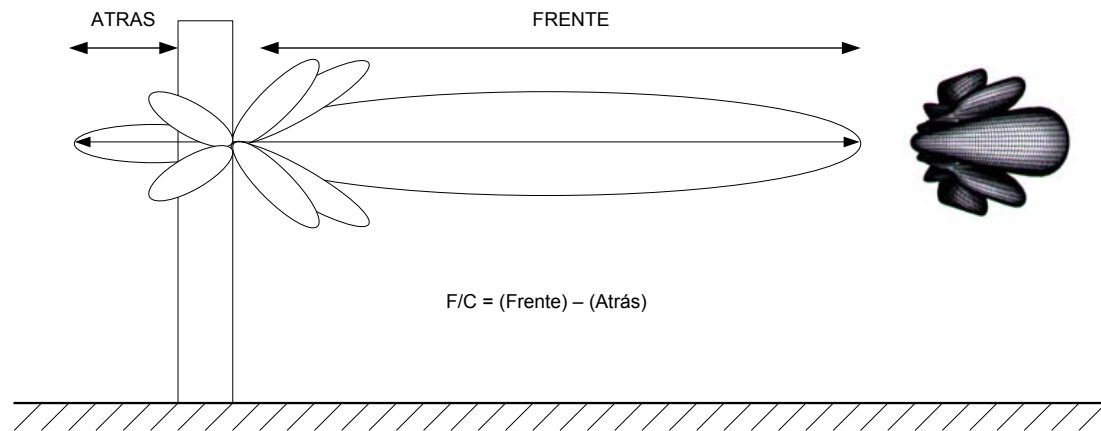


Figura 2.9.- Relación frente / atrás en una antenna.

2.1.1.11 Ancho de Banda de la Antena

El ancho de banda de la antenna se define como el rango de frecuencias sobre las cuales la

¹ RBS: Radio Base Station

operación de la antena es "satisfactoria". Esto, por lo general, se toma entre los puntos de media potencia, pero a veces se refiere a las variaciones en la impedancia de entrada de la antena, lo que se ilustra en la Figura 2.10.

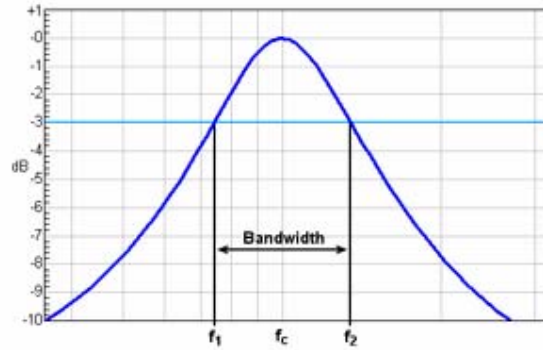


Figura 2.10.- El ancho de banda viene determinado por las frecuencias comprendidas entre f_1 y f_2

En la Figura 2.11 se muestra las frecuencias de operación y sus aplicaciones.

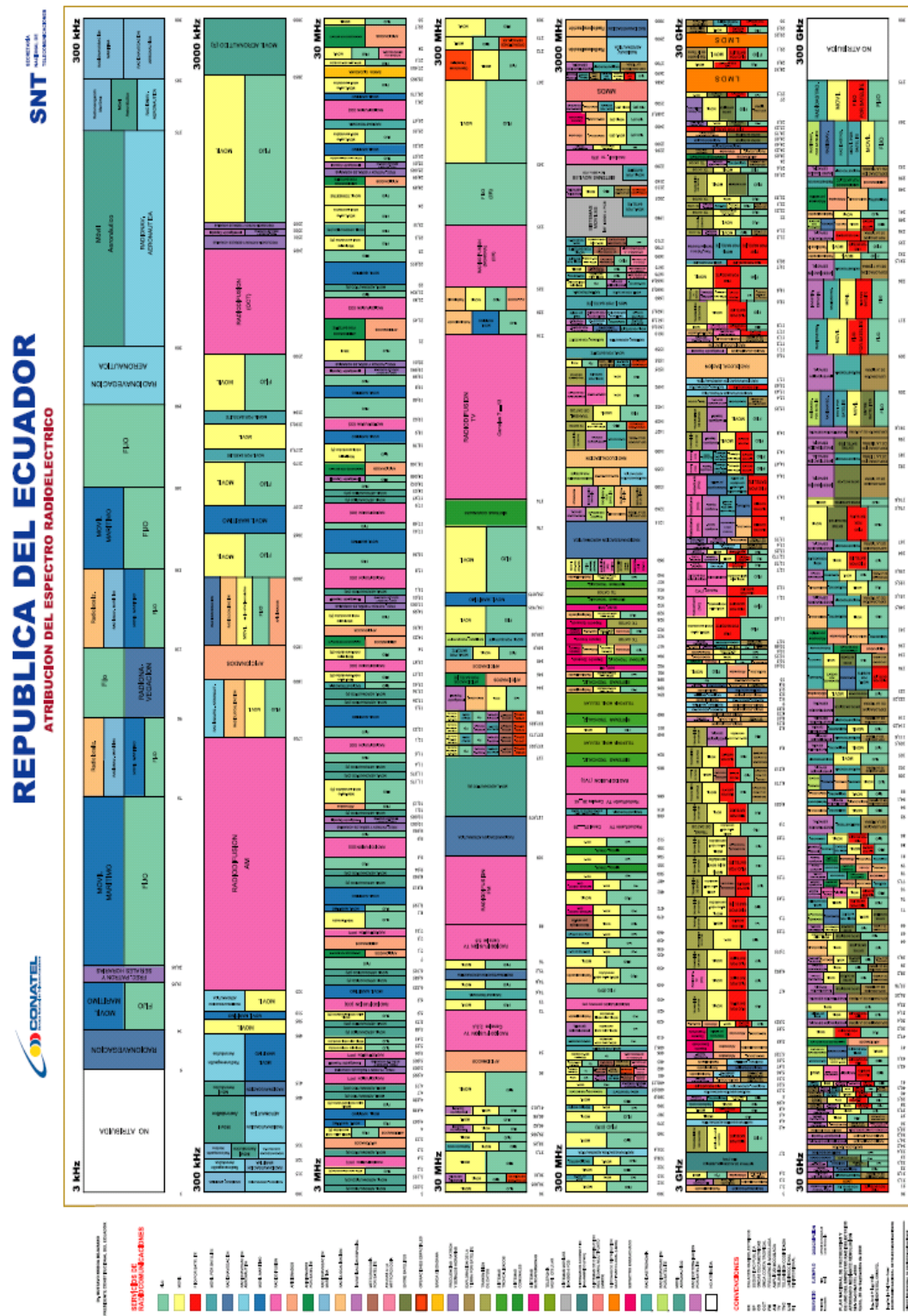


Figura 2.11.- Frecuencias de Operación

2.1.1.12 Longitud y Área Efectiva

Longitud Efectiva

Para una antena receptora se define como la relación entre la tensión inducida en circuito abierto en bornes de la antena y la intensidad del campo incidente en la onda, como se muestra en la ecuación (2.7).

$$l_e = \frac{|V_{ca}|}{|E_i|} \quad (2.7)$$

Donde:

V_{ca} : Voltaje en circuito abierto de la antena

E_i : Intensidad de Campo Incidente

2.1.1.13 Área Efectiva

Describe la capacidad de capturar potencia de una antena receptora. Se define como la relación entre la potencia recibida en los terminales con la potencia incidente, como se muestra en la ecuación (2.8).

$$A_e = \frac{P_T}{|\vec{S}_{av}|_i} \quad (2.8)$$

Donde:

P_T : Potencia disponible en los terminales del receptor.

2.1.2 TIPOS DE ANTENAS

Toda onda se caracteriza por tener su propia frecuencia de operación (f) y su longitud de onda (λ), ambas relacionadas por la velocidad de propagación en el medio, que habitualmente en antenas tiene las propiedades del vacío ($c = 3 \times 10^8$ m/s), con:

$$c = \lambda f \quad (2.9)$$

Cada aplicación y cada banda de frecuencia presentan características peculiares que dan origen a unas topologías de antenas muy diversas. Los tipos de antenas más comunes se describen conceptualmente a continuación:

2.1.2.1 Antenas Alámbricas.- Están construidas por hilos conductores que pueden soportar las corrientes necesarias para dar origen a los campos radiados. Pueden estar formadas por hilos rectos (monopolo, dipolo), espiras (circular, cuadrada o de cualquier forma arbitraria) y hélices. Un ejemplo de este tipo de antenas se muestra en la figura 2.12

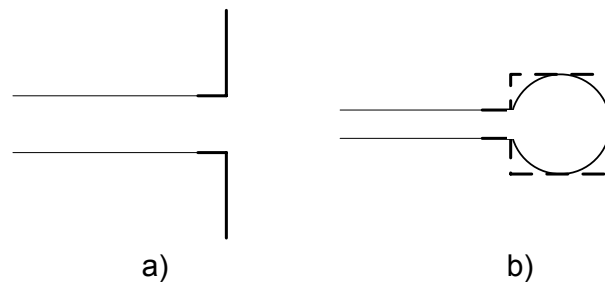
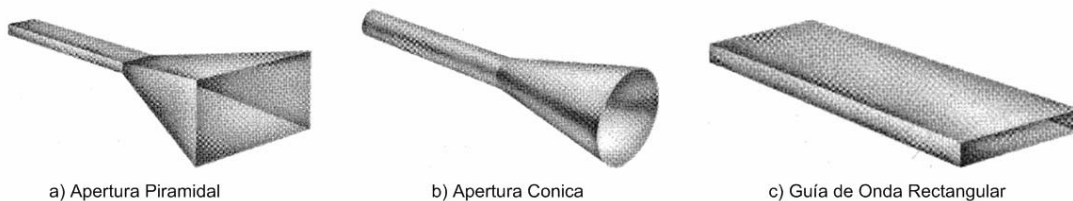
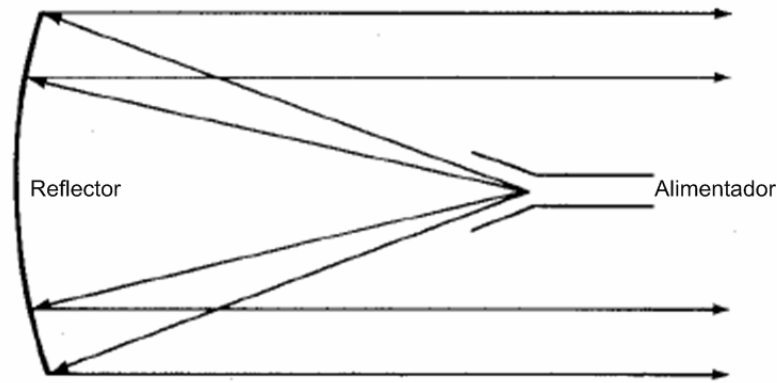


Figura 2.12.- Antenas Alámbricas tipo: a) Dipolo, b) Circular

2.1.2.2 Antenas de apertura y Reflectores.- En este tipo de antenas la propagación de las ondas electromagnéticas se consigue con ayuda de guías de ondas metálicas. Entre las antenas de apertura más conocidas tenemos: las bocinas (piramidales y cónicas), las de aperturas y ranuras sobre planos conductores.

El uso de reflectores, asociados a un alimentador primario, permite disponer de antenas con las prestaciones necesarias para servicios de telecomunicaciones a grandes distancias, tanto terrestres como espaciales. El reflector más común es el parabólico. En la figura 2.13 se muestran algunos ejemplos de antenas de apertura y reflectores.





d) Reflector

Figura 2.13.- Antenas de Apertura y Reflectores.

2.1.2.3 Agrupaciones de Antenas.- Un *arreglo* de antenas se forma cuando dos o más elementos de la antena se combinan para formar una sola antena. Un elemento es un radiador individual como un dipolo de media onda o un cuarto de onda. Los elementos se colocan físicamente de tal forma que sus campos de radiación interactúan entre sí, produciendo un patrón total de radiación. El propósito de un arreglo es incrementar la directividad de un sistema de antenas y concentrar la potencia radiada dentro de un punto específico. Un ejemplo de este tipo de antenas se muestra en la figura 2.14.

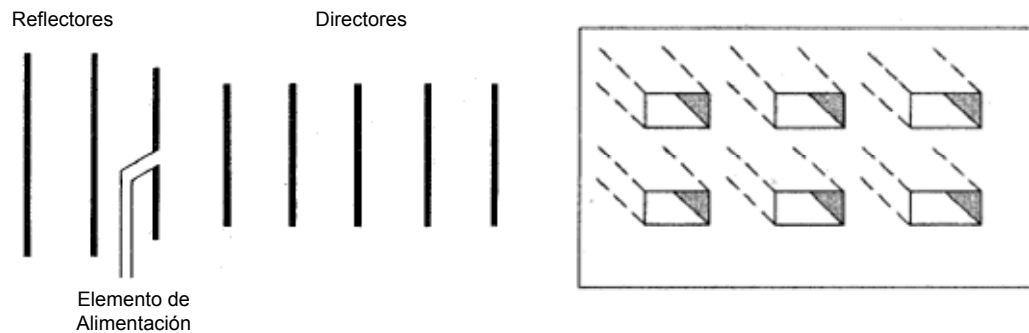


Figura 2.14.- Arreglos Típicos de Antenas.

2.1.2.4 Antenas Parabólicas.- Una **antena parabólica** es un tipo de antena que se caracteriza por llevar un reflector parabólico. Las antenas parabólicas pueden ser usadas como antenas transmisoras o como antenas receptoras. En las antenas parabólicas transmisoras el reflector parabólico refleja la onda electromagnética generada por un dispositivo radiante, mientras que en las antenas parabólicas receptoras el reflector parabólico concentra la onda incidente en su foco, para ser recibida por un detector. Las

antenas parabólicas suelen ser utilizadas a frecuencias altas y tienen una ganancia elevada. Un ejemplo de este tipo de antenas se muestra en la figura 2.15.

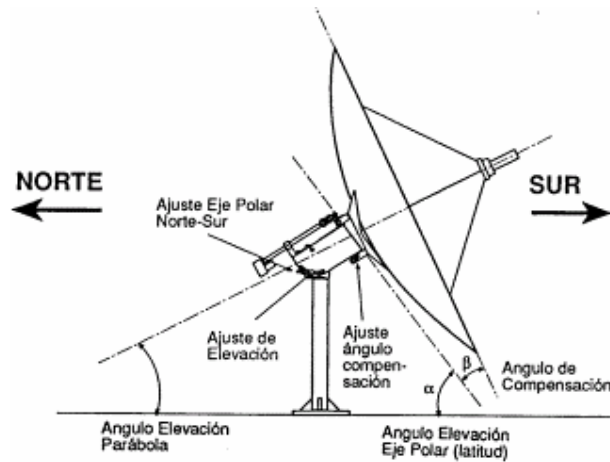


Figura 2.15.- Antena Parabólicas.

2.2 SISTEMAS MÓVILES

2.2.1 ANTECEDENTES HISTORICOS

Después de los trabajos iniciales de Hertz en 1880, Marconi realizó varios trabajos experimentales y posteriormente llevó a cabo la transmisión por radio hacia un barco en 1897. Durante la Primera Guerra Mundial, los sistemas de radiocomunicación móvil tuvieron un uso muy limitado. Fue hasta 1921 cuando se instaló el primer sistema de radiotelefonía móvil por el Departamento de Policía de la ciudad de Detroit. Este sistema operaba en la banda de los 2 MHz; sin embargo, en la medida que los adelantos tecnológicos y la demanda del servicio aumento, se inicio la tendencia hacia el uso de mayores frecuencias.

En los años treinta varios canales se usaron sobre una base experimental. Hacia mediados de los cuarenta se instalaron nuevos sistemas comerciales en las bandas de los 33 y 150MHz. La operación de estos sistemas fue en un solo sentido y se requería de un operador de teléfono para poder colocar la llamada. Además, el usuario tenía que buscar manualmente un canal que se encontrara libre.

Hacia mediados de los años sesenta se tuvieron nuevos sistemas en la banda de los 150 Mhz con operación en ambos sentidos, búsqueda automática de canales y marcación de y hacia la estación móvil. Sistemas semejantes se tuvieron hacia finales de esa década en la banda de los 450MHz. Ejemplos de estos sistemas son el sistema MK (en la banda de los 150MHz) y el sistema MJ (en la banda de los 450MHz) diseñados por Bell Telephone. Estos sistemas fueron los predecesores de lo que posteriormente se llamó sistema IMTS¹, el cual se convirtió en un estándar para los sistemas de telefonía móvil.

Anteriormente a estos sistemas, hacia fines de la segunda Guerra Mundial, se introdujeron muchos otros sistemas de comunicación móvil. Éstos, por lo general trabajaban en frecuencias menores de los 460MHz y daban servicio a varios departamentos del gobierno, a la industria, y al sistema de transporte, así como también a usuarios civiles en las llamadas bandas civiles.

En 1978 en la ciudad de Chicago, en Estados Unidos, comenzó a instalarse en su fase experimental el sistema AMPS², en la banda de los 900MHz, disponiendo de 666 canales en su capacidad total de uso. Este sistema, que ya es un sistema celular, cubrió en su fase experimental una extensión de aproximadamente 5400 km² con 10 células³ y 136 canales para 2 mil abonados y después se instaló en 1983 en forma comercial con los 666 canales y una capacidad inicial de 30 mil abonados.

En Europa de forma paralela se instaló el primer sistema celular de tipo experimental en la banda de los 450MHz, denominándose NMT⁴. Este sistema entró en operación comercial en 1981, cubriendo gran parte de los países nórdicos, y más adelante este mismo sistema se instaló en otros países europeos. En Japón se instaló el primer sistema celular en 1979, en la banda de los 900 MHz. En años recientes, otros sistemas se han instalados o se están instalando en varias partes del Mundo.

En 1982 se formó un grupo de trabajo auspiciado por los gobiernos europeos (Conference Européenne des Postes et Télécommunications – CEPT) llamado luego GSM. Los dos

¹ IMTS siglas de Improved Mobile Telephone System

² AMPS siglas de Advanced Mobile Phone Service

³ Una celda o célula corresponde a una zona cubierta por un transmisor o una pequeña colección de transmisores.

⁴NMT siglas de Nordic Mobile Telephone System.

problemas principales que se enfrentaban en la época eran la existencia de un gran número de sistemas analógicos con diferentes normas. Se requería entonces lograr un sistema compatible a nivel de Europa. Asimismo, se tenía la necesidad de dar un servicio para una demanda más creciente.

En 1993 el sistema celular Pan Europeo, llamado GSM¹, comienza su instalación. Hacia finales de 1994 había dos millones de abonados en toda Europa y el sistema se aceptó en varias naciones no europeas. En años recientes se propuso el sistema DCS-1800, basado en GSM pero operando en la banda de los sistemas personales de Comunicaciones 1800 a 1900MHz.

Como respuesta a la necesidad de una mayor capacidad de abonados, en zonas de alta densidad de abonados en Estados Unidos, se adoptó la norma IS-54², basada en TDMA³. En años recientes, se normaliza un nuevo sistema en Estados Unidos con acceso CDMA⁴; el sistema IS-95⁵. Actualmente, las actividades de investigación en el mundo se dedican al diseño de los sistemas de comunicación móvil de tercera y cuarta generación, estos sistemas deberán soportar una amplia gama de servicios, desde voz y datos de baja velocidad, hasta datos de alta velocidad, incluyendo servicios multimedia y servicios orientados a conmutación de circuitos y paquetes. En la figura 2.16 se muestra una posible evolución de las generaciones de telefonía celular.

¹ GSM siglas de *Global System for Mobile communications*

² El primer estándar digital de tecnología TDMA.

³ TDMA siglas de *Time Division Multiple Access*.

⁴ CDMA siglas de *Code-Division Multiple Access*

⁵ IS 95 es el estándar para CDMA.

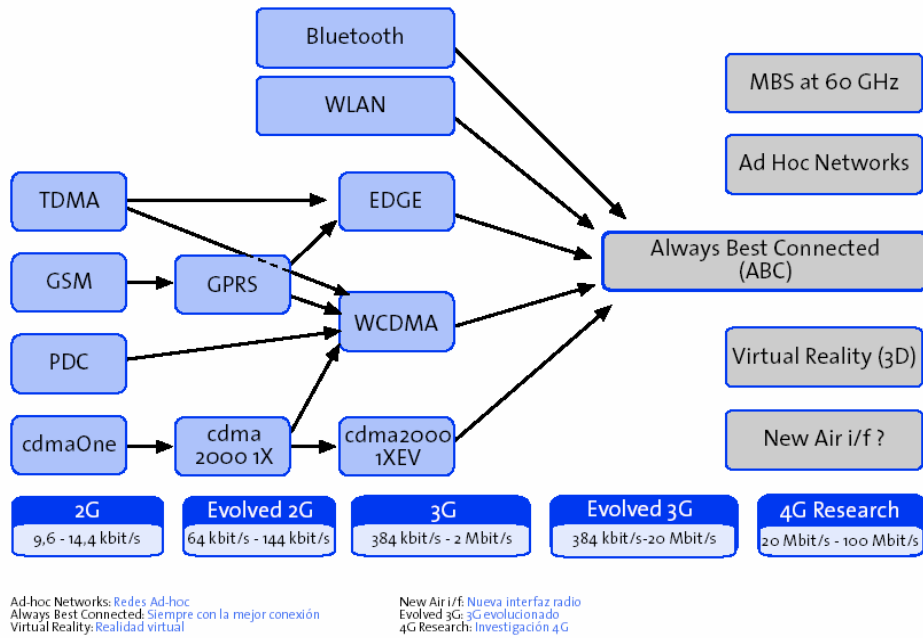


Figura 2.16.- Evolución hacia 4G. Fuente: Ericsson

A nivel mundial cada uno de estos estándares son usados indistintamente dependiendo de las leyes de telecomunicaciones que estén establecidas en cada región, a continuación en la figura 2.17 se muestra un mapa del soporte a las comunicaciones móviles de datos a nivel mundial.

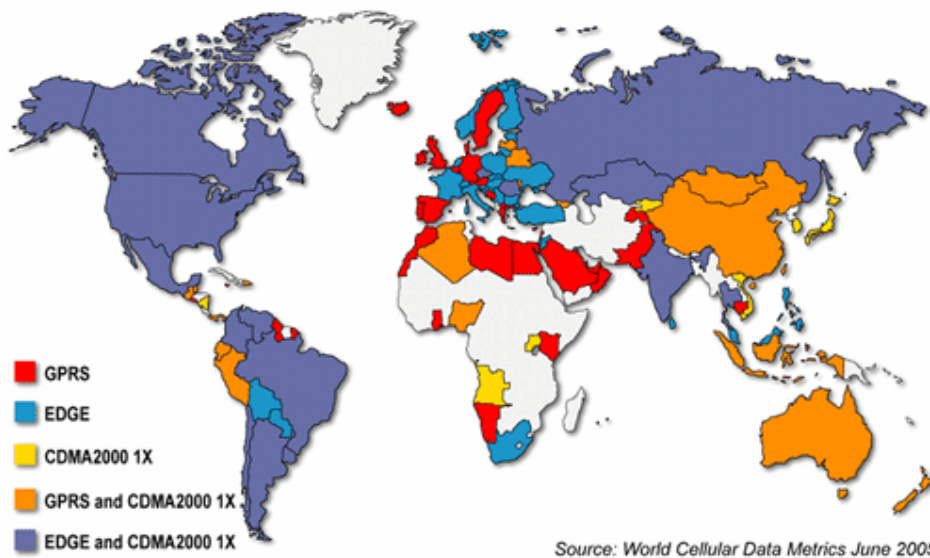


Figura 2.17.- Soporte de las Comunicaciones Móviles. Fuente: World Cellular Data Metrics

2.2.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA CELULAR

La infraestructura de red, independientemente del estándar utilizado, debe incorporar los elementos necesarios para poder gestionar de forma eficiente la movilidad y para garantizar un acceso seguro (ya que se está utilizando un medio que se comparte entre varios usuarios). Una infraestructura de red móvil genérica, independientemente de la tecnología de acceso utilizada, contará con una serie de elementos básicos como son:

Las estaciones móviles, que permiten al usuario conectarse a la red. Pueden ser teléfonos, tarjetas de red o incluso dispositivos embebidos.

Las estaciones base, que son el equipamiento fijo distribuido geográficamente para cubrir el área a la cual se pretende dar el servicio. Controlan el enlace de radio entre el usuario y la red, constituyendo, por tanto, las puertas de acceso de los usuarios a la misma.

Los sistemas de control y conmutación de las estaciones base. Además de las funciones clásicas de control de llamada, controlan la conmutación de la conexión entre distintas estaciones base, de forma que la movilidad del usuario sea gestionada de forma transparente a éste.

Las bases de datos para la gestión de la movilidad. Permiten la localización de los usuarios en la red móvil, así como el mantenimiento y distribución de la información del perfil correspondiente a cada uno (incluyendo aspectos de autenticación y tarificación).

En la Figura 2.18 se muestra un ejemplo de esta arquitectura de red genérica, aplicada al sistema GSM¹.

¹ Los sistemas basados en la tecnología de acceso CDMA presentan una arquitectura de red similar, aunque el nivel de estandarización de las interfaces entre los elementos de red es más bajo.

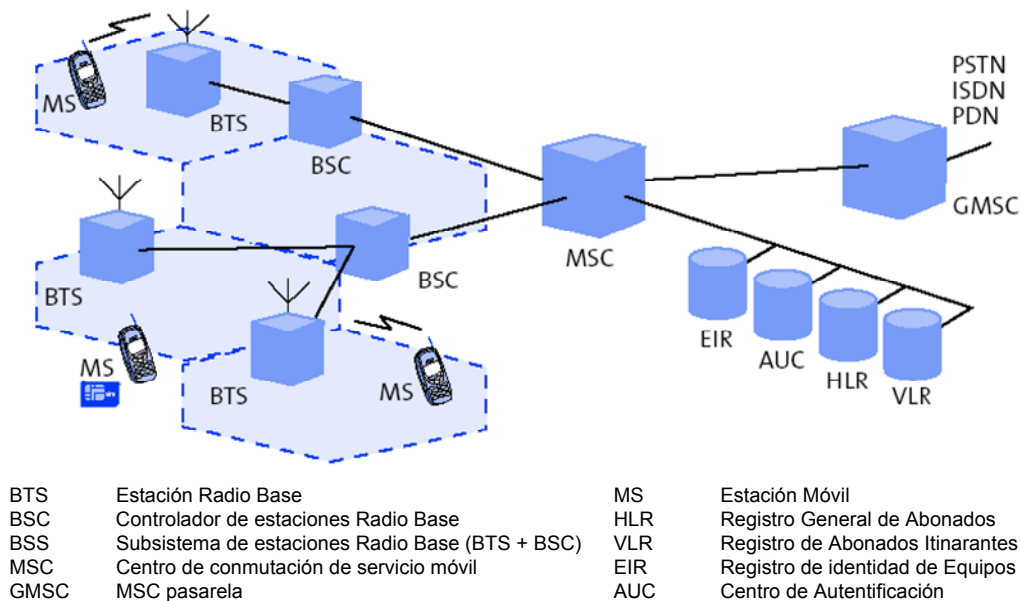


Figura 2.18.- Arquitectura de una red GSM

Este tipo de arquitectura de red y la digitalización de la misma provee ventajas las cuales se resumen a continuación:

Mayor eficiencia espectral (modulaciones más eficientes) y mejor protección frente a interferencias.

Posibilidad de utilización de codificaciones de fuente más eficientes. El ejemplo más típico es la voz, que en el caso de GSM se implementa mediante un codec de 13 kbit/s, permitiendo una importante ganancia de capacidad respecto de las redes analógicas.

La digitalización del enlace radio esto aumenta la seguridad de las comunicaciones, además de facilitar la introducción de mecanismos adicionales de cifrado.

Posibilidad de ofertar nuevos servicios, aprovechando la naturaleza digital del enlace. Un ejemplo muy simple son los mensajes cortos (SMS), que utilizan los canales de señalización para transmitir información de usuario. Otro ejemplo es precisamente el servicio GPRS (General Packet Radio Service), desarrollado de forma mucho más sencilla gracias a la naturaleza digital intrínseca del GSM.

Miniaturización de los terminales. Un último aspecto, pero no por ello menos importante, es que la digitalización de la red facilita la reducción del tamaño y el consumo de los componentes de los terminales de usuario, así como su integración (lo que a su vez redundará en una reducción del costo).

Entre los componentes de todo el sistema celular que para nuestra investigación son críticos tenemos: la estación Radio Base y las Antenas. A continuación se detallarán algunas características de cada una de ellas.

La BSS (Base Station Sub-System) controla la interfaz radio. Está compuesto por una o más BTS (Base Transceiver Station) y por un BSC (Base Station Controller). Estos elementos se comunican entre sí a través de una interfaz estandarizada, con el fin de permitir operaciones incluso entre componentes construidos por fabricantes diferentes, además el BSC está conectado al MSC Mobile Switching Center (MSC).

El BSS agrupa la maquinaria de infraestructura específica a los aspectos celulares de la red celular. El BSS está en contacto directo con las estaciones móviles a través de la interfaz de radio. Por lo tanto, incluye las máquinas encargadas de la transmisión y recepción de radio, y de su gestión. Por otro lado, el BSS está en contacto con los conmutadores del NSS¹. La misión del BSS se puede resumir en conectar la estación móvil y el NSS, y por lo tanto, conecta al usuario del móvil con otros usuarios. El BSS tiene que ser controlado, y por tanto debe estar en contacto con el OSS².

¹ NSS Network Sub-System

² OSS Centro de Operación y Mantenimiento



Figura 2.19.- Base Station Subsystem, Tomado de Nokia.com

El BSS está constituida por: el BTS (Base Transceiver Station) ó Transceptor de la Estación Base, que está en contacto con las estaciones móviles a través de la interfaz de radio, el BSC (Base Station Controller) ó Controlador de la Estación Base, que está en contacto con los conmutadores del NSS¹.

La BTS (Base Transceiver Station) lleva los dispositivos de transmisión y recepción por radio, incluyendo las antenas, y también todo el procesado de señales específico a la interfaz de radio. Los BTS's se pueden considerar como complejos módems de radio, con otras pequeñas funciones. Un BTS típico de la primera generación consistía en unos pequeños armarios (de 2 m de alto y 80 cm de ancho) conteniendo todos los dispositivos electrónicos para las funciones de transmisión y recepción. Las antenas tienen generalmente unas pocas decenas de metros, y los armarios se conectan a ellas por unos cables de conexión. Un BTS de este tipo era capaz de mantener simultáneamente 3 ó 5 portadoras de radio, permitiendo entre 20 y 40 comunicaciones simultáneas. Actualmente el volumen de los BTS se ha reducido mucho, esperándose un gran avance en este campo dentro de GSM.

¹ Network Sub – System.

Un componente importante del BSS, que está considerado en la arquitectura canónica de GSM como que forma parte del BTS, es la TRAU (Unidad Transcoder y Adaptadora de Velocidad). La TRAU es el equipo en el cual se lleva a cabo la codificación y decodificación de la voz (fuente), así como la adaptación de velocidades en el caso de los datos.

El BSC (Base Station Controller) Está encargado de toda la gestión de la interfaz de radio a través de comandos remotos sobre el BTS y la MS¹, principalmente, la gestión de la localización de los canales de tráfico y de la gestión del "handover". El BSC está conectado por un lado a varios BTS's y por otro al NSS (más específicamente a un MSC²). Un BSC es en definitiva un pequeño conmutador con una gran capacidad de cómputo. Sus funciones principales, como ya hemos dicho son la gestión de los canales de radio y de los handovers. Un BSC típico consiste en uno o dos armarios, y puede gestionar hasta algunas decenas de BTSs, dependiendo de su capacidad de tráfico. El concepto de la interfaz entre el BSC y el MSC (NSS) se le conoce como interfaz A, y se introdujo al principio de la elaboración del Estándar GSM. Solamente después se decidió estandarizar también la interfaz entre el BTS y el BSC, y se le llamó interfaz Abis, sin tener nada que ver con la interfaz A.

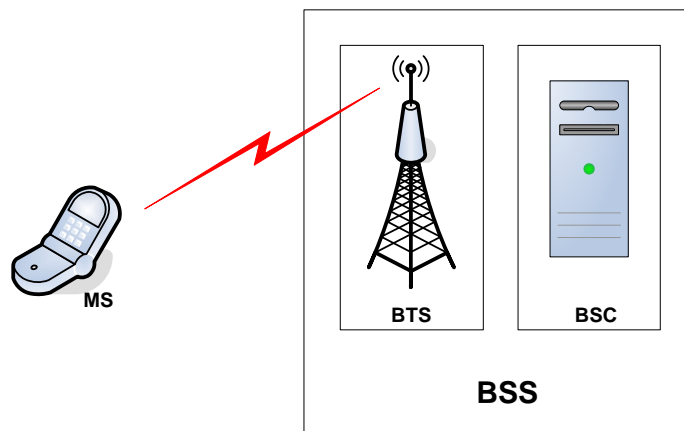


Figura 2.20.- Componentes de una BSS.

Otro componente importante son las antenas de telefonía móvil que son descritas a continuación.

¹ MS Mobile Station

² MSC Mobile Switching Centre

2.2.3 ANTENAS DE TELEFONÍA CELULAR

Para describir las antenas usadas en sistemas de comunicación móvil, primero es necesario describir un parámetro del cual depende la Cobertura, el Downtilt de la Antena.

2.2.3.1 Downtilt (Inclinación del haz)

El haz de radiación de cada sector de una BTS debe ser delineado de tal forma que la señal no penetre dentro del territorio de otra célula causando interferencias destructivas como se muestra en la figura 2.21

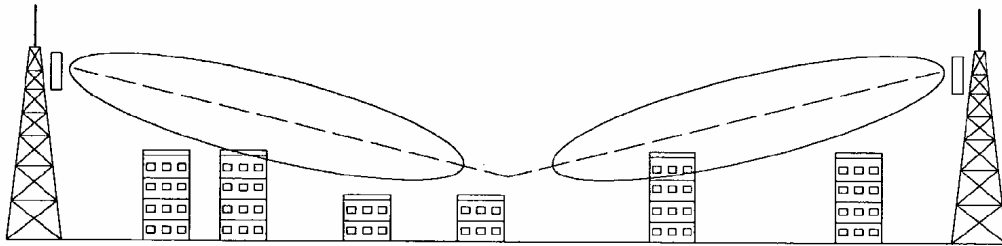


Figura 2.21.- Propagación ideal entre células en un sistema.

Para controlar el haz de radiación de la antena de forma tal que se pueda definir donde va a caer en el suelo, se utiliza un artificio llamado Downtilt. Las antenas de telefonía móvil presentan algunos tipos de Downtilt, como se describe a continuación.

Downtilt Mecánico: La antena se inclina manualmente con el ángulo deseado como se muestra en la figura 2.22

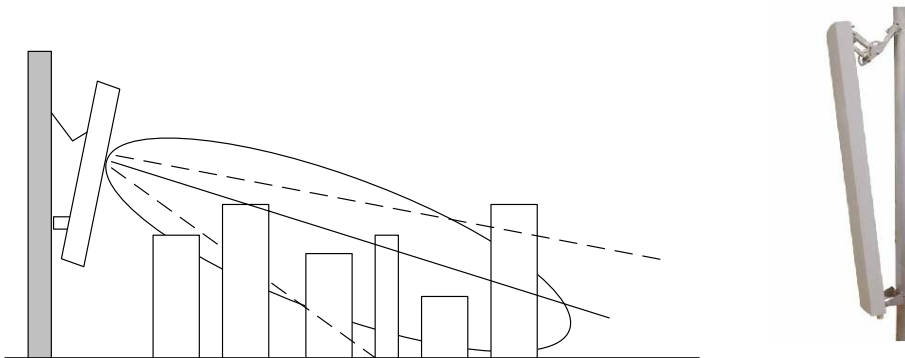


Figura 2.22.- Downtilt Mecánico.

En la práctica la inclinación típica varía de 3° a 15°

Downtilt Eléctrico: La antena es ajustada en fábrica con el haz inclinado con un ángulo estándar que puede ser de 3°, 6°, 9°, 12°.

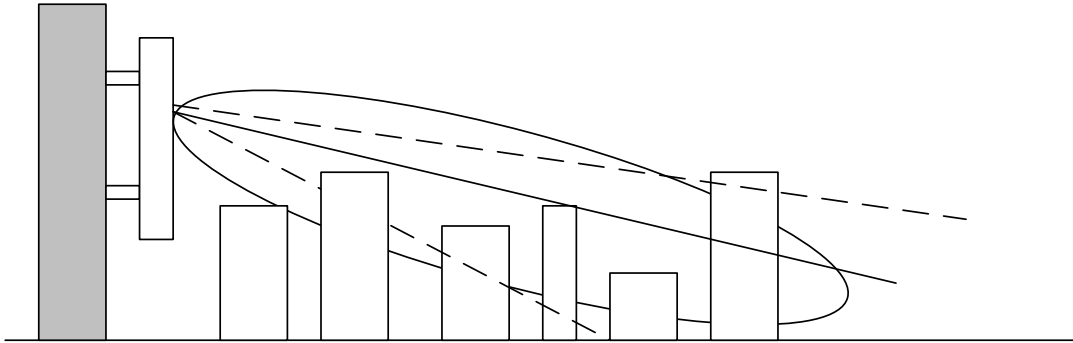


Figura 2.23.- Downtilt Eléctrico

Existen antenas que tienen Downtilt eléctrico variable:

Así en la parte trasera de la antena existe una manivela y una escala graduada (Figura 2.24).

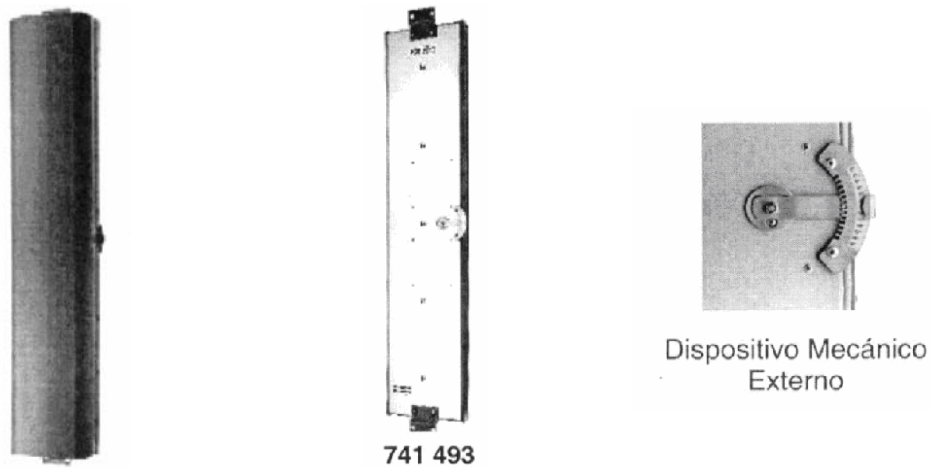


Figura 2.24.- Antena con dispositivo de Downtilt Eléctrico

2.2.3.2 Antenas Omnidireccionales

Se destinan a utilización en Estaciones Radio Base de un sector único de 360°, irradiando en todas las direcciones. Las antenas omnidireccionales irradian energía constante a lo largo de todo el azimut¹. Por lo tanto, disturbios en las condiciones de propagación en el espacio libre tienen una particular e intensa influencia en el modelo de radiación horizontal de una antena.

¹ Acimut (algunas veces escrito como azimut) es la dirección de un punto medida en grados respecto del norte

Construcción

Cómo estas antenas son instaladas en ambientes externos adversos, atención especial deberá ser considerada en la construcción mecánica. Fabricadas con elementos de cobre protegidos por un tubo de fibra de vidrio de alta resistencia, soportan vientos de más de 200 km/h. Las antenas omnidireccionales son antenas que se caracterizan por la cobertura en 360° en el eje horizontal, desde que son instaladas en la punta del mástil o torre, sin obstrucciones.

Su construcción mecánica merece atención especial para resistir la intemperie. Pueden ser tanto del tipo banda ancha (broadband), cubriendo un extenso rango de frecuencias, como también, pueden ser especializadas en un rango estrecho. Esto significa que un modelo horizontal circular real puede ser creado si la antena es montada en la punta de un mástil.

Factores decisivos son el espaciamiento entre el poste y la antena, tanto como las dimensiones del poste. La figura 2.25 muestra algunos ejemplos de antenas omnidireccionales.

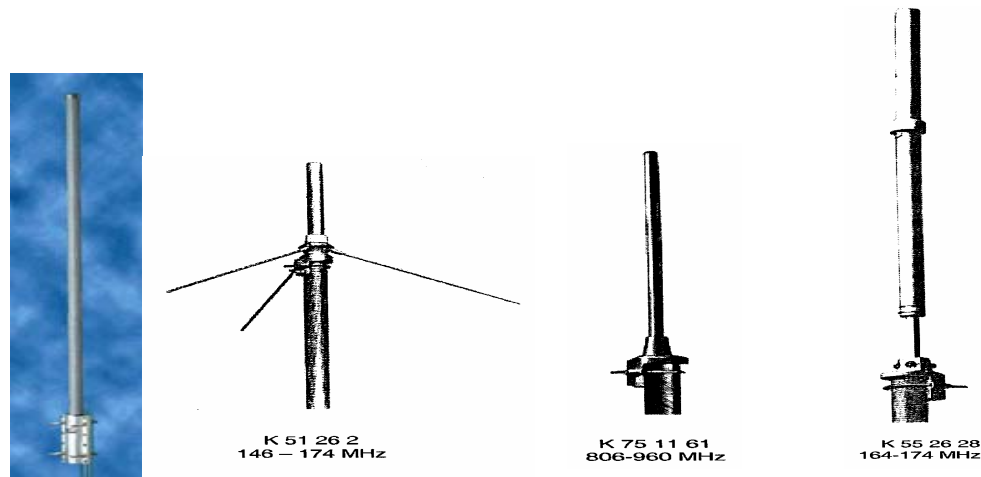


Figura 2.25.- Modelos de Antenas Omnidireccionales

2.2.3.3 Antenas Direccionales con Panel Reflector (Paneles)

Este tipo de antena se utiliza en Estaciones Radio Base divididas en sectores. Estas antenas, en la cual su base constructiva es un panel metálico con los elementos irradiantes cerrados por una tapa de material de fibra de vidrio o plástico, irradian su energía sólo en ciertos segmentos de espacio llamado de ángulo de abertura horizontal. De acuerdo con el concepto de optimización las más usuales son las de 65°, también se usa 90° y, en aplicaciones especiales, 120° ó 33°, estas últimas para cobertura de carreteras.

Los Paneles irradian su energía apenas en ciertos segmentos del espacio, y tienen una correspondiente relación frente-atrás de 20 dB o más. Esto significa que la radiación trasera es relativamente baja y las reflexiones en esta área tienen muy poca influencia en el diagrama de radiación. Por lo tanto, antenas direccionales con montaje lateral muestran diagramas de propagación muy próximos al espacio libre y de acuerdo con los prospectos técnicos.

Montaje en Paredes

Frecuentemente la instalación de antenas en redes Celulares y WLL¹ es realizada en paredes de edificios, que no son los adecuados con la dirección de las células a ser cubiertas.

Un ancho plano atrás de la antena es terriblemente iluminado por una significativa y amplia gama de radiación con un nivel de energía, cuya influencia no es suficientemente reducida para ser desconsiderada en el diagrama de radiación.

La rotación de la antena aumenta la energía irradiada en la dirección de la pared y por lo tanto aumenta también las reflexiones resultantes como se muestra en la figura 2.26

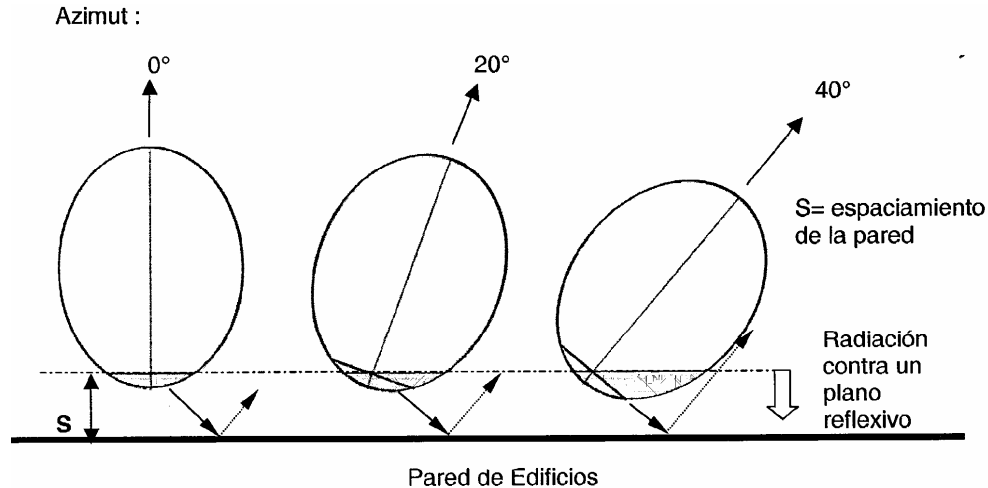


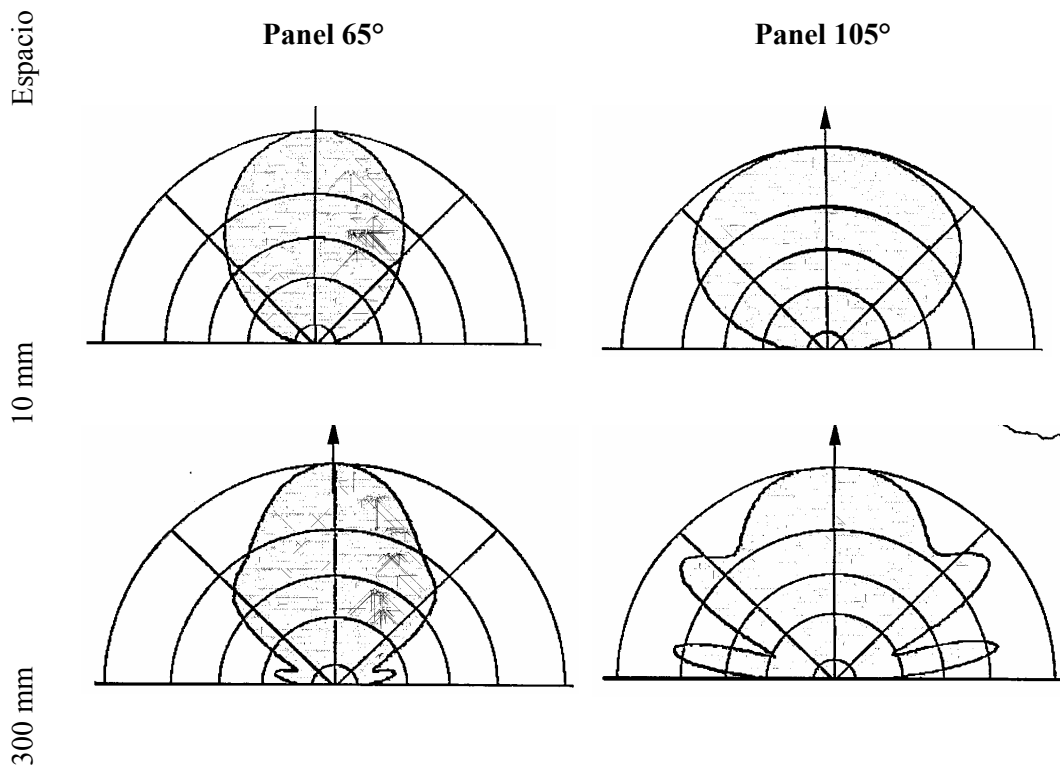
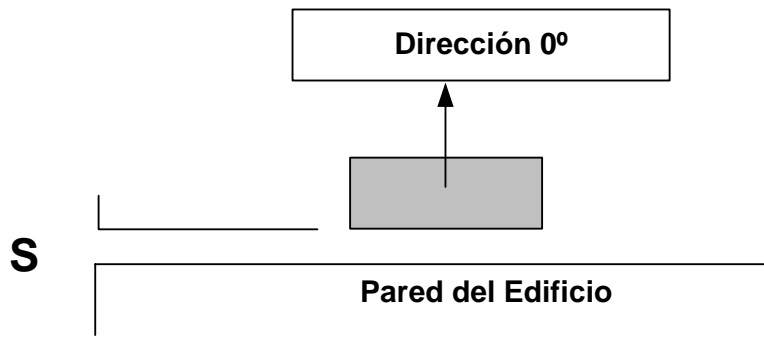
Figura 2.26.- Vista superior - 65° Antena direccional montada en paredes de edificios

Las siguientes figuras muestran una serie de diagramas horizontales de radiación para esta situación. El espaciamiento, el ángulo y la longitud de media onda de la antena sufren variación.

¹ WLL Wireless Local Loop

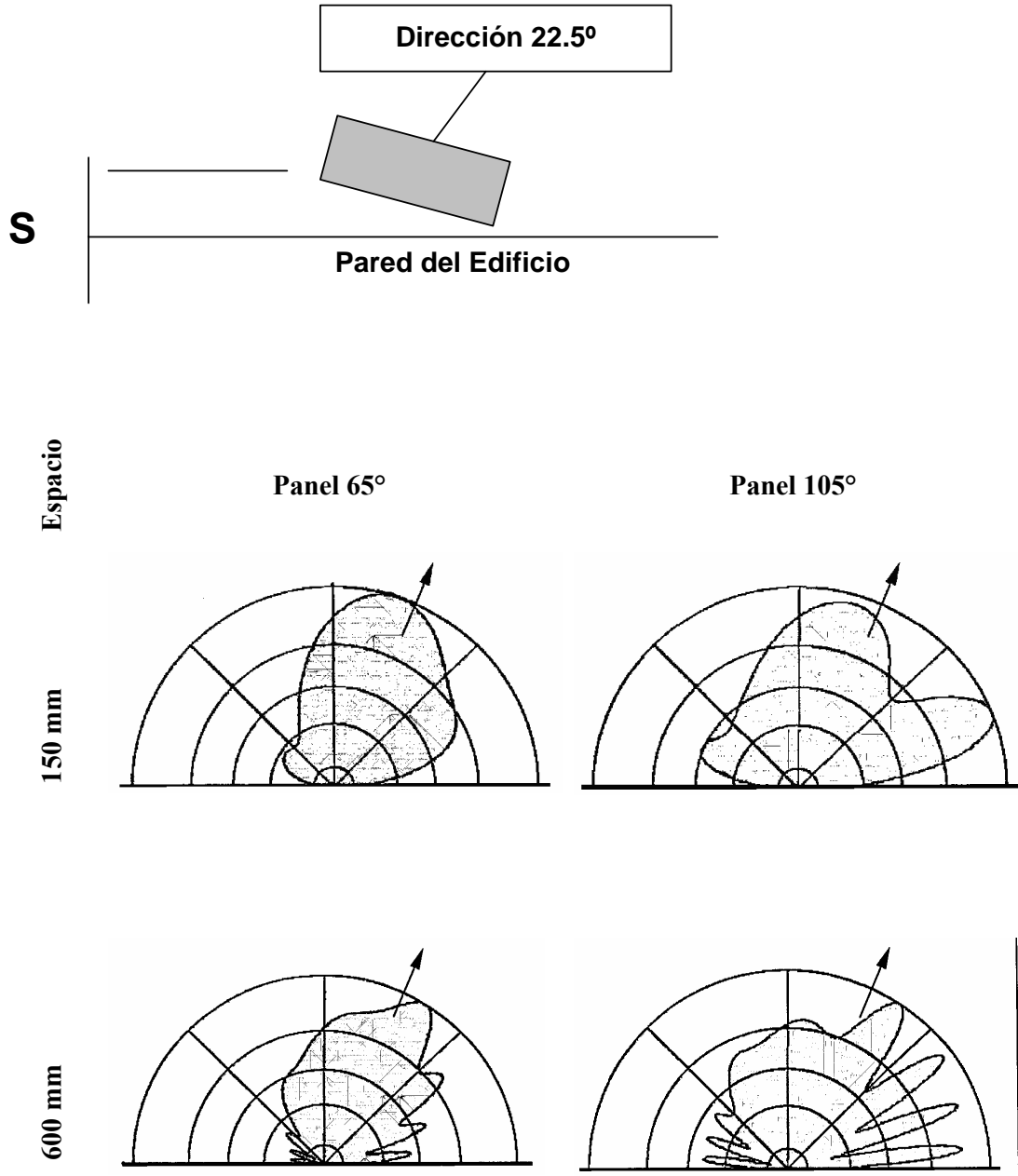
Diagramas de Radiación

- Frecuencia 800 MHz.
- Montaje en Pared
- Antena direccional con Panel reflector



Diagramas de Radiación

- Frecuencia 800 MHz.
- Montaje en Pared
- Antena direccional con Panel reflector



Dependiendo del diagrama de media potencia vertical, el plano entre la antena y el tejado crean reflexiones, que causan un up-tilt del diagrama final resultante. Para evitar este efecto, la energía irradiada en la dirección del tejado necesita ser limitada, esto significa que la antena debe ser montada con suficiente altura sobre el techo teniendo en cuenta las características técnicas de la antena y el espaciamiento límite del tejado.

En la práctica es aplicada la siguiente regla general:

La energía irradiada en la dirección del plano del tejado debe ser 10 dB menor que la máxima energía irradiada por el lóbulo principal.

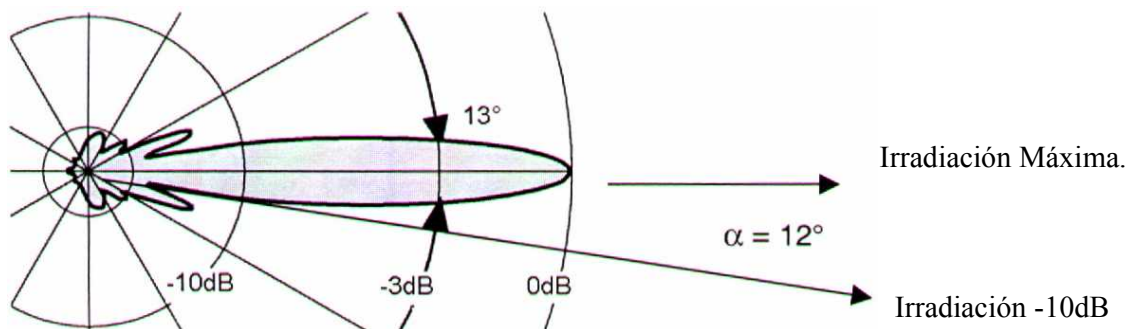


Figura 2.27.- Diagrama de Irradiación Vertical de la Antena AP13 —880 / 065, Ganancia 15.5 dBi, Angulo de Media Potencia Horizontal : 65° ,Angulo de Media Potencia Vertical: 13°

El diagrama de Irradiación de la Fig. 2.27 pertenece a una antena patrón para sistemas celulares en 800 MHz. La energía irradiada (ganancia) es reducida de 10 dB a un ángulo α de 12° con relación a la máxima energía. La altura necesaria de la antena puede ser calculada de acuerdo con la relación geométrica descrita en la Fig. 2.28.

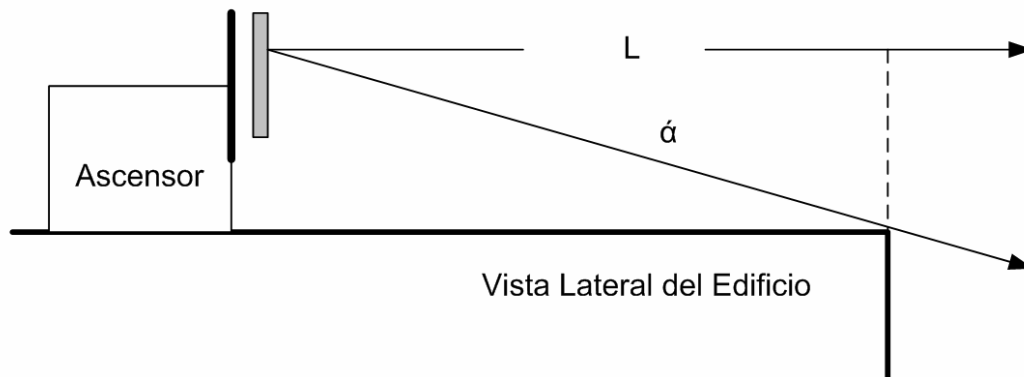


Figura 2.28.- Cálculo de la altura para montaje de la antena

$$H = L \times \tan \alpha \quad (2.10)$$

2.2.3.4 Antenas Automatizadas – RET

Las Antenas Automatizadas; también conocidas como inteligentes, tienen como función adicional la alteración de las características de irradiación en la operación. Así estas antenas permiten en las redes celulares, cada vez más complejas, la fácil y rápida optimización de la cobertura.

La principal adaptación consiste en el ajuste del diagrama vertical de irradiación de la antena o Downtilt Eléctrico.

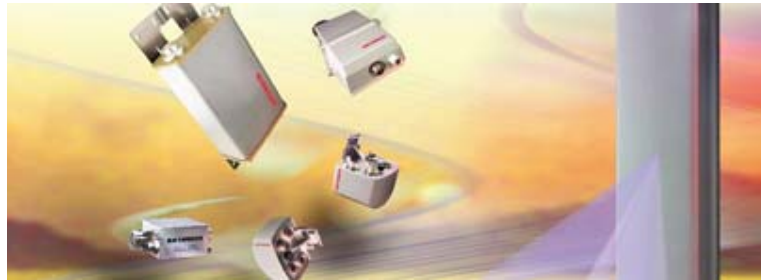


Figura 2.29.- Antenas RET

2.2.4 TECNOLOGÍAS DE ACCESO MULTIPLE

Los sistemas con Acceso Múltiple son aquellos que comparten un recurso fijo (por ejemplo el espectro radioeléctrico) para proveer canales para los usuarios.

Se tienen dos tipos de tecnología de acceso, para banda angosta y banda ancha. Para el primer caso se tienen las tecnologías de *Acceso Múltiple por División de Frecuencia* (FDMA) y *Acceso Múltiple por División de Tiempo* (TDMA).

En FDMA se asignan diferentes frecuencias para las señales de cada usuario. Se utilizan bandas de guarda para prevenir interferencias entre canales (crosstalk). En la Figura 2.30 se puede apreciar la separación de las frecuencias de los distintos canales asignados.

Las principales desventajas de esta tecnología se explican a continuación:

- No difiere mucho de los sistemas analógicos, y el mejoramiento de la calidad depende mucho de reducir la relación señal a interferencia o señal a ruido (SNR)

- FDMA utiliza filtros de banda angosta y el costo de elaborar circuitos digitales VLSI¹ es muy elevado.

Debido a estas desventajas y además a la poca eficiencia en la utilización del espectro al tener varias frecuencias en uso y bajas tasas de transmisión, FDMA ya no es la mejor opción para implementar en un sistema de comunicación celular.

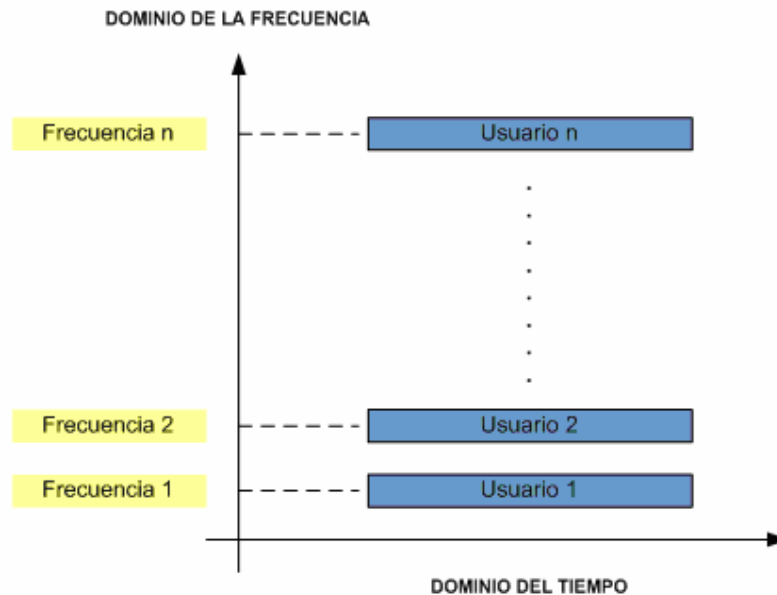


Figura 2.30.- Acceso Múltiple por División de Frecuencia

En los sistemas TDMA, la información de cada usuario es transmitida en intervalos de tiempo llamados Time Slots. Un grupo de varios Time Slots conforman una trama de tiempo. Cada Time Slot comprende una secuencia de bits que tiene varios objetivos, siendo uno de ellos la sincronización. Se tienen tiempos de guarda entre los tiempos de transmisión de cada usuario para prevenir interferencias entre canales (crosstalk). En la Figura 2.31 se puede apreciar que con una misma frecuencia se realiza el acceso por una división de tiempo. Cada usuario tiene un tiempo específico para la transmisión.

Una de las características importantes de TDMA es que el costo de los circuitos digitales VLSI es menor. Además se hace un uso más eficiente del espectro debido a que no se necesitan frecuencias de guarda para prevenir interferencias. Pero la principal desventaja es

¹ Very Large Scale Integration, integración en escala muy grande.

que se necesita una alta potencia del transmisor móvil, reduciendo así la vida de la batería. También se necesita mucho procesamiento de la señal para realizar los filtros de recuperación y detección de la correlación para la sincronización de los time slots.

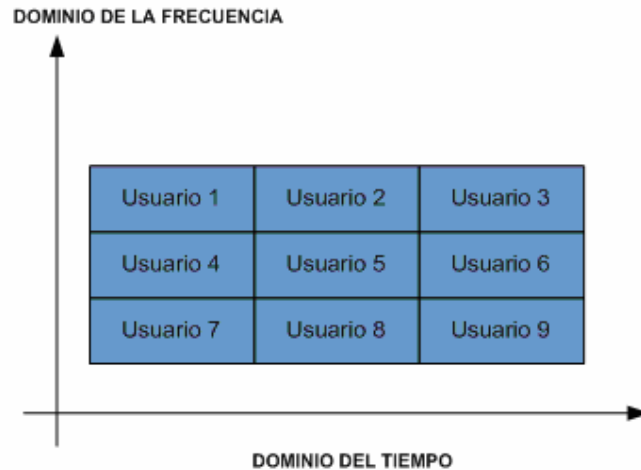


Figura 2.31.- Acceso Múltiple por División de Tiempo

En tecnologías de banda ancha, el ancho de banda completo se hace disponible para cada usuario y por lo general este ancho de banda es mayor que el necesario para la información. Estos sistemas son llamados Spread Spectrum (Espectro Ensanchado).

La ventaja de un sistema de banda ancha es que tiene mayor tolerancia a la interferencia que los sistemas FDMA y TDMA. Además no se necesita realizar una planeación de frecuencias avanzada debido a que las celdas comparten la misma frecuencia.

El acceso para los sistemas de banda ancha es el CDMA. El Acceso Múltiple por División de Código es una manera eficiente de aprovechar el espectro radioeléctrico debido a que se puede tener una o varias portadoras en una misma zona de cobertura. Se hace uso de códigos para asignar canales a los usuarios.

En la figura 2.32 se representa el esquema de CDMA. Se tiene una frecuencia (o varias) que es la misma para todos los usuarios. Entonces no existe división de tiempo ni de frecuencia.

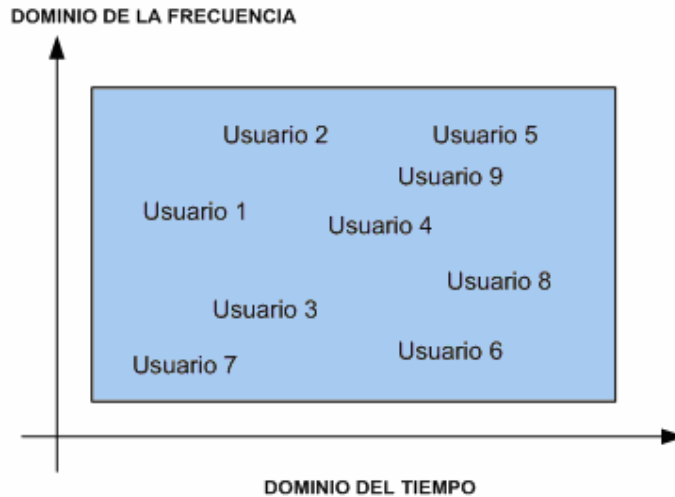


Figura 2.32.- Acceso Múltiple por División de Código

De la figura se observa que los usuarios comparten la misma frecuencia y puede comunicarse al mismo tiempo. CDMA hace uso de Spread Spectrum¹.

Tecnologías de Acceso Múltiple		
FDMA	TDMA	CDMA
Se separa el espectro en distintos canales de voz, al separar el ancho de banda en frecuencias uniformes. La tecnología FDMA es mayormente utilizada para la transmisión analógica. Esta tecnología no es recomendada para transmisiones digitales, aun cuando es capaz de llevar información digital.	Se comprime las conversaciones (digitales), y las envía cada una utilizando la señal de radio por un tercio de tiempo solamente. La compresión de la señal de voz es posible debido a que la información digital puede ser reducida de tamaño por ser información binaria (unos y ceros). Debido a esta compresión, la tecnología TDMA tiene tres veces la capacidad de un sistema analógico que utilice el mismo número de canales.	Después de digitalizar la información, se transmite a través de todo el ancho de banda disponible. Varias llamadas son sobrepuestas en el canal, y cada una tiene un código de secuencia único. Usando la tecnología CDMA, es posible comprimir entre 8 y 10 llamadas digitales para que estas ocupen el mismo espacio que ocuparía una llamada en el sistema analógico.

Tabla 2.1. Comparación entre tecnologías de acceso múltiple.

¹ Espectro Ensanchado (SS por sus siglas en Inglés Spread Spectrum) es una forma de transmisión en la cual la señal ocupa un exceso de ancho de banda con respecto al mínimo necesario para enviar la información.

2.2.4.1. Modos de Operación en Comunicaciones Inalámbricas

Existen dos modos de operación en comunicaciones inalámbricas: TDD y FDD. *TDD* se refiere a una Duplexión por División de Tiempo y *FDD* se refiere a Duplexión por División de Frecuencia.

En FDD, el receptor y el transmisor operan simultáneamente en diferentes frecuencias con su respectiva separación para prevenir interferencias entre ellos.

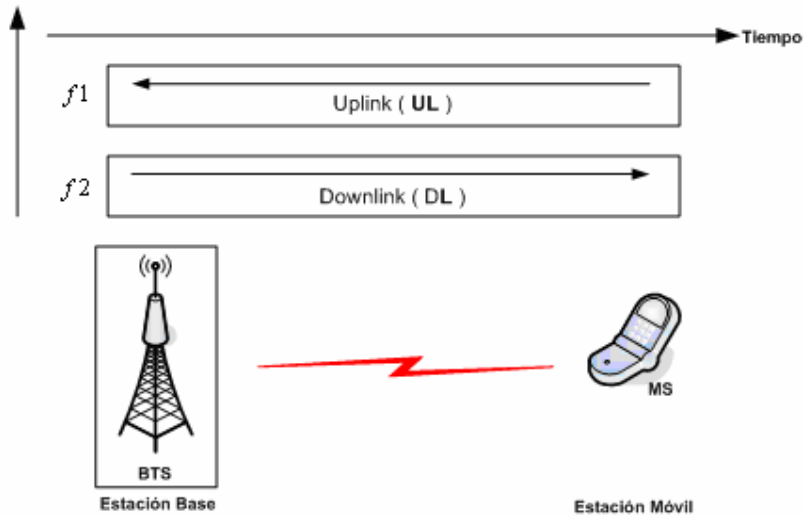


Figura 2.33.- Modo de Transmisión FDD.

En TDD se utiliza un flujo de información bidireccional como una comunicación simplex cambiando automáticamente en el tiempo la dirección de transmisión en una sola frecuencia.

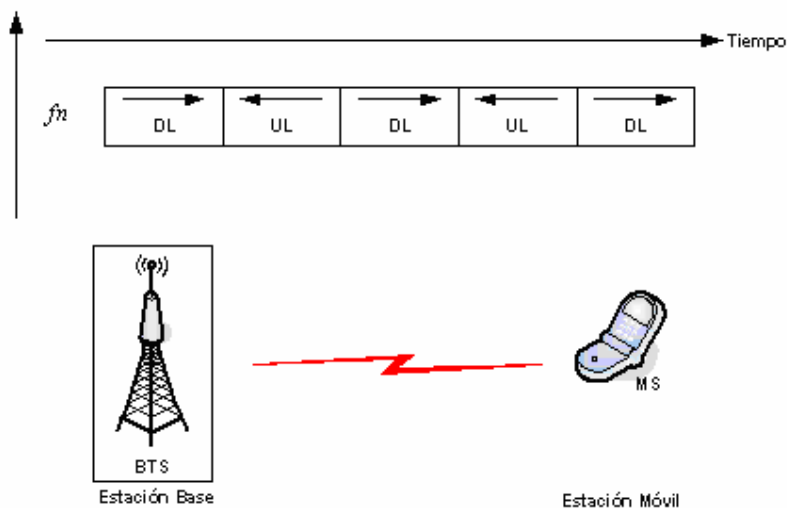


Figura 2.34.- Modo de Operación TDD.

2.2.4.2. CDMA 2000 1x

Se considera a esta tecnología como una evolución del CDMA original, sobre la cual trabajan los equipos celulares de Tercera Generación. Esta red advierte una significativa mejora en la utilización del tráfico telefónico, velocidad de transmisión de datos, reducción en la interferencia de la señal y un consumo más óptimo de la estación móvil.

Bellsouth Ecuador inauguró oficialmente CDMA 2000 1X en Diciembre del año 2002. A partir de entonces se inicio la emigración de los usuarios de la red TDMA a CDMA.

CDMA2000 1X utiliza una portadora de 1.25 MHz y una modulación QPSK (4-PSK). Es una tecnología eficiente y robusta, soportando voz y datos. Con respecto a voz se tiene mejor calidad y con respecto a datos se tienen mayores tasas con HSPD (High Speed Packet Data). Los dos servicios son soportados por la misma portadora lo que es una gran ventaja en utilización del espectro radioeléctrico.

Los sistemas basados en FDMA y TDMA son limitados en dimensionamiento, debido al limitado número de frecuencias separadas y la cantidad de time slots respectivamente. Con Spread Spectrum se tiene tolerancia a la interferencia. Cada usuario en un sistema CDMA2000 introduce un nivel propio de interferencia que depende del nivel de potencia recibido en una celda.

CDMA es una tecnología de Tercera Generación que se ha definido en una norma conocida como 1XRTT. Esta norma introduce datos en paquetes de 144Kbps en un entorno móvil y a una mayor velocidad en un entorno fijo. Las características disponibles con 1XRTT representan un incremento doble, tanto en la capacidad para voz como en el tiempo de operación en espera, así como una capacidad de datos de más de 300Kbps y servicios avanzados de datos en paquetes.

2.2.4.3. GSM (Sistema Global de Comunicación Móvil)

GSM es un estándar de comunicación celular abierta, no propietaria, usada a nivel mundial. El alto nivel de estandarización en GSM ofrece un servicio excelente en los más de 180 países a nivel mundial donde se ofrece este estándar, comunicando a más de 180 millones de usuarios.

Desarrollado para incrementar la capacidad de servicio de los sistemas analógicos de crecimiento limitado. Asegura la interoperabilidad entre fabricantes de distintos países hasta la capa 5 (Capa de sesión) del modelo de referencia OSI¹.

El estándar GSM requiere un ancho de banda por canal mayor que el estándar TDMA IS-136², incrementándolo de 30Khz a 200Khz, manteniendo un bajo nivel de interferencias fuera del ancho de banda, mediante el uso de modulación GSMK (Gaussian Minimum Shift Keying) que utiliza la técnica TDMA y permite tener 8 comunicaciones simultáneas por canal.

GSM es un estándar celular que ofrece un enlace a 9600bps, suficiente para ofrecer servicios de una calidad aceptable.

Es posible aumentar la velocidad de 9600bps sin salirnos de la banda estrecha, introduciendo la conmutación de paquetes en las comunicaciones móviles. De esto se encarga el estándar GPRS³.

Con GSM, los usuarios disfrutan de ventajas que ofrece un Sistema de Comunicaciones seguro, brindando a la vez una privacidad incomparable, además de la prevención de fraudes por clonación.

El sistema esta basado en el uso de una tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) que almacena todos los datos del usuario tales como: número telefónico, planes y servicios contratados, claves de seguridad, tráfico acumulado, números telefónicos personales, mensajes recibidos en voz y en texto, entre otros garantizando así que solo el dueño de la SIM sea el único responsable de su buen uso.

GSM utiliza una combinación entre el acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) y el acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), generándose de esta manera un esquema de acceso bidimensional.

¹ Open Systems Interconnection

² IS-136 El ultimo estándar de la tecnología TDMA.

³ GPRS General Packet Radio Service.

2.2.5 FRECUENCIAS DE OPERACIÓN

2.2.5.1 Antecedentes de las Comunicaciones Celulares en el Ecuador

En 1991, el en ese entonces IETEL llama a concurso para la presentación del servicio de comunicaciones celulares en el Ecuador. En 1992 se expide un reglamento de calificaciones, selección y adjudicación para las bases del concurso, siguiendo las normas establecidas por la UIT-R para la región 2 a la cual pertenece nuestro país.

En 1993, la SUPTEL¹ asignó la frecuencia de 800 MHz (Banda A) a Conecel. Legalmente formalizó la asignación el 2 de Agosto de 1993. Más tarde la SUPTEL asigna a Bellsouth la banda de frecuencias B.

En Diciembre de 1993 el Arq. Sixto Durán Ballén, Presidente de la República del Ecuador, realiza la primera llamada oficial desde Conecel S.A. en Guayaquil marcando el inicio de operaciones para brindar servicios de comunicaciones celulares en Quito y Guayaquil, utilizando la tecnología AMPS (IS-54), más tarde el estándar IS-54B y posteriormente el IS-136.

Bellsouth inicia sus servicios de comunicaciones celulares en el año de 1994 en Quito, Guayaquil y otras ciudades del país, con la instalación de aproximadamente 15 radio bases, utilizando la norma analógica americana IS-54, debiendo migrar rápidamente al estándar D-AMPS² y posteriormente IS-136 utilizando teléfonos que utilizaban el estándar IS-54, con la característica de funcionar normalmente en una red TDMA³ (IS-136). Mientras que Conecel, más conocida con su nombre comercial de Porta, supera los 2.000 abonados en Quito y 3.000 en Guayaquil.

Al cierre de 1996, Conecel posee 33.000 abonados y para Diciembre de 1997 alcanza sus primeros 50.000 abonados.

¹ SUPTEL: Superintendencia de Telecomunicaciones

² D-AMPS: Sistema Digital de Telefonía Móvil Avanzado

³ TDMA: Time Division Multiple Access

En Febrero de 1998, Bellsouth inicia el proceso de digitalización con la instalación de canales de voz digitales en las estaciones base así como la actualización de hardware y software. Reemplazando radio bases analógicas por digitales en las zonas de mayor importancia, Quito y Guayaquil, manteniendo por buen tiempo a las ciudades restantes con capacidad analógica.

En el año 2003 el Consorcio Telecsa entró al mercado de las telecomunicaciones en Ecuador, este consorcio es propiedad de dos empresas de telefonía fija, Andinatel y Pacifictel, el Conatel le dio la concesión de la tercera banda celular. En el 2004 inició su operación.

El 14 de Octubre del 2004 Telefónica Móviles Ecuador inició sus operaciones con la adquisición del 100% de las acciones de OTECEL. SA (Bellsouth Ecuador), concesionaria del servicio de telefonía móvil desde 1993.

Telefónica Móviles es la empresa que gestiona los activos de telefonía móvil del Grupo Telefónica en todo el mundo. Es una de las primeras operadoras de telefonía móvil del mundo y la empresa líder del sector en los mercados de habla hispana y portuguesa. Tiene operaciones en tres continentes y 80 millones de clientes gestionados (a febrero de 2005), incluyendo los de las operaciones de BellSouth en Latinoamérica, cuya adquisición concluyó en enero de 2005.

2.2.5.2 Operadoras Celulares Actuales y Bandas de Frecuencias

En la actualidad, en el Ecuador existen tres operadoras celulares operando en distintos rangos de frecuencias y con diferentes tecnologías.

Concel S.A. adquirió la concesión de la banda A, A' y A'' en 800 MHz, mientras que Otecel S.A. hizo lo propio para la banda B y B'. Telecsa S.A. ganó por concurso la concesión de la banda C de 1900 MHz PCS, las mismas que se indican en la siguiente tabla:

BANDA A GSM/D-AMPS	
Forward Channel (Base to mobile – MHz)	
A	870.030 – 879.330
A'	890.670 – 890.820
A''	869.700 – 870.000
Reverse Channel (Mobile to base – MHz)	
A	825.030 – 834.330
A'	845.670 – 845.820
A''	824.700 – 825.000
BANDA B CDMA/D-AMPS	
Forward Channel (Base to mobile – MHz)	
B	880.680 – 889.320
B'	892.170 – 893.310
Reverse Channel (Mobile to base – MHz)	
B	835.680 – 844.320
B'	847.170 – 848.310
BANDA C PCS	
Forward Channel (Base to mobile – MHz)	
C	1895.200 – 1910.150
Reverse Channel (Mobile to base – MHz)	
C	1975.200 – 1990.000

Tabla 2.2.- Rangos de Frecuencia.¹

¹ Fuente: FODETEL

CAPITULO 3

RADIACIONES NO IONIZANTES

3.1 GENERALIDADES

Radiación

La radiación es una forma de energía en movimiento que esta presente en nuestro mundo de forma natural o artificial. En todo momento estamos expuestos a diversas formas de radiación, de las cuales la principal es la energía solar electromagnética que incluye las ondas infrarrojas, la luz visible y las ondas ultravioletas. Aplicaciones tan comunes como la electricidad, la radio, la televisión y los sistemas de comunicaciones móviles son fuentes de radiaciones.

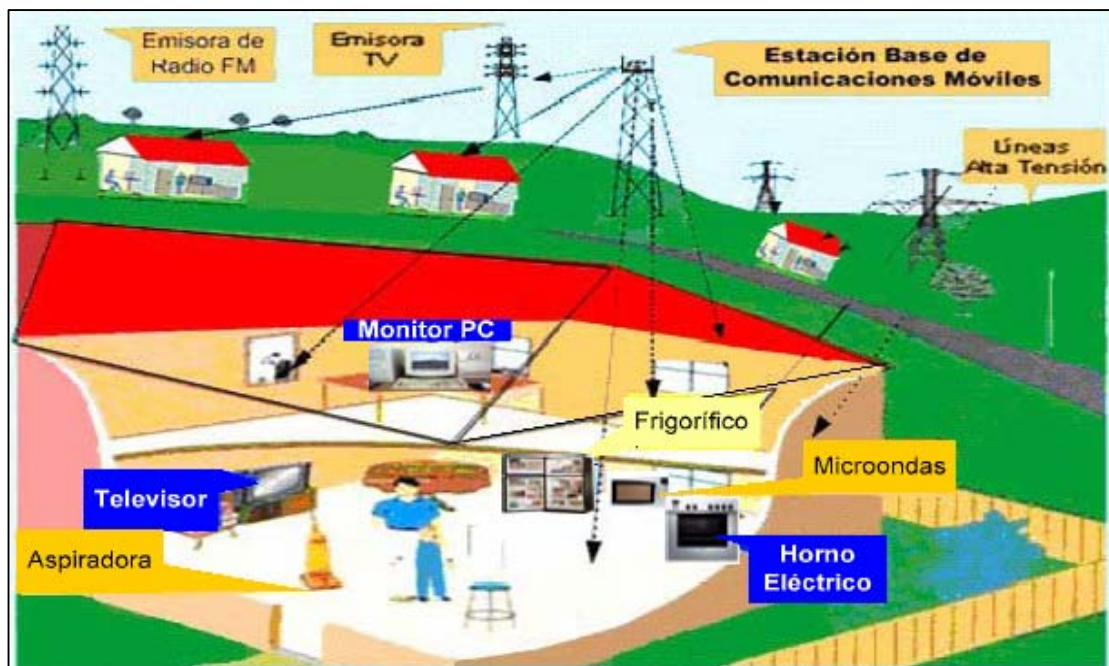


Figura 3.1.- Fuentes de Radiación Electromagnética

Existen múltiples fuentes naturales y artificiales que generan energía en forma de ondas electromagnéticas. Estas ondas consisten en campos eléctricos y magnéticos oscilatorios, que son capaces de interactuar de formas diferentes con los sistemas biológicos, incluidos los seres humanos. La forma en que las ondas electromagnéticas afectan a los sistemas biológicos viene determinada por la intensidad del campo y por la cantidad de energía de cada fotón.

Según su frecuencia y energía, las radiaciones electromagnéticas pueden clasificarse en **“ionizantes”** y **“no ionizantes”**.

Las radiaciones ionizantes corresponden a señales electromagnéticas de frecuencias extremadamente altas, como los rayos X y los rayos gamma, que transmiten a los sistemas biológicos energía suficiente como para romper enlaces atómicos y dividir moléculas en iones.

La denominación de radiaciones no ionizantes se aplica a la porción del espectro electromagnético que posee energías de fotón demasiado débiles para romper las uniones atómicas. Dentro de las radiaciones no ionizantes se ubican las ondas electromagnéticas generadas por la telefonía móvil como se muestra en la figura 3.2

ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

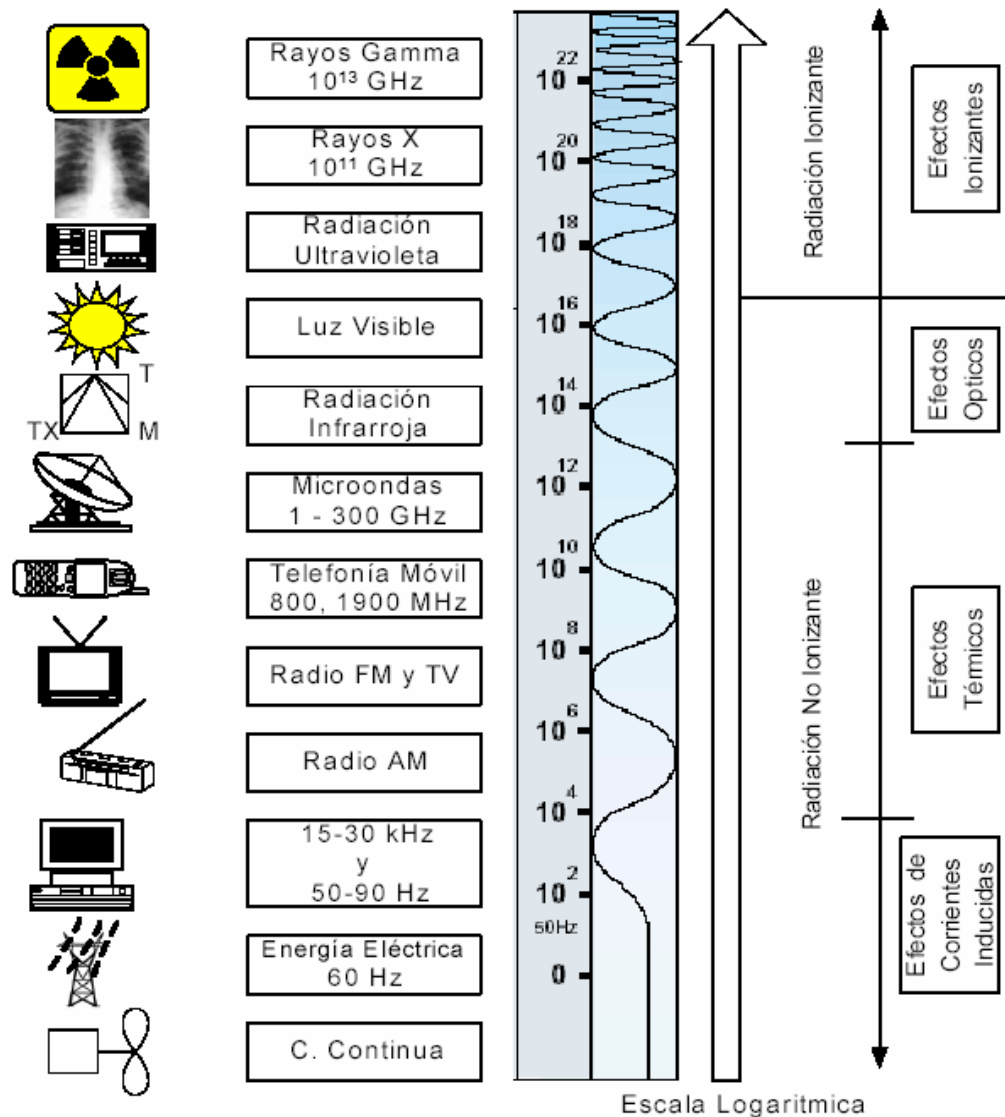


Figura 3.2.- Espectro de Frecuencias de Radiaciones Electromagnéticas

3.1.1 Antecedentes sobre Radiaciones No Ionizantes

Las Radiaciones No Ionizantes han despertado gran interés debido a sus posibles efectos biológicos nocivos. Además, en los últimos tiempos se ha incrementado el uso de equipamiento generador de este tipo de radiación (láser, microondas, telefonía móvil, etc.); tanto en el ámbito industrial como en el médico.

Actualmente se desconoce si en realidad los campos electromagnéticos pueden dar lugares a efectos microscópicos (nivel celular) mas allá de deposición de calor o generación de pequeñas corrientes eléctricas (según la zona del espectro), que salvo casos extremos, parecen reversibles. No hay estudios epidemiológicos amplios y concluyentes que puedan dilucidar las cuestiones planteadas en el anterior párrafo, debido tanto a la actualidad del problema como a la cantidad de factores que pueden influir en el resultado de los estudios. Los pocos resultados epidemiológicos que se tienen apuntan en muchas ocasiones en direcciones opuestas: a un trabajo que parece indicar una relación clara entre cáncer y Radiaciones No Ionizantes se enfrenta otro que, en iguales condiciones, parece indicar lo contrario.

Como resultado de todo lo anterior, hasta hace muy poco se ignoraba todo lo referente a los riesgos derivados de la RNI, a la espera de tener resultados científicos probados. Hoy día, existen algunas normativas que establecen medidas de protección para algunas de las radiaciones que nos interesan.

A continuación se presenta un estudio con respecto a este tipo de Radiaciones, acerca de sus unidades de medida, de los riesgos derivados de su uso, y analizaremos las tablas de límites establecidos a nivel internacional y lo compararemos con la que se usan en nuestro país. Dada la heterogeneidad de las radiaciones incluidas dentro del grupo general de electromagnéticas no ionizantes, analizaremos los distintos tramos del espectro en forma individual. Así mismo dadas las características especiales que presenta, se dedicará un tiempo importante a la radiación de telefonía móvil y su normativa a nivel mundial.

3.1.2 Fuentes de Radiación No Ionizante

3.1.2.1 Origen de las Radiaciones No Ionizantes

Los campos electromagnéticos son fenómenos naturales; las galaxias, el sol, las estrellas emiten radiación de baja densidad, y en la atmósfera existen cargas eléctricas que generan campos magnéticos a los que estamos sometidos permanentemente, y que se hacen mucho más intensos, por ejemplo, durante las tormentas eléctricas.

Pero a estos campos eléctricos y magnéticos naturales se han unido en el último siglo un amplio número de campos artificiales, creados por maquinaria industrial, líneas eléctricas, electrodomésticos, etc. que nos exponen a diario a una radiación adicional. Si bien, con alguna excepción, toda esta radiación artificial es mucho más débil que los campos electromagnéticos naturales, en muchas profesiones del sector electrónico, ferroviario y de telecomunicaciones la exposición es continuada.



Figura 3.3.- Ejemplo de Fuentes de Radiación No Ionizante

3.1.2.2 Clasificación de la Radiación No Ionizante

Clasificación de la Radiación Electromagnética No Ionizante	
Tipo de Radiación	Características
No Ionizante (Óptica)	Excita los electrones e induce reacciones químicas (ultravioleta cercano, visible e infrarrojo).
No Ionizante (a)	Induce corrientes y da origen al calentamiento de los tejidos (microondas y radio alta frecuencia).
No Ionizante (b)	Prácticamente no produce calentamiento (frecuencias industriales y radio por debajo de 1 MHz).

Tabla 3.1.- Clasificación de las Fuentes de radiación No Ionizante

3.1.2.3 Fuentes de Radiación No Ionizante

Fuentes de radiación ultravioleta

Luz solar

La mayor exposición de origen profesional a la RUV la experimentan quienes trabajan al aire libre, bajo la luz del sol.

La energía de la radiación solar está muy atenuada por la capa de ozono de la Tierra, que limita la RUV terrestre a longitudes de onda superiores a 290-295 nm. La energía de los rayos de corta longitud de onda (UVB), más peligrosos, de la luz solar depende considerablemente de su trayectoria oblicua en la atmósfera, y varía con la estación y la hora del día¹.

Fuentes artificiales

Entre las fuentes artificiales más importantes de exposición humana están las siguientes:

Soldadura al arco industrial. La principal fuente de exposición potencial a la RUV es la energía radiante de los equipos de soldadura al arco. Los niveles de RUV en torno al equipo de soldadura al arco son muy altos y pueden producirse lesiones oculares y cutáneas graves en un tiempo de tres a diez minutos de exposición a distancias visuales cortas, de unos pocos metros. La protección de los ojos y la piel es obligatoria.

Lámparas de RUV industriales / en el lugar de trabajo. Muchos procesos industriales y comerciales, tales como el curado fotoquímico de tintas, pinturas y plásticos, requieren la utilización de lámparas que emiten una radiación intensa en la región del UV.

Aunque la probabilidad de exposición perjudicial es baja gracias al empleo de blindajes, en algunos casos puede producirse exposición accidental.

¹ Fuente: Sliney 1986 y 1987; OMS 1994

“*Lámparas de luz negra*”. Las lámparas de luz negra son lámparas especializadas que emiten predominantemente en la región del UV, y por lo general se utilizan para pruebas no destructivas con polvos fluorescentes, para la autenticación de billetes de banco y documentos, y para efectos especiales en publicidad y discotecas. No plantean ningún riesgo de exposición considerable para los humanos (excepto en ciertos casos para la piel fotosensibilizada).

Tratamiento médico. Las lámparas de RUV se utilizan en medicina para diversos fines de diagnóstico y terapéuticos. Normalmente, las fuentes de UVA se utilizan en aplicaciones de diagnóstico. Los niveles de exposición del paciente varían considerablemente según el tipo de tratamiento, y las lámparas UV empleadas en dermatología requieren una utilización cuidadosa por parte del personal.

Lámparas RUV germicidas. La RUV con longitudes de onda en el intervalo de 250–265 nm es la más eficaz para esterilización y desinfección dado que corresponde a un nivel máximo en el espectro de absorción del ADN. Como fuente UV se utilizan con frecuencia tubos de descarga de mercurio de baja presión, ya que más del 90% de la energía radiada se emite en la línea de 254 nm. Estas fuentes suelen denominarse “lámparas germicidas”, “lámparas bactericidas” o simplemente “lámparas UVC”. Se utilizan en hospitales para combatir la infección por tuberculosis, y también en el interior de cabinas microbiológicas de seguridad para inactivar los microorganismos del aire y de las superficies. Es esencial una instalación adecuada de las mismas y el uso de protección ocular.

Bronceado cosmético. En ciertas empresas hay camas solares en las que los clientes pueden broncearse por medio de lámparas especiales que emiten principalmente en la región del UVA, aunque también algo en la del UVB. El uso habitual de una cama solar puede contribuir considerablemente a la exposición cutánea anual de una persona al UV; asimismo, el personal que trabaja en salones de bronceado puede resultar expuesto a bajos niveles. El uso de medios de protección ocular tales como gafas de seguridad o gafas de sol debería ser obligatorio para el cliente, y dependiendo de la disposición del establecimiento incluso el personal puede necesitar protectores oculares.

Alumbrado general. Las lámparas fluorescentes son de uso habitual en el lugar de trabajo y también hace tiempo que se utilizan en el entorno doméstico. Estas lámparas emiten

pequeñas cantidades de RUV y solo contribuyen en un pequeño porcentaje a la exposición anual de una persona a la radiación UV. Las lámparas de tungsteno halógenas cada vez se utilizan más en el hogar y en el lugar de trabajo para diversos fines de alumbrado y exhibición. Las lámparas halógenas sin apantallar pueden emitir niveles de RUV suficientes para causar graves lesiones a cortas distancias. Colocando sobre ellas filtros de vidrio se eliminaría este riesgo.

Fuentes de Radiación IR

La exposición a la IR se debe a diversas fuentes naturales y artificiales. La emisión espectral de estas fuentes puede limitarse a una sola longitud de onda (como en el láser) o distribuirse sobre una amplia banda de longitudes de onda como se muestra en la tabla 3.2.

FUENTE	APLICACIÓN O POBLACIÓN EXPUESTA
Luz Solar	Trabajadores a la intemperie, agricultores, trabajadores de la construcción, marineros, público en general.
Lámparas de filamento de tungsteno	Población y trabajadores en general. Alumbrado general, secado de tintas y pinturas.
Lámparas de filamento de tungsteno halogenado	Sistemas de copia (fijación), procesos generales (secado, cocción, retracción, reblandecimiento).
Diodos fotoemisores	Juguetes, electrónica de consumo, tecnología de transmisión de datos, etc. Proyectores, simuladores solares, luces de exploración
Lámparas de arco de xenón	Operadores de cámaras de imprentas, trabajadores de laboratorios ópticos, artistas de variedades
Hierro en fusión	Horno de acero, trabajadores de acerías

Baterías de lámparas de infrarrojos Calentamiento y secado industriales.

Lámparas de infrarrojos en hospitales Incubadoras

Tabla 3.3.- Fuentes de Radiación Infrarroja

Fuentes de radiación óptica

Luz solar

La mayor exposición laboral a la radiación óptica se debe a la exposición a los rayos del sol de los trabajadores que realizan su actividad al aire libre. El espectro solar abarca desde la región de corte de la capa de ozono estratosférica, alrededor de los 290-295 nm en la banda del ultravioleta, hasta unos 5.000 nm (5 μm) en la banda del infrarrojo. La radiación solar puede alcanzar un nivel de hasta 1 kW/m² durante los meses de verano y puede provocar estrés por calor, dependiendo de la temperatura ambiente y de la humedad.

Fuentes artificiales

Las principales fuentes artificiales de exposición humana a la radiación óptica son las siguientes:

1. *Soldadura y corte.* Normalmente los soldadores y sus compañeros están expuestos no solo a una intensa radiación UV, sino también a intensa radiación visible e IR emitida por el arco. En casos aislados estas fuentes han producido lesiones agudas en la retina. En estos entornos es obligatoria la protección ocular.
 2. *Industrias del metal y fundiciones.* La fuente más importante de exposición visible e infrarroja son las superficies de metal fundido y de metal caliente en las industrias del acero y el aluminio y en las fundiciones. La exposición de los trabajadores varía normalmente entre 0,5 y 1,2 kW/m².
 3. *Lámparas de arco.* Muchos procesos industriales y comerciales, por ejemplo aquellos en que se utilizan lámparas de curado fotoquímico, emiten intensa luz visible de onda corta (azul) así como radiación UV e IR. Aunque la probabilidad de
-

exposición perjudicial es baja debido al apantallado, en algunos casos puede producirse exposición accidental.

4. *Lámparas infrarrojas.* Estas lámparas emiten predominantemente en el intervalo del IRA y suelen utilizarse para tratamiento por calor, secado de pintura y otras aplicaciones afines. No suponen ningún riesgo de exposición significativo para los humanos, ya que el malestar producido por la exposición limita ésta a un nivel seguro.
5. *Tratamiento médico.* En medicina se utilizan lámparas de infrarrojos para diversos fines diagnósticos y terapéuticos. Las exposiciones del paciente varían considerablemente según el tipo de tratamiento y las lámparas de IR requieren una utilización cuidadosa por parte del personal.
6. *Alumbrado general.* Las lámparas fluorescentes emiten muy poca radiación infrarroja y generalmente no son lo suficientemente brillantes para entrañar un riesgo potencial para los ojos. Las lámparas incandescentes de tungsteno y de tungsteno-halógeno emiten una fracción considerable de su energía radiante en la región del infrarrojo. Además, la luz azul emitida por las lámparas de tungsteno-halógeno puede entrañar un riesgo para la retina si una persona mira al filamento. Afortunadamente la respuesta de aversión del ojo a la luz brillante previene lesiones agudas incluso a cortas distancias. Este riesgo debería minimizarse o eliminarse colocando filtros “de calor” de vidrio sobre estas lámparas.
7. *Proyectores y otros dispositivos ópticos.* En los proyectores de exploración, proyectores cinematográficos y otros dispositivos colimadores de haces luminosos que utilizan fuentes de luz intensa que pueden entrañar un riesgo para la retina con el haz directo a distancias muy cortas.

Radiación por Campos de Radiofrecuencia y Microondas

La radiación de radiofrecuencia (RF), energía electromagnética y microondas se utiliza en diversas aplicaciones en la industria, comercio, medicina e investigación, así como en el hogar. En la gama de frecuencia de 3 a $3 \cdot 10^8$ Khz. (es decir, 300 GHz) encontramos aplicaciones muy conocidas tales como las emisiones de radio y televisión,

comunicaciones (telefonía de larga distancia, telefonía móvil, radiocomunicación), radar, calentadores dieléctricos, calentadores de inducción, fuentes de alimentación conmutadas y monitores de ordenador.

La radiación RF de alta potencia es una fuente de energía térmica que comporta todas las implicaciones conocidas del calentamiento para los sistemas biológicos, incluyendo quemaduras, cambios temporales y permanentes en la reproducción, cataratas y muertes. En la amplia gama de las radiofrecuencias, la percepción cutánea del calor y el dolor térmico no son indicadores de detección fiables, ya que los receptores térmicos están situados en la piel y no perciben fácilmente el calentamiento profundo del cuerpo originado por estos campos. Es necesario establecer límites de exposición como protección contra estos efectos adversos para la salud de la exposición a los campos de radiofrecuencia.

Fuentes de Radiación Electromagnética

Generación y distribución de energía eléctrica

Las fuentes artificiales más importantes de campos eléctricos y magnéticos a 50/60 Hz son las que intervienen en la generación y distribución de energía eléctrica así como cualquier equipo que utilice corriente eléctrica. Casi todos estos equipos funcionan a frecuencias de alimentación de 50 Hz en la mayoría de los países y a 60 Hz en Norteamérica. Algunos sistemas de trenes eléctricos funcionan a 16,67 Hz.

Las líneas de transmisión de alta tensión (AT) y las subestaciones producen los campos eléctricos más intensos a que pueden estar expuestos los trabajadores de forma habitual. Los factores más importantes a tener en cuenta en relación con la máxima intensidad de campo eléctrico a nivel del suelo son principalmente la altura de los conductores, la configuración geométrica, la distancia lateral a la línea de transmisión y el voltaje de ésta.

Teléfonos móviles

El uso de radioteléfonos personales está aumentando rápidamente, con el aumento consiguiente del número de estaciones base, a menudo situadas en zonas públicas.

No obstante, la exposición del público a estas estaciones es baja. Normalmente los sistemas funcionan a frecuencias cercanas a los 900 MHz o 1,8 GHz y utilizan tecnología analógica o digital. Los terminales son radiotransmisores pequeños de baja potencia que se sostienen muy cerca de la cabeza cuando se utilizan. Parte de la energía radiada por la antena es absorbida por la cabeza. Cálculos numéricos y mediciones realizados en cabezas simuladas indican que los valores de SAR pueden ser del orden de algunos W/kg.

Actualmente ha aumentado la preocupación pública por el riesgo que puedan suponer los campos electromagnéticos para la salud y se han dedicado varios programas de investigación a estudiar esta posibilidad. Están en curso varios estudios epidemiológicos en relación con el uso de teléfonos móviles y el cáncer cerebral.

Hasta ahora solo se han publicado los resultados de un estudio con animales¹, concretamente ratones transgénicos expuestos una hora diaria durante 18 meses a una señal similar a la que se utiliza en la comunicación móvil digital. Al finalizar los experimentos, 43 de 101 animales expuestos presentaban linfomas, frente a 22 de 100 en el grupo de control de exposición simulada.

El incremento era estadísticamente significativo ($p > 0,001$). No es fácil interpretar estos resultados como relevantes para la salud humana, por lo que será necesario seguir investigando.

En la tabla 3.3 se muestra un resumen de las fuentes de Radiación No Ionizante.

TIPO DE RNI	FUENTES MÁS COMUNES
Ultravioleta	Sol; lámparas artificiales; arcos de soldadura eléctrica.
Visibles	Sol; lámparas artificiales; láser.
Infrarroja	Sol; lámparas artificiales; cuerpos con altas temperaturas; llamas; láser.
Campos Electromagnéticos (0 Hz – 300 GHz)	Estaciones radioemisoras y de televisión; instalaciones de radar; sistema de radio comunicaciones (Telefonía Celular);

¹ Estudio Repacholi y Cols. 1997

Electrodomésticos; uso médico (terapias, cirugía y medios diagnóstico); líneas de transmisión y distribución de electricidad; selladores o calentadores de materiales dieléctricos como: plásticos, goma o cola; tratamiento térmico de metales (fusión, temple y soldadura); electrolisis; otros.

Tabla 3.3.- Fuentes de Radiación No Ionizante

3.1.3 Clasificación de las Radiaciones No Ionizantes por la Frecuencia

Separadas según el tramo del espectro, las RNI se clasifican de acuerdo a la tabla 3.4

1 Hz – 300 KHz	LF, ELF (Radiación de Baja y muy Baja Frecuencia) Campos Eléctricos de aparatos, red eléctrica convencional, monitores de video ($3 - 3 \cdot 10^4$ Hz), tramos de radio AM.
300 KHz – 300 MHz	RF (Radiofrecuencias). Tramos de Radio AM, Radio FM, Onda corta médica (27 MHz), RMN (2,13 MHz para Campo Magnético 1T)
300 MHz – 300 GHz	M.O. (Microondas) Aparatos Domésticos por microondas. Telefonía móvil (800MHz, 900MHz, 1800MHz y 1900MHz). Microondas para Fisioterapia médica: 2450 MHz y 915 MHz. Radar y otras comunicaciones por microonda.
300 GHz – 780 nm	IR (Infrarrojo) Luz solar, aparatos para terapia con calor, láser.
780 nm – 400nm	Luz Visible Luz Solar, Fototerapia, Láser.
400nm – 100 nm	UV (Ultravioleta) Luz solar, materiales por encima de 2700 K, tubos fluorescentes, esterilización de comida y aire, tratamientos de radioterapia.

Tabla 3.4.- Clasificación de las RNI de acuerdo a la Frecuencia

3.1.4 Efectos Sobre la Salud

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 3257 estudios de diversos tipos de los cuales 85 corresponden a baja frecuencia y 3125 a radiofrecuencia incluyendo 800 estudios sobre telefonía móvil.

La **radiación de alta frecuencia** y las **microondas** provocan vibraciones moleculares, produciendo calor de ahí su empleo doméstico e industrial, con lo que pueden producir quemaduras a partir de una determinada cantidad de radiación absorbida.

La **radiación de frecuencias extremadamente bajas** se consideraba inocua. Está demostrado, sin embargo, que puede producir cambios eléctricos en la membrana de todas las células del cuerpo, alterando los flujos celulares de algunos iones, sobre todo el calcio, lo que podría tener efectos biológicos importantes. Así, se han publicado múltiples estudios en las últimas dos décadas, citando una posible relación de los campos electromagnéticos de baja energía con el origen de determinados cánceres, sobre todo leucemias. También se han intentado relacionar con alteraciones del aparato reproductor, neurológico y cardiovascular, y con malformaciones fetales.

Ante la proliferación de equipos eléctricos y electrónicos, se ha realizado varios estudios para ver los efectos de las RNI¹ sobre la Salud, dentro de estos estudios, se considera que se produce un efecto biológico cuando la radiación origina algún cambio perceptible en el organismo. Dentro de los efectos se encuentran:

- **Generación de calor**

Tanto los campos magnéticos como los eléctricos, inducen corrientes eléctricas en los tejidos como en la materia inerte. La magnitud de la corriente inducida, aumenta con la frecuencia, y depende en forma compleja de distintas variables, como el tamaño y forma de los organismos, su orientación en el campo, así como también del tamaño y localización de la fuente.

¹ RNI: Radiaciones No Ionizantes

Las corrientes inducidas en los tejidos generan calor. Un objetivo de los límites de exposición recomendados para regular a las RF¹ es la de limitar la cantidad de calor producido localmente o en todo el cuerpo. La tasa de absorción específica, (Specific Absortion Rate) SAR, es la cantidad que describe la potencia de absorción de los CEM², en los tejidos, expresados en vatios por kilogramo, W/kg. Debido a las más intensas corrientes inducidas, la absorción de calor es mayor con RF, que con otras más bajas frecuencias. Por estas razones, los efectos biológicos de las RF, se basan en el aumento de la temperatura en los tejidos, son los llamados efectos térmicos.

Un número de factores en la vida diaria, aumenta la carga de calor, tales como la elevada temperatura ambiental, la radiación solar, y el metabolismo basal y del ejercicio. En personas sanas, la producción de energía puede alcanzar los 3 a 6 W/kg. En la mayoría de los individuos, el sistema termoregulatorio puede remover calor del cuerpo a estas tasas, por prolongados períodos de tiempo. Las investigaciones teórico-prácticas, estiman que la exposición ambiental, en reposo, de todo el cuerpo, con un SAR de 1 a 4 W/kg, durante 30 minutos, produce un aumento de temperatura de menos de 1°C. Una revisión de datos obtenidos en experimentos con animales, indica que dentro del rango comprendido entre 1 y 4 W/kg, se encuentra el umbral para respuestas de comportamiento. Por ello, se propuso un límite de exposición ocupacional para RF de 0,4 W/kg, que deja un considerable margen de seguridad para otras actividades, como las elevadas temperaturas ambientales, la humedad, y la actividad física.

En niños, ancianos, y pacientes que toman cierta medicación, la capacidad termoregulatoria es mucho menor, razón por la cual la tolerancia a efectos combinados de la RF y las elevadas temperaturas y actividades físicas, son menores.

Por estas consideraciones, se ha recomendado para la población, una menor exposición a las RF, con un SAR de 0,08 W/Kg, que tiene un factor adicional de seguridad. En caso de producirse, una elevada sobre exposición accidental local,

¹ RF: Radio Frecuencias

² CEM: Campos Electromagnéticos

por ejemplo, en el área ocupacional, puede originarse una quemadura. En tales circunstancias, el SAR puede ser tan elevado, que hace que la transferencia de calor sea insuficiente, desnaturalizando proteínas.

Para evitar situaciones similares, se recomienda, (ICNIRP) que el SAR no exceda los 2W/100gr, en las extremidades, y 1W/100 gr, en cualquier otra parte del cuerpo. El ojo necesita una consideración especial, por lo que se ha propuesto 100 mW/10gr.

Por el contrario, se denominan efectos atérmicos, aquellos en los que se produce una carga de calor, pero en los que el sistema termoregulatorio corporal, es capaz de mantener su temperatura nominal. La existencia de los efectos atérmicos es un tema de debate, pues aún no hay acuerdo, sobre los mecanismos que pueden explicarlos.

- **Resonancia**

Dado que las distintas partes del organismo, así como el cuerpo entero, tienen su resonancia en el rango de las muy altas frecuencias, dependiendo de las medidas y formas de cada individuo, pueden aparecer estos fenómenos en ciertas condiciones.

Algunos estudios señalan que las frecuencias comprendidas entre 1 GHz y 3 GHz son particularmente peligrosas porque es el rango en el que pueden resonar el cerebro y los ojos.

- **Efectos a escala celular**

Aparentemente, las zonas sensibles de las células se encuentran en su superficie y están constituidas por cadenas de proteínas que funcionarían, en cierto modo, de transductores capaces de llevar la señal al interior de la célula. Llama la atención el nivel ínfimo de las señales para los que aparecen respuestas. Son muy inferiores a los potenciales en las membranas celulares, que están en el orden de 10^5 V/cm. Los relacionados con los electrocardiogramas alcanzan 10^{-1} V/cm, mientras que los campos con que se han advertido respuestas a nivel celular son solamente de 10^{-7} V/cm.

Como se dijo, el gradiente eléctrico en la membrana de la célula es de 10^5 V/cm. Dado su ínfimo espesor, esto da lugar a una diferencia de potencial de 0,1 V entre el interior y la superficie. Este valor tan elevado de gradiente eléctrico se consideró como una sólida defensa frente a campos perturbadores muchísimo más débiles. Sin embargo, hay evidencia de que con campos muy débiles de muy baja frecuencia o de radiofrecuencia modulada por señales de muy baja frecuencia, dan lugar a alteraciones notorias en muchas de las funciones celulares. Los resultados deben ser analizados como fenómenos "cooperativos", posiblemente interferentes con "frecuencias propias" de la célula.

- **Fenómenos fotoquímicos**

La mayoría de las reacciones químicas, a las que nos referimos normalmente, son de origen térmico; las moléculas adquieren la energía de activación necesaria para que se lleve a cabo el proceso, mediante colisiones moleculares. Sin embargo, este mecanismo de activación no es el único. La radiación electromagnética puede interactuar con las moléculas dando lugar a la absorción de energía, en forma cuantizada, que puede ser utilizada para reorganizar sus enlaces, produciendo otras moléculas. A este proceso se le llama fotoquímico.

Entre la activación térmica y la fotoquímica hay una diferencia fundamental, que es el orden de magnitud de las energías puestas en juego. En la activación térmica, y a temperatura ambiente, las energías puestas en juego son del orden de 0,3 kcal/mol (por grado de libertad), mientras que la energía de los fotones absorbidos (en la activación fotoquímica) depende, lógicamente, de la frecuencia de la radiación, pero suele ser del orden de decenas de kcal, es decir mucho mayor. Esta casuística generalmente no se suele considerar, y por tanto no se le da a la fotoquímica la importancia que tiene.

La fotoquímica suele restringirse al efecto de la Radiación Infrarroja, visible y UV. De la primera (IR) interesa el IR próximo, ya que el lejano tiene poca energía. Por el contrario, del UV se excluye el lejano, ya que puede resultar excesiva energía para algunas moléculas. Como se ha indicado, los fenómenos fotoquímicos son más complejos que los térmicos. En la activación térmica la molécula sólo puede excitar los grados de libertad rotacionales y vibracionales pero no los electrónicos.

En un proceso fotoquímico la molécula absorbe energía suficiente para pasar no sólo al primer estado electrónico excitado y superior, sino incluso a su disociación. Una vez que se encuentra en el estado excitado (inestable), puede chocar y dar lugar a una reacción, o bien desactivarse cediendo energía por varios mecanismos (radiativos y no radiativos). Todos estos procesos son competitivos y ocurren en tiempos muy cortos (10^{-4} – 10^{-9} s). Los cuantos de radiación no actúan, en estos casos, como un catalizador, sino más bien como un reactivo, sin el cual la reacción no podría llevarse a cabo. El cuanto de energía luminosa debe corresponder con la energía de enlace o con la energía de excitación de la molécula.

Una reacción fotoquímica es compleja y, en ella, tienen lugar muchos procesos que forman una secuencia, que consta, generalmente, de tres etapas:

- ***Procesos primarios***

- *Excitación*: en la que la molécula absorbe un fotón y se excita al primero, segundo, etc. estado electrónico asociado
- *Desactivación*: en el que la molécula excitada inestable se desactiva por choque con otras moléculas (en los que puede o no sufrir reacción química, que sería un proceso fotoquímico genuino) o bien, antes de chocar, puede sufrir un proceso de desactivación por un mecanismo físico, que se llama foto físico.

- ***Procesos Secundarios***

- Las especies formadas, como consecuencia de los procesos primarios, pueden reaccionar entre sí, dando lugar a estos procesos secundarios.

- **Aspectos genéticos**

Con respecto a la posibilidad de que los campos electromagnéticos puedan inducir abortos o defectos de nacimiento (teratogénesis), se puede afirmar que sólo se han advertido efectos en sujetos expuestos a intensidades tan elevadas como para llegar a

causar un calentamiento de todo el cuerpo. Hasta el momento, los niveles de potencia asociados con la exposición pública a campos electromagnéticos generados por servicios de radiodifusión, televisión y celulares, no pueden asociarse con disfunciones genéticas.

- **Aspectos intangibles (Jaquecas, pérdida de memoria, etc.)**

Hay numerosos estudios de tipo cualitativo sobre el tema. Debido a la falta de información fehaciente sobre muchas de las condiciones de los sujetos tomados en cuenta y la forma del seguimiento realizado, no resulta posible considerar a los mismos más que como referencias o como indicadores de caminos para encarar investigaciones más rigurosas.

- **Efectos indirectos**

- **Marcapasos**

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

- **Desfibriladores**

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

- **Audífonos**

Nuevamente, el emisor a considerar por su cercanía, es el celular. Se ha establecido que hoy en día, todos los audífonos, en mayor o menor grado, presentan una degradación. Esto ocurre no sólo cuando el poseedor del audífono utiliza el teléfono, sino cuando un tercero lo hace en un radio menor a un metro. Varias compañías están trabajando para eliminar estas interferencias, a la vez que tratan de eliminar el ruido ambiente.

- **Aparatos de electromedicina**

Últimamente, se ha manifestado la inquietud con referencia al uso de telefonía celular en los hospitales y centros de salud. El problema abarca dos aspectos: el primero, referido a que en varios centros, se ha planteado la posibilidad de instalar radiobases; el segundo, contempla el problema del uso de teléfonos celulares en el interior del nosocomio. Si bien no existen aún suficientes casos reportados, parecería racional contemplar el uso limitado de la telefonía celular dentro de los hospitales, a menos que se haya contemplado en las instalaciones del mismo, mecanismos de reducción de interferencias electromagnéticas. En cuanto a las estaciones fijas, se **debe** evaluar en cada caso a fin de evitar inconvenientes.

3.1.4.1 Radiaciones No Ionizantes y el Cáncer

Aunque es indudable que ejercen efectos biológicos, el papel de las radiaciones no ionizantes como agentes cancerígenos es polémico. Se piensa que, en todo caso, actuarían como *promotores* tumorales, con escaso o nulo poder inicial para convertir genes normales en oncogenes. En muchos trabajos se ha determinado un mayor riesgo relativo de leucemias, tumores cerebrales y otros cánceres en sujetos que residen en las proximidades de las líneas de alta tensión y entre distintas poblaciones expuestas profesionalmente.

La sospecha de asociación más firme se ha establecido con las leucemias infantiles. Sin embargo, los estudios son contradictorios, sobre todo por la dificultad de medir la exposición a la radiación no ionizante y los métodos epidemiológico-estadísticos usados. Así, existen múltiples trabajos en sentido contrario. Desde el punto de vista de la salud pública, se piensa que hay que considerar estos hallazgos como serias advertencias sobre los potenciales efectos adversos de la radiación no ionizante; si bien, ante la falta de evidencia definitiva, la única recomendación podría ser la de "evitación prudente".

3.1.4.2 Efectos de la Radiaciones de la Telefonía Móvil

La Radiación de la Telefonía Móvil es parte de la radiación de RF y por lo tanto, puede causar el calentamiento de los tejidos, lo que lleva a un incremento de la temperatura del cuerpo. Esto es conocido como el Efecto Térmico. Normalmente el cuerpo puede regular en forma efectiva su temperatura, pero si las exposiciones a RF son demasiado altas, el

cuerpo podría ser incapaz de hacerles frente, es por ello que los límites de exposición previenen el incremento de temperatura del cuerpo por encima de 1° C.

Hay discusiones sobre otros efectos diferentes a los efectos térmicos causados por la radiación no ionizante de la telefonía móvil, entre los cuales se encuentran la pérdida de memoria, la alteración de los tiempos de reacción, el cáncer, los cambios de presión de la sangre, los efectos sobre la barrera hemato-cefálica y la hipersensibilidad. A pesar de la gran cantidad de investigaciones realizadas el peso de la evidencia científica no ha logrado establecer dichos efectos. Sin embargo, la comunidad científica y los organismos internacionales reconocen que es necesaria más investigación para mejorar nuestro entendimiento en algunas de estas áreas.

3.1.4.3 Tasa de Absorción Específica

La Tasa de Absorción Específica o Specific Absorption Rate (SAR) en inglés, La Tasa de Absorción Específica es la medida de la cantidad de energía de RF que es absorbida por los tejidos del cuerpo humano y se expresa en W/kg. Las recomendaciones ICNIRP¹ consideran dos tipos de SAR dentro de las restricciones básicas: El SAR de cuerpo entero que se produce en una persona por acción de las ondas emitidas por una estación base como se muestra en la figura 3.4. Y el SAR localizado que es el que se aplica para determinar si un teléfono móvil cumple con las recomendaciones de seguridad como se muestra en la figura 3.5.

Los límites de exposición ICNIRP para exposición localizada toman en consideración la capacidad termoregulatoria de la cabeza, considerando un máximo de 1° C de elevación de temperatura en sus tejidos más sensibles e incorporan un factor de seguridad que en el caso de la exposición del público en general está en el orden de 50.

El SAR localizado en la cabeza recomendado por ICNIRP es de 2 W/kg promediado sobre una masa de tejido de 10 g (0.02 W absorbidos en cualquier masa de 10g de tejido en la cabeza).

¹ ICNIRP: International Commission on Non Ionizing Radiation Protection

En cuanto a las administraciones de telecomunicaciones, La Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos de Norteamérica (FCC) ha adoptado las normas IEE-ANSI para la exposición a la radiación de RF de teléfonos móviles que recomienda como valor límite 1.6 W/ kg promediado sobre cualquier tejido de 1g. de masa (0.016 W absorbidos en cualquier masa de 10g).

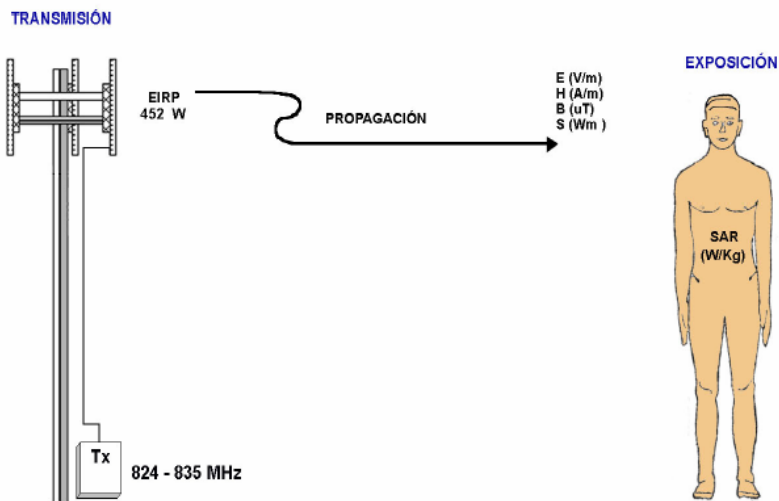


Figura 3.4.- SAR medido en Cuerpo Entero

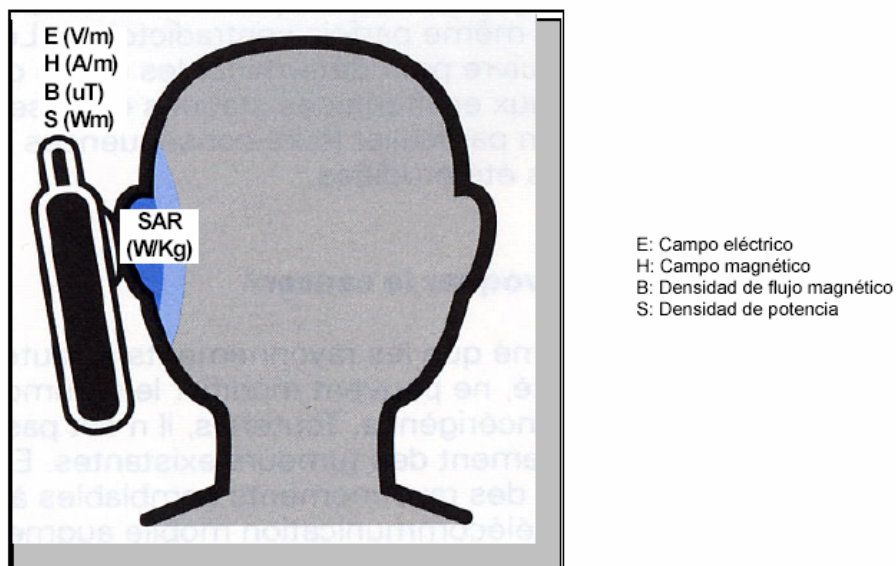


Figura 3.5.- SAR Localizado

Matemáticamente, Se define Tasa de Absorción Específica o *SAR* como la variación temporal de energía absorbida en un incremento de masa (dm) contenida en un volumen (dV) de cierta densidad definida ρ .

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{\rho \cdot dV} \right) \quad 3.1$$

donde:

dW es la derivada en el tiempo de la energía incremental

dm es la masa incremental

dV es un elemento de volumen

ρ es la densidad de masa

Por ejemplo, sabemos que toda onda electromagnética que se propaga tiene una densidad superficial de potencia según la expresión:

$$P = \vec{E} \cdot \vec{H} \quad (W / m^2) \quad 3.2$$

donde:

P es la densidad de potencia

\vec{E} es el vector de Campo Eléctrico

\vec{H} es el vector de Campo Magnético

Si esta onda atraviesa una superficie S de un cuerpo de un cierto volumen V y de densidad ρ y toda la energía se absorbe en dicho volumen, entonces la *tasa de absorción específica* en el cuerpo se podrá calcular como:

$$SAR = \frac{P \cdot S}{V \cdot \rho} \quad (W / Kg) \quad 3.3$$

donde:

SAR es la Tasa de Absorción específica

P es la densidad de Potencia

S es la Superficie evaluada

V es la cantidad de Volumen

3.1.4.4 Hipótesis Planteadas y Publicadas

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD

En respuesta a la inquietud del público la OMS ha establecido el Proyecto Internacional de Campos Electromagnéticos para evaluar las evidencias científicas de los posibles efectos en la salud por CEM. Estudios específicos han sido identificados para abordar el problema de la exposición localizada. El proyecto ha establecido un mecanismo formal para la revisión de los resultados de investigaciones y evaluación de los riesgos de exposición a RF. Así mismo se está desarrollando material informativo para el público y se está armonizando los estándares de los diferentes entes internacionales que investigan las RNI. La OMS también está dirigiendo una investigación sobre RF. Un estudio epidemiológico a gran escala está siendo coordinado en más de 10 países por la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC), una agencia especializada en el cáncer perteneciente a la OMS, para identificar si existen enlaces entre el uso de teléfonos móviles y el cáncer de la cabeza y el cuello.

Conclusiones y Recomendaciones

Ninguna de las recientes revisiones han concluido en que la exposición a campos de RF debido a teléfonos móviles o a las estaciones bases de los mismos tengan algún tipo de consecuencia adversa en la salud. Sin embargo, se han identificado vacíos en las investigaciones que han determinado la ampliación de las investigaciones para hacer mejores evaluaciones de los riesgos contra la salud. Llevará de 3 a 4 años para ser completados, evaluados y publicados los resultados finales para cualquier riesgo. Por el momento la OMS recomienda:

- **Estricta adhesión a los estándares:** Los estándares internacionales han sido desarrollados para proteger a todos: usuarios de telefonía móvil, personas que trabajan cerca o viven alrededor de estaciones bases, y la gente que no hace uso de este tipo de comunicación.
-

- **Medidas preventivas**

- **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 afectar 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.
- **Personas:** La información científica actual no indica la necesidad de algún tipo de precauciones para el uso de teléfonos móviles. Si las personas tienen interés al respecto, se les recomienda reducir la duración de sus llamadas, tanto para que ellos y sus hijos disminuyan la exposición a campos de RF, o utilizar equipos hands-free para mantener el teléfono móvil separado de la cabeza y el cuerpo.

- **Acatar las restricciones locales en el uso de teléfonos celulares para evitar la interferencia de CEM:**

Los teléfonos móviles pueden interferir con algunos equipos médicos como los marcapasos y los audífonos. En los departamentos de cuidados intensivos de hospitales el uso de los teléfonos móviles puede ser peligroso para los pacientes y no deben ser utilizados en éstas áreas. Igualmente estos teléfonos no deben ser utilizados en aviones ya que pueden interferir con los sistemas de navegación.

- **Seguridad vial**

Es un hecho el incremento de riesgo por accidente automovilístico mientras se utiliza el teléfono móvil, tanto el portátil como el hands-free. Se debe prohibir el uso de estos aparatos a los conductores mientras estén manejando.

- **Medidas simples de prevención**

Cercos, barreras, u otro tipo de medidas de protección son necesarios en algunas estaciones bases (principalmente, aquellas localizadas en los techos de edificios) 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" para los teléfonos móviles. 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, no está comprobada.

- **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 la telefonía móvil, 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 de la telefonía móvil 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 apropiado para el buen entendimiento de aquellos para quienes está dirigida.

CONSEJO DE SALUD DE LOS PAÍSES BAJOS – HOLANDA - Campos Electromagnéticos- 29 de mayo de 2001**Teléfonos móviles y tumores en el cerebro.**

Basados en los reportes de cuatro estudios recientes realizados en Suecia, Estados Unidos y Dinamarca. No hay razón para creer que el uso de los teléfonos móviles tiene influencia alguna en el desarrollo de tumores en el cerebro.

Teléfonos móviles y melanomas oculares.

No hay conclusiones científicamente válidas que puedan ser emitidas respecto a la posibilidad de una relación entre el uso de los teléfonos móviles y la incidencia de melanomas oculares.

DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD DE FRANCIA – Los teléfonos móviles, las estaciones bases y la salud- 16 de enero de 2001

Las recomendaciones internacionales, inspiradas en los trabajos de la ICNIRP se basan en los efectos biológicos correspondientes a efectos sanitarios temporales que han sido científicamente establecidos. En la gama de RF se trata del efecto térmico creado por la absorción dieléctrica. La probabilidad de los efectos no térmicos es baja ya que en algunos casos se vienen realizando estudios desde hace algunos años.

Los límites actuales no se pueden bajar por que no existe una base científica para ello. Por otro lado, está bien claro que el uso de los teléfonos móviles representa un factor real de riesgo de accidente; pero no a causa de las RNI sino debido a la pérdida de concentración resultante de la conversación telefónica. También está igualmente establecido que la telefonía móvil puede constituir un factor de seguridad sanitaria. Por lo tanto, se recomienda que la gestión de los riesgos potenciales asociados a la telefonía móvil sea realizada utilizando el principio de precaución de tal manera que el objetivo general a perseguir sea la reducción al más bajo nivel de exposición media del público compatible con la calidad del servicio.

SALUD DE CANADA – Una revisión de los riesgos potenciales de salud de los Campos de Radiofrecuencia de los dispositivos de Telecomunicaciones Móviles - Marzo de 1999

No encuentra evidencia documentada de algún efecto en la salud humana o de animales expuestos a niveles no térmicos de campos de radiofrecuencia, por lo que los límites propuestos están basados en los efectos térmicos.

ADMINISTRACIÓN DE ALIMENTOS Y DROGAS DE LOS ESTADOS UNIDOS (FDA)- Octubre de 2002

La FDA entre sus Hojas Informativas sobre Radiaciones incluye información sobre los teléfonos móviles y su estaciones bases para los servicios de Telefonía Móvil y de Comunicaciones Personales (PCS). En estas Hojas Informativas se afirma que en las mediciones realizadas en las cercanías de estaciones bases de comunicaciones móviles y PCS montadas sobre torres, los niveles de exposición a nivel del suelo típicamente son miles de veces menores que los límites de exposición adoptados por la FCC. Así mismo, se afirma que la evidencia científica disponible no muestra que exista la asociación de algunos problemas de salud con los teléfonos inalámbricos. Sin embargo, no hay prueba que los teléfonos inalámbricos sean absolutamente seguros. Muchos estudios de la RF de bajo nivel no han encontrado efecto biológico alguno. Otros estudios han sugerido, que pueden ocurrir algunos efectos biológicos, pero tales hallazgos no han sido confirmados por investigaciones adicionales. En algunos casos, otros investigadores han tenido dificultades en reproducir estos estudios o en determinar las razones de algunos resultados inconsistentes.

INFORME STEWART – REINO UNIDO

El balance de la evidencia a la fecha sugiere que la exposición a la radiación de RF por debajo de las Recomendaciones ICNIRP no causa efectos adversos a la salud al público en general. El balance de la evidencia indica que en general no existe riesgo para la salud de

las personas que viven cerca de las estaciones bases donde las exposiciones son solo una pequeña fracción de las recomendaciones.

El Informe Stewart es exhaustivo y prudente, y es de recomendada lectura para quien tenga interés en lo referente a telefonía móvil y salud humana. A continuación vamos a extraer algunas referencias particularmente interesantes:

- Para el público en general, los niveles de exposición causados por los teléfonos móviles que se sujetan cerca de la cabeza u otras partes del cuerpo, son sustancialmente más elevados que las exposiciones de cuerpo entero provenientes de las estaciones base.
 - El riesgo objetivo más elevado del uso de los teléfonos móviles es su utilización mientras se conduce.
 - Las medidas realizadas en las inmediaciones de las estaciones base indican que los niveles de exposición a los que se somete a la población están cientos o miles de veces por debajo de los límites máximos admitidos en la actualidad, los sugeridos por el ICNIRP.
 - El análisis de las evidencias disponibles hasta la fecha indica que la exposición a niveles de radiación por debajo de los indicados por el ICNIRP no causa efectos adversos sobre la salud de la población en general.
 - Sin embargo, existe evidencia de que existen ciertos efectos biológicos que se producen por debajo de estos límites, aunque esto no significa necesariamente que estos efectos tengan repercusiones negativas sobre la salud de las personas.
 - En el momento presente no es posible asegurar que la exposición a la radiación electromagnética, incluso a niveles por debajo de los límites establecidos, está totalmente exenta de efectos adversos sobre la salud, y la ausencia de conocimientos justifica la precaución.
 - El análisis de las evidencias disponibles indica que no existe riesgo general para la salud de las personas que viven cerca de las estaciones base, ya que los niveles de radiación que se pueden esperar son una pequeña fracción de los límites establecidos.
 - Se recomienda, con relación a las estaciones base de mayor potencia situada dentro del recinto de escuelas, que el haz de mayor intensidad de radiación de las antenas
-

no incida sobre el suelo o los edificios del colegio sin el consentimiento de los padres y la escuela.

- Se recomienda una política de compartición de mástiles de antenas entre los diferentes operadores.
- Por las características de la radiación utilizada en las redes de móviles, parece imposible que ésta pueda dañar directamente la estructura del ADN, lo que pondría a las células en el camino del cáncer. Esto es coherente con las evidencias epidemiológicas disponibles en la actualidad, que no sugieren que la exposición a los campos electromagnéticos de RF cause cáncer. Sin embargo, los teléfonos móviles no llevan utilizándose mucho tiempo y hoy en día no es posible excluir la posibilidad de cierta asociación entre la tecnología de móviles y el cáncer.

UNIÓN EUROPEA

En Mayo de 2001, el **Ministerio de Sanidad y Consumo** ha publicado un estudio titulado "**Campos Electromagnéticos y Salud Pública**", elaborado por un Comité de Expertos Independientes, pertenecientes exclusivamente a organismos públicos.

Puede decirse que este informe es más categórico que el denominado informe Stewart. Algunos párrafos interesantes:

- La exposición a campos electromagnéticos no ocasiona efectos adversos para la salud, dentro de los límites establecidos en la Recomendación del Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea (1999/519/CE).
 - El cumplimiento de la citada recomendación es suficiente para garantizar la protección sanitaria de los ciudadanos.
 - No se ha identificado, hasta el momento, ningún mecanismo biológico que muestre una posible relación causal entre la exposición a los campos electromagnéticos y el riesgo de padecer alguna enfermedad.
 - Las antenas de telefonía móvil y los terminales móviles no representan un peligro para la salud pública.
 - Conviene fomentar el control sanitario y la vigilancia epidemiológica.
-

3.2 NORMATIVAS

Existen normativas internacionales que pretenden establecer niveles de seguridad, entre las cuales están:

- Evaluating Compliance with FCC¹ Guidelines for Human Exposure to radiofrequency Electromagnetics Fields.
- IEEE² Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radfio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 Ghz.
- Guidelines for Limiting Exposure to Time- Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300Ghz) ICNIRP³.
- Limits of Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 3kHz to 300GHz. Safety Code 6 Health Canada.
- Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos. UIT⁴ Norma K.52

La Organización Mundial de la Salud ha reconocido a las Directrices de la ICNIRP porque proporcionan un nivel adecuado de protección ante la radiación no ionizante y por ser un organismo científico independiente que investiga los riesgos que pueden estar asociados con la exposición a radiación no ionizante y además porque tiene los datos más actualizados hasta el momento.

El Ecuador cuenta con la legislación para regular los niveles de radiación no ionizante, a partir del 03 de marzo del 2005, fecha en la cual fue publicado en el Registro Oficial No. 536 el Reglamento de Protección de Emisiones de Radiación No Ionizante generadas por el uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico y que fue derogada la Resolución No.

¹ Federal Communications Commissions.

² Institute of Electrical and Electronics Engineers

³ International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

⁴ Unión Internacional de Telecomunicaciones.

235-10-CONATEL-2004. Esta Norma Técnica recoge los niveles máximos de radiación no ionizantes recomendados por el ICNIRP y es una copia fiel de la Norma UIT K.52

En el ANEXO I se da un resumen de cada una de las normas, resaltando en cada una de ellas los aspectos más importantes.

3.2.1 Comparación y Resumen de Normas

Al finalizar este capítulo es importante realizar un análisis total de todas las Normas vigentes a nivel nacional e internacional. En la Tabla 3.5 se presenta una comparación de las principales recomendaciones y normas reportadas sobre el tema.

INSTITUCION	PUBLICACIÓN	ELABORADO	OBSERVACIONES
IEEE	Estándar de la IEEE para los niveles seguros respecto a la exposición humana a campos electromagnéticos de radio frecuencia, 3kHz a 300 GHz.	Estados Unidos	Estándar de uso Voluntario
FCC	Pautas de la FCC para la exposición Humana a Campos Electromagnéticos de Radio Frecuencia, Agosto 1996.	Estados Unidos	Es de uso obligatorio, esta basado en el estandar IEEE/ANSI de 1992 y el NCRP 1988
ICNIRP	Pautas para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo hasta de 300GHz.	Unión Europea	Es la más estricta de todas las recomendaciones. Cubre la banda de frecuencia más amplia. La ICNIRP proporciona en su norma la base científica de todas las medidas tomadas.
UIT	Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos.	Naciones Unidas	Se basa en las pautas dadas por la ICNIRP. Tiene carácter de recomendación. Cubre a la exposición en general y la exposición ocupacional.
HEALTH CANADA	Límites de exposición humana a campos electromagnéticos de radiofrecuencia en el rango de 3kHz a 300GHz. Código de	Canadá	El código de Seguridad 6 es de carácter obligatorio, la institución que lo

	Seguridad 6.		promulga es gubernamental.
CONATEL	Reglamento de protección de emisiones de radiación no ionizante generadas por uso de frecuencias del espectro, Registro Oficial No. 536, Marzo 2005.	Ecuador	Es de carácter obligatorio para todas las operadoras móviles, adoptado en Marzo del 2005. Constituye una copia fiel del Código UIT K52

Tabla 3.5 Comparación General de Normas para RNI

A continuación se compararán gráficamente los niveles aceptables de radiación establecidos por los diferentes órganos de regulación.

La razón principal de utilizar este formato de comparación, se debe a que las recomendaciones y Regulaciones presentan información en forma de tablas donde para cada intervalo de frecuencias se definen los niveles máximos permitidos de campo eléctrico y densidad de potencia, por medio de ecuaciones planteadas en función de la frecuencia.

Gráficas de Intensidad de Campo Eléctrico y Densidad de Potencia

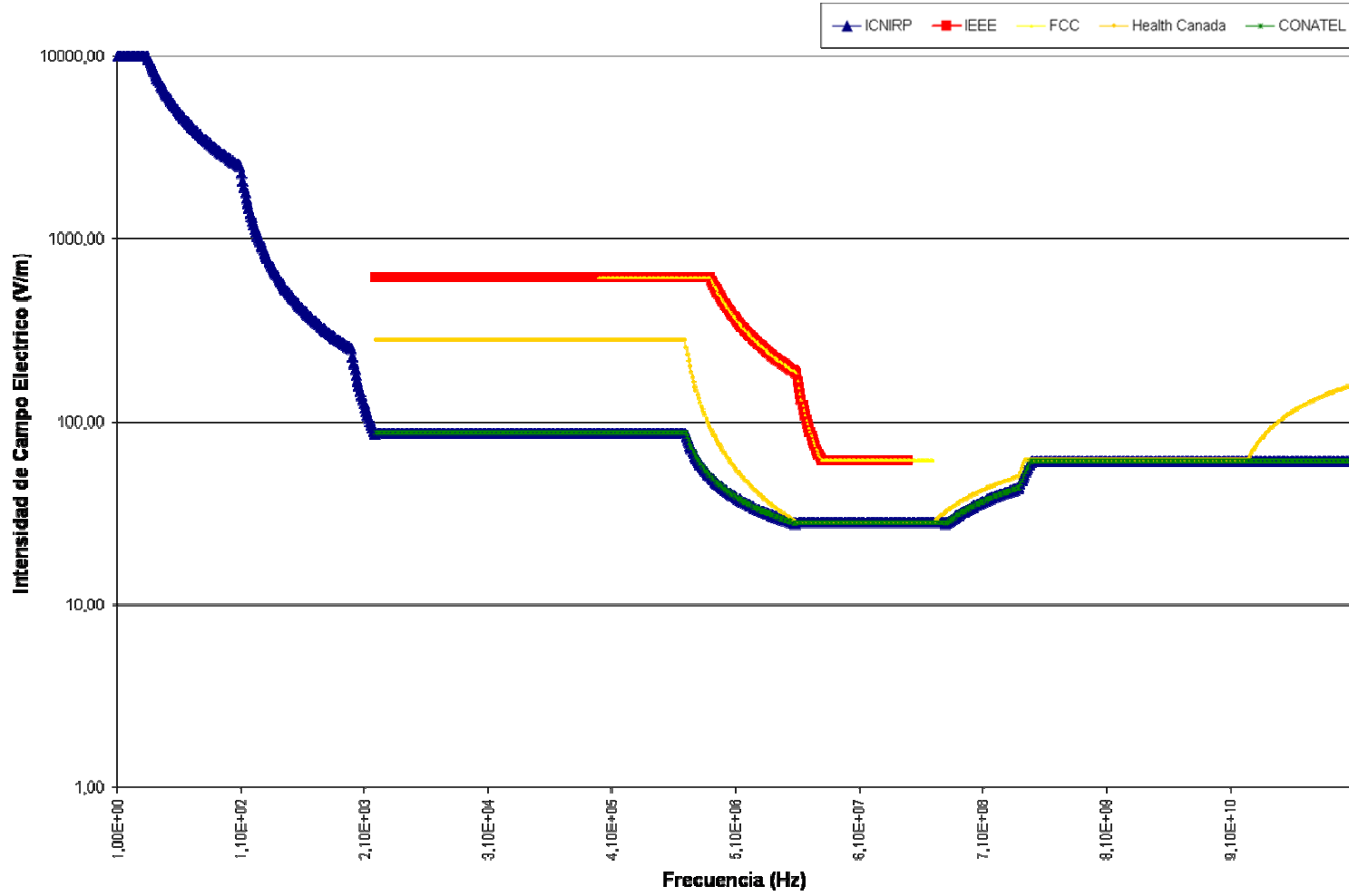


Fig.- Exposición Máxima permisible para el público en general en términos de la Intensidad de Campo Eléctrico

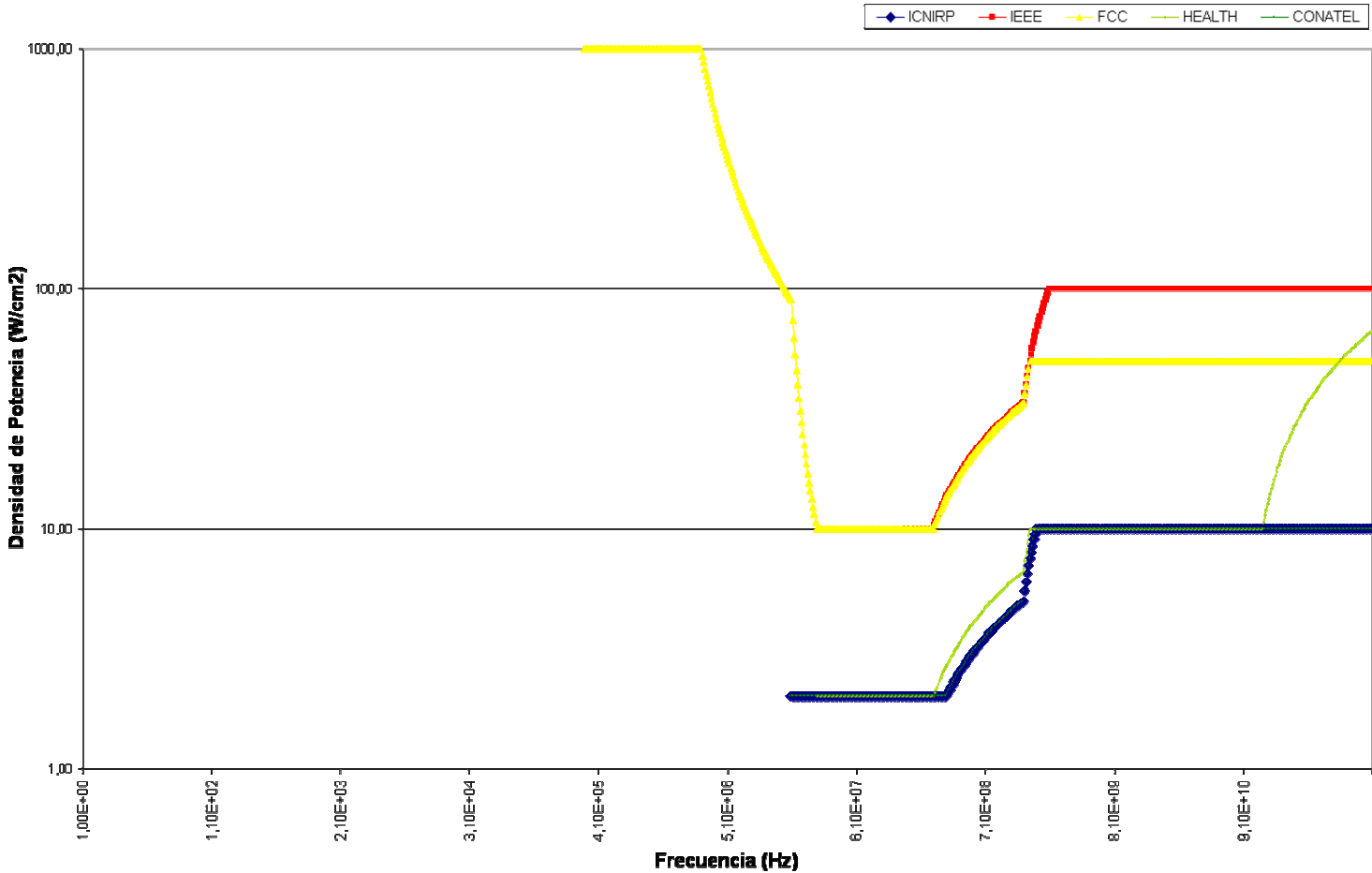


Fig.- Máxima exposición permisible al público en general en términos de densidad de potencia

Se observa que a pesar de las marcadas diferencias entre los valores límites, todas las recomendaciones coinciden en dar niveles aproximadamente iguales para la banda comprendida entre 100MHz y 10GHz, esto corresponde a la banda de resonancia del cuerpo humano y por ende aquella en la que ocurre la absorción máxima.

En el caso de exposición ocupacional se obtuvieron las gráficas que a continuación se presentan:

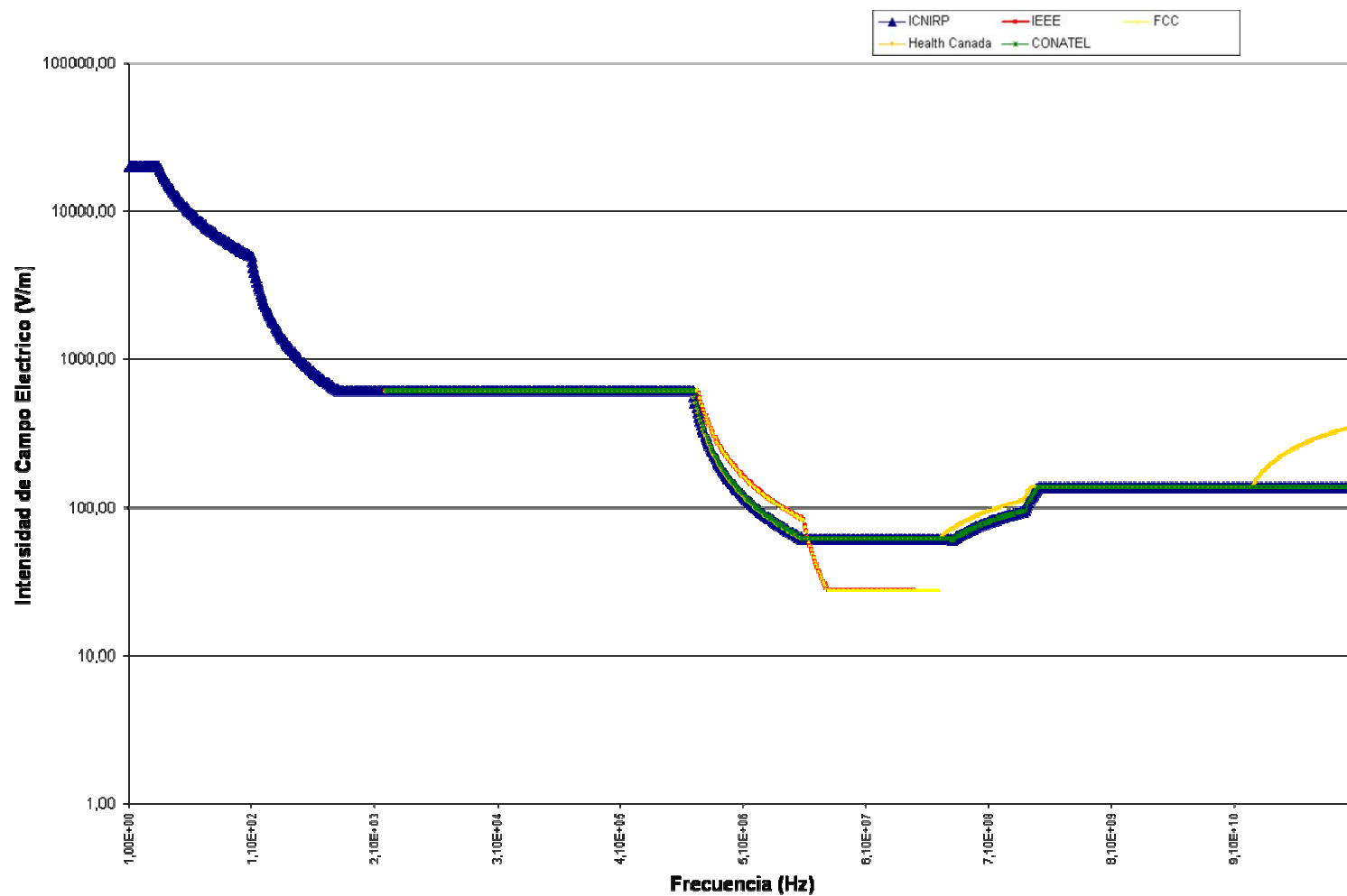


Fig.- Máxima intensidad de campo eléctrico para exposición ocupacional.

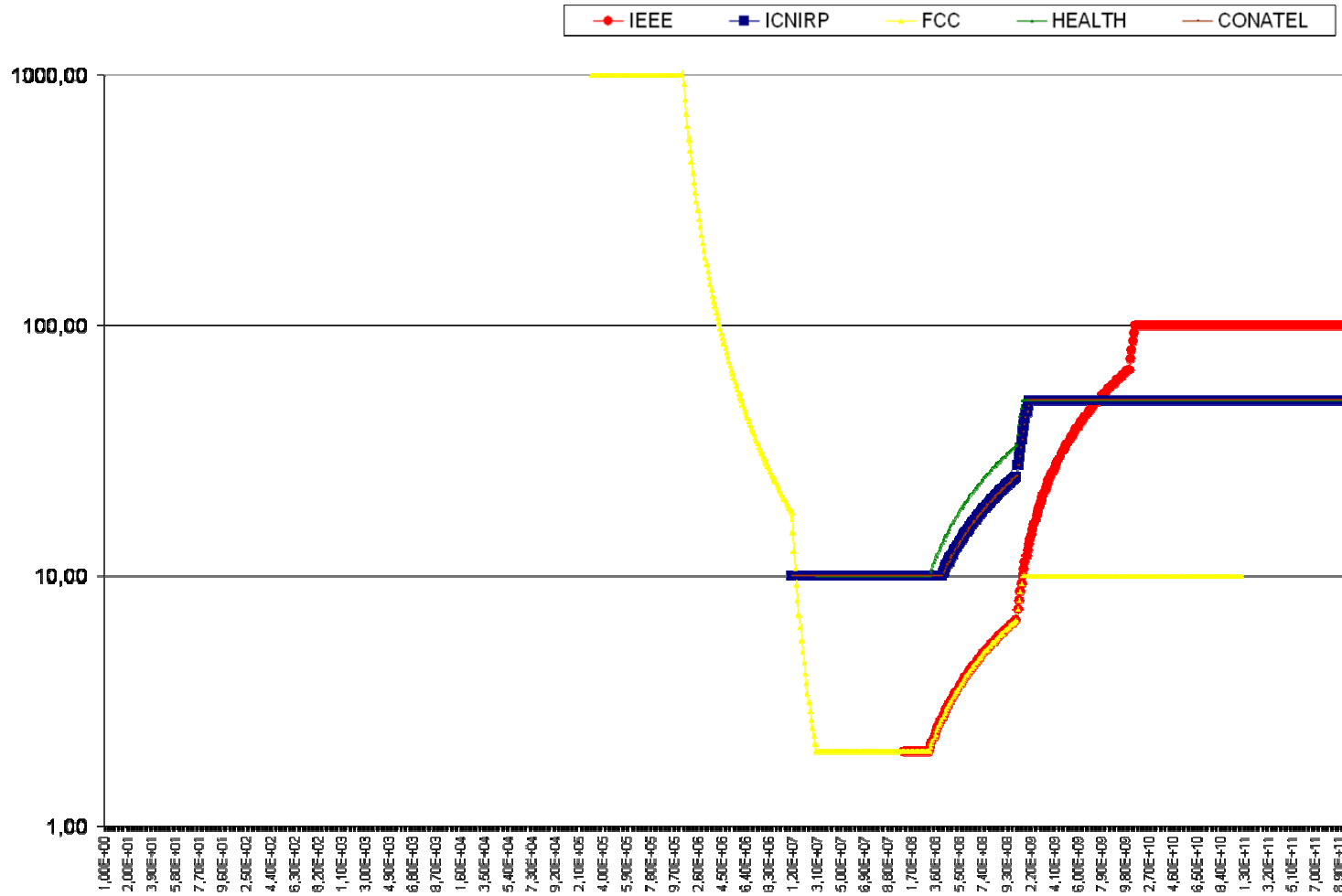


Fig.- Máxima Densidad de Potencia para exposición Ocupacional.

3.2.2 Análisis de los Estándares

En las normativas actuales cabe distinguir dos tipos de límites referentes a los campos electromagnéticos. Por un lado se limita la potencia máxima de una estación base de telefonía móvil y por otro los campos electromagnéticos máximos a los que una persona puede ser expuesta. La Institución Reguladora de telecomunicaciones de cada país es la encargada que se tomen medidas necesarias y suficientes para que no exista riesgo para la salud humana.

Así en el caso de la potencia máxima de emisión existen normativas a nivel internacional por ejemplo la FCC en EEUU sigue las recomendaciones del Instituto Nacional Americano de Normalización (ANSI), esta recomendación permite una Potencia Radiada Efectiva (PRE) hasta de 500W por canal (en función de la altura de la torre), sin embargo la mayoría de las estaciones radio base celulares en áreas urbanas y suburbanas operan con una ERP de tan solo unos 100W por canal o incluso inferior. La ERP no es equivalente a la potencia radiada, sino a cuanta potencia transmitida y la dirección en que más energía irradia la antena en cuestión.

3.2.2.1 Similitudes de los Estándares

- Para los seis estándares la restricción en la banda comprendida entre 30MHz y 300MHz aproximadamente presenta el menor límite de todo el espectro, y es igual en todos los casos. Esto ocurre a causa del consenso existente en la comunidad científica respecto al hecho de que dicha banda es potencialmente la más peligrosa. Es allí donde el cuerpo humano presenta resonancia (mayor absorción de energía) para exposición completa debido a sus dimensiones, siendo esto válido para un amplísimo rango de estaturas y pesos. Más aún, en dicha banda los efectos de la radiación han sido claramente determinados, así como los umbrales que deben ser superados a fin de ocasionarlos.
 - A altas frecuencias, o sea a frecuencias mayores que la de resonancia del cuerpo humano, el parámetro de referencia es la densidad de potencia porque en ese caso
-

la absorción de energía es superficial. Consecuentemente, la tasa de absorción específica podría no indicar una situación peligrosa, dado que cualquier cubo de ponderación tendría una distribución de absorción demasiado irregular, solo una de sus caras estaría expuesta a un nivel de radiación significativo.

- Todos los estándares se basan en la misma evidencia científica.
- Las curvas para los límites de exposición muestran formas similares; se observa que todas las pendientes son del mismo signo en todo el espectro exceptuando en unas bandas muy angostas, debido a que los cambios de pendiente no ocurren en la misma frecuencia para todos los estándares.

3.2.2.2 Diferencias entre los Estándares.

- Las bandas de frecuencia en las que los límites están definidos son diferentes para cada estándar. En la tabla 3.6 se indica dichas bandas para cada una de las magnitudes de interés.

	FCC	IEEE	ICNIRP	Health Canada	UIT	CONATEL
E(V/m)	300kHz- 300MHz	3kHz-300MHz	1Hz-300GHz	3kHz-300GHz	1Hz-300Ghz	3Hz-300Ghz
H(A/m)	300kHz-300MHz	100MHz-300GHz	10MHz-300GHz	30MHz-300GHz	10MHz-300GHz	10MHz-300GHz

Tabla 3.6.- Bandas de definición de cada uno de los estándares.

- Los límites para exposición máxima presentan diferencias importantes en algunas bandas. Como puede verse en la Figura 3.3, en la banda 10kHz – 1MHz se encuentra que el límite determinado por la IEEE y la FCC es aproximadamente siete veces mayor que el dado por la ICNIRP. Aunque todos los estándares se basan en la misma evidencia, algunos toman enfoques más conservativos que otros.
- La recomendación de la FCC es la única de las estudiadas que no especifica la exposición máxima en términos de corrientes de contacto e inducidas.
- Las recomendaciones dadas por la ICNIRP son las más conservativas de las seis, dando límites de máxima exposición menores o iguales a los demás en todos los

casos exceptuando la banda 3kHz – 300 kHz para densidad de flujo magnético, donde es dos veces mayor que el estándar canadiense. Este límite en particular fue modificado recientemente debido a que la evidencia científica sugirió que el límite dado antes era demasiado exigente porque el campo magnético en dicha banda no contribuye significativamente al deterioro de la salud humana.

- Las recomendaciones de la ICNIRP y de Health Canada son las únicas que hacen palpante la distinción entre exposición ocupacional y no ocupacional en todos los valores de MPE, haciendo consistente el margen de seguridad requerido para el segundo caso en toda la banda de frecuencia y para todas las magnitudes (E, B, S, J, SAR). Por el contrario, las pautas americanas coinciden en asignar límites casi iguales a ambientes controlados y no controlados en algunos casos. Esto pone en evidencia dos posiciones claras frente a las diferencias entre exposición ocupacional y no ocupacional: por un lado el enfoque conservativo, que considera que dentro del público en general pueden haber individuos especialmente susceptibles a la radiación no ionizante, además de que su exposición puede ser permanente, y por el otro el enfoque que sólo considera que el público puede estar expuesto durante más tiempo que los trabajadores, permanentemente en el peor de los casos.

Los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos han sido estudiados y establecidos internacionalmente con el fin de fijar criterios de referencia comunes.

La Organización Mundial de la Salud en su proyecto internacional EMF Project del cual la Escuela Politécnica del Ejército es parte, recomienda adhesión estricta a las Recomendaciones Internacionales (ICNIRP), sin incorporar arbitrariamente factores de seguridad adicionales a los límites establecido.

CAPITULO 4

EMF – SOFT (SOFTWARE DE GESTIÓN DE MEDICIONES)

Este capítulo abarca el análisis de los requerimientos para el desarrollo de un Software que sea capaz de administrar todas las Mediciones de cada una de las Antenas correspondientes a las Radio Bases que son cuestión de análisis.

4.1 ANTECEDENTES

En el desarrollo de las mediciones se crea la necesidad de diseñar un Software que sea capaz de controlar y almacenar cada una de las mediciones de las Radio Bases. Esto se debe a que el número de archivos generados en cada medición han crecido considerablemente, por lo que se ha dificultado cada vez más su manejo y control en forma manual.

Por esta razón se ha tratado de automatizar este proceso, con la Creación de un Sistema de Software, el cual solucione de una manera eficaz esta necesidad.

4.2 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

Para realizar la descripción general del sistema de software, se procede a describir los factores generales que afectan al producto desarrollado¹ tales como:

¹ PRESSMAN Roger, *Ingeniería de Software un enfoque Práctico*, 4ta y 5ta edición, MCGraw Hill, Año, 2002

- Funciones Generales.
- Características de los Usuarios.
- Restricciones.
- Dependencias.

4.2.1 Funciones Generales

EMF –SOFT proporciona una solución en la Administración y Control de las mediciones realizadas en cada una de las Radio Bases evaluadas, mediante la automatización del ingreso, eliminación de los datos recibidos.

El software EMF – SOFT realizará las siguientes funciones:

- Almacenar y procesar información de las características generales de cada una de las Radio Bases.
- Almacenar y procesar información de las mediciones realizadas en cada uno de los puntos evaluados.
- Generar reportes gráficos de las mediciones realizadas en cada punto evaluado.
- Procesar la información almacenada en la base de datos, con el propósito de presentar reportes generales y específicos de cada Radio Base y de los puntos evaluados en cada medición.
- Almacenar y Administrar los usuarios que hacen uso del software.

4.2.2 Características de los Usuarios

Lo usuarios identificados, para el manejo del EMF – SOFT, son los siguientes:

Administrador de las Mediciones

Persona responsable del estado, mantenimiento y gestión de las mediciones así como de los datos de cada radio base; es el único usuario que puede cambiar los datos de cada Radio Base, ingresar las mediciones realizadas y autorizar el manejo del sistema.

Control de las Mediciones

Persona responsable de operar el Sistema de Software, realiza actividades tales como: Generación de Reportes de cada Radio Base y Generación de reportes de cada punto medido en la radio Base seleccionada.

4.2.3 Restricciones Generales

Para que EMF – SOFT proporcione información correcta de cada medición realizada se debe tomar en cuenta lo siguiente:

En el sistema se deben ingresar correctamente todos los datos requeridos en cada una de las ventanas de gestión. Se deberán respetar los formatos de cada uno de los archivos de pre-ingreso realizados en Excel, los cuales preparan de una manera correcta la información antes de ingresar a la Base de Datos.

El sistema controlará, de acuerdo a la administración de usuarios, el nivel de privilegios que se tiene con el objetivo de proteger la integridad y confidencialidad de todos los datos almacenados.

La Base de Datos EMF deberá ser periódicamente depurada y respaldada por el administrador del sistema.

4.2.4 Dependencias del Software

Para el desarrollo del Software para la Gestión de Mediciones de Radiaciones No Ionizantes EMF – SOFT es necesario contar con las siguientes herramientas:

- Microsoft Visual Basic 6.0 con SP6
 - Microsoft SQL Server 2000
 - Cristal Reports 11
 - Microsoft Windows XP o Superior.
-

4.2.4.1 Características de las Herramientas usadas

4.2.4.1.1 Características de SQL Server

- Facilidad de Instalación y Distribución.
- Escalabilidad.
- Almacenamiento.
- Integración del Sistema con otro Software de Servidor.
- Seguridad.
- Mejoras en la Arquitectura.
- Herramientas de Gestión.
- Estabilidad.
- Menor tiempo de respuesta en consulta a los datos almacenados.

4.2.4.1.2 Características de Visual Basic 6.0

- Productividad y Rendimiento.
- Creación de Aplicaciones con acceso a datos.
- Depuración de código compilado optimizado.
- Incremento de eficiencia con las herramientas de bases de datos.

4.2.4.1.3 Características de Crystal Reports 11

- Ayuda en el Análisis e interpretación de la información en una base de datos.
 - Facilita la creación de reportes complejos y especializados.
 - Ofrece soporte para los lenguajes más populares de desarrollos, facilitando la adición de reportes dentro de cualquier aplicación.
-

4.3 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA EMF- SOFT

4.3.1 Requerimientos de Hardware

Se deben de especificar las características lógicas de cada interfaz entre el software y los componentes de hardware del sistema.

Con el propósito de obtener un buen rendimiento en el manejo del sistema, el equipo en el cual se instale el software deberá tener las siguientes características tecnológicas básicas:

- Procesador Pentium III como mínimo.
- 64 Mb de Memoria RAM.
- 10Gb de Disco Duro.

Las interfaces de comunicación entre el servidor y las estaciones de trabajo, se realizarán mediante una conexión Microsoft Activex Data Objects (ADO). ADO es una interfaz de acceso a datos usada para comunicarse con fuentes de datos OLE DB, tal como lo es Microsoft SQL Server. Este tipo de conexión nos permite conectar, manipular, recuperar y actualizar todos los datos desde SQL Server.

4.3.2 Requerimientos de Software

Para el funcionamiento del EMF – SOFT, es indispensable contar con un servidor en el que se encuentre instalado un motor de base de Datos SQL, con el propósito de almacenar los datos en el mismo.

También es importante para el correcto funcionamiento, cambiar la Configuración Regional del equipo que contiene al Servidor SQL, esto se lo realiza con fines de seguridad de la información almacenada. La configuración Regional se deberá cambiar de la siguiente manera:

Menú Inicio -> Panel de Control -> Configuración Regional y de Idioma.

En esta pantalla es necesario cambiar lo siguiente: para que los datos se ingresen de una manera validada a la Base de Datos el caracter que corresponde al Símbolo Decimal deberá ser el punto (.) y no la coma (,) como viene por defecto. Una vez realizado el cambio se procede a reiniciar la máquina. Se deberá instalar todo el Software detallado en el punto 4.2.4.

4.3.3 Atributos del Software

4.3.3.1 Seguridad

Con el propósito de proteger al sistema del acceso, uso, modificación o destrucción accidental o maliciosa, el EMF – SOFT administrará distintos perfiles de Administración, dando de esta manera opciones específicas a cada usuario; además cuenta con opciones de desconexión del sistema sin salir de él.

Solamente el Administrador del Sistema, podrá acceder a la base de datos; él será encargado de depurar y obtener respaldos de los datos ya almacenados.

4.4 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS.

Para poder manejar y almacenar toda la información suministrada por las mediciones se diseñaron cinco CLASES las cuales se muestran en la Figura 4.1:

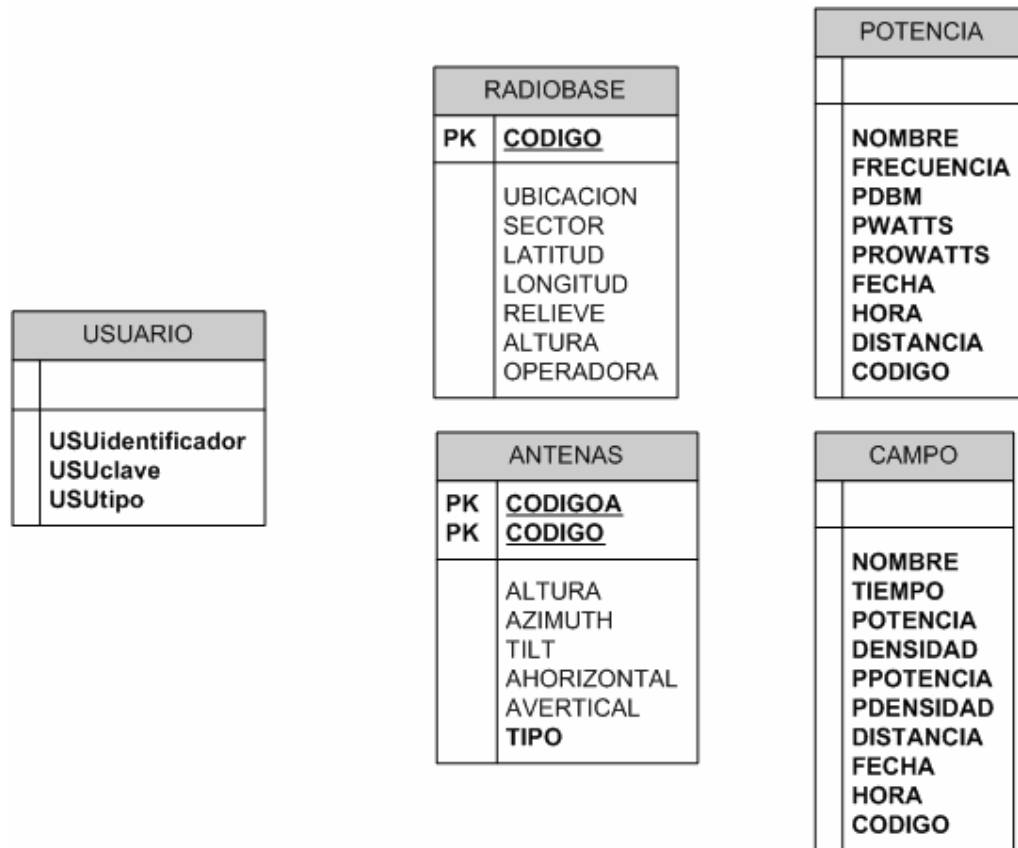


Figura 4.1.- Diagrama de Clases Software EMF - SOFT

A continuación se describirán los atributos¹ y servicios² de cada una de las clases (tablas) de la Base de Datos:

4.4.1 Clase RADIOBASE

En la Tabla 4.1 se especifican cada una de las variables correspondientes a esta tabla

CLASE	RADIOBASE
Descripción	Permite manejar la información de cada una de las radio bases que forman parte de

¹ Atributo.- Se refiere a cada una de las variables en una Base de Datos. PRESSMAN Roger, *Ingeniería de Software un enfoque Práctico*, 4ta y 5ta edición, McGraw Hill, Año, 2002

² Servicio.- El servicio de una Base de Datos es un proceso automatizados para manejar las diferentes funciones de la misma. PRESSMAN Roger, *Ingeniería de Software un enfoque Práctico*, 4ta y 5ta edición, McGraw Hill, Año, 2002

la investigación.			
ATRIBUTO	Descripción	Tipo de Dato	Tamaño
CODIGO	Clave única que identifica una RADIO BASE.	varchar	50
UBICACION	Descripción de Ubicación Física de la Radio Base	varchar	150
SECTOR	Sector en el cual se encuentra la Radio Base.	varchar	50
LATITUD	Valor de latitud de la Radio Base	varchar	50
LONGITUD	Valor de latitud de la Radio Base	varchar	50
RELIEVE	Valor de la altura a nivel del mar	float	8
ALTURA	Altura al nivel del piso de la Radio Base	float	8
OPERADORA	Operadora Celular a la que corresponde la RB.	varchar	50
SERVICIO	Descripción		
sp_Insertar_Radio	Permite insertar los datos de una nueva radio base		
sp_Modificar_Radio	Permite modificar los datos de una radio base		
Verificar_Existencia	Genera un código valido para la nueva radio base.		

Tabla 4.1.- Definición de la Clase RADIOBASE

RADIOBASE	
PK	<u>CODIGO</u>
	UBICACION SECTOR LATITUD LONGITUD RELIEVE ALTURA OPERADORA

Figura 4.2.- Atributos clase RADIOBASE

4.4.2 Clase ANTENAS

CLASE	ANTENAS		
Descripción	Permite manejar la información de las antenas que pertenecen a cada Radio Base		
ATRIBUTO	Descripción	Tipo de Dato	Tamaño
CODIGOA	Clave única que identifica una Antena.	varchar	50
ALTURA	Altura de la antena en la Radio Base	float	8
AZIMUTH	Orientación de la antena con respecto al Norte	int	4
TILT	Valor de inclinación o Tilt	float	8
AHORIZONTAL	Valor de la Apertura Horizontal	float	8
AVERTICAL	Valor de la Apertura Vertical	float	8
TIPO	Tipo de antena	varchar	50
CODIGO	Clave única heredada de la clase RADIOBASE	varchar	50
SERVICIO	Descripción		
sp_Insertar_Antenas	Permite insertar los datos de una nueva antena.		
sp_Modificar_Antenas	Permite modificar los datos de antena.		
sp_Cargar_Antenas	Permite consultar todos los datos correspondientes a una especificada Radio Base		
Sp_Eliminar_Antenas	Permite eliminar una antena específica.		

Tabla 4.2 .- Definición de la Clase ANTENAS

ANTENAS	
PK	<u>CODIGOA</u>
PK	<u>CODIGO</u>
	ALTURA AZIMUTH TILT AHORIZONTAL AVERTICAL TIPO

Figura 4.3 Atributos clase ANTENAS.

4.4.3 Clase CAMPO

CLASE	CAMPO		
Descripción	Permite manejar las mediciones correspondiente a Intensidad de Campo Eléctrico		
ATRIBUTO	Descripción	Tipo de Dato	Tamaño
NOMBRE	Nombre del punto evaluado.	varchar	50
TIEMPO	Tiempo en el cual ocurrió la medición. (minutos)	float	8
POTENCIA	Valor de la Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	float	8
DENSIDAD	Valor de la Densidad de Potencia ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	float	8
PPOTENCIA	Valor del Promedio de la Intensidad de Campo Eléctrico	float	8
PDENSIDAD	Valor del Promedio de la Densidad de Potencia	float	8
DISTANCIA	Valor de la Distancia a la cual se realizó la medición	float	8
FECHA	Clave única que identifica la Fecha a la cual se realiza la medición	datetime	8
HORA	Clave única que identifica la Hora a la cual se realiza la medición	varchar	10
CODIGO	Clave única heredada de la clase RADIOBASE	varchar	50
SERVICIO	Descripción		
sp_Insertar_Campo	Permite insertar los valores de Intensidad de Campo de un punto medido.		
sp_Consultar_Datos_Campo	Permite consultar los datos de campo de un punto medido		
sp_Consultar_Hora_Campo	Permite consultar la Hora de un Punto medido en una Radio base especifica		

Tabla 4.3.- Definición de la Clase CAMPO

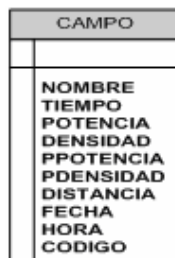


Figura 4.4.- Atributos clase CAMPO.

4.4.4 Clase POTENCIA

CLASE	POTENCIA		
Descripción	Permite manejar las mediciones correspondientes a Potencia medida en cada punto evaluado.		
ATRIBUTO	Descripción	Tipo de Dato	Tamaño
NOMBRE	Nombre del punto evaluado.	varchar	50
FRECUENCIA	Frecuencia en el cual ocurrió la medición. (MHz)	float	8
PDBM	Valor de la Potencia en dBm	float	8
PWATTS	Valor de la Potencia en Watts	float	8
PROWATTS	Valor del Promedio de la Potencia en Watts	float	8
FECHA	Clave única que identifica la Fecha a la cual se realiza la medición	datetime	8
HORA	Clave única que identifica la Hora a la cual se realiza la medición	varchar	10
DISTANCIA	Valor de la Distancia a la cual se realizó la medición	float	8
CODIGO	Clave única heredada de la clase RADIOBASE	varchar	50
SERVICIO	Descripción		
sp_Insertar_Potencia	Permite insertar los valores de Potencia de un punto medido.		
sp_Consultar_Datos_Potencia	Permite consultar los datos de Potencia de un punto medido		
sp_Consultar_Hora_Potencia	Permite consultar la Hora de un Punto medido en una Radio base especifica		

Tabla 4.4.- Definición de la Clase POTENCIA

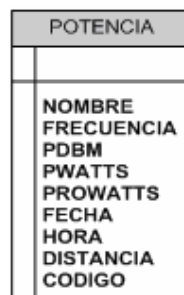


Figura 4.5.- Atributos clase POTENCIA.

4.4.5 Clase USUARIO

CLASE	USUARIO		
Descripción	Permite manejar los usuarios que manejan el software		
ATRIBUTO	Descripción	Tipo de Dato	Tamaño
USUidentificador	Nombre de Usuario de Ingreso al Sistema.	char	8
USUclave	Clave del Usuario para Ingreso al Sistema	char	8
USUtipo	Tipo de Usuario	char	50
SERVICIO	Descripción		
sp_Insertar_Usuario	Permite insertar los Usuarios		
sp_Eliminar_Usuario	Permite eliminar los Usuarios		
sp_Consultar_Usuario	Permite consultar los Usuarios disponibles en la base de datos		
sp_Modificar_Usuario	Permite modificar a un Usuario específico.		

Tabla 4.5.- Definición de la Clase USUARIO

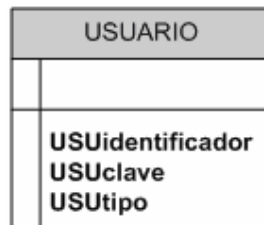


Figura 4.6.- Atributos de la Clase USUARIO.

4.5 ARQUITECTURA DE LA INTERFAZ DE USUARIO.

Cada equipo involucrado en el proceso de medición entrega los datos en dos formatos diferentes, tabla 4.6.

EQUIPO	TIPO DE ARCHIVO
Protek 3290	Archivo csv
SmartField	Archivo WQD (formato Propietario de
Meter	Windaq Software) que luego se lo exporta a cvs.

Tabla 4.6.- Tipos de Archivos recibidos en los equipos de medición.

Por esta razón se crearon dos archivos encargados de dar un formato a los datos recibidos, antes de subirlos a la base de datos.

4.5.1 Datos recibido por PROTEK 3290

El archivo matriz_potencia.xls recibe cada uno los archivos que corresponden al punto medido y procesan la información recibida, este archivo lo que realiza es la separación de los datos medidos debido a que el archivo csv (archivo de Excel separada por comas) entrega los datos como se muestra en la figura 4.7

	A	B	C	D
1	No. Marker	Freq. Level		
2	1,82400000,00000	3,5		
3	2,82444500,00000	1,5		
4	3,82489000,00000	4,5		
5	4,82533500,00000	1,5		
6	5,82578000,00000	2,5		
7	6,82622500,00000	1		

Figura 4.7.- Formato de un Archivo del Equipo Protek 3290 en csv

4.5.2 Datos recibido por SmartField Meter

El archivo matriz_campo.xls recibe el archivo exportado del Software WinDaq y procesa la información recibida, este archivo lo que realiza es la separación de los datos medidos debido a que el archivo csv (archivo de Excel separada por comas) entrega los datos como se muestra en la figura 4.8

	A	B	C	D
1	Samples per sec. = 120/67			
2	sec,"V/m","Volt"			
3	.000	2.5430E-01	2.4512E+00	
4	1.117	2.6035E-01	2.4512E+00	
5	2.233	2.7246E-01	2.4512E+00	
6	3.350	2.7246E-01	2.4512E+00	
7	4.467	2.7852E-01	2.4512E+00	

Figura 4.8.- Formato de un Archivo del Equipo SmartField Meter en csv

4.5.3 Diseño de la Jerarquía de Comandos

En las Figuras 4.9 a la 4.13, se representa la jerarquía de comandos para el EMF – SOFT, tomando en cuenta el sistema Gráfico determinado por Windows.

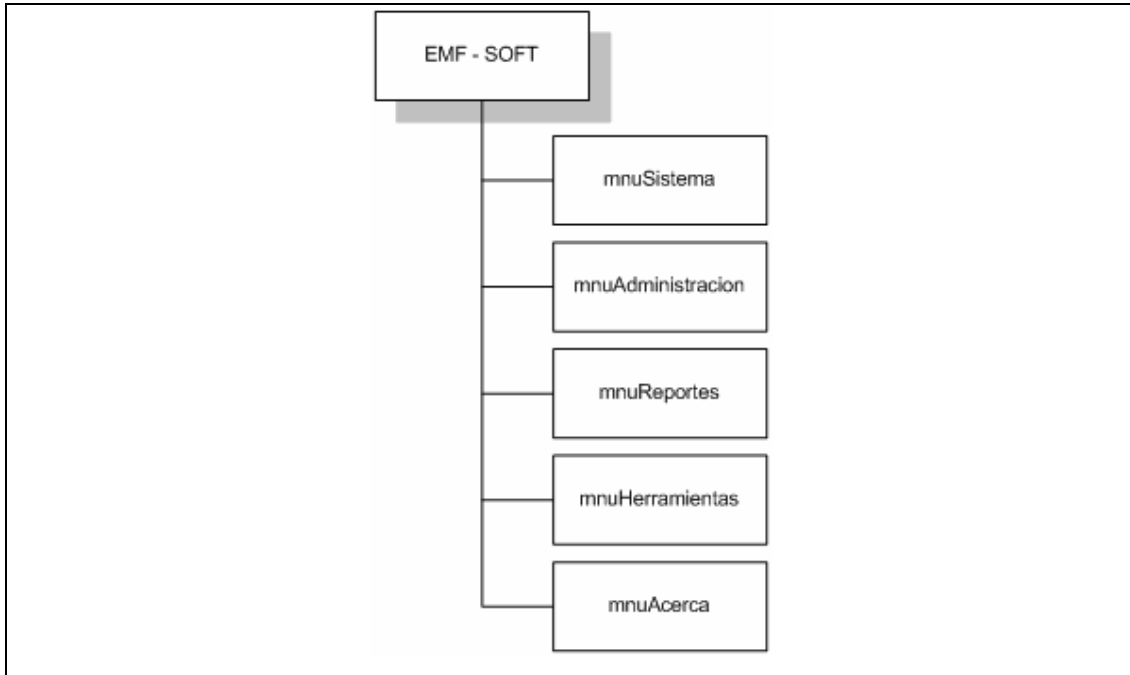


Figura 4.9.- Jerarquía de Comandos a Nivel Principal

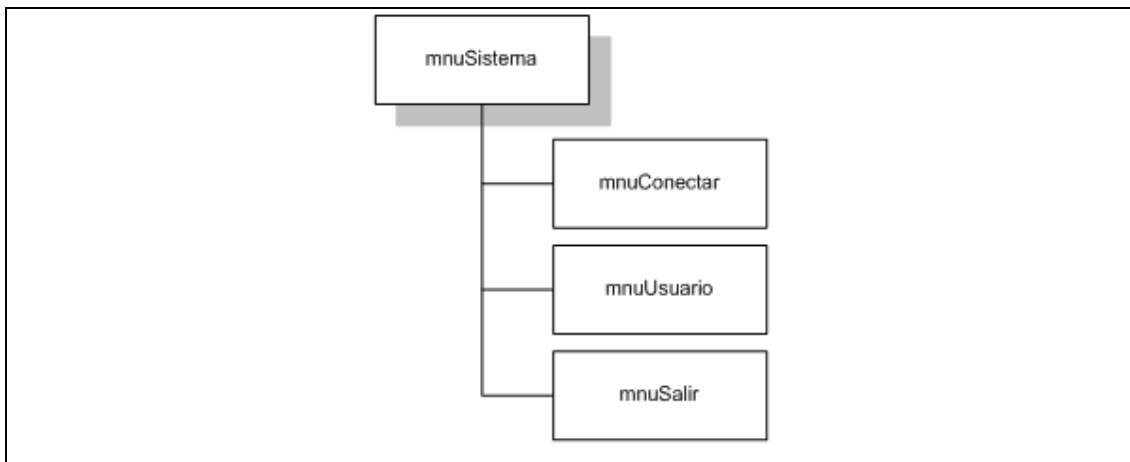


Figura 4.10.- Jerarquía de Comandos de la Opción Sistema

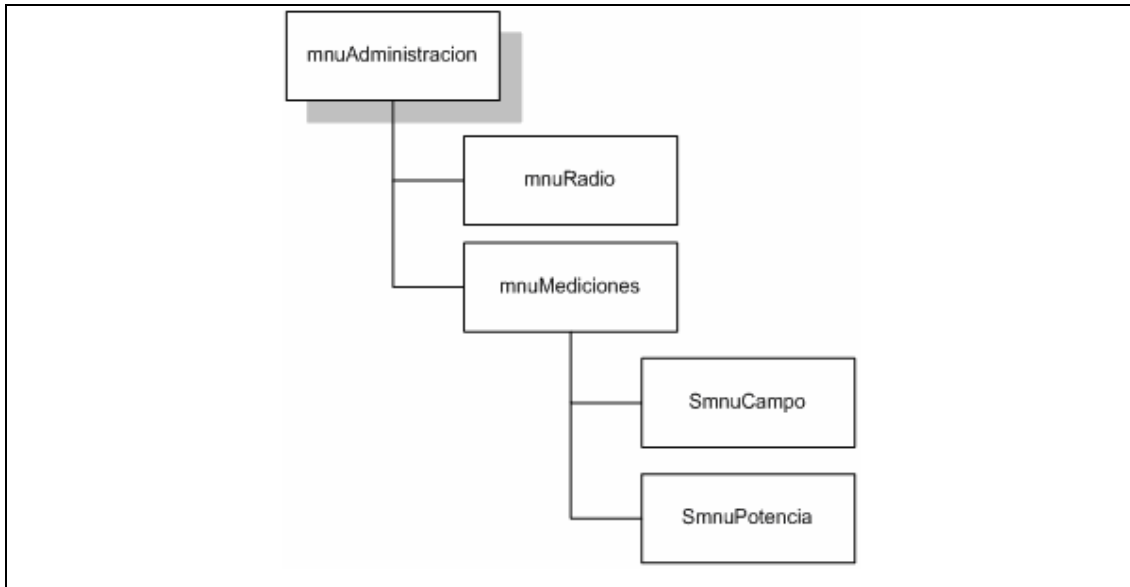


Figura 4.11.- Jerarquía de Comandos de la Opción Administración.

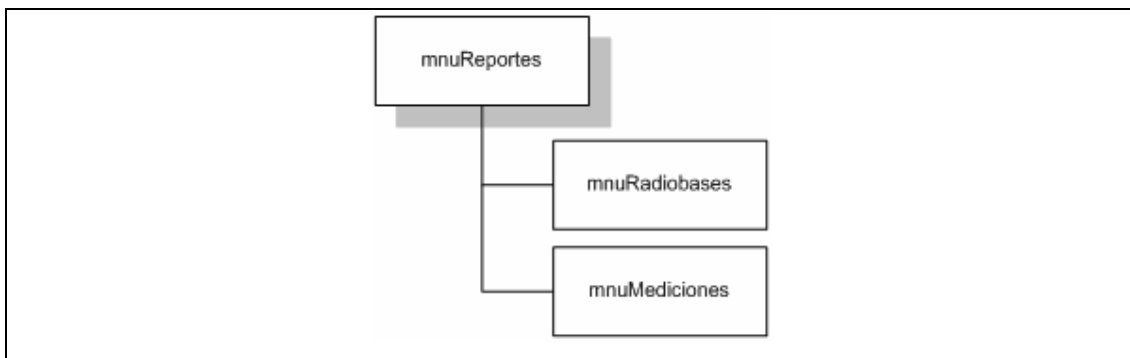


Figura 4.12.- Jerarquía de Comandos de la Opción Reportes.

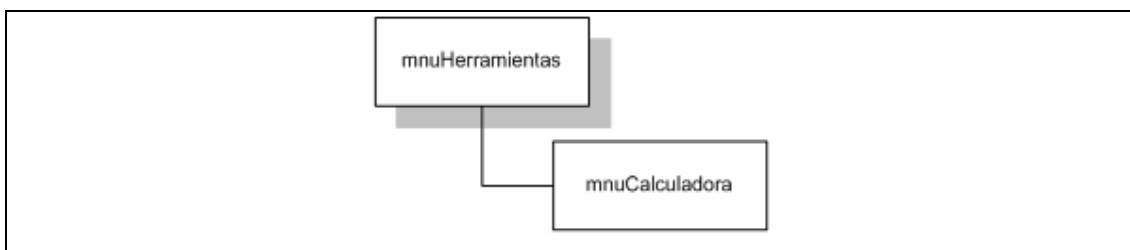


Figura 4.13.- Jerarquía de Comandos de la Opción Herramientas.



Figura 4.14.- Jerarquía de Comandos de la Opción Acerca.

4.6 DISEÑO DE LA INTERFAZ GRAFICA DE USUARIO GUI.

Para el diseño del Sistema, se utilizarán algunas de las CLASES de implementación que posee Visual Basic como: barras de menú, ventanas, botones, combos, grillas, cuadros y etiquetas de texto entre otros.

Cada una de las jerarquías de comando definidas en el apartado 4.5.3, se encuentran representadas por ventanas, sus atributos por cajas de texto o combos y sus servicios por botones que le permitirán al usuario interactuar con el sistema, es decir crear, modificar, grabar, y eliminar los datos de los recursos. Además el sistema permitirá visualizar e imprimir reportes de acuerdo a las opciones escogidas por el usuario.

4.6.1 Desarrollo de la Interfaz Gráfica de Usuario

La interfaz grafica de usuario utilizará un formato predeterminado por elementos importantes tales como: colores, texturas, tipos y tamaños de letras. Se clasificarán los datos de acuerdo a su naturaleza en la parte superior de la Ventana de dialogo, mientras que en la parte inferior se ubicarán los botones que permitirán realizar acciones sobre los datos.

CAPITULO 5

SIMULACIÓN DE LA RADIACIÓN EN LAS ESTACIONES RADIOBASE

En este capítulo se pretende dar una descripción detallada del software de Simulación Teórico utilizado, así como establecer todas las variables necesarias para la simulación y elaborar un procedimiento adecuado para el levantamiento del Mapa Simulado de Radiación.

5.1 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN

5.1.1 RADIA 1.1

Software para evaluar numéricamente la contaminación electromagnética producida por las estaciones base de telefonía móvil y sus posibles efectos sobre la salud: Impacto Ambiental, Efectos producidos por la RNII emitida.

Este software permite, mediante una interfaz gráfica, evaluar de una manera rápida y sencilla la potencia disipada en el aire por las radiobases de telefonía móvil.

Funciona bajo un entorno Microsoft WINDOWS 95 o superior, para realizar un uso óptimo del software se debe contar con los siguientes requisitos mínimos:

- ✓ 120 MHz de velocidad de reloj
- ✓ 16 MB de memoria RAM.

¹ RNI: Radiaciones No Ionizantes

Construye mapas con las densidades de potencia radiadas en las diferentes zonas señalando los valores límites para la densidad de potencia en países como España y en otros países con una normativa mucho más restrictiva como por ejemplo Alemania y Suiza.

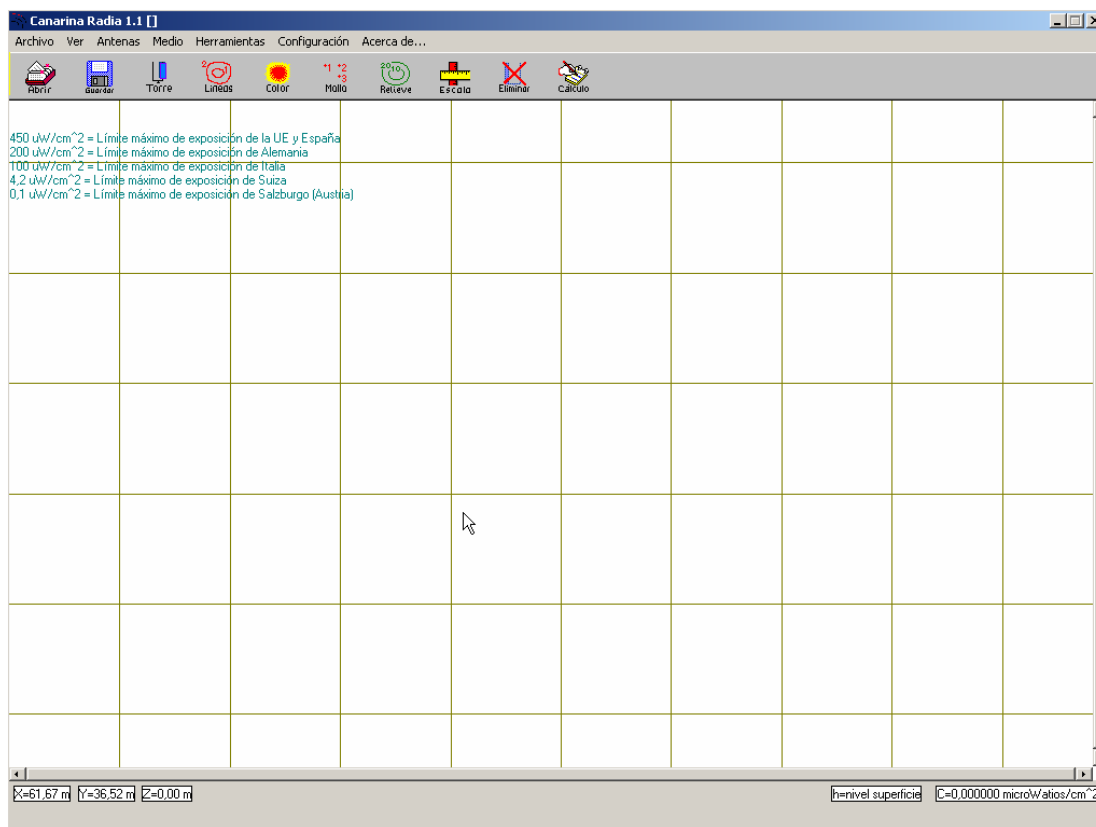


Figura 5.1.- Interfaz gráfica del RADIA 1.1

5.1.2 Aplicaciones de RADIA 1.1

- Ideal para estudios de impacto ambiental, auditorías medioambientales y para la gestión ambiental en general ya que permite evaluar los posibles efectos de la instalación de una estación base de telefonía móvil en sus alrededores. Especialmente útil en los alrededores de colegios, parques y hospitales ya que permite evaluar la radiación en dichas zonas antes de su instalación.
- Para torres de la telefonía móvil ya existentes, permite obtener mapas de las densidades de potencia radiadas que pueden ser complementarios de las medidas reales mediante equipos que toman datos en uno o varios puntos del terreno.

- Permite construir de una manera gráfica el escenario sobre el que se va a producir la simulación actuando interactivamente con el usuario de tal manera que se pueda diseñar la ubicación de las torres de la telefonía móvil atendiendo a sus efectos medioambientales y evitando la existencia de zonas con una alta radiación electromagnética.
- Para antenas de la telefonía móvil ya existentes, permite realizar estudios de riesgo ya que puede evaluar la contaminación electromagnética producida bajo condiciones teóricas extremas, es decir, máxima potencia de emisión.

5.1.4 Elementos de RADIA 1.1

5.1.4.1 Menú Principal

En la parte superior de la pantalla se encuentra la barra con el menú principal. En dicha barra encontramos los grupos de comandos agrupados bajo los siguientes nombres: Archivo, Ver, Antenas, Medio, Herramientas, Configuración y Acerca de..., como se indica en la Figura 5.1.

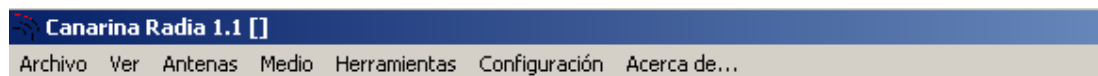


Figura 5.2.- Menú Principal RADIA 1.1 versión avanzada

Archivo

El menú Archivo incluye todo lo que tiene que ver con los ficheros de las simulaciones. Contiene los siguientes comandos: Nuevo, Abrir, Guardar, Importar imagen, Guardar Imagen, Importar Archivo DXF, Exportar Archivo DXF, Imprimir y Salir, tal como se muestra en la figura a continuación.

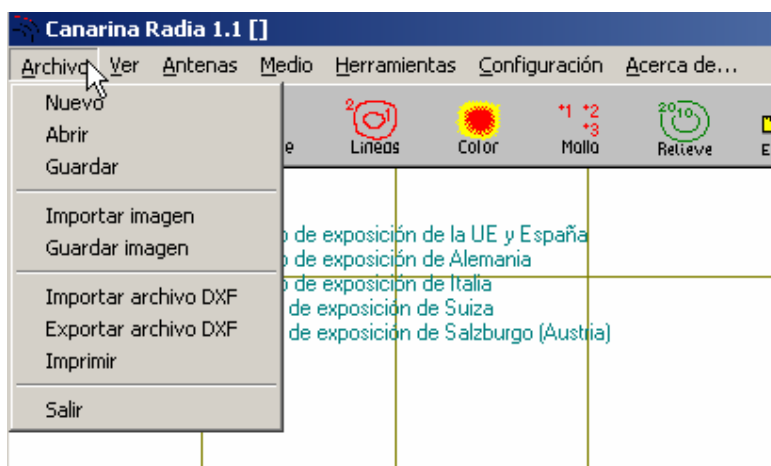


Figura 5.3.- Menú Archivo

- *Nuevo*: Permite comenzar una nueva simulación.
- *Abrir*: abre un fichero en el que previamente se ha guardado una simulación de contaminación electromagnética.
- *Guardar*: Permite guardar un fichero en el que previamente hemos trabajado. Los archivos almacenados tienen una extensión *.rad.
- *Importar imagen*: Con esta función se puede importar planos de AutoCAD, imágenes, fotos, todos previamente guardados en formato BMP¹ como imágenes de fondo en la ventana principal de Radia 1.1.
- *Guardar Imagen*: Este comando sirve para guardar la imagen que previamente hemos generado de la simulación. Generamos un archivo *.bmp.
- *Importar Archivo DXF*: Esta función permite importar planos de dibujos en formato DXF².
- *Exportar Archivo DXF*: Permite exportar resultados de RADIA en archivos con formato DXF compatibles con AutoCAD R14.
- *Imprimir*: Permite imprimir la pantalla de trabajo.

¹ BMP: Formato de las imágenes en bitmap de Windows

² DXF: Drawing Exchange Files

Ver

En esta opción del Menú se encuentra las siguientes funciones: Zoom, Fondo negro de pantalla, Fondo blanco de Pantalla, Dibuja cuadrícula, Elimina cuadrícula, Dibuja imagen de fondo y Elimina imagen de fondo.

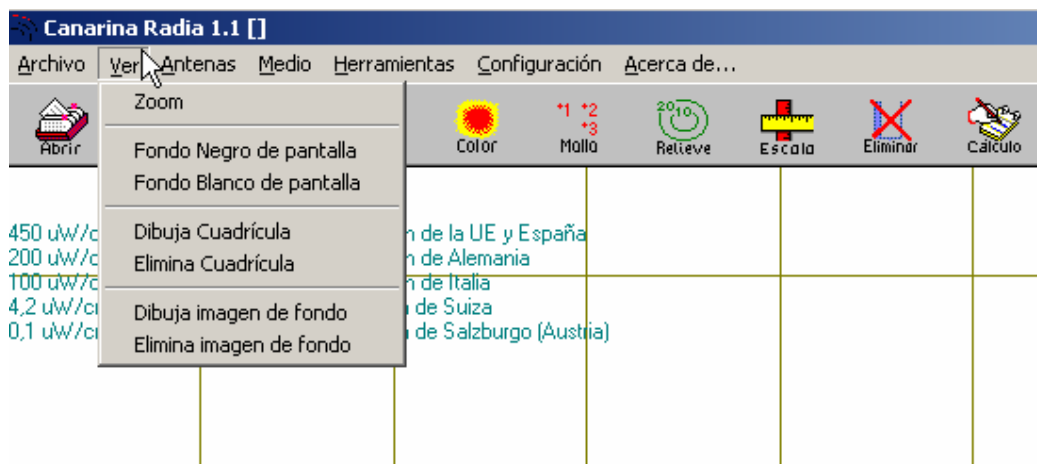


Figura 5.4.- Menú Ver

- *Zoom*: Se utiliza para ampliar en detalle una pequeña región de la vista del archivo con el que se está trabajando.
- *Fondo blanco de Pantalla*: Nos permite establecer un fondo blanco de pantalla en la representación gráfica.
- *Fondo negro de Pantalla*: Nos permite establecer un fondo negro de pantalla en la representación gráfica.
- *Dibuja y Elimina Cuadrícula*: La cuadrícula amarilla que aparece en el fondo de pantalla tiene por objeto el facilitar la realización del dibujo y podrá ser eliminado o no con estas dos funciones.
- *Dibuja y Elimina imagen de fondo*: Una vez cargado un archivo DXF como imagen de fondo, estas funciones permiten o no que esta imagen aparezca en pantalla.

Antenas

Este menú nos muestra los diferentes tipos de antenas con los que se puede trabajar en RADIA 1.1. Contiene el siguiente comando: Torre de Antenas, como se muestra en la Figura 5.5.

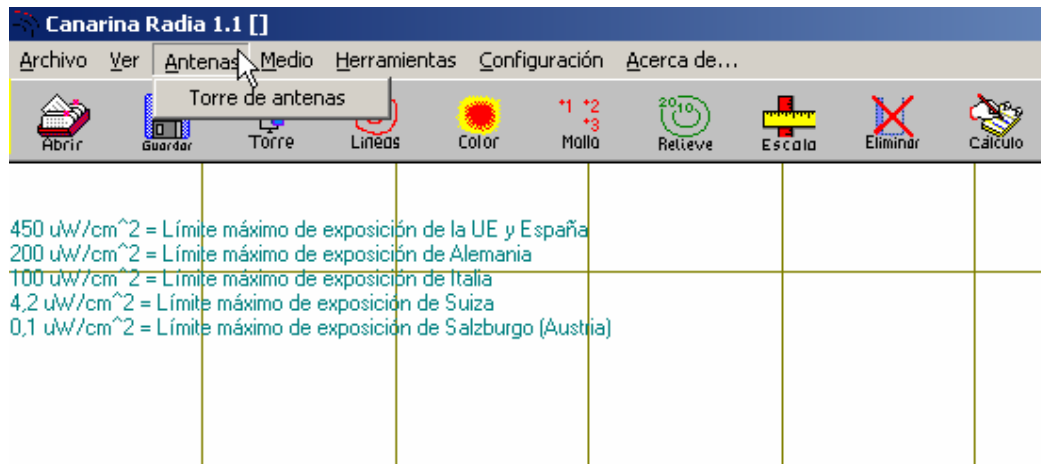


Figura 5.5.- Menú Antenas

- *Torre de Antenas*: Se refiere a un foco contaminante, fijo en una posición del espacio, y que es pequeño en relación al tamaño del área en el que estamos realizando la simulación. La configuración de la Torre se muestra en la sección 5.2.

Medio

Muestra las diferentes propiedades del medio físico donde se va a realizar la simulación. Contiene el siguiente comando: Relieve Topográfico.

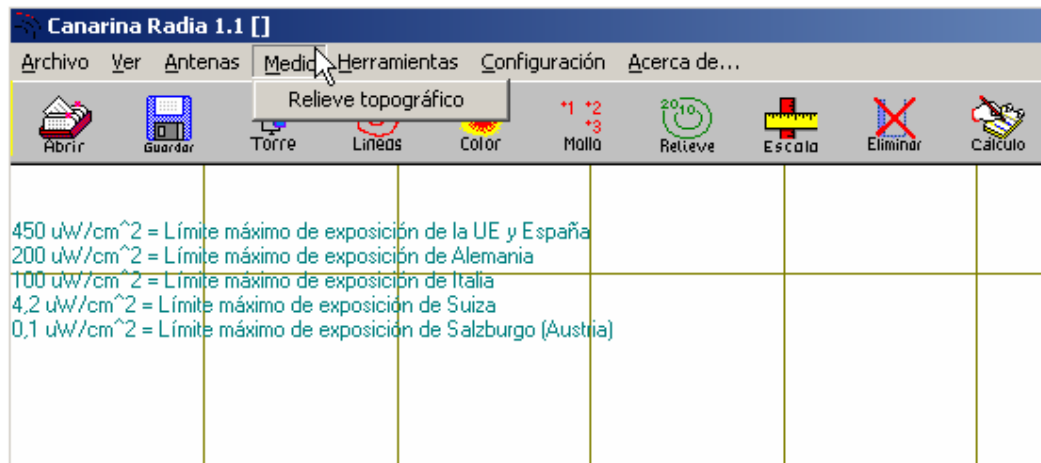


Figura 5.6.- Menú Medio

- *Relieve Topográfico*: Permite introducir en el dibujo efectos de relieve en el suelo del terreno (colinas, montañas, barrancos). Si no se define ningún perfil, el programa toma por defecto una superficie plana y de nivel 0 metros.

Herramientas

Incluye todo lo relacionado con los ficheros de las simulaciones. Contiene los siguientes comandos: Eliminar, Escala, Cálculo y comandos para tratar el dibujo resultante del proceso de simulación numérica como: Colorear, Malla Numérica y Dibuja líneas.

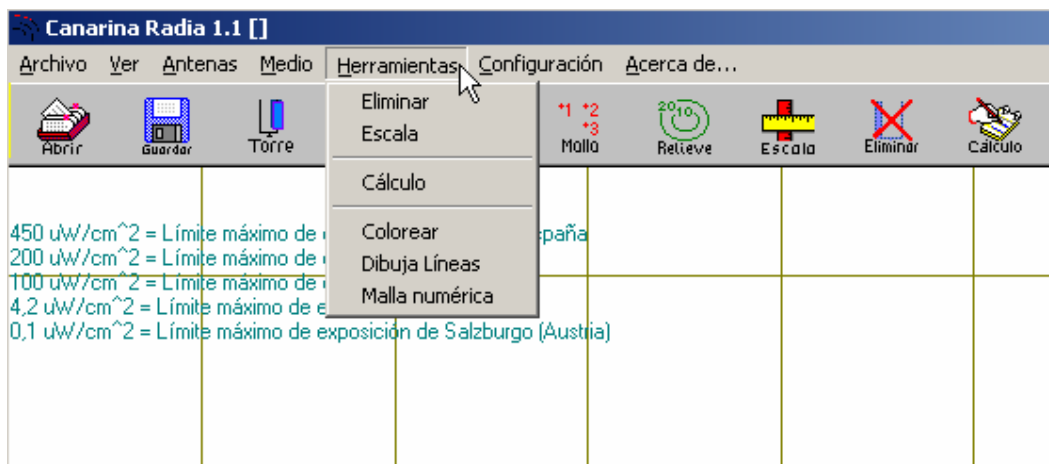


Figura 5.7.- Menú Herramientas

- *Eliminar*: Sirve para eliminar puntos de la malla, que actúan como torres de antenas, que no deseamos incorporar en los cálculos.
- *Escala*: sirve para definir el rango de trabajo en el proceso de simulación. Se define como el ancho en metros que deseamos asignar al eje X de nuestra pantalla de trabajo.
- *Cálculo*: Activa los algoritmos necesarios para realizar la simulación numérica. Esta función debe ser utilizada luego de introducir todos los parámetros necesarios para la simulación.
- *Colorear*: Sirve para realizar mapas de los resultados haciendo uso de colores. Es especialmente útil cuando la variación de la densidad de potencia radiada es muy fuerte en una distancia muy corta.
- *Dibuja líneas*: Muestra la Densidad de Potencia Radiada en forma de líneas topográficas.
- *Malla Numérica*: Permite obtener otra representación alternativa de las densidades calculadas, así, establece una malla numérica equiespaciada a lo largo de la pantalla de cálculo.

Configuración

Incluye todo lo relacionado con la configuración numérica de las simulaciones, que debe ser definida antes de ejecutar la simulación. Contiene los siguientes comandos: Colores de cálculo, Tamaño de malla, Líneas de concentración, Parámetros de las antenas, Origen de coordenadas DXF, opciones de Importación DXF y opciones de Exportación DXF.

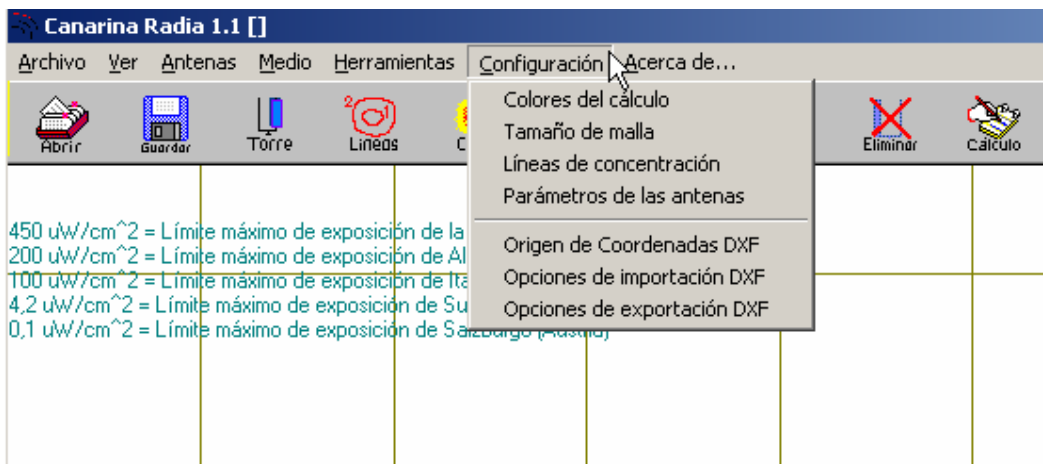


Figura 5.8.- Menú Herramientas

- *Colores de cálculo*: Permite escoger los colores en los que deseamos que se muestre la concentración de densidad de potencia.
- *Tamaño de Malla*: Es un parámetro que indica el número de puntos que vamos a tomar a la hora de evaluar una simulación numérica determinada. Además influye en la velocidad de procesamiento del computador. Por defecto RADIA usa un número de malla igual a 100.
- *Líneas de Concentración*: Su función es definir, antes de realizar el cálculo, el número de líneas de densidad constante que queremos tener en el gráfico resultante.
- *Parámetros de las Antenas*: Permite modificar los parámetros que usa la función Cálculo para simular la contaminación electromagnética que emite cada antena.
- *Origen de Coordenadas DXF*: Permite modificar el origen de un archivo DXF.

Acerca de...

Contiene Información del software, una breve descripción y los datos de sus fabricantes, como se muestra en la Figura 5.9.

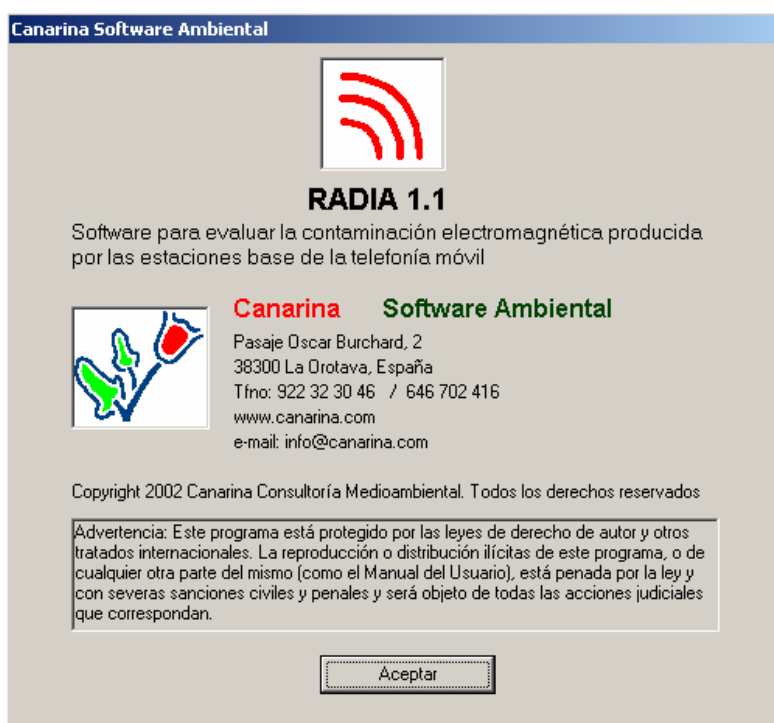


Figura 5.9.- Menú A cerca de...

5.1.4.2 Barra de Herramientas

Debajo del Menú Principal se encuentra la Barra de Herramientas que contiene las funciones habituales de RADIA 1.1 en forma de íconos para su fácil utilización. Como se muestra en la Figura 5.2, por ejemplo encontramos las funciones *Abrir*, *Guardar*, *Torre*, *Relieve* que son habitualmente utilizadas por el usuario.



Figura 5.10.- Barra de herramientas de RADIA 1.1

5.1.4.3 Espacio de Trabajo

El espacio en blanco en el centro de la pantalla, se utiliza para dibujar y simular los procesos de contaminación electromagnética en dos dimensiones. Los dibujos se realizan

en un plano paralelo a la superficie terrestre, así una torre de antenas queda representada como un pequeño punto en el plano.

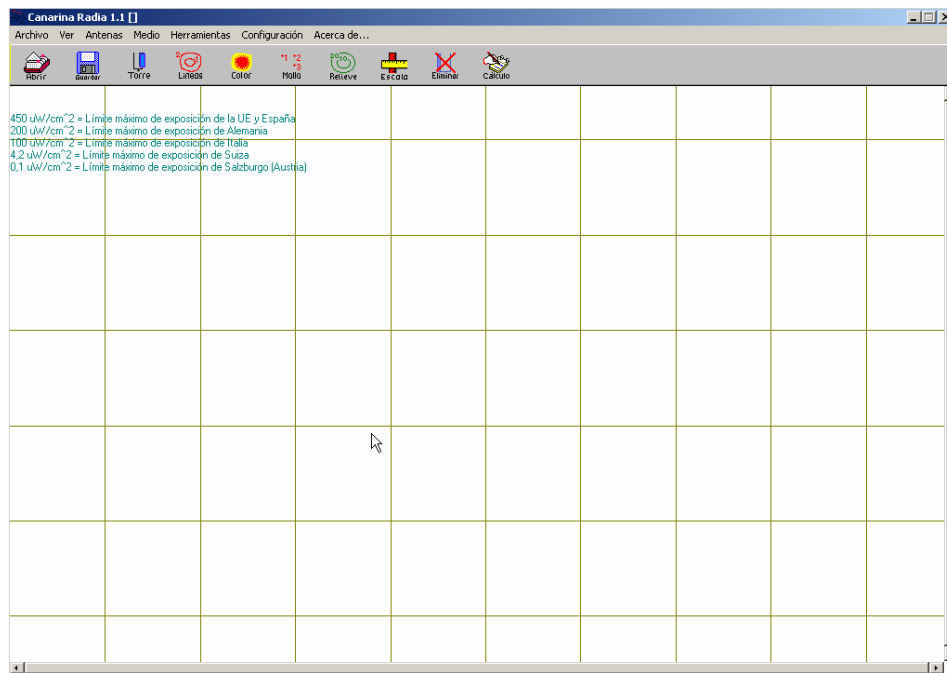


Figura 5.11.- Espacio de Trabajo

Debajo del espacio antes descrito encontramos indicadores que nos dan información de nuestro sistema. Como se muestra en la Figura 5.12, en la parte inferior izquierda tenemos los indicadores de las coordenadas **X**, **Y** y **Z** de la representación que estamos actualmente visualizando, los valores están en metros.

X=94,78 m Y=-0,39 m Z=0,00 m

Figura 5.12.- Información de Coordenadas

Como se muestra en la Figura 5.13, en la parte inferior derecha encontramos dos casillas que nos indican: la altura a la que estamos realizando la simulación y la densidad de potencia emitida en el punto exacto donde se encuentra ubicado el cursor en microWattios por centímetro cuadrado ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$).

h=nivel superficie C=0,000000 microWattios/cm²

Figura 5.13.- Densidad de Potencia Emitida.

En la parte superior izquierda aparecen los valores límites para la Densidad de Potencia en España y en otros países de nuestro entorno, para ayudar a tener una idea de los niveles máximos de radiación existentes a nivel mundial, como se muestra en la Figura 5.14.

450 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ = Límite máximo de exposición de la UE y España				
200 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ = Límite máximo de exposición de Alemania				
100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ = Límite máximo de exposición de Italia				
4,2 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ = Límite máximo de exposición de Suiza				
0,1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ = Límite máximo de exposición de Salzburgo (Austria)				

Figura 5.14.- Límites de Densidad de Potencia en varios países.

5.1.5 Estructura de Funcionamiento del Programa

La estructura general de funcionamiento del programa RADIA 1.1 es la siguiente:

- Si es el caso, importar el plano de AutoCAD o fotografía aérea de la población a analizar.
- Introducir los parámetros necesarios para la simulación, es decir, las antenas, los relieves topográficos, las especificaciones numéricas de cálculo como son la escala y el número de puntos.

- Aplicar la Función Cálculo, que usará toda la información antes descrita para obtener las Densidades de Potencia en cada punto de la malla que anteriormente hemos definido.
- Finalmente se puede utilizar las Funciones: Colorear, Malla Numérica y Dibuja líneas para definir el formato con el que deseamos que la imagen se muestre.
- Si se realiza cualquier cambio en los datos ingresados, la función Cálculo deberá ser aplicada nuevamente para obtener un nuevo resultado con las nuevas condiciones iniciales.

A continuación se resume esta estructura en la Figura 5.15

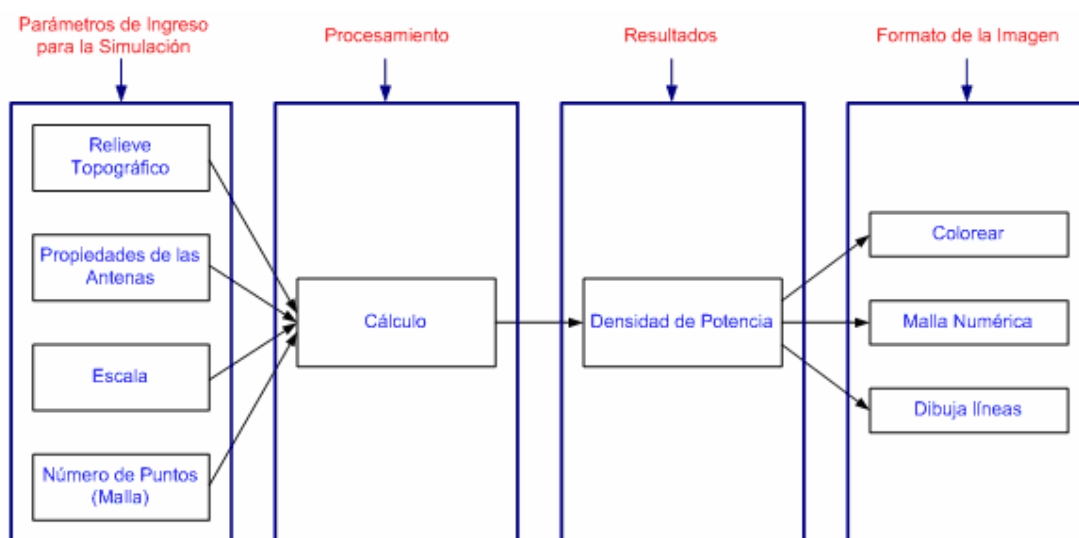


Figura 5.15.- Estructura de Funcionamiento de RADIA 1.1.

5.2 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS PARA LA SIMULACIÓN

Existen ciertos parámetros muy importantes el momento de realizar la simulación, entre los más importantes tenemos:

5.2.1 Antenas

El menú Antenas nos muestra un submenú en el cual podemos añadir una antena contaminante en nuestro Mapa de Radiación.



Figura 5.16.- Menú Antenas

Al hacer un clic con el ratón sobre dicho submenú se despliega el siguiente cuadro de diálogo:

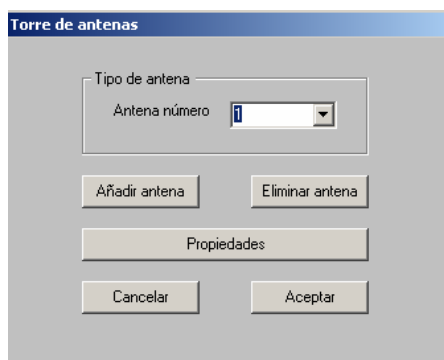


Figura 5.17.- Ingreso de Parámetro de una Radio Base.

Torre de Antenas.- Se refiere a un foco contaminante, fijo en una posición del espacio, y que es muy pequeño en relación al área en el que estamos realizando la simulación, en pocas palabras se trata de las estaciones Radio Base de telefonía celular. Si consideramos, por ejemplo, un área de varios cientos de metros en nuestros ejes X e Y, el tamaño que ocupa la torre de antenas podrá considerarse como un punto material¹ en nuestra simulación. Por ello, lo trataremos como un foco. En esta ventana de diálogo podremos colocar tantas antenas como queramos en la estación Radio Base de Telefonía Móvil, esto

¹ Tomado de Canarina Radia, Manual del Usuario

lo hacemos haciendo clic en AÑADIR ANTENA. De igual forma si queremos quitar alguna antena de la Radio Base haremos clic en ELIMINAR ANTENA.

Supongamos que fijamos dos antenas para la torre (hacemos Clic en AÑADIR ANTENA).

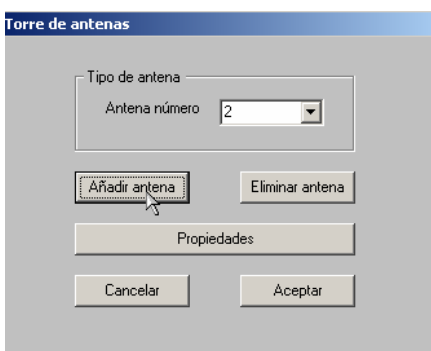


Figura 5.18.- Añadir Antena en el Mapa de Radiación

Antes de definir las propiedades de la antena, haremos uso de la flecha que acompaña la casilla donde aparece el número de la antena para elegir cual antena queremos editar. En nuestro caso en particular podemos escoger entre “1” y “2”, si hacemos clic sobre el botón PROPIEDADES aparecerá la siguiente ventana de diálogo (Figura 5.19):

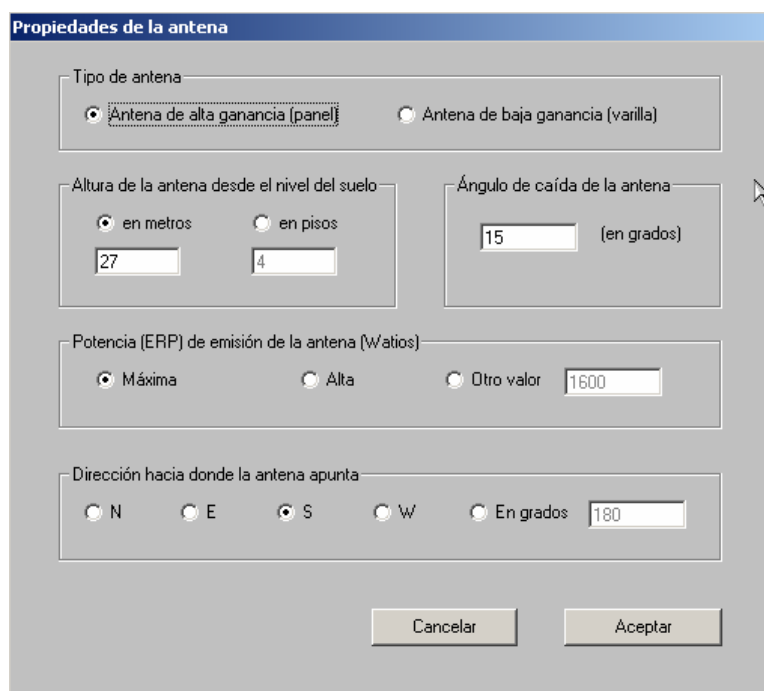


Figura 5.19.- Edición de las Propiedades de la Antena Simulada.

En esta ventana se indican las propiedades de la Antena escogida con la flecha de la ventana anterior. Dichas propiedades las podremos cambiar según las necesidades de nuestra simulación.

Los parámetros de la antena a introducir serán:

Tipo de Antena.- Definimos si la antena es de alta o baja ganancia (Panel o Varilla).

Altura de la Antena desde el Nivel del Suelo.- Es la altura de la antena sobre el nivel del suelo. Se expresa en metros (m) o bien en número de pisos de construcción. En el programa un piso de construcción son tres metros de alto¹.

Angulo de Caída de la Antena (grados).- Este valor solo es válido para antenas de alta ganancia. Dichas antenas suelen tener una pequeña inclinación (Downtilt) hacia debajo de tal manera que apuntan hacia un punto que está entre 50 y 200 metros de la Radio Base de la antena. Este valor a ingresar está comprendido entre 5 a 20 grados.

Potencia de Emisión de la Antena (Wattios).- Es la potencia con la que la antena está trabajando dada en Wattios, se puede elegir entre un valor alto o máximo o bien introducir el valor numérico que se desee. La máxima potencia es 1600 Wattios.

Dirección hacia donde apunta la antena.- Este valor solo es válido para antenas de alta ganancia. Dichas antenas apuntan a una dirección determinada. Puede tomarse en grados, siendo 0 grados la dirección Norte, o bien las direcciones de los puntos cardinales (N, E, S, W).

Ingresando todos estos parámetros y tras pulsar ACEPTAR, quedarán fijadas las PROPIEDADES DE LA ANTENA PUNTUAL, podremos introducir tantas antenas como deseemos (antenas de alta y baja ganancia) en cada torre de antenas.

Al hacer clic sobre la opción ACEPTAR de la ventana TORRE DE ANTENAS aparece la siguiente pantalla en el programa:

¹ Canarina Radia, Manual del Usuario

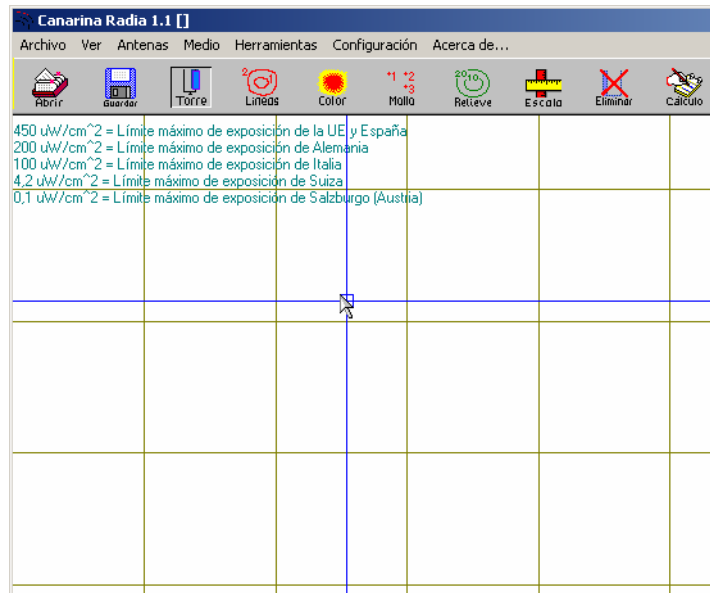


Figura 5.20.- Selección del Foco de Contaminación.

Se pueden visualizar con dos ejes de color azul el lugar donde podremos colocar nuestra antena si así lo deseamos, al mover el cursor del ratón, en la parte inferior izquierda se encuentra la barra de estado en la cual se indican los tres ejes mas importantes en el mapa de simulación: ancho, largo y altitud (X, Y y Z respectivamente). Si ahora hacemos clic con el ratón sobre dicho punto escogido y señalado en la pantalla situaremos en dicho punto una torre de antenas con las características que anteriormente configuramos, quedando la pantalla de la siguiente manera:

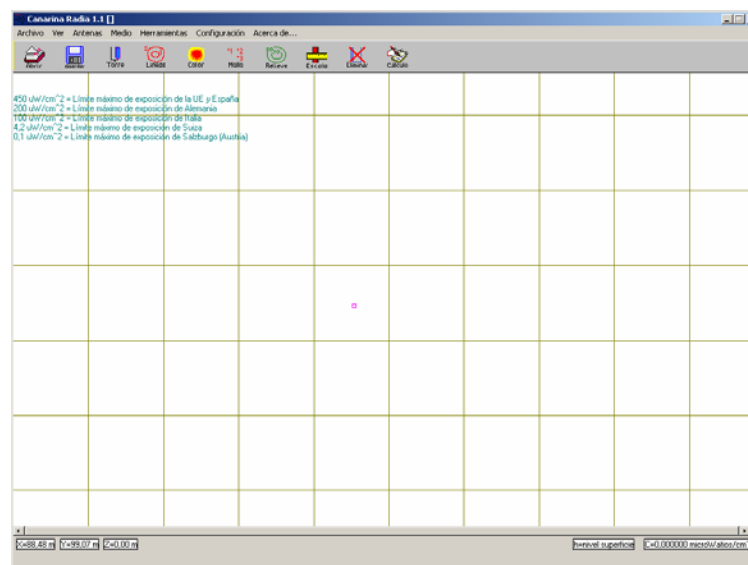


Figura 5.21.- Ubicación del Foco de Contaminación

Si deseáramos situar otra antena puntual, bastará con volver a repetir la operación anterior. Podremos añadir tantas antenas puntuales como deseemos. El programa admite diferencias en la topografía del terreno y que las diversas antenas estén a diversas alturas.

5.2.2 Medio

El menú Medio nos muestra los comandos que tratarán sobre las diferentes propiedades del medio físico donde realizaremos la simulación, es decir, el relieve topográfico. Al hacer un clic sobre dicho menú se despliega la siguiente opción:

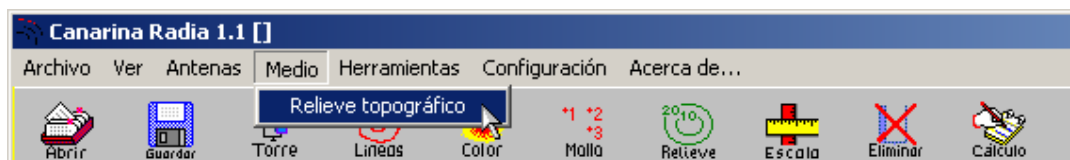


Figura 5.22.- Menú Medio

Relieve Topográfico.- Esta función es para introducir en el Mapa de Simulación efectos de relieve de terreno (colinas, montañas, barrancos, etc...). Esta opción tiene interés si deseamos evaluar los niveles de densidad de potencia a nivel del suelo cuando nos encontramos en una superficie de forma irregular. Si hacemos clic sobre dicha opción, aparecerá la siguiente ventana de dialogo:

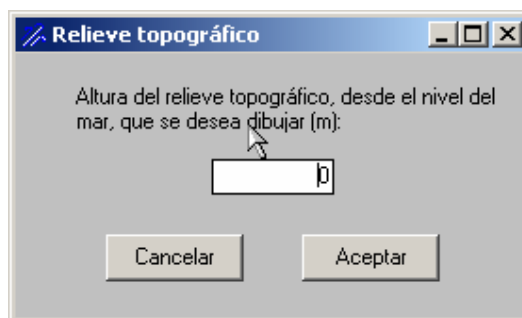


Figura 5.23.- Ingreso de Altura de Relieve Topográfico

En donde el cursor aparecerá parpadeando en la casilla que refleja la altura topográfica. Dicha altura estará referida al nivel del mar y hay que escribirla en metros. El programa toma por defecto una superficie plana y de nivel 0 metros. Por ello, deberemos de escribir una cantidad diferente de cero en la casilla antes de pulsar el Botón Aceptar. Por ejemplo el valor de 15 m.

Una vez pulsado el botón aceptar, aparecerá una pantalla como la siguiente:

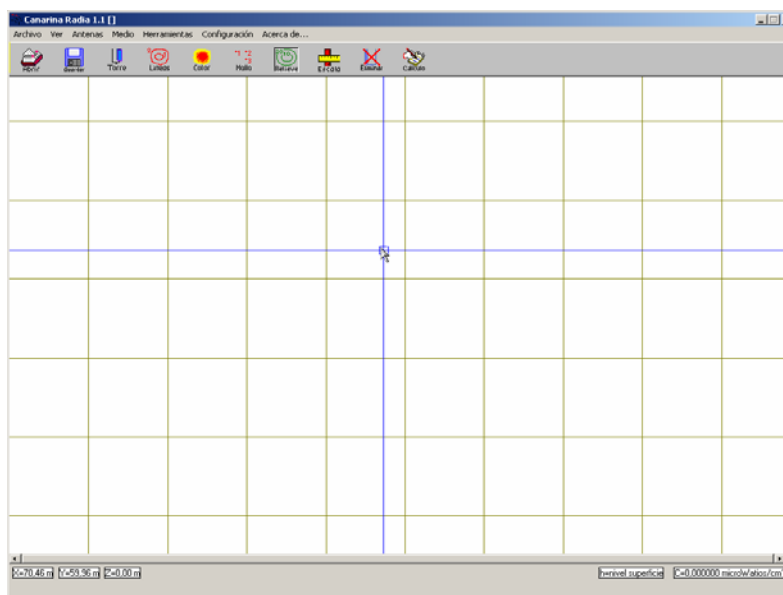


Figura 5.24.- Escogiendo Inicio Área de Relieve

En la Figura 5.24 aparece señalado con dos ejes de color azul el lugar donde podrá ser situado el inicio del relieve topográfico si así lo deseamos. Si hacemos un clic con el ratón sobre el punto señalado en la pantalla situaremos en dicho punto el inicio del área donde levantaremos el relieve. Debemos mantener pulsado el ratón a la vez que lo movemos a lo largo de la pantalla hasta ubicar el punto final del relieve topográfico

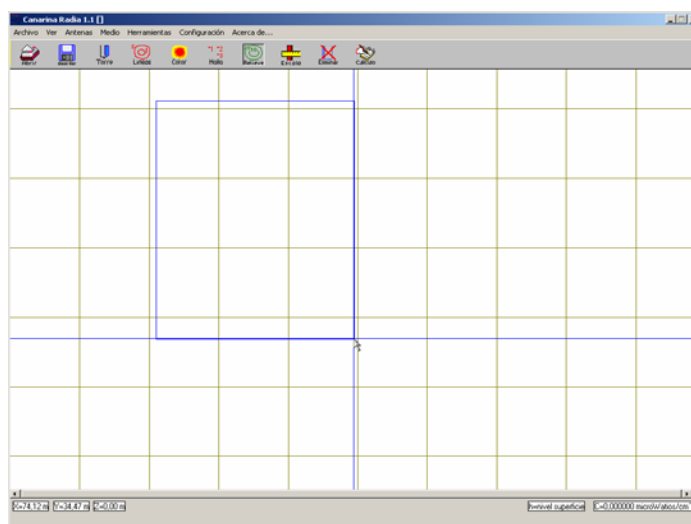


Figura 5.25.- Escogiendo Fin de Área de Relieve

Aparece un recuadro de color verde que indica que todo lo que se encuentra dentro del recuadro está a una altura de 15 metros respecto al nivel del mar que se encuentra a 0

metros. Aparece a mitad de la Pantalla una señalización indicando la Altura Topográfica de la línea dibujada.

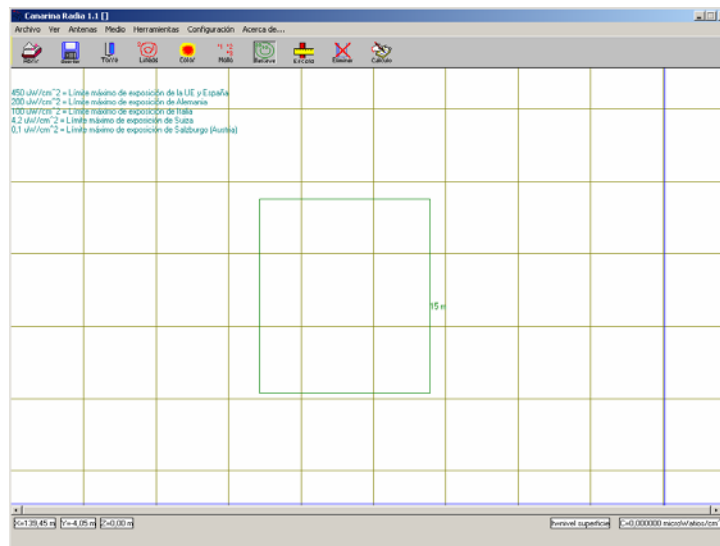


Figura 5.26.- Configuración Final de Relieve Topográfico

Es conveniente trabajar las líneas topográficas con la función ZOOM activada al 100% ya que la resolución del mapa quedará determinada con la función TAMAÑO DE MALLA de la barra de herramientas. Si usamos el zoom ampliado no tendremos necesariamente una mayor resolución del relieve topográfico, para tener mayor resolución debemos tomar mayor cantidad de puntos en nuestro tamaño de malla¹.

En la Figura 5.27 podemos observar como un rectángulo de 10 m de alto se representa en el programa (parte superior) y cual es su equivalente visto de perfil (parte inferior)

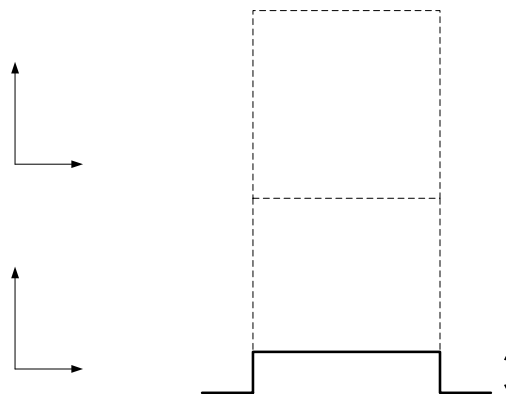


Figura 5.27.- Representación de una altura en Radia Canarina

¹ Canarina Radia, Manual de Usuario.

Si quisiéramos representar una pequeña montaña a base rectángulos, la figura 5.27 quedaría como sigue:

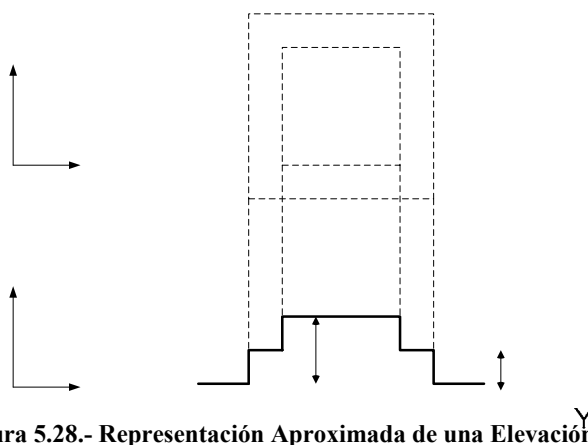


Figura 5.28.- Representación Aproximada de una Elevación^Y

De esta manera podríamos ser capaces de dibujar cualquier perfil topográfico arbitrario simulando su forma mediante líneas rectangulares que son las que el programa admite

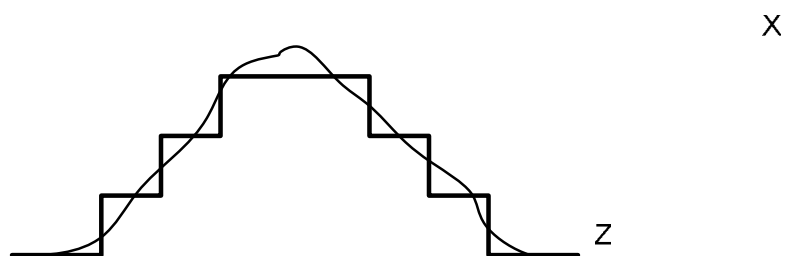


Figura 5.29.- Relieve Simulado en Radia

A mayor número de superficies cuadradas que simulen el perfil mayor es la precisión de la simulación. Finalmente, el software de simulación Radia no admite alturas topográficas negativas¹.

5.2.3 Escala

La función Escala que se encuentra en el Menú Herramientas, nos sirve para definir la escala total del mapa de radiación. De su buen uso depende la interpretación final de la

¹ Canarina Radia, Manual del Usuario

simulación numérica. La escala se define según el ancho en metros que deseemos asignar al eje X de nuestro espacio de trabajo.

El momento que ingresamos al menú Escala podremos elegir el número en metros que deseamos tener en el eje X (Figura 5.30). Cuando tengamos el valor correcto ingresado, hacemos clic en Aceptar y los nuevos valores quedarán establecidos y desaparecerá la ventana anterior.

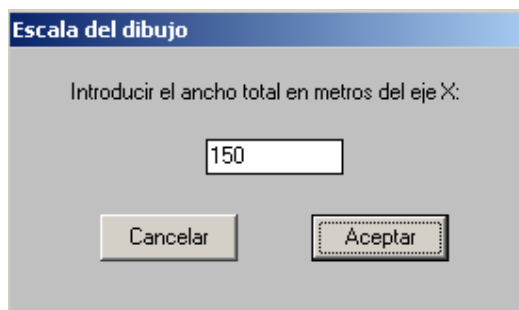


Figura 5.30.- Escala de Dibujo

Este comando es la base en nuestro mapa de simulación ya que este parámetro debe estar perfectamente definido antes de ejecutar la simulación numérica.

Para escalar nuestro mapa de radiación hicimos uso de Autocad en el cual se exportó una imagen en formato bmp para luego exportarlo en Radia y de esta manera escalar correctamente el Mapa Digital.

5.2.4 Cálculo

La función cálculo realiza la simulación numérica luego de haber introducido todos los parámetros antes explicados, es decir, las Antenas, los relieves topográficos y las especificaciones de Mallado o puntos de Cálculo. Con esta función, obtenemos las densidades de potencia radiadas en cada punto donde colocamos un foco de contaminación. Si cambiamos cualquiera de los parámetros de las antenas como posición, altura, dirección o potencia debemos de volver a aplicar la función CÁLCULO para poder realizar una correcta simulación.

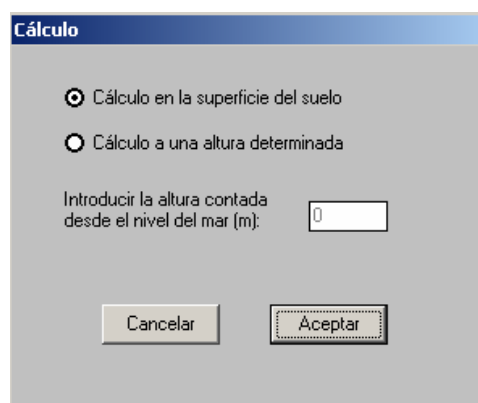


Figura 5.31.- Parámetros requeridos para la Simulación Numérica

En la ventana de la Figura 5.31 podremos elegir si queremos realizar el cálculo sobre la superficie del terreno o bien a una altura determinada.

En la primera opción, el cálculo de las densidades de potencias radiadas se realizará en la superficie del Terreno. Dichas alturas dependerán de los relieves topográficos que anteriormente hemos levantado.

Si elegimos la opción para el cálculo a una altura determinada, deberemos introducir en la casilla correspondiente el plano en el que obtendremos los resultados acotados desde el nivel 0 o nivel del mar.

El momento que hemos ingresados todos los datos correctamente haremos clic en el botón aceptar y una ventana con mensajes numéricos dinámicos nos indicará el punto que se está evaluando del total de la malla.

El resultado se obtiene en formato de líneas de densidad de potencia constante (Figura 5.32) y en color de violeta claro no se muestra el punto que tiene la mayor cantidad de densidad, en la actualización 1.2 de la versión del Radia, se pueden cambiar estos colores para una mejor interpretación de los datos.

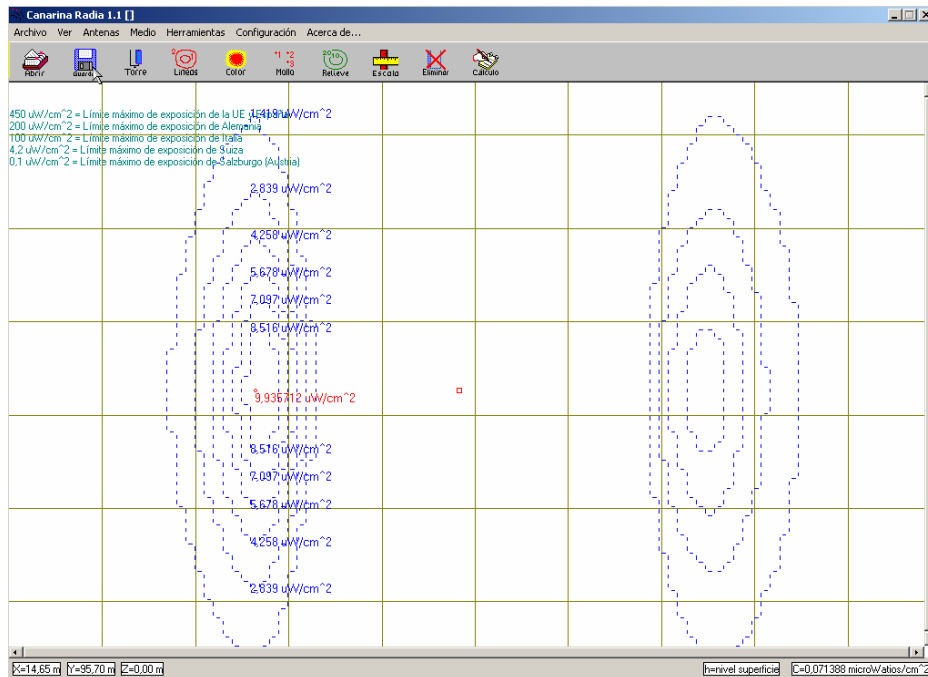


Figura 5.32.- Simulación de Radiación haciendo uso de Líneas

Al mover el puntero del ratón a lo largo de la pantalla observamos que en la barra de estado en la posición inferior derecha se nos muestra la correspondiente densidad de potencia calculada.

h=nivel superficie C=4,316926 microWattios/cm²

Figura 5.33.- Información de Valores de Densidad de Potencia

Dentro del mismo menú de Herramientas existe el comando Colorear, esta función nos permite realizar mapas de los resultados haciendo uso de los colores, es especialmente útil cuando la variación de la densidad de potencia radiada es muy fuerte en una distancia muy corta.

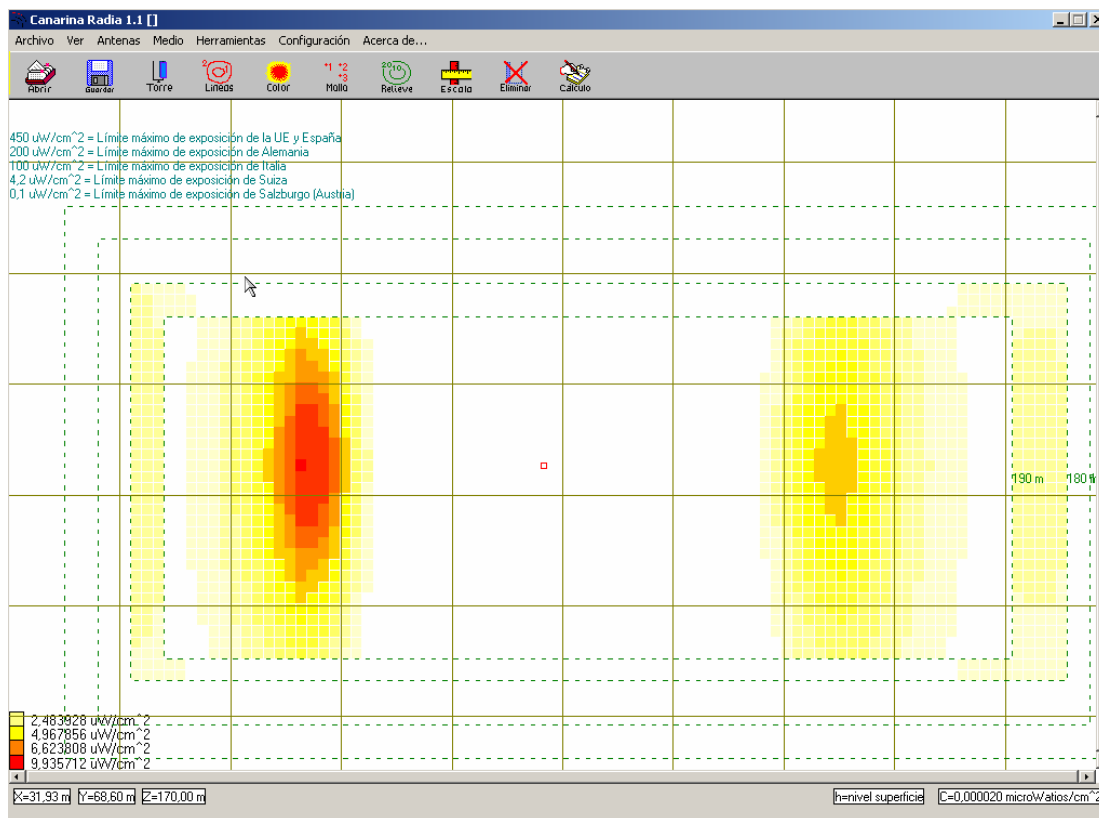


Figura 5.34.- Simulación de Radiación haciendo uso de Colores

El uso de los colores en una simulación se justifica cuando el cambio de la magnitud varia en unos pocos elementos de la malla simulada, el uso de líneas de densidad de potencia constante produce una superposición en el mismo lugar de la pantalla produciendo la difícil lectura e interpretación de los datos.

Al utilizar la función colorear podemos observar que las líneas ha desaparecido y que aparece un gradiente de colores. En la parte inferior izquierda el programa toma el valor máximo de la densidad y le asigna el color rojo, a partir de éste punto, y en una forma lineal, el programa va asignando una serie de escalas de color proporcional.

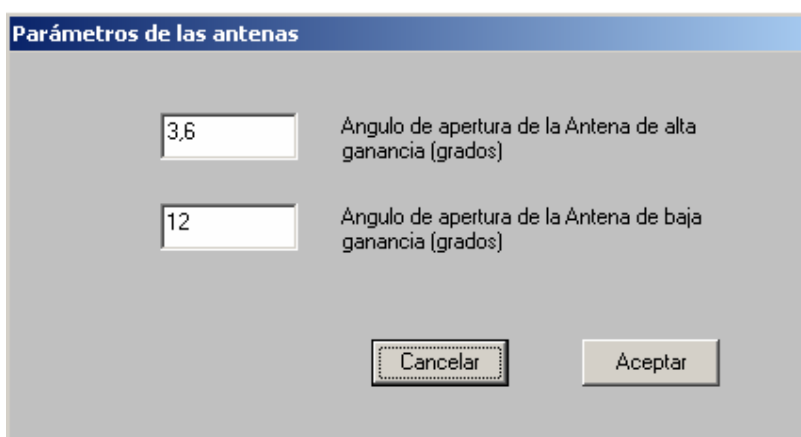
Finalmente existe una función que permite la representación alternativa para presentar las densidades calculadas; la malla numérica, esta función establece una malla numérica equiespaciada a lo largo de la pantalla de cálculo y es especialmente útil si trabajamos con planos topográficos de fondo en formato DXF.

5.2.5 Tamaño de Malla

En el menú configuración se encuentra este parámetro importante en la configuración del sistema a simular. El número de puntos a evaluar va a aumentar cuadráticamente con el número de puntos elegido N , es decir aumentará como N^2 . Luego de ingresar el número de mallas y aceptar el valor ingresado, el programa inicializa todo y borra todo lo escrito anteriormente.

5.2.6 Parámetros de las Antenas

En este menú podemos modificar los parámetros que usa la función de cálculo para simular el campo electromagnético que emite cada antena. Esta función no debe cambiarse si no se conocen datos precisos de la Antena Emisora o con fines de simulación avanzada



Parámetros de las antenas

3,6	Angulo de apertura de la Antena de alta ganancia (grados)
12	Angulo de apertura de la Antena de baja ganancia (grados)

Cancelar Aceptar

Figura 5.35.- Parámetros de las Antenas, alta y baja ganancia

5.3 CONSIDERACIONES DE DISEÑO DEL MAPA DIGITAL.

En este apartado se pretende proporcionar una visión detallada del proceso seguido para la obtención de los mapas de densidad de potencia calculados sobre todo el Valle de los Chillos y San Rafael.

5.3.1 Relieve Topográfico

Antes de realizar el levantamiento del Mapa Digital se hizo un reconocimiento de cada una de las Radio Bases las cuales son objeto de estudio, la medición del relieve en comparación al nivel del mar se la realizó con la ayuda de un GPS¹.

Alturas Antenas		
Radio Base	Altura (mts.)	Operadora
B1	2546,00	Porta
B2	2515,00	Alegro
B3	2529,00	Movistar
B4	2506,00	Porta
B5	2485,00	Movistar
B6	2484,00	Alegro
B7	2554,00	Porta
B8	2560,00	Alegro
B9	2502,00	Porta
B10	2713,00	Movistar
B11	2777,00	Alegro
B12	2882,00	Porta
B13	2866,00	Movistar

Tabla 5.1.- Distribución de Alturas área de Investigación

Se realizó un perfil con la ayuda de Microsoft Excel, el cual ayudará a levantar el relieve topográfico en el software de Simulación Radia (Figura 5.36).

¹Global Positioning System (GPS) o Sistema de Posicionamiento Global

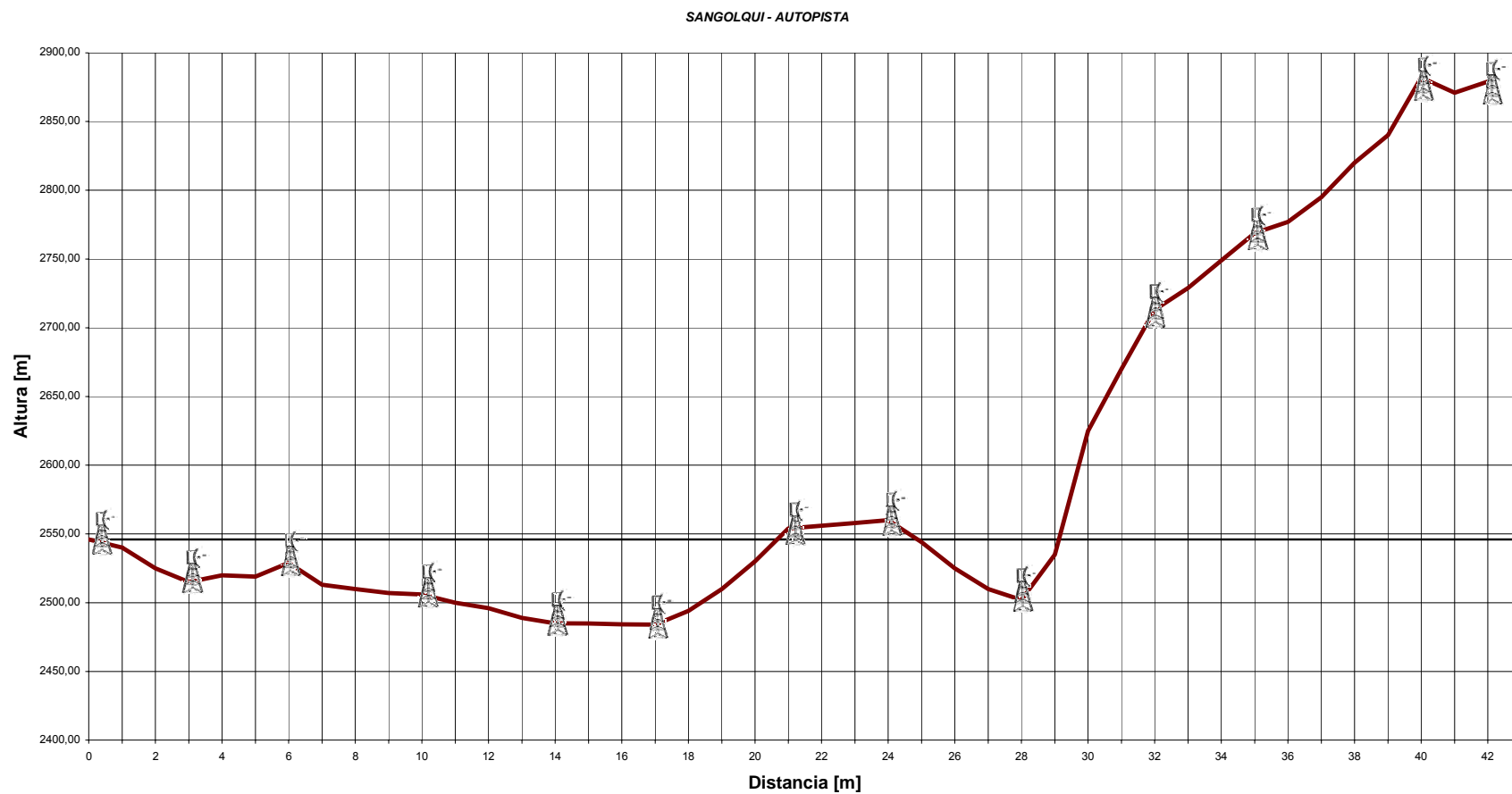


Figura 5.36.- Relieve Topográfico levantado sobre Microsoft Excel

La distancia, en línea de vista, entre la B1 y la B13 es de 11,37 Km y las alturas están distribuidas en diferentes niveles. Para poder representar todos los puntos evaluados se dividió al mapa en 3 zonas perfectamente diferenciadas, esto con el fin de facilitar la construcción del relieve topográfico en Canarina Radia. Los valores de cada una de las zonas así como las RadioBases involucradas en cada una de ellas se muestran en la Tabla 5.2

ZONA 1		
B1	2546,00	Porta
B2	2515,00	Alegro
B3	2529,00	Movistar
B4	2506,00	Porta
B5	2485,00	Movistar
B6	2484,00	Alegro
Promedio	2510,83	

ZONA 2		
B7	2554,00	Porta
B8	2560,00	Alegro
B9	2502,00	Porta
Promedio	2538,67	

ZONA 3		
B10	2713,00	Movistar
B11	2777,00	Alegro
B12	2882,00	Porta
B13	2866,00	Movistar
Promedio	2809,50	

Tabla 5.2.- Valores de las 3 zonas promediadas.

La Figura 5.40 nos muestra el promedio del relieve topográfico con la ubicación de las Radio Bases en su posición original.

SANGOLQUI - AUTOPISTA

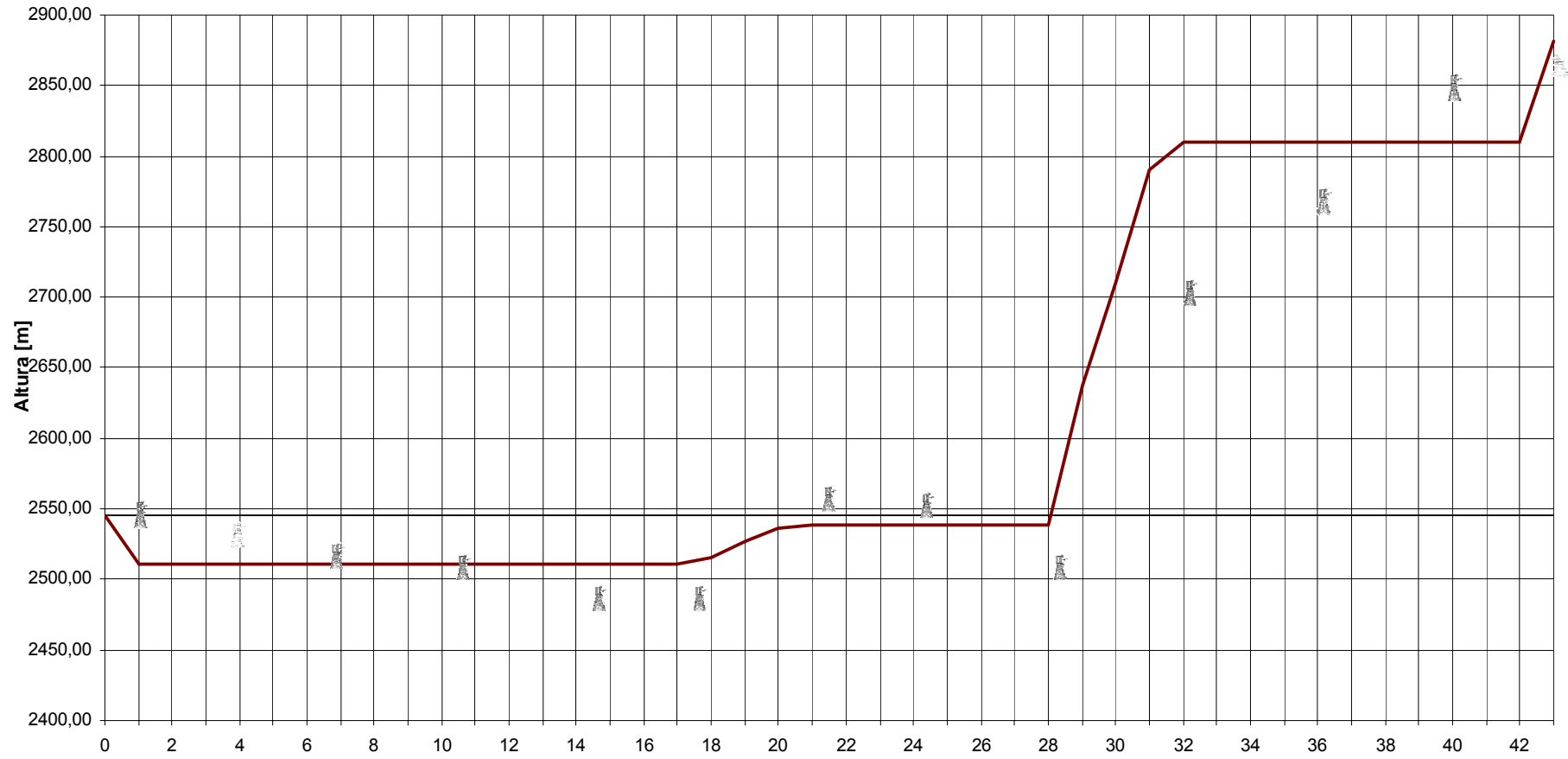


Figura 5.37.- Promedio del Relieve Topográfico

Finalmente se levanto el relieve topográfico de la siguiente manera:

- Se escala al mapa con la ayuda de Autocad. La escala establecida para que el mapa cuadre en la pantalla es 20678,25m.
- Con la herramienta *Relieve* del software Canarina Radia, se establece cada uno de los niveles. Entre cada zona promedio, se ha realizado subniveles que simularían el relieve topográfico evaluado. La Figura 5.41 muestra el relieve finalizado con el mapa digital como base.

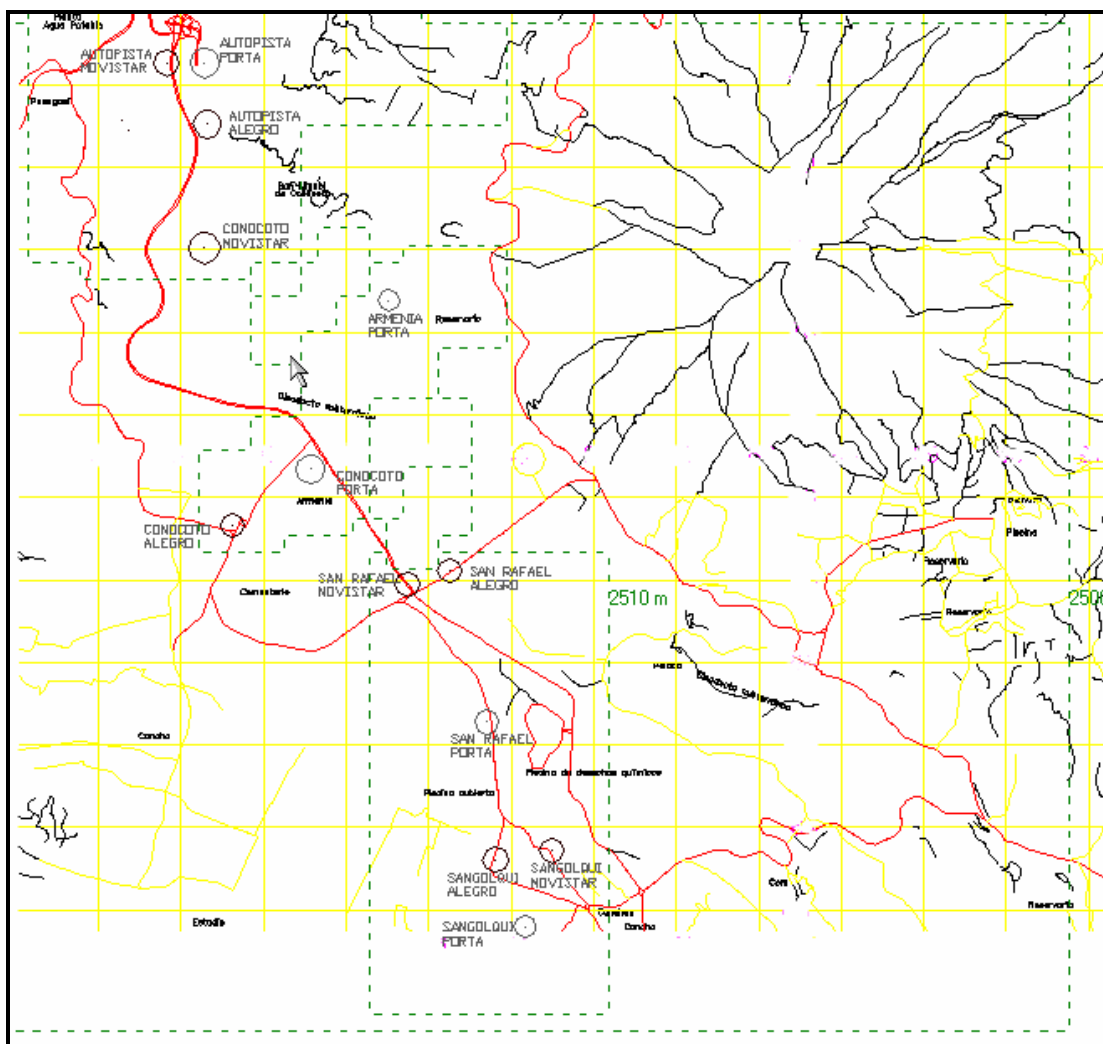


Figura 5.38.- Relieve Levantado en Canarina Radia, como base el mapa digital

Se puede observar claramente que todas las radiobases han quedado ajustadas a las escala.

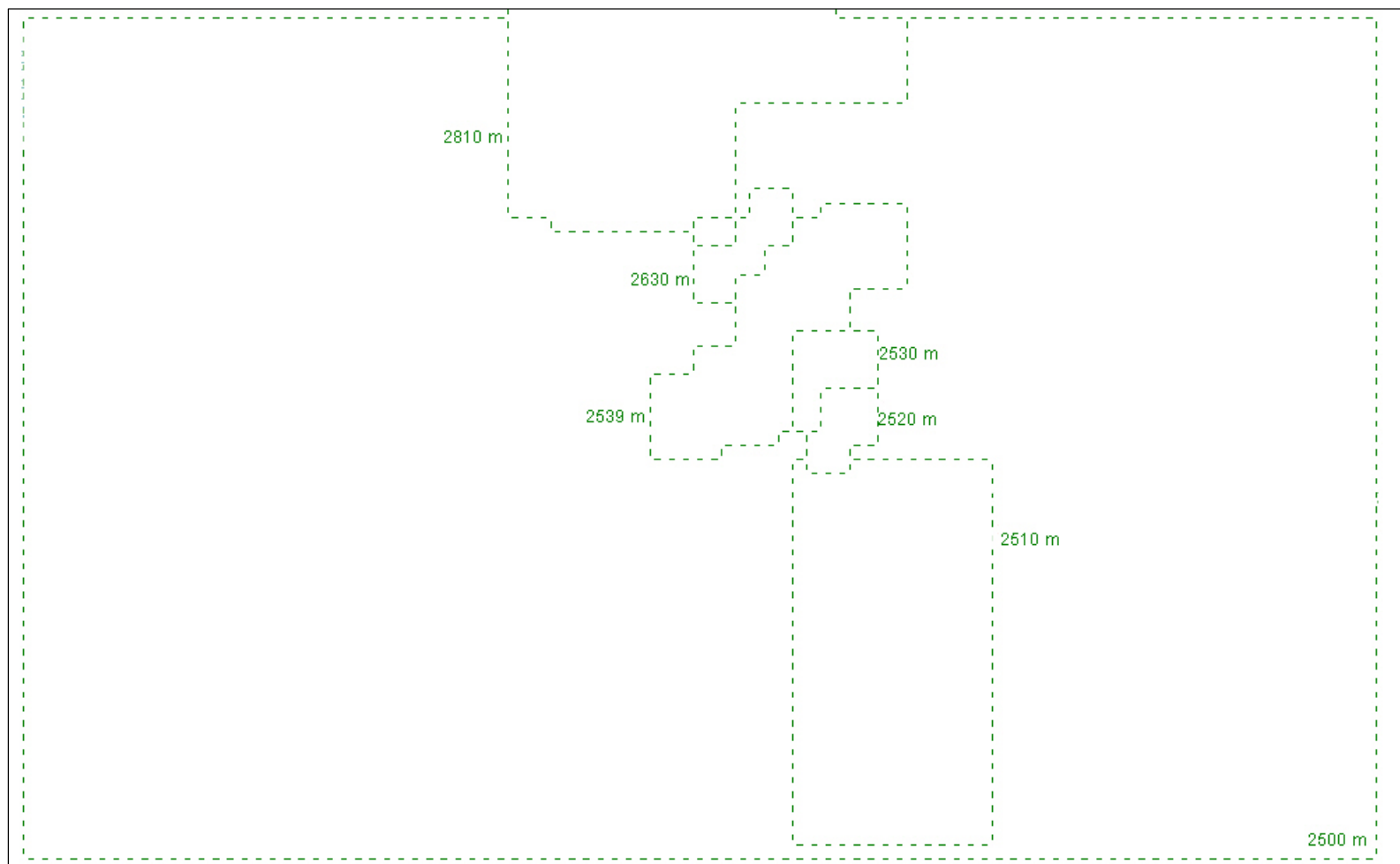


Figura 5.39.- Alturas Promedio implementadas en Canarina Radia

5.3.2 Información Disponible

Para realizar los cálculos de densidad de potencia de cada estación, se parte de la información suministrada por los distintos operadores.

- Nombre o Identificador de la Radio Base.
- Coordenadas X e Y en Coordenadas Geográficas de la Radio Base.
- Altura de la torre.
- Altura de los paneles en la torre.
- Orientación en Azimut de cada una de los Paneles que pertenecen a la Radio Base.
- Apertura Horizontal y Vertical.
- Tilt

5.3.3 Simulaciones

El proceso de obtención de resultados se lo puede resumir en los siguientes pasos:

1. A partir de la información suministrada por los distintos operadores se han elaborado tablas de Excel con los parámetros necesarios para realizar las simulaciones.
2. En aquellos casos en los que la información proporcionada por el operador era incorrecta o bien no ha sido proporcionada, se han completado las tablas de la siguiente manera. Para el TILT se han usado valores teóricos proporcionados por los fabricantes de antenas¹, la tabla 5.3 nos muestra éstos valores

	Valor Máximo	Valor Medio	Valor Mínimo
TILT	15	8	2

Tabla 5.3.- Valores Típicos de Tilt

Para APERTURAS se usaron valores teóricos los cuales fueron suministrados por PORTA, la tabla 5.4 nos muestran estos valores.

¹ KATHREIN, Mobilcom Brasil, Guía Práctica de Antenas, Noviembre 2004, 104Pag.

	Valor Máximo	Valor Medio	Valor Mínimo
APERTURAS	17	8	3.6

Tabla 5.4.- Valores Típicos de Aperturas

Para Altura y Azimuth se realizaron mediciones con la ayuda de un telémetro y brújula digital respectivamente. El valor de la Potencia se consideró como máxima.

3. Una vez completadas las tablas con cada una de las estaciones y sus correspondientes sectores se ha realizado la simulación para cada una de ellas (Anexo II).
4. Finalmente se ha procedido a obtener los valores de densidad de potencia globales, agrupando todas las Radio Bases en un solo Mapa Digital.

En la Figura 5.40 se muestra los niveles de Radiación de toda el área de investigación, mientras que en la Figura 5.41 se muestra el Mapa de Radiación con el Mapa Digital montado para un mejor detalle.

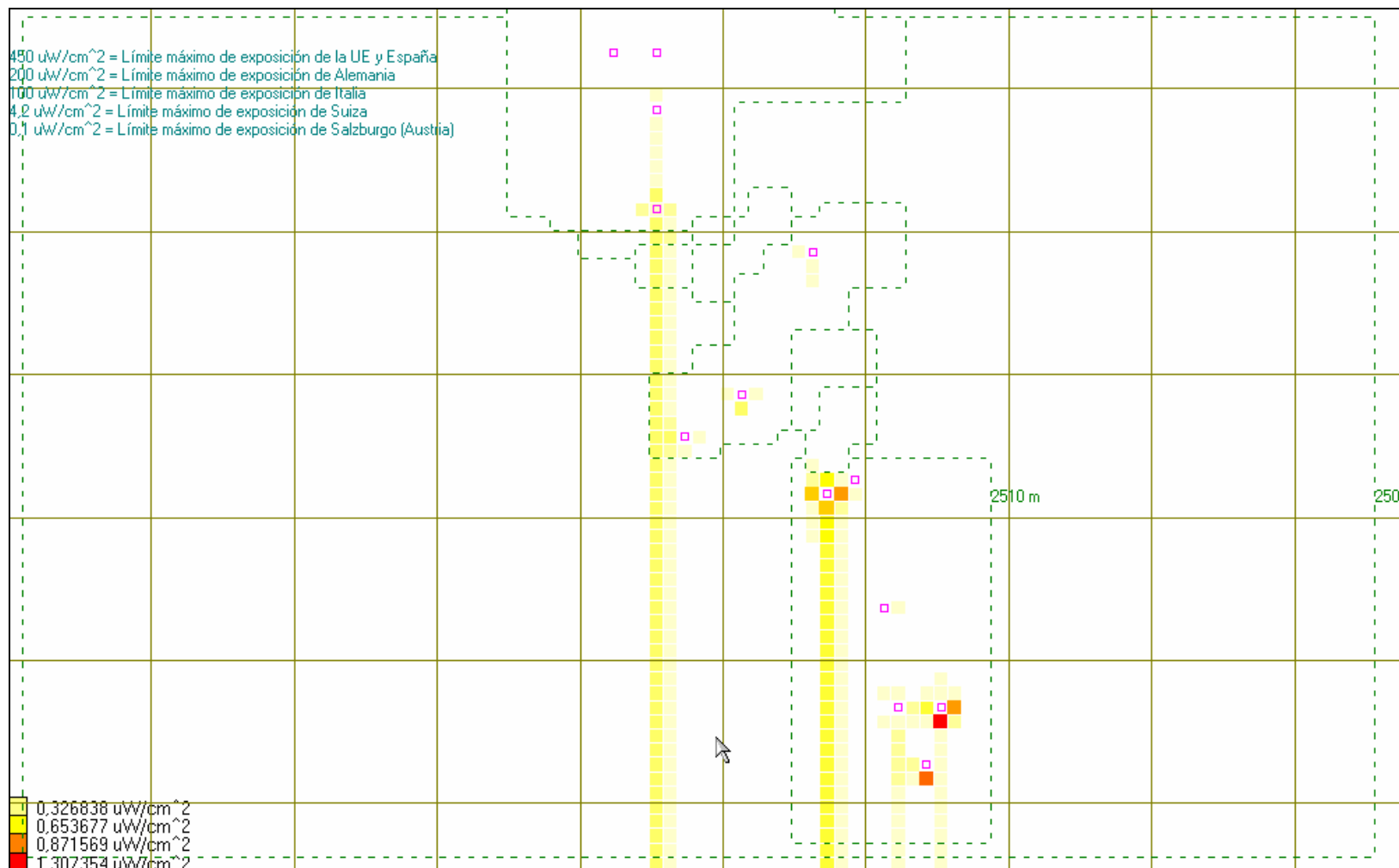


Figura 5.40.- Simulación de la Densidad de Potencia en toda el Área de Investigación.

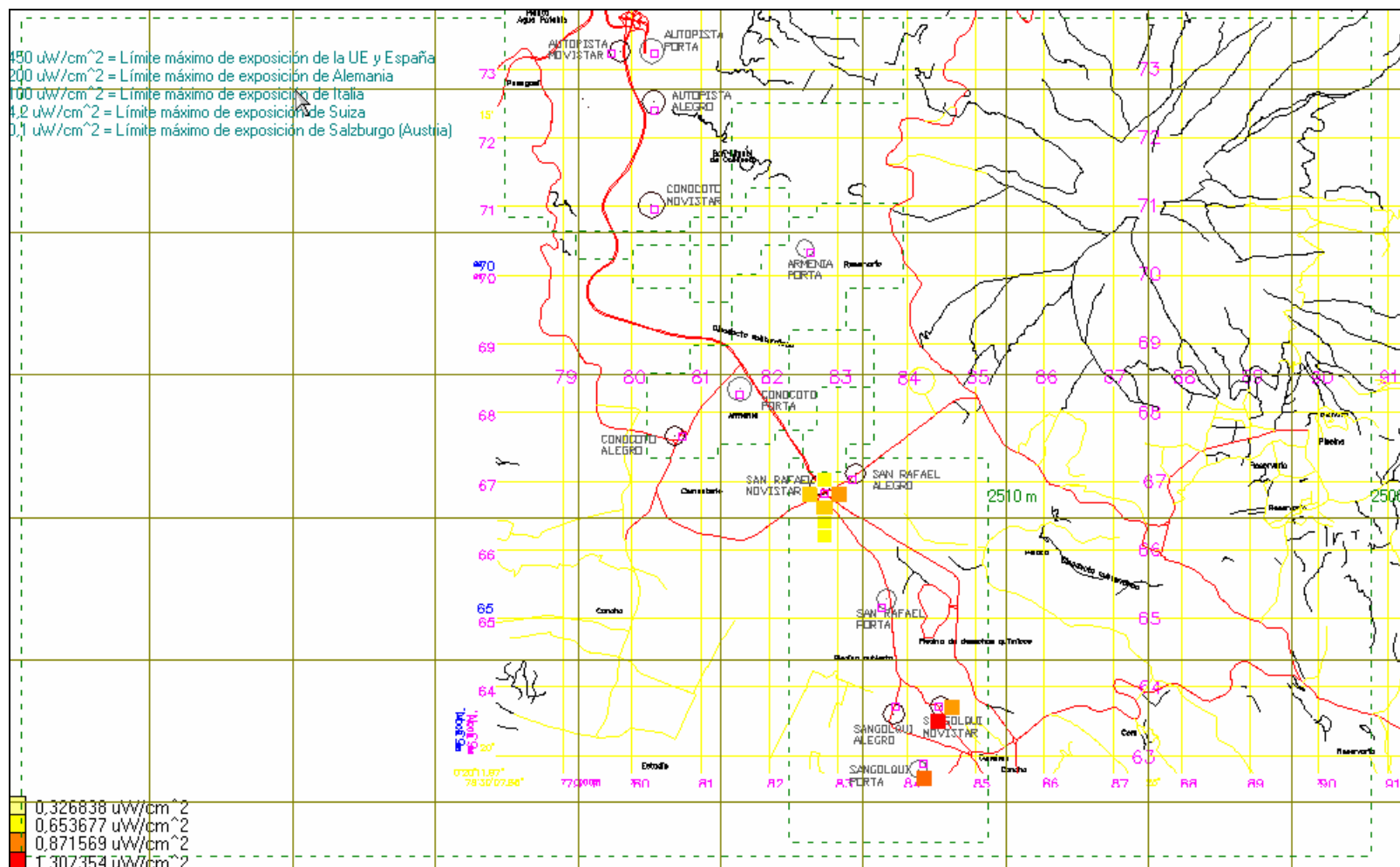


Figura 5.41.- Mapa Digital de Radiación en el Área de Investigación.

5.4 CLASIFICACION E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez recolectados los datos necesarios para la simulación se establecen diferentes valores para TILT y Aperturas, en la tabla 5.5 se muestra estos valores

Simulación	TILT	Aperturas
1	15	3.6, 7, 8, 12, 17
2	8	3.6, 7, 8, 12, 17
3	4	3.6, 7, 8, 12, 17
4	2	3.6, 7, 8, 12, 17

Tabla 5.5.- Valores establecido para las simulaciones

5.4.1 SIMULACION 1

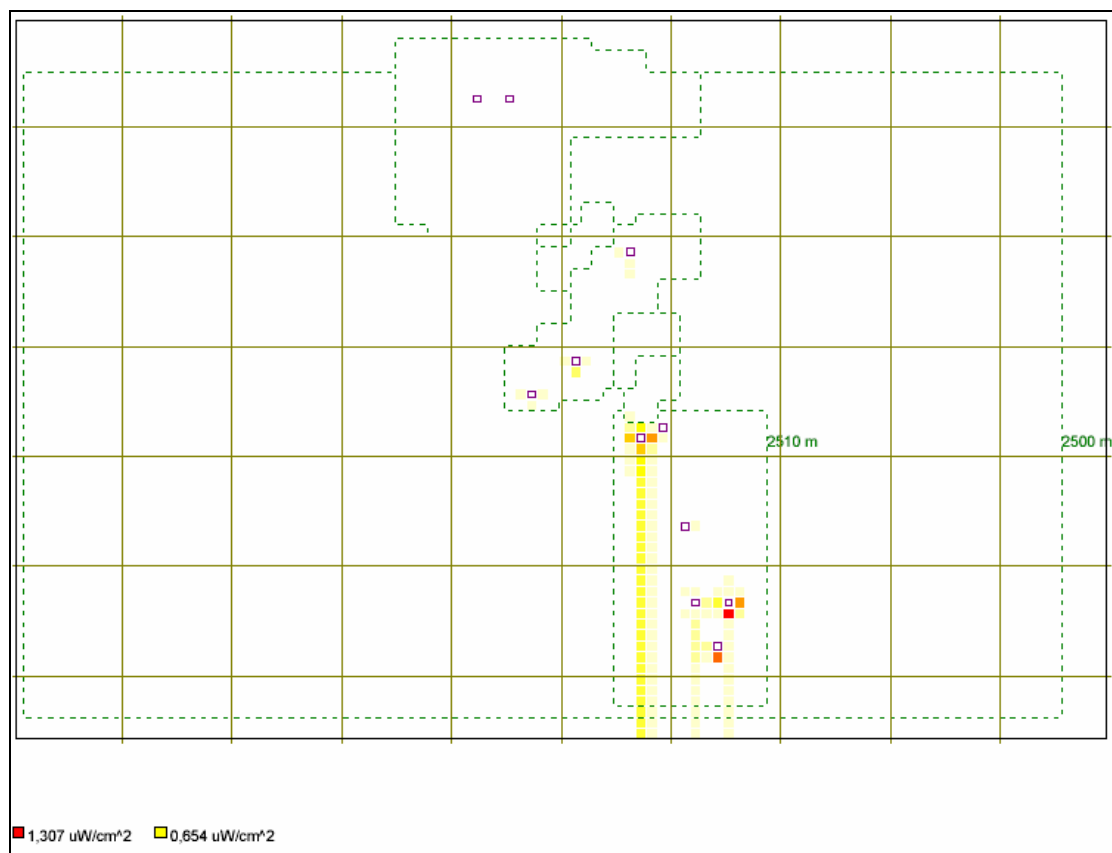


Figura 5.42.- Simulación1, Tilt=15, Apertura=3.6, Valor Máximo de S=1.307uW/cm².

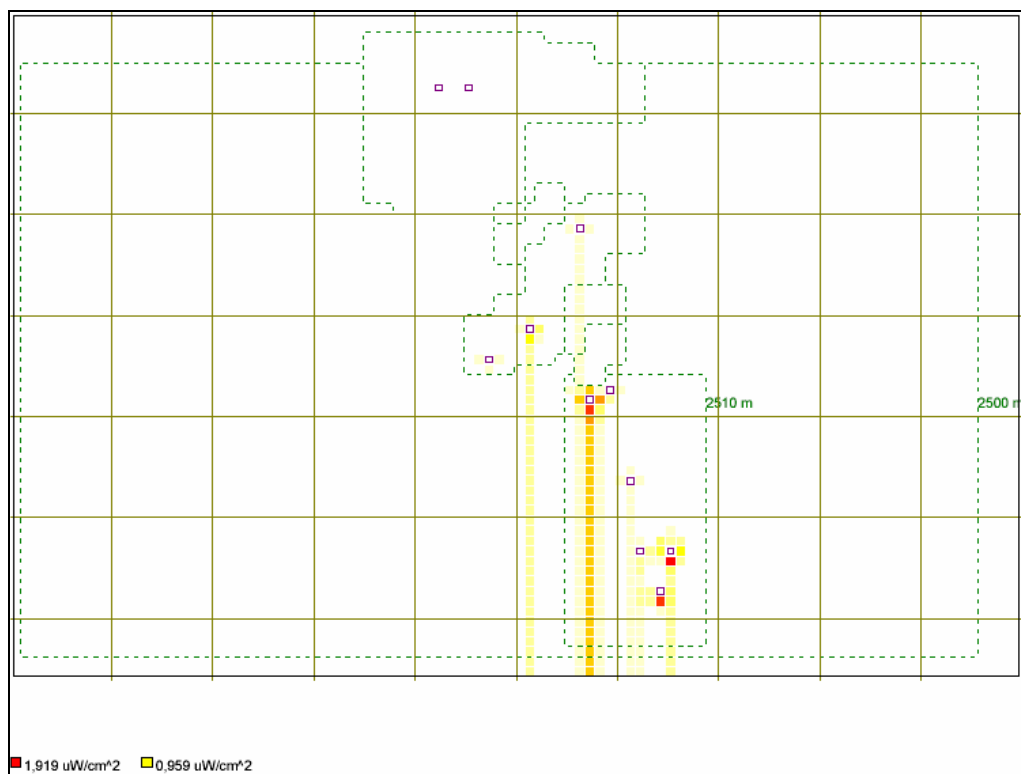


Figura 5.43.- Simulación1, Tilt = 15, Apertura = 7, Valor Máximo de $S = 1.919 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

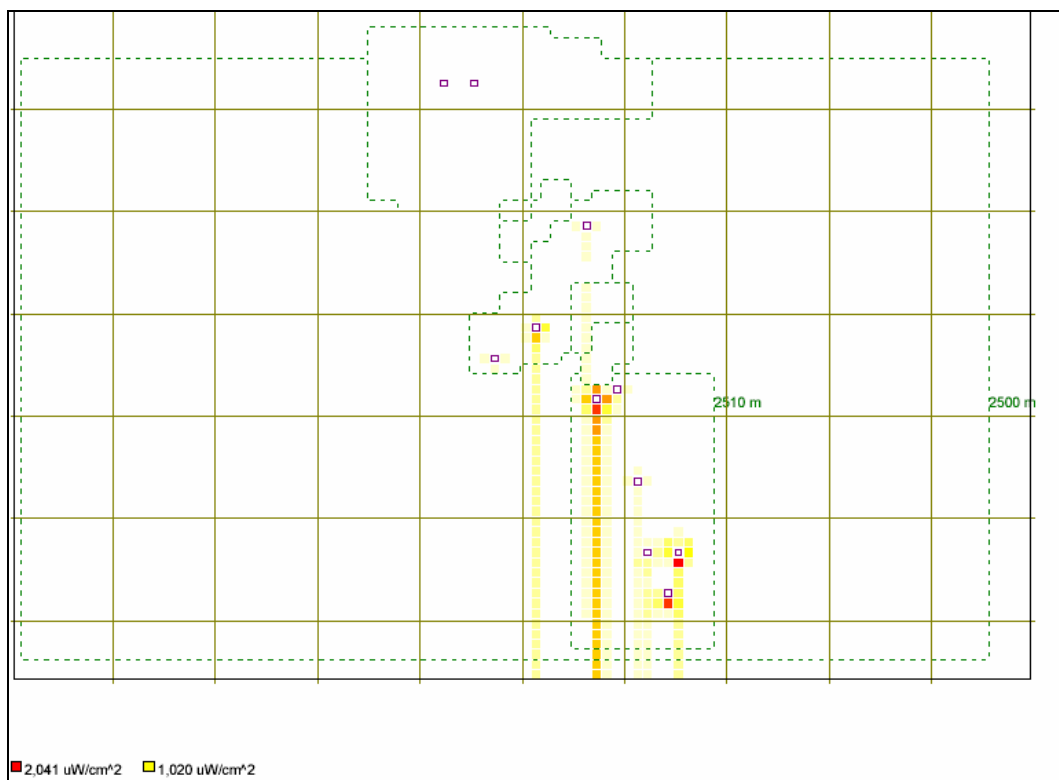


Figura 5.44.- Simulación 1, Tilt = 15, Apertura = 8, Valor Máximo de $S = 2.041 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

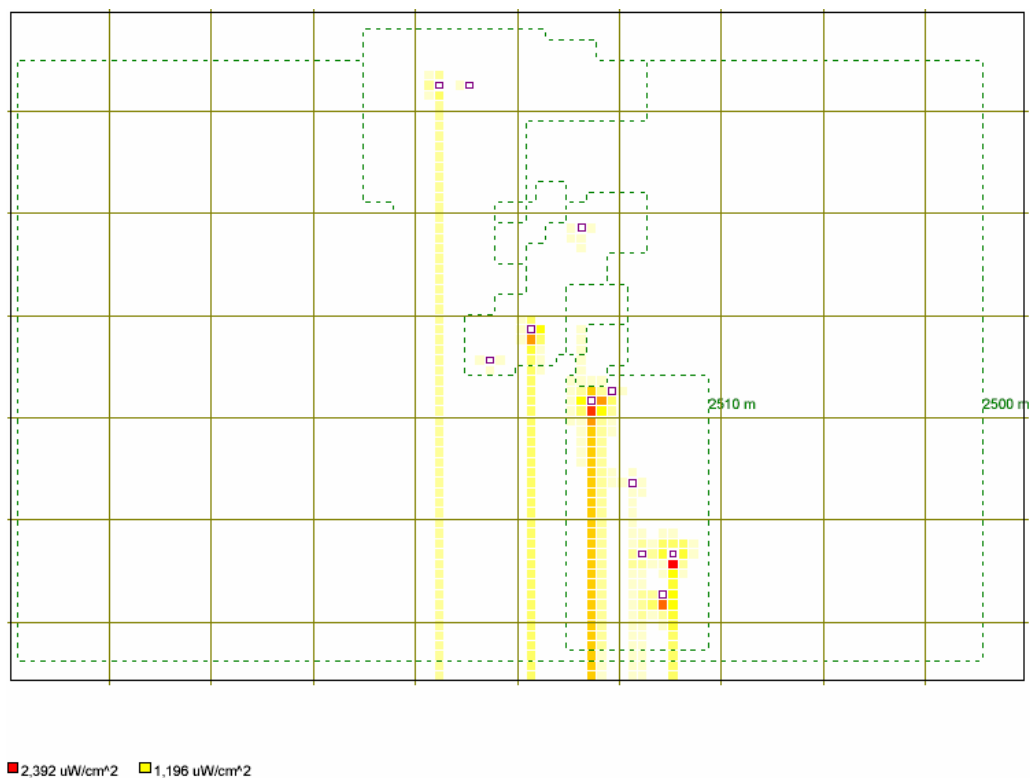


Figura 5.45.- Simulación 1, Tilt = 15, Apertura = 12, Valor Máximo de S = 2.392 uW/cm².

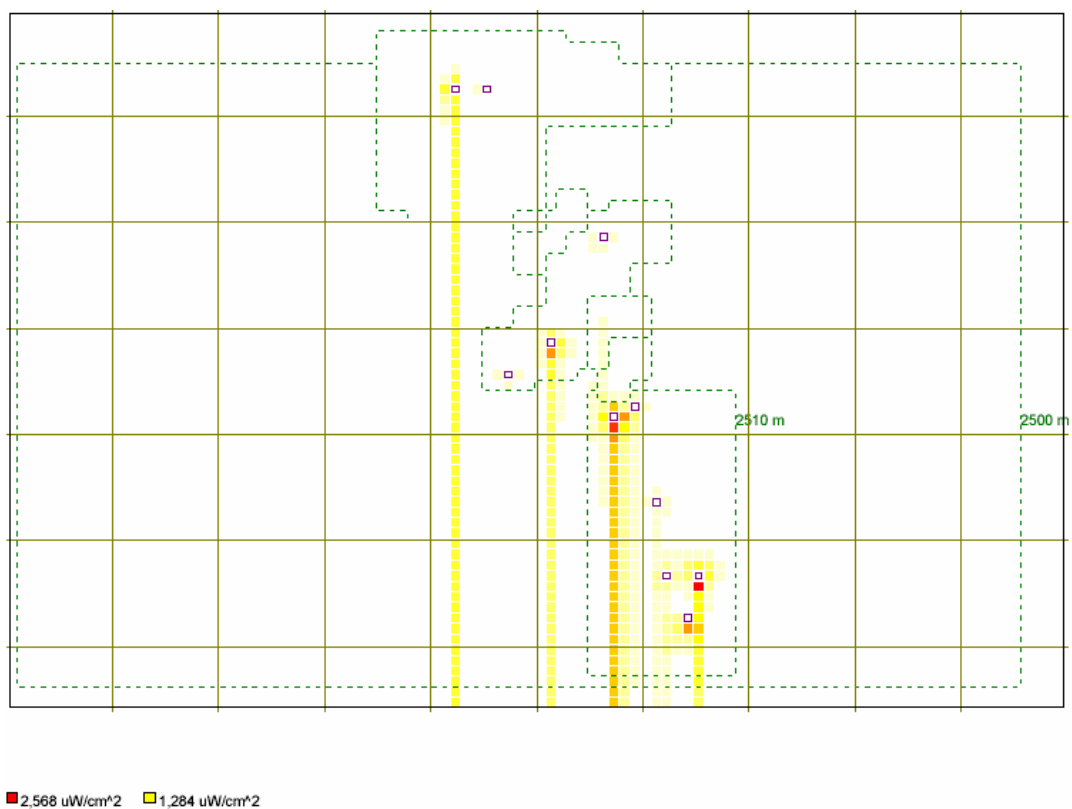


Figura 5.46.- Simulación 1, Tilt = 15, Apertura = 17, Valor Máximo de S = 2.568 uW/cm².

5.4.2 SIMULACIÓN 2

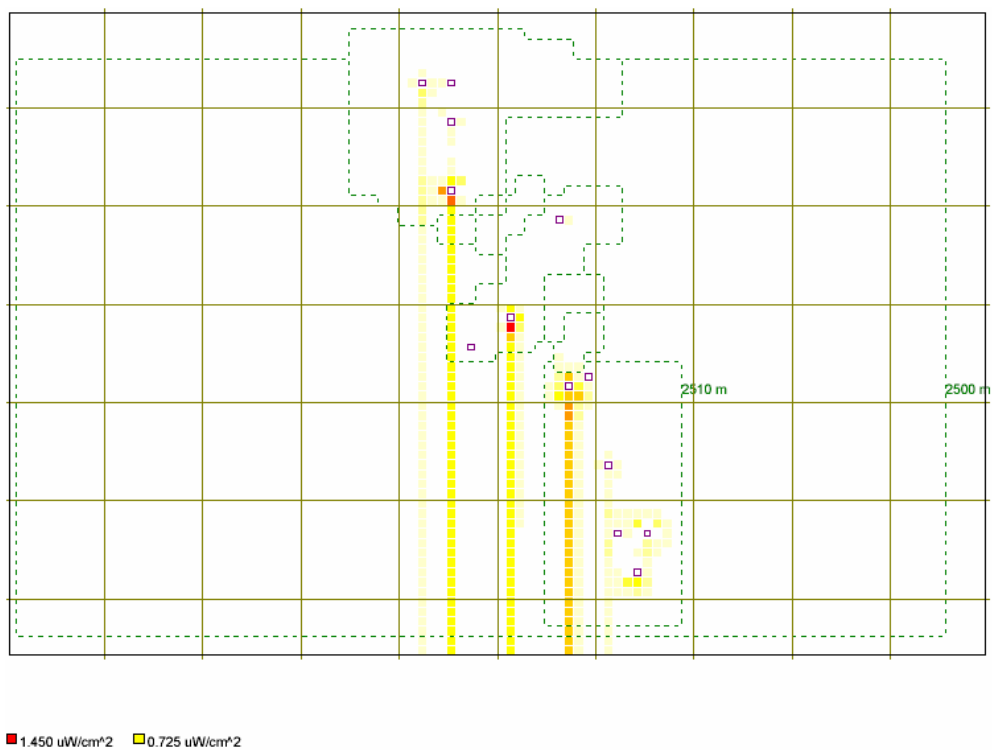


Figura 5.47.- Simulación 2, Tilt = 8, Apertura = 3.6, Valor Máximo de S = 1.450 uW/cm².

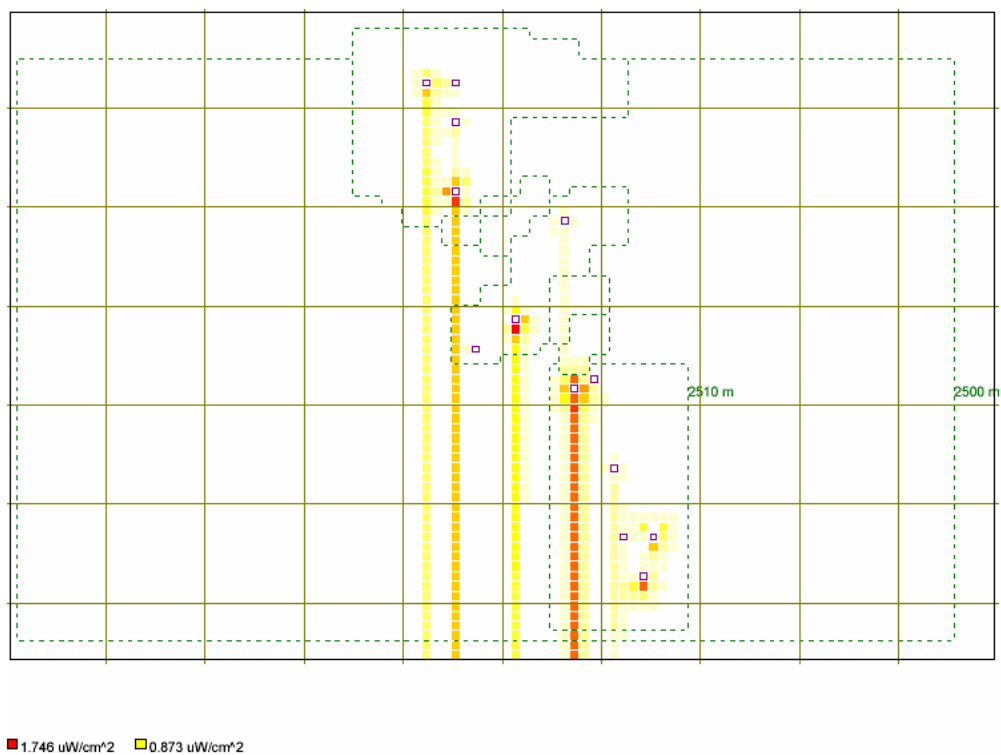
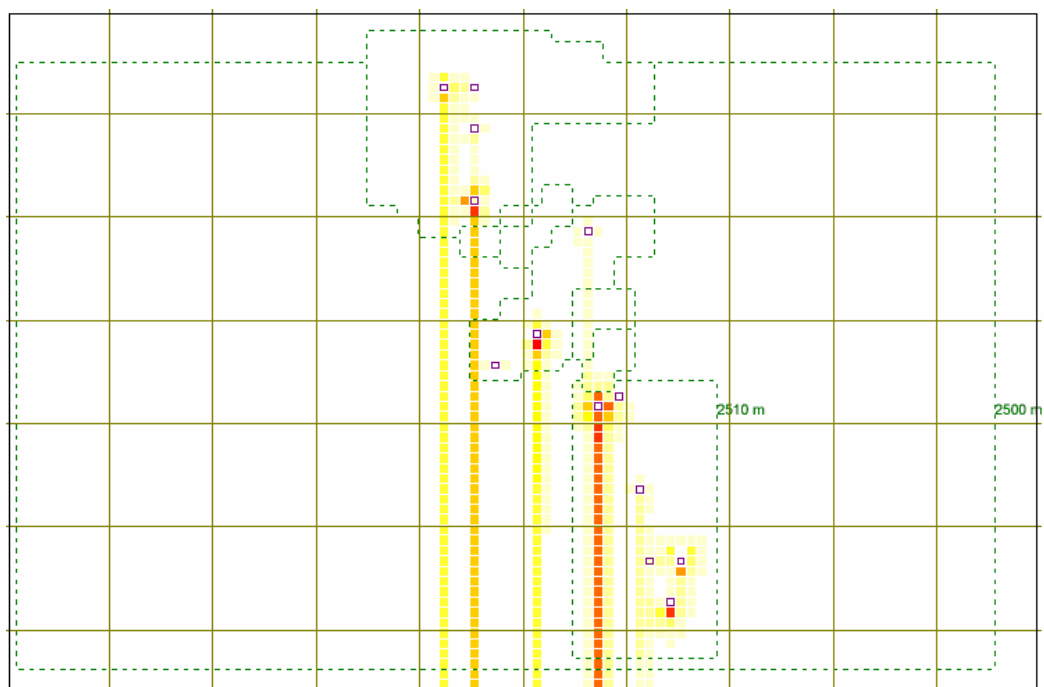
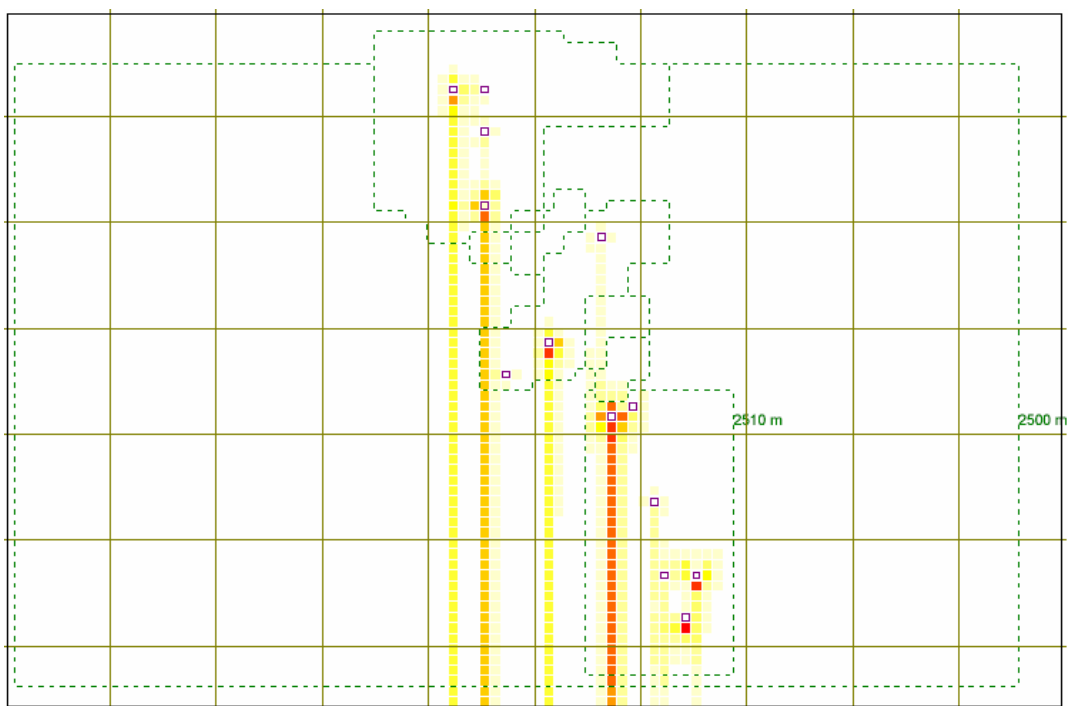


Figura 5.48.- Simulación 2, Tilt = 8, Apertura = 7, Valor Máximo de S = 1.746 uW/cm².



■ 1.790 uW/cm² ■ 0.895 uW/cm²

Figura 5.49.- Simulación 2, Tilt = 8, Apertura = 8, Valor Máximo de S = 1.790 uW/cm².



■ 1.984 uW/cm² ■ 0.992 uW/cm²

Figura 5.50.- Simulación 2, Tilt = 8, Apertura = 12, Valor Máximo de S = 1.984 uW/cm².

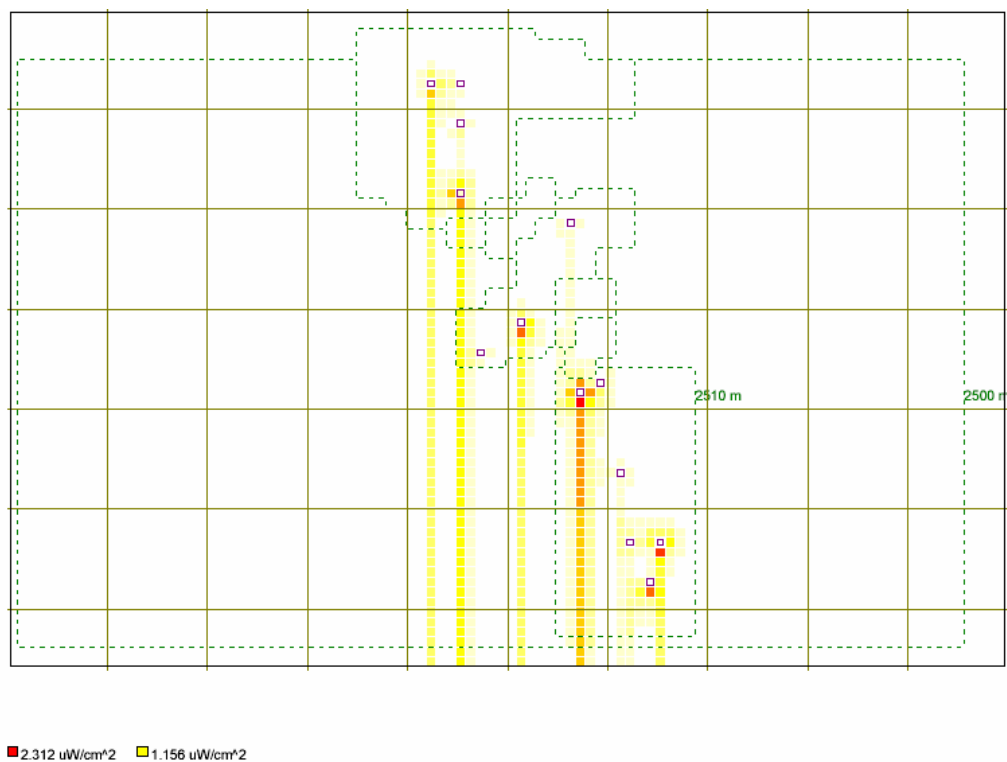


Figura 5.51.- Simulación 2, Tilt = 8, Apertura = 17, Valor Máximo de S = 2.312 uW/cm².

5.4.3 SIMULACIÓN 3

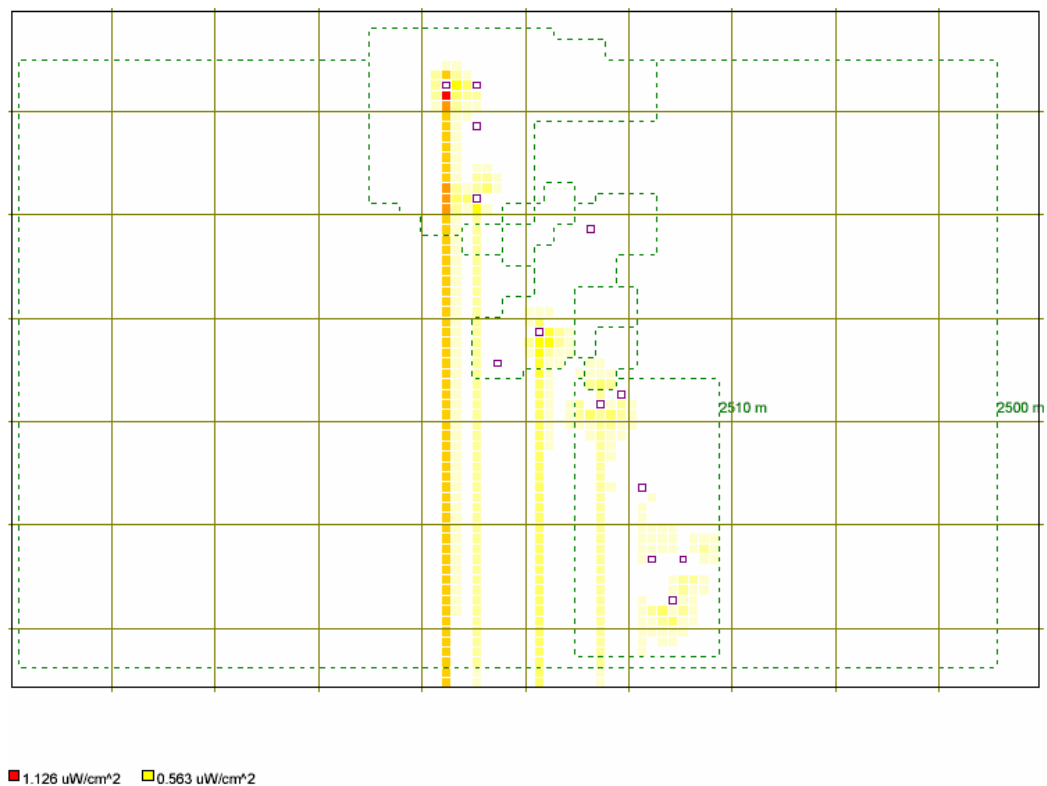


Figura 5.52.- Simulación 3, Tilt = 4, Apertura = 3.6, Valor Máximo de S = 1.126 uW/cm².

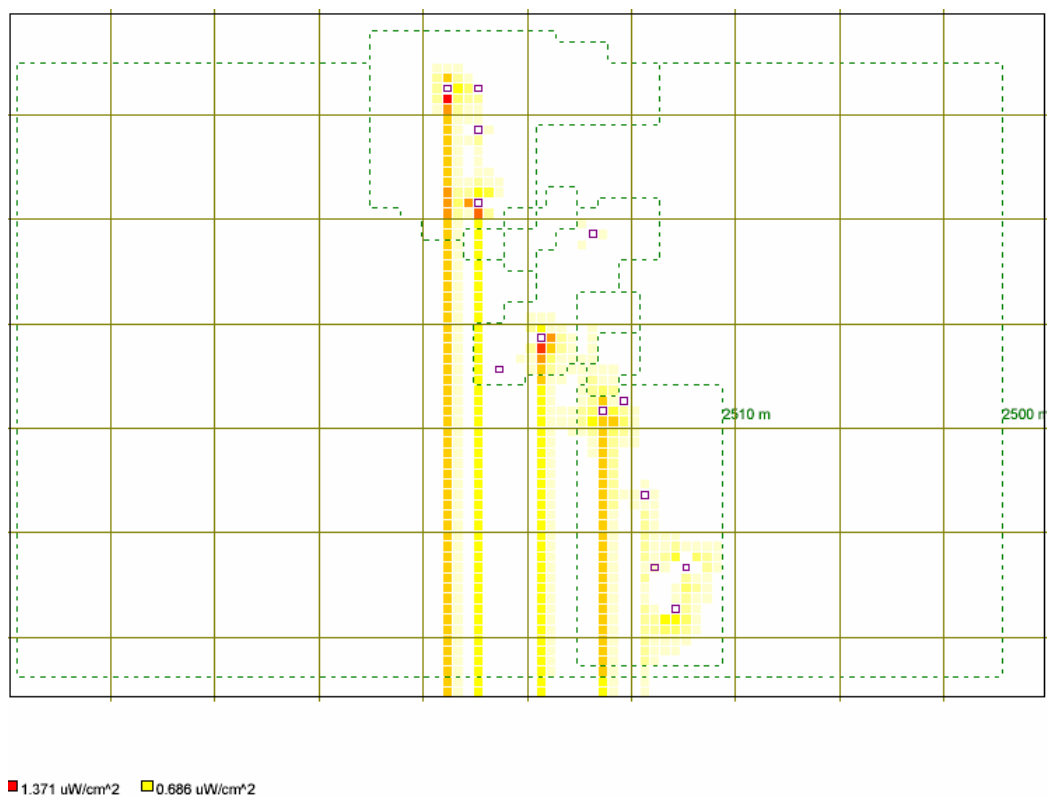


Figura 5.53.- Simulación 3, Tilt = 4, Apertura = 7, Valor Máximo de S = 1.371 uW/cm².

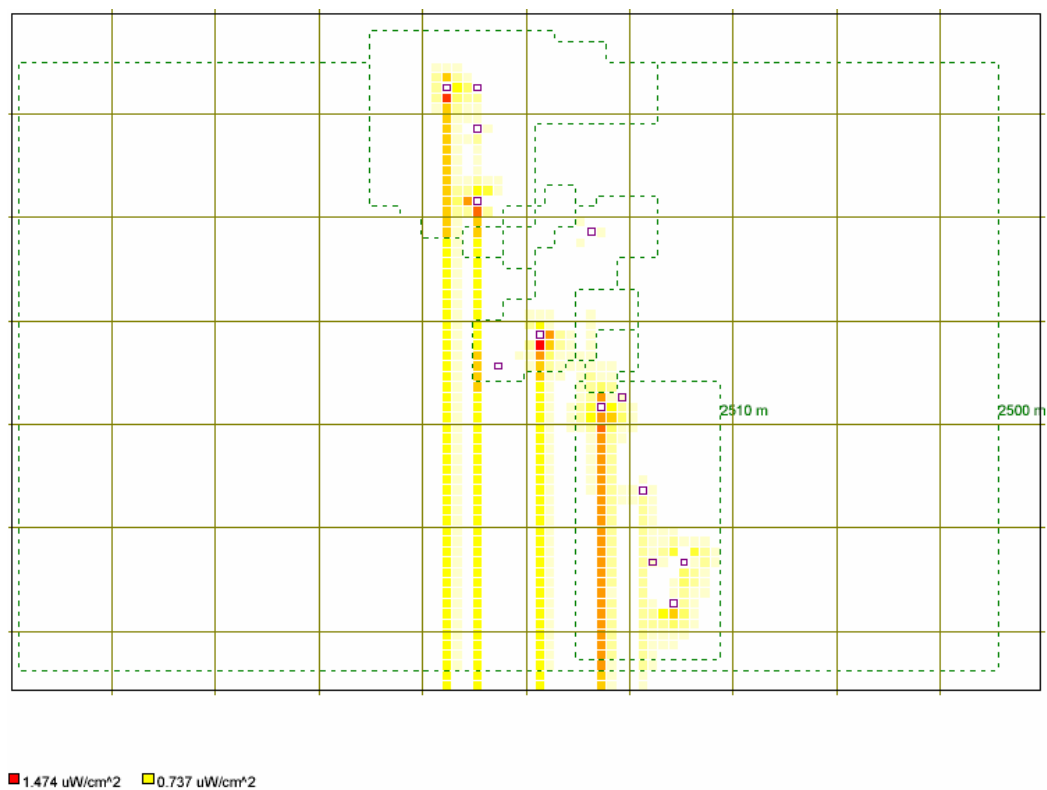
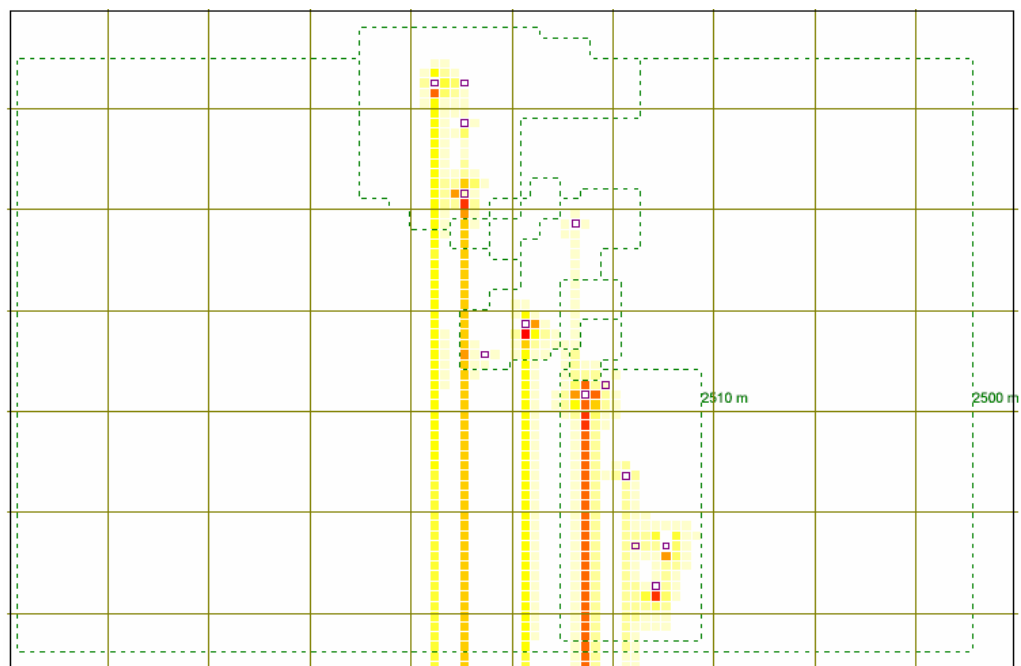
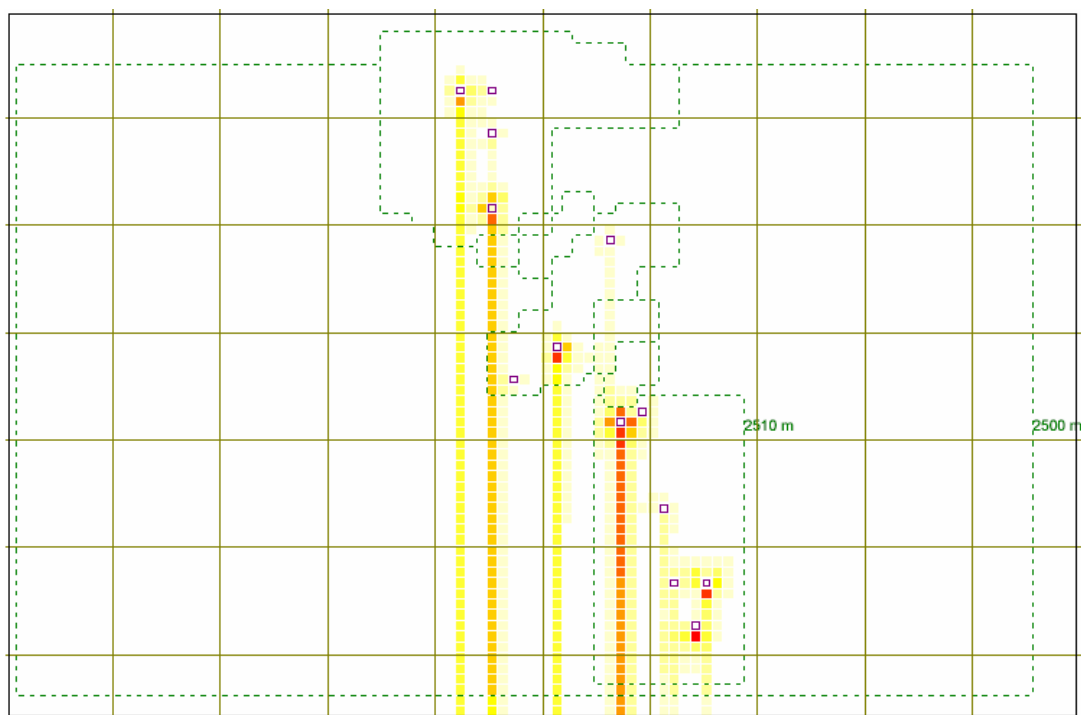


Figura 5.54.- Simulación 3, Tilt = 4, Apertura = 8, Valor Máximo de S = 1.474 uW/cm².



■ 1.768 uW/cm² ■ 0.884 uW/cm²

Figura 5.55.- Simulación 3, Tilt = 4, Apertura = 12, Valor Máximo de S = 1.768 uW/cm².



■ 2.004 uW/cm² ■ 1.002 uW/cm²

Figura 5.56.- Simulación 3, Tilt = 4, Apertura = 17, Valor Máximo de S = 2.004 uW/cm².

5.4.4 SIMULACIÓN 4

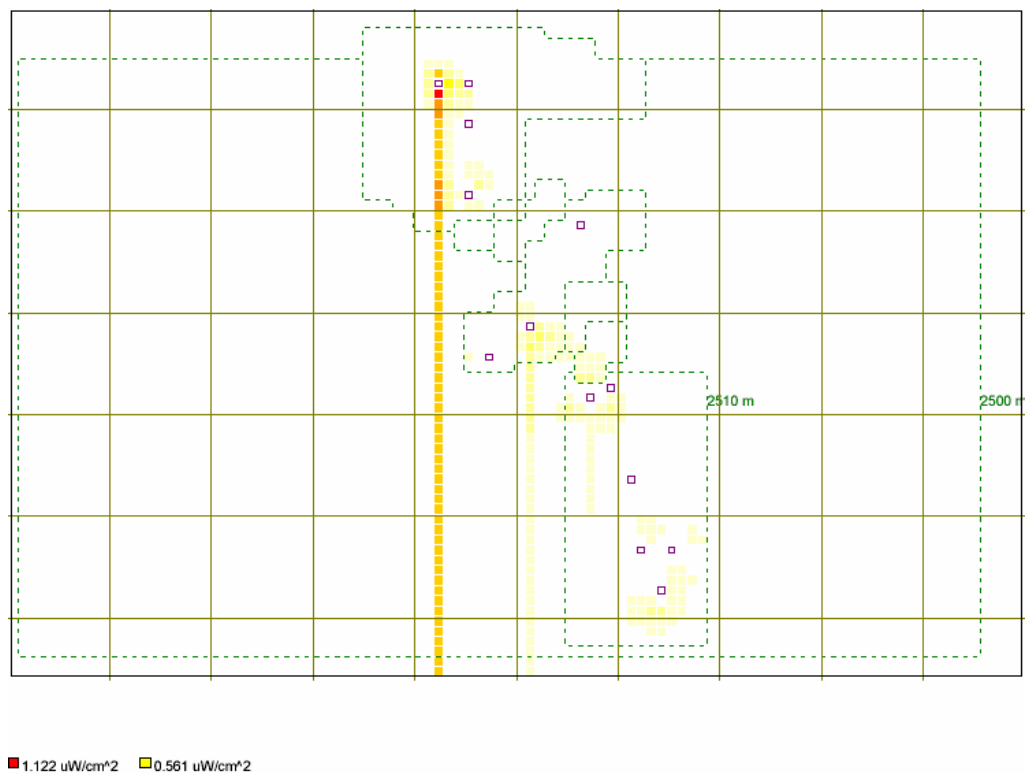


Figura 5.57.- Simulación 4, Tilt = 2, Apertura = 3.6, Valor Máximo de S = 1.122 uW/cm².

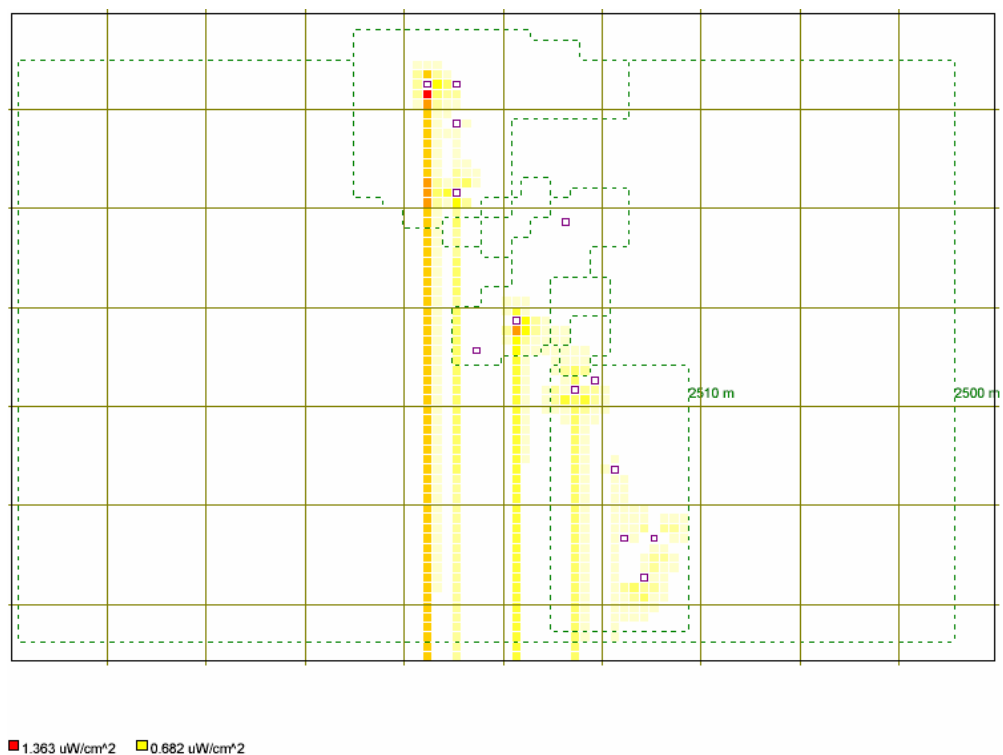


Figura 5.58.- Simulación 4, Tilt = 2, Apertura = 7, Valor Máximo de S = 1.363 uW/cm².

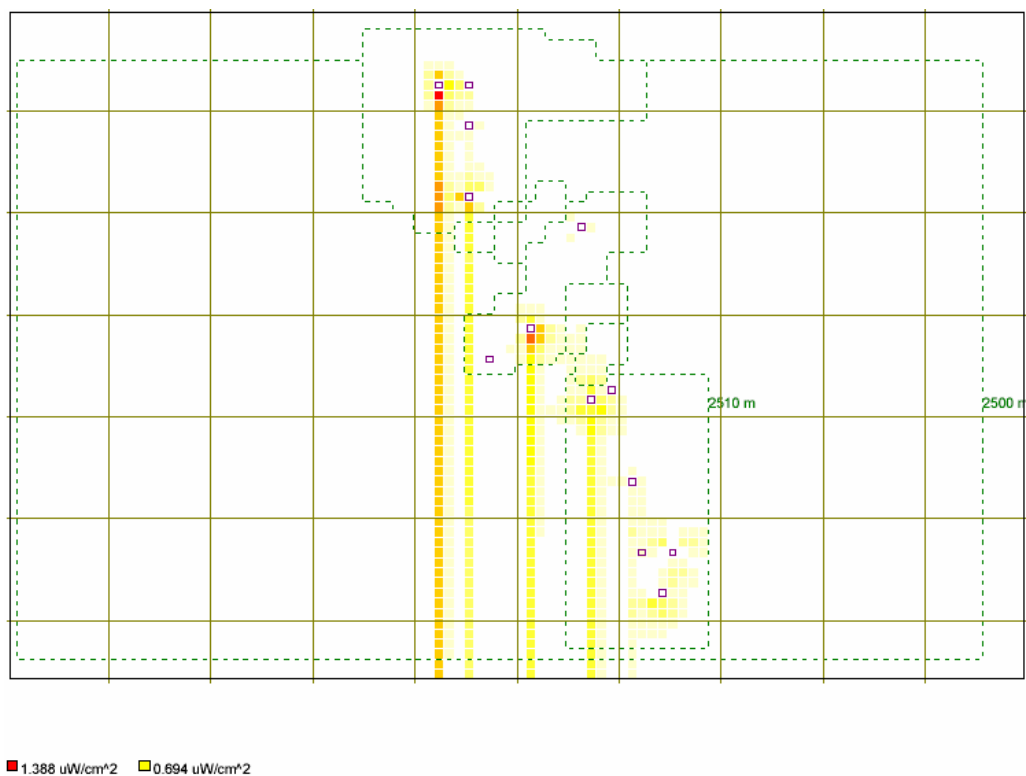


Figura 5.59.- Simulación 4, Tilt = 2, Apertura = 8, Valor Máximo de $S = 1.368 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

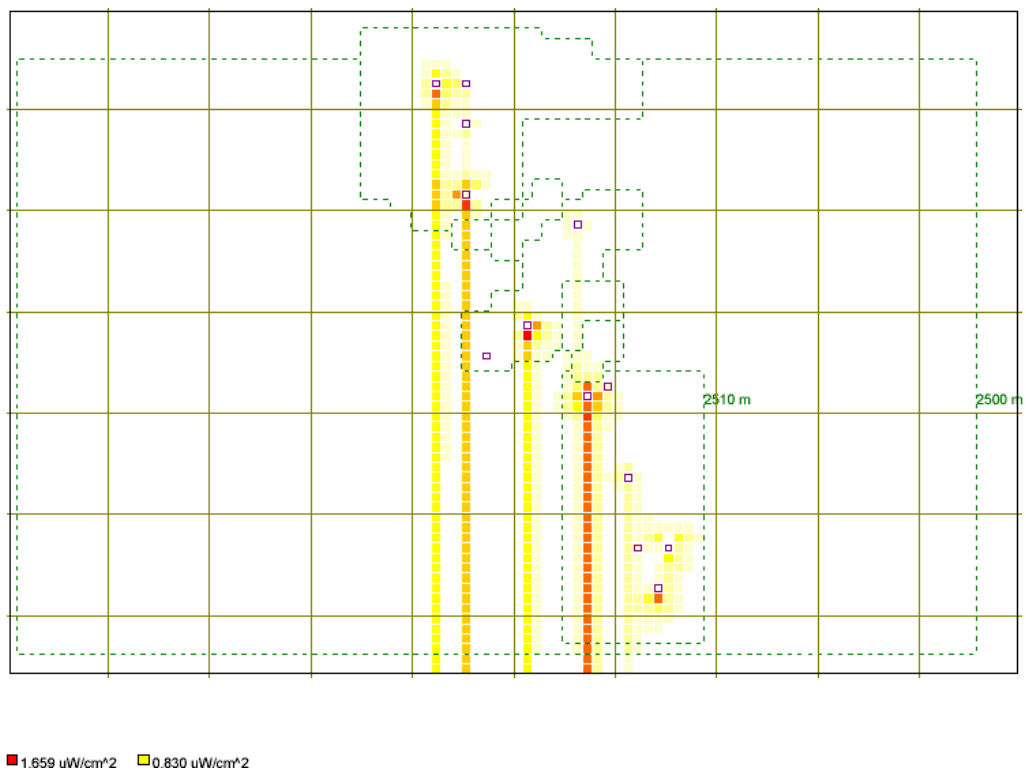


Figura 5.60.- Simulación 4, Tilt = 2, Apertura = 12, Valor Máximo de $S = 1.659 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

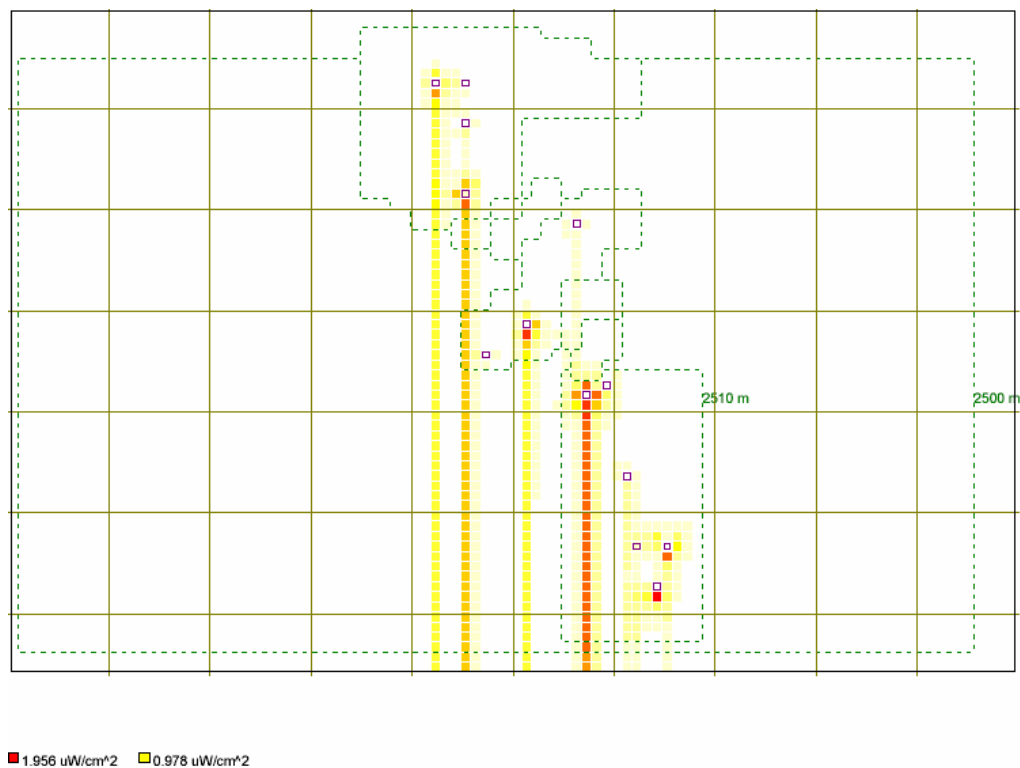


Figura 5.61.- Simulación 4, Tilt = 2, Apertura = 17, Valor Máximo de S = 1.956 uW/cm²

Finalmente podemos concluir que el valor global máximo en las simulaciones se produce cuando el valor de tilt es 15 y su apertura es 17, estableciendo a estos valores simulados como los más críticos, Figura 5.46

El valor global mínimo se produce cuando valor del tilt es 4 y su apertura es 4, Figura 5.52

CAPITULO 6

MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN EN LAS ESTACIONES RADIOBASE

En el presente capítulo se detallan las características técnicas de los equipos utilizados para la medición de radiación en este proyecto, así como también la justificación de su uso.

Además se describe el procedimiento técnico utilizado para realizar las mediciones de RNI emitida por las estaciones radiobases del Valle de Los Chillos.

6.1 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DE MEDICIÓN

En este apartado se proporciona detalladamente las características técnicas de los equipos utilizados en las mediciones y la justificación de su uso.

Para establecer límites de exposición las posibles magnitudes a medir son las siguientes:

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

Es importante destacar que las mediciones serán en todos los casos, mediciones en la región de campo lejano. La magnitud escogida fue la de Intensidad de Campo Eléctrico.

Los equipos utilizados se listan a continuación y su descripción técnica se realiza posteriormente.

- Medidor de Campo Eléctrico.
- Analizador de Espectros.
- GPS (Sistema de Posicionamiento Global).
- Telémetro Láser.
- Trípodes.
- Computador Portátil.

6.1.1 Analizador de Campos de Radiofrecuencia Protek 3290



Figura 6.1.- Protek 3290

6.1.1.1 Introducción

El 3290 es un analizador de campos de RF¹. Con un ancho de banda para la recepción de 100 KHz a 2,900MHz.

¹ RF: Radio Frecuencia

El 3290 es un analizador portable, compacto y ligero. Es una herramienta ideal para medición de campos de RF, instalación y mantenimiento de sistemas móviles de telecomunicaciones, telefonía celular, sistemas Paging, sistemas de TV por cable y satelital.

6.1.1.2 Características

- Rango de Medición: 100 KHz a 2900 MHz.
- Mide y demodula señales en Banda Angosta de FM¹ “Narrow Band FM”(N-FM), en Banda Ancha de FM “Wide Band FM”(W-FM), AM², en Banda Lateral Simple (Single Simple Band) (SSB).
- Contador de Frecuencia de 2.9 GHz incorporado.
- Posee un Sistema de Alineamiento PLL, con la finalidad de ubicar frecuencias precisas.
- Permite explorar y exhibir en la pantalla LCD hasta 160 canales al mismo tiempo.
- Altavoz incorporado.
- Todas las funciones se seleccionan desde el menú.
- Pantalla LCD con una resolución de 192x192.
- Interfaces: RS-232 y paralela, con la finalidad de descargar datos al computador.

6.1.1.3 Frecuencias de Operación

Rango de Frecuencias : 100 KHz a 2900 MHz.

Frec. de Exactitud (TXO) : ± 3 PPM

Frec. de Exactitud (display): ± 25 PPM

Demodulación : N-FM, W-FM, AM, SSB.

Pasos de Frecuencia : 5 KHz a 9995 KHz en múltiples de 5KHz y 6.25KHz.

Memoria de Datos : Almacena 10 gráficos de hasta 160 canales (1600).

Conjuntos de Memoria : Almacena 10 conjuntos para modo de revisión.

Sensibilidad de Recepción : Aproximadamente 0 – 6 dB μ EMF. (S/N:12dB en N-FM, 10dB en W-FM).

¹ FM: Frecuencia Modulada

² AM: Amplitud Modulada

- Velocidad de Exploración** : 125 Ch./seg.max.
Impedancia de Entrada : 50 Ω (estándar).
Voltaje Máx. de Entrada : Máx. 5V RMS.
Salida de Audio : 120 mW en un parlante de 8 Ω .

6.1.2 Medidor de Campo Eléctrico Smart Fieldmeter



Figura 6.2.- Medidor de Campo Smart Fieldmeter

6.1.2.1 Introducción

Medidor de Campo Electromagnético que combina las características principales de un equipo de supervisión de campo con la simplicidad de un multímetro.

Este Medidor tiene un diseño ligero y la punta de prueba isotrópica desmontable ofrece ventajas en el campo.

6.1.2.2 Descripción

- Sensor de prueba isotrópico
- Display
- Selector de Rango

- Modos de Operación.
- Función Auto-Cero
- Indicador de Batería Baja.
- Monitor Remoto

6.1.2.3 Especificaciones

- Medidor portable de Campo Eléctrico con sensor de prueba isotrópico desmontable.
- **Rango** : 0.2 – 600 V/m.
- **Resolución** : 0.01 V/m (Rango: 2V/m y 20 V/m),
0,1V/m (Rango: 200 V/m),
1 V/m (Rango: 600 V/m).
- **Rango de Frecuencias** : 0.2 MHz – 3 GHz.
- **Directividad del Sensor** : Omnidireccional.
- **Rangos (V/m)** : 2, 20, 200, 600.
- **Exactitud de calibración** : ± 0.5 dB (en los niveles de referencia).
- **Desviación lineal** : ± 1.5 dB (cualquier rango 10-150 % de la escala completa)
- **Respuesta de frecuencia del Sensor** : ± 1 dB (2 MHz – 2 GHz),
- 3 dB (2 MHz),
- 2.5 dB (3 GHz).
- **Modos de Operación** : Promedio, Pulso y Pico.
- **Lecturas** : RMS¹ en todos los modos.
Promedio : RMS (promediados sobre el tiempo promedio).
Pulso : 0.707 x Valor Instantáneo.
Pico : 0.707 x Valor Pico.

¹ RMS: Root Mean Square

6.1.2.4 Sensor de Prueba Isotrópico de Campo Eléctrico

El sensor de prueba de Campo Eléctrico utiliza 3 antenas de dipolo colocadas en dirección normal la una de la otra. Las señales de cada antena se combinan para permitir que el Medidor obtenga el valor absoluto del Campo Eléctrico. Por lo tanto, el Medidor obtendrá siempre el valor total de Campo Eléctrico cualquiera sea la orientación del sensor de prueba.

6.1.3 GPS



Figura 6.3.- GPS – Garmin etrex Vista

6.1.3.1 Introducción

La ubicación de lugares a nivel de coordenadas geográficas en la actualidad se realiza con gran precisión a través del Sistema de Posicionamiento Global o GPS por sus siglas en inglés, el mismo que brinda confiabilidad en los datos adquiridos y es apropiado para el trabajo de ubicación de Radiobases que va a realizarse.

El GPS Garmin Etrex Vista sirve para la navegación terrestre y está diseñado para proporcionar el posicionamiento preciso. La descripción técnica de este equipo se detalla a continuación.

6.1.3.2 Características Técnicas

- Tiene compás electrónico, que permite una rápida y precisa orientación.
- Posee un altímetro que en una pantalla gráfica indica las diferentes alturas recorridas.
- Barómetro digital de alta precisión que permite conocer la presión atmosférica
- Receptor: 12 Canales.
- Permite medir áreas.
- Cartográfico total (muestra mapas).
- 24 Mb de memoria interna.
- Escala de temperatura: -15 a 70 °C operando.
- Antena: Incorporada (Interior)
- Cálculo de superficie: Dos métodos: 1) Por recorrido del área. 2) Por ingreso de puntos.
- Barómetro y Altímetro: Precisión 3.04m, Resolución 30.4 cm, Presión mbar/inches HG.
- Base de datos: Rutas y principales ciudades del mundo
- Definición de la Pantalla: 128 x 64 píxeles
- Backlight.
- Rutas: 20 de 50 waypoints cada una.
- Capacidad: 10 tracklogs de 3000 puntos c/u
- Autonomía: hasta 12 horas de uso continuo

6.1.4 Telémetro Láser

La Telemetría es la técnica de medición a distancia, por la cual y mediante elementos colocados estratégicamente, se consigue capturar valores presentes en un punto sin necesidad de interactuar con el mismo.

6.1.4.1 Características Técnicas del Transmisor

- **Longitud de Onda** : 1.06 μm .

- **Potencia pico radiante** : 1.5 MW
- **Longitud de pulso** : 30 nseg
- **Energía radiante** : 45 mJ.
- **Energía de bombeo** : 15 J.
- **Frecuencia del pulso** : 1 pulso siempre 5 segundos.
- **Ancho del rayo**
 - Energía 50% : 0.6 mrad.
 - Energía 90 % : 1.0 mrad.
- **Conmutador Q** : prisma rotativo
- **Bobina** : bobina no forzada.

6.1.5 Trípode

Todos los equipos son montados sobre un trípode y se realiza la medición sin la necesidad de manipulación alguna por parte del operador, para evitar que existan acoplamientos capacitivos que influyan en el desempeño de los instrumentos.¹

6.1.6 Computadoras Portátiles

Estas computadoras son utilizadas en el trabajo de campo para la adquisición de los datos de los instrumentos: Medidor de Campos Electromagnéticos y Analizador de Espectros.

¹ Comisión Nacional de Comunicaciones de Argentina: Resolución 3690/2004

6.2 UBICACIÓN DE LAS RADIO – BASES EN EL MAPA DIGITAL.

Para la ejecución de este proyecto fue necesario adquirir un mapa digital de la zona en estudio. Las características del Mapa Digital son las siguientes:

- **Proyección:** Universal Transversal de Mercator UTM
 - **Colores:** 7 colores
 - **Formato de publicación:** 70 x 50 centímetros
 - **Datum:** WGS 84
 - **Elipsoide:** Internacional 1924.
 - **Escala** 1:50000.
 - **Intervalo de curvas de nivel** : cada 40 y 20 metros
 - **Latitud:** S 0° 20' / S 0° 10' y **Longitud:** W 78° 30' / W 78° 15'
 - **Código Internacional:** 3993-III
 - **Edición** : 1990
 - **Idioma:** Español.
 - **Orografía:** La orografía está representada por un relieve irregular. Su máxima altura alcanza los 4249 metros en la Cordillera de Yanaurco. El accidente orográfico más significativo es el Cerro Ilaló, ubicado en la parte centro occidental de la carta.
 - **Hidrografía:** El sistema hidrográfico está formado por los siguientes Ríos: San Pedro, Machángara, Chiche, Pita, del Inga; por las Quebradas Alpachaca, San Lorenzo, Carihuaycu, San Lorenzo, Paccha, Huasipungo, del Payaso, Alemanes, Barrotieta, Grande y del Canal.
 - **Ciudades y Poblados:** Quito, capital del Distrito Metropolitano, Sangolquí, cabecera cantonal de Rumiñahui en la provincia de Pichincha; las parroquias Tumbaco, Cumbayá, La Merced, Alangasí, Conocoto, Pifo, Puenbo, Tababela, Guangopolo y otros recintos.
 - **Red Vial:** La red vial consta de Autopistas, carreteras pavimentadas de dos o más vías, carreteras sin pavimentar de dos o más vías, caminos de verano, línea del ferrocarril Quito-Ibarra y numerosos senderos.
-

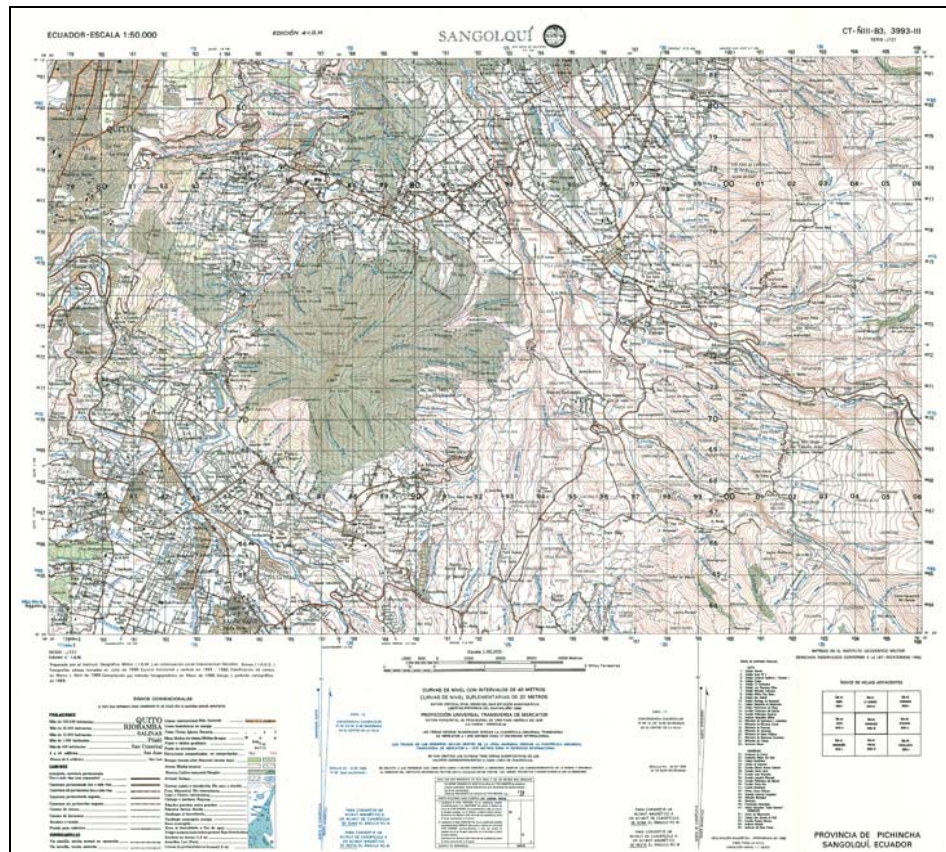


Figura 6.4.- Mapa Digital de Sangolquí

Como paso inicial se debe ubicar cada una de las Radio Bases en este mapa digital, sin embargo debido a que las coordenadas proporcionadas por las operadoras y la información tomada por el GPS en cada una de las Radio Bases esta dada en Coordenadas Geográficas se hizo uso de un software de conversión de Coordenadas Geográficas a UTM en las cuales se encuentra el mapa digital, el software fue diseñado por Steve Dutch de la Universidad de Green Bay en Wisconsin. El procedimiento de conversión y el software esta disponible en el siguiente enlace:

<http://www.uwgb.edu/dutchs/UsefulData/UTMFormulas.HTM>

En la Tabla 6.1 se detalla cada una de las radio bases con sus respectivas conversiones UTM

RADIO BASES MAPA DIGITAL				
	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		UTM	
RB	Latitud	Longitud	Easting	Northing
1	00° 20' 10.30" S	078° 26' 49,38" W	784169,18	9962803,24
2	00° 19' 44,00" S	078° 27' 01,00" W	783809,87	9963611,62
3	00° 19' 40,50" S	078° 26' 39,10" W	784487,49	9963719,02
4	00° 18' 49.71" S	078° 27' 04,40" W	783705,09	9965280,17
5	00° 17' 55.50" S	078° 27' 35,50" W	782743,25	9966946,45
6	00° 17' 50,00" S	078° 27' 19,00" W	783253,80	9967115,36
7	00° 17' 10.00" S	078° 28' 13,39" W	781571,26	9968345,07
8	00° 17' 50,00" S	078° 27' 19,00" W	780624,05	9967669,16
9	00° 16' 03.58" S	078° 27' 43,00" W	782511,96	9970386,16
10	00° 15' 43.00" S	078° 28' 55,00" W	780284,43	9971019,09
11	00° 14' 54,00" S	078° 28' 54,00" W	780315,67	9972524,99
12	00° 14' 29.98" S	078° 28' 54,99" W	780285,17	9973263,19
13	00° 14' 30.00" S	078° 29' 10,00" W	779820,77	9973262,67

Tabla 6.1.- Conversión de Coordenadas de las Radiobases

Gracias a esta herramienta el proceso de ubicación de cada una de las radiobases se hizo más simple. En Autocad se realizó la creación de tres Capas Nuevas con el nombre de cada una de las Operadoras y en la respectiva capa se hizo la ubicación de cada una de las Radiobases. A continuación presentaremos cada una de las capas con las radiobases ubicadas en sus respectivos puntos:

En la Figura 6.5 se puede ver la capa activa de Porta con las Radiobases ubicadas en sus respectivas coordenadas UTM

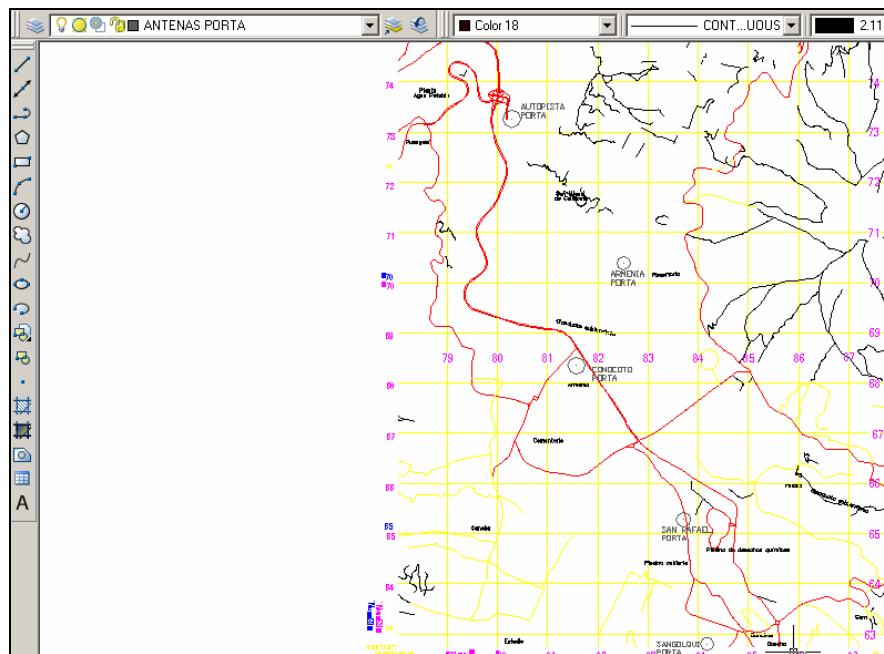


Figura 6.5.- Capa Activa Porta en Autocad

En la Figura 6.6 se puede ver la capa activa de Movistar con las Radiobases ubicadas en sus respectivas coordenadas UTM.

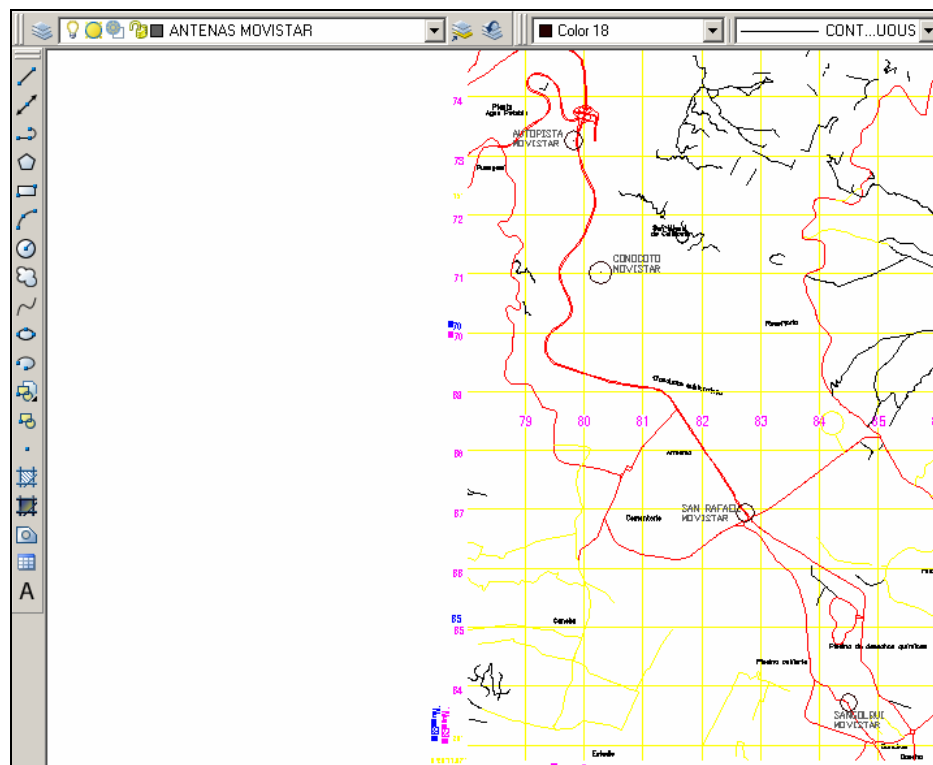


Figura 6.6.- Capa Activa Movistar en Autocad.

En la Figura 6.7 se puede ver la capa activa de Alegro PCS con las Radiobases ubicadas en sus respectivas coordenadas UTM.

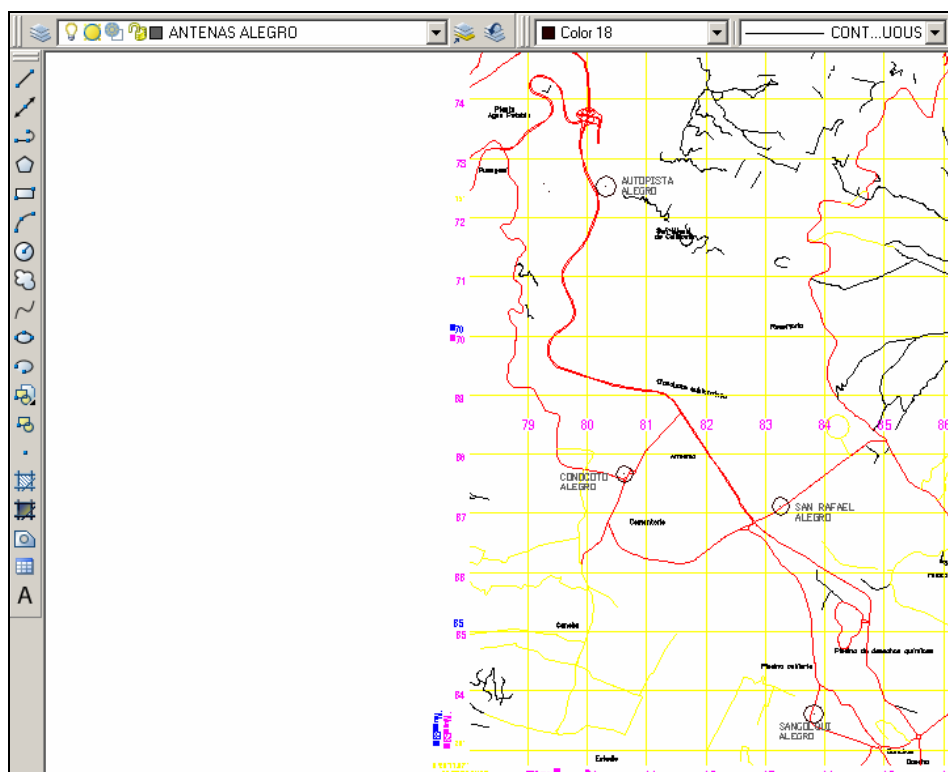


Figura 6.7.- Capa Activa Alegro en Autocad

6.3 DETERMINACION DE LOS PARÁMETROS DE LAS RADIO BASES Y LOS PANELES BIDIRECCIONALES DE SERVICIO CELULAR.

Cada Radio Base esta conformada por Paneles Bidireccionales los cuales sectorizan la zona de cobertura, cada uno de ellos tiene una altura y un azimut diferente. Por esta razón se realizo una visita técnica a cada una de las radio bases y se estableció cada uno de estos parámetros con la ayuda de: Un GPS y un Telémetro Láser.

A continuación presentamos toda la información que se pudo reunir en cada Radio Base.

6.3.1 Radio Base 1

Altura (Nivel del Mar): 2546 mts.

Altura (Radio Base): 38 mts.

Numero de Antenas: 9

Detalle de Antenas

Antenas	Altura(metros)	Azimut (grados)
1	40,00	210
2	40,00	160
3	40,00	230
4	40,00	150
5	40,00	210
6	40,00	210
7	27,10	60
8	36,00	160
9	36,00	210

Tabla 6.2.- Detalle Antenas Radio Base 1

6.3.2 Radio Base 2

Altura (Nivel del Mar): 2515 mts.

Altura (Radio Base): 60,90 mts.

Numero de Antenas: 3

Detalle de Antenas

Antenas	Altura(metros)	Azimut (grados)
1	60,90	0
2	60,90	110
3	60,90	230

Tabla 6.3.- Detalle Antenas radio Base 2

6.3.3 Radio Base 3

Altura (Nivel del Mar): 2529 mts.

Altura (Radio Base): 50,00 mts.

Numero de Antenas: 15

Detalle de Antenas

Antenas	Altura(metros)	Azimut (grados)
1	48,5	60
2	48,3	60
3	48,5	60
4	49,4	60
5	49,3	60
6	48,50	310
7	48,30	310
8	48,50	310
9	49,40	310
10	49,30	310
11	48,50	170
12	48,30	170
13	48,50	170
14	49,50	170
15	49,30	170

Tabla 6.4.- Detalle Antenas Radio Base 3.**6.3.4 Radio Base 4****Altura (Nivel del Mar):** 2506 mts.**Altura (Radio Base):** 36,00 mts.**Numero de Antenas:** 3**Detalle de Antenas**

Antenas	Altura(metros)	Azimut (grados)
1	36,00	0
2	36,00	110
3	36,00	250

Tabla 6.5.- Detalle Antenas Radio Base 4

6.3.5 Radio Base 5

Altura (Nivel del Mar): 2485 mts.
Altura (Radio Base): 41,00 mts.
Numero de Antenas: 15

Detalle de Antenas

Antenas	Altura(metros)	Azimut (grados)
1	38,2	120
2	39,7	120
3	38,2	120
4	40,5	120
5	40,2	120
6	38,20	0
7	39,70	0
8	38,20	0
9	40,50	0
10	40,20	0
11	38,20	240
12	39,70	240
13	38,20	240
14	40,50	240
15	40,20	240

Tabla 6.6 Detalle Antenas Radio Base 5

6.3.6 Radio Base 6

Altura (Nivel del Mar): 2484 mts.
Altura (Radio Base): 41,00 mts.
Numero de Antenas: 3

Detalle de Antenas

Antenas	Altura(metros)	Azimut (grados)
1	63,00	60
2	63,00	180
3	63,00	320

Tabla 6.7.- Detalle de Antenas radio Base 6**6.3.7 Radio Base 7**

Altura (Nivel del Mar): 2554 mts.

Altura (Radio Base): 30,00 mts.

Numero de Antenas: 10

Detalle de Antenas

Antenas	Altura(metros)	Azimut (grados)
1	28,2	120
2	25,5	120
3	24,5	110
4	29,5	120
5	24,5	150
6	29,50	210
7	29,50	210
8	29,50	0
9	29,50	0
10	24,50	330

Tabla 6.8.- Detalle de Antenas Radio Base 7**6.3.8 Radio Base 8**

Altura (Nivel del Mar): 2560 mts.

Altura (Radio Base): 58,00 mts.

Numero de Antenas: 3

Detalle de Antenas

Antenas	Altura(metros)	Azimut (grados)
1	58,00	80
2	58,00	170
3	58,00	270

Tabla 6.9.- Detalle de Antenas Radio Base 8

6.3.9 Radio Base 9

Altura (Nivel del Mar): 2502 mts.

Altura (Radio Base): 36,50 mts.

Numero de Antenas: 3

Detalle de Antenas

Antenas	Altura(metros)	Azimut (grados)
1	36,50	90
2	36,50	235
3	36,50	325

Tabla 6.10.- Detalle Antenas Radio Base 9

6.3.10 Radio Base 10

Altura (Nivel del Mar): 2714 mts.

Altura (Radio Base): 33,50 mts.

Numero de Antenas: 10

Detalle de Antenas

Antenas	Altura(metros)	Azimut (grados)
1	32,6	30
2	28,5	30
3	31,5	30
4	32,8	30
5	30,5	270

6	32,20	270
7	33,00	270
8	34,20	270
9	25,30	150
10	23,10	150

Tabla 6.11.- Detalle Antenas Radio Base 10

6.3.11 Radio Base 11

Altura (Nivel del Mar): 2777 mts.

Altura (Radio Base): 38,50 mts.

Numero de Antenas: 3

Detalle de Antenas

Antenas	Altura(metros)	Azimut (grados)
1	37,50	80
2	37,50	200
3	37,50	330

Tabla 6.12.- Detalle Antenas Radio Base 11

6.3.12 Radio Base 12

Altura (Nivel del Mar): 2882 mts.

Altura (Radio Base): 13,00 mts.

Numero de Antenas: 2

Detalle de Antenas

Antenas	Altura(metros)	Azimut (grados)
1	13,00	210
2	13,00	280

Tabla 6.13.- Detalle Antenas Radio Base 12

6.3.13 Radio Base 13

Altura (Nivel del Mar):	2886 mts.
Altura (Radio Base):	11,00 mts.
Numero de Antenas:	7

Detalle de Antenas

Antenas	Altura(metros)	Azimut (grados)
1	11	250
2	8,9	250
3	9,4	90
4	32,8	30
5	30,5	270
6	32,20	270
7	23,10	150

Tabla 6.14.- Detalle Antenas radio Base 13.

Todos los datos presentados en las tablas anteriores son necesarios para realizar el proceso de medición de cada Radio Base, esta información ordenada y clasificada nos ayudará el momento de estimar que puntos se van a medir.

6.4 DESCRIPCIÓN DE PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

En este apartado se pretende establecer un procedimiento de medición de la exposición del público en general a las radiaciones electromagnéticas no ionizantes en el espacio circundante a las antenas de estaciones radiobases.

Para establecer un procedimiento de Medición es importante definir los siguientes términos:

Emisión: Radiación producida por una única fuente de radiofrecuencia.

Inmisión: Radiación resultante del aporte de todas las fuentes de radiofrecuencia cuyos campos están presentes en el lugar.

6.4.1 Métodos de Medición

Se definirán dos métodos de medición:

- Método de Integración de Banda Ancha
- Método de Integración de Banda Angosta

6.4.1.1 Método de Integración por Banda Ancha

Consiste en medir en el punto considerado, la resultante espacial de campo eléctrico y/o de campo magnético y/o la densidad de potencia, resultante de la suma de todas las componentes de campo eléctrico y/o magnético que pertenezcan a la banda pasante del instrumento utilizado.

Los Medidores de Banda Ancha son detectores de Radiación Electromagnética que responde uniforme e instantáneamente a un amplio rango de frecuencias y no son sintonizables. Estos instrumentos se emplean con sondas de medición de Campo Eléctrico y Campo Magnético del tipo isotrópico, dado que proporcionan una respuesta independiente de la orientación de la sonda. Este tipo de instrumentos son utilizados para la medición de inmisión.

Por lo tanto para la Medición de Banda Ancha nos basaremos en la utilización de un Medidor de Campos Electromagnéticos con una sonda de medición de Campo Eléctrico.

6.4.1.2 Método de Integración por Banda Angosta

Consiste en medir en el punto de medición considerado una o más componentes espaciales de campo eléctrico y/o de campo magnético y/o la densidad de potencia, resultante de la integración espectral en el rango que sea elegido, el cual debe pertenecer al ancho de banda de la antena utilizada.

Los medidores de Banda Angosta son instrumentos de medición de intensidad de campo, analizadores de espectro, etc., que también operan sobre un amplio rango de frecuencias, pero su ancho de banda instantáneo de medición se reduce a anchos de banda estrechos.

Este tipo de dispositivos debe sintonizarse a la frecuencia de interés. A su vez, deben utilizarse en conjunto con antenas aptas para los distintos rangos de frecuencia de medición. Los instrumentos de banda angosta son utilizados para la medición de emisión y proporcionan información de la frecuencia bajo análisis.

6.4.2 Procedimiento de Medición

6.4.2.1 Consideraciones Previas:

- Para la elección de puntos es necesario un estudio previo de la información disponible sobre las estaciones a evaluar.
 - Se efectuará las mediciones en puntos accesibles.
 - Las mediciones se realizarán en las horas de mayor tráfico o de mayor potencia emitida.
 - Los puntos de medición deben quedar perfectamente definidos sobre un mapa en escala que permita la identificación inequívoca del punto de medición.
 - Las distancias para la ejecución de las medidas serán de 20, 50 y 100 metros en sentido horizontal y radial a partir de la base de la antena, siempre que los puntos de medición a estas distancias sean accesibles. En caso de no serlo, se efectuará la medición en puntos alternativos.
 - La altura de las mediciones será de 1.7 metros sobre la superficie de referencia.
 - Todos los equipos utilizados deben estar debidamente calibrados y deben cubrir toda la banda de interés.
 - Para evitar acoplamiento capacitivos, los puntos de medición deben encontrarse a una distancia no inferior a 20 cm de cualquier objeto conductor.
-

- La evaluación de contaminación electromagnética se llevará a cabo mediante un Medidor de Campo Eléctrico con su respectiva sonda isotrópica y un Analizador de Espectros, los cuales deberán ser soportados por una estructura dieléctrica (trípode) para que el cuerpo de operador no altere las mediciones.
- Para los valores de campo Eléctrico registrados se realizará un promedio a lo largo de un periodo de 10 minutos registrándose los valores medidos.
- Para los valores de Potencia registrados se realizará 50 mediciones de 161 muestras cada una y se realizará un promedio de todas las mediciones obtenidas para un mismo punto.

6.4.2.2 Procedimiento:

- Obtener un Mapa de acceso o Croquis y realizar la inspección física de las instalaciones obteniendo los datos de cada estación radiobase (torres, sectores, antenas, etc.).
 - Determinación de las localizaciones físicas de los puntos de medición de acuerdo a las distancias predefinidas.
 - Ubicación de los Equipos en los puntos determinados.
 - Conexión con el Computador Portátil, para almacenamiento de mediciones.
 - Calibración del Equipo Smart Fieldmeter.
 - Ajuste de Frecuencia en la banda de la Empresa Operadora, en el Analizador de Espectros Protek 3290.
 - Adquisición de Datos de Campo Eléctrico con el Medidor Smart Fieldmeter y su respectivo Software.
-

- Adquisición de Datos de Potencia Recibida en el Analizador de Espectros Protek 3290 y su respectivo software.
- Conversión de datos registrados en unidades de Campo Eléctrico [V/m] a Densidad de Potencia [mW/cm^2] de acuerdo a la siguiente relación:

$$S = \frac{E^2}{\eta_0}$$

Donde:

S = Densidad de Potencia

E = Campo Eléctrico

η_0 = Impedancia intrínseca del espacio libre = 377

- Especificación del valor límite de Campo Eléctrico, Campo Magnético y Densidad de Potencia, a utilizar como referencia.
- Verificación de los datos obtenidos de Densidad de Potencia, mediante comparación con los límites establecidos en el punto anterior.

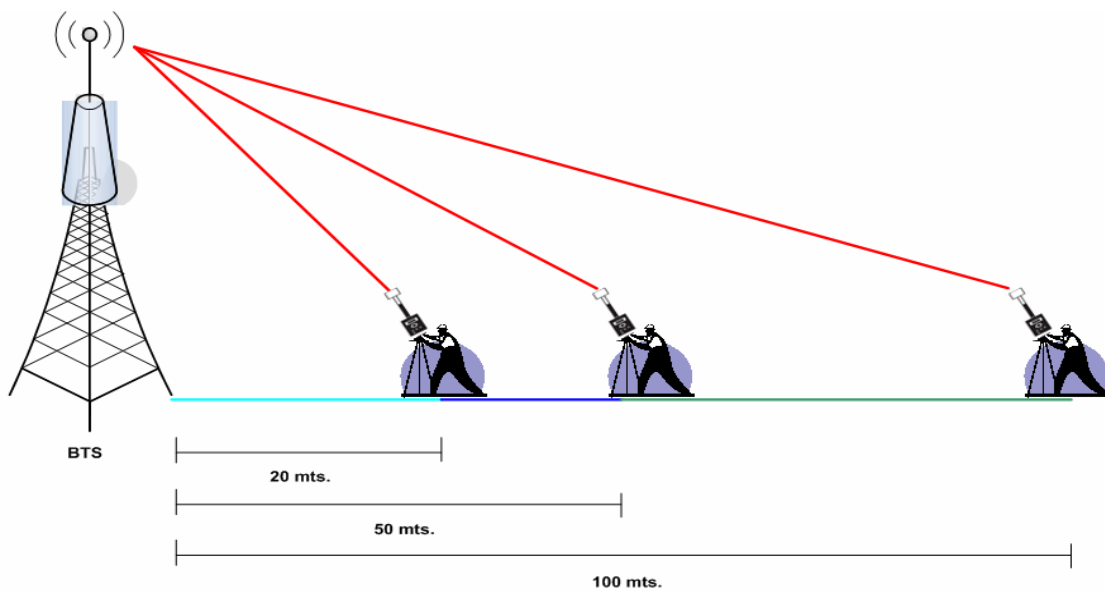


Figura 6.8.- Procedimiento de Medición

6.5 ADQUISICION DE DATOS

Cada Radio Base fue evaluada en cada uno de los puntos donde había acceso y se podía realizar el proceso de medición.

Cada uno de los equipos encargados de la adquisición de Datos contenía su propio Software, por esto a continuación se describirá brevemente el procedimiento para poder realizar esta operación.

Una vez ubicado el punto de máximo nivel de señal, se deberá adquirir los datos por el periodo de tiempo especificado en el procedimiento de medición.

Para la medición de Intensidad de Campo Eléctrico se hace uso del Software DI-194 Win Daq Serial Acquisition, este software se encarga de la recepción desde el Smart FieldMeter.

Este software, junto al equipo de adquisición de datos realiza el almacenamiento de todas las variaciones en el Medidor de Intensidad de Campo Eléctrico.

Para calibrar el Win Daq se sigue el siguiente procedimiento:

1. Con el PC Link for Smart FieldMeter prendido y el Medidor de Intensidad de Campo Eléctrico apagado, se chequea que la lectura en el Computador sea menor a 0,1 V/m.
2. Presionamos F12 o en el menú Edit, Fixed Calibration.
3. En el cuadro Engr. Value debería estar el valor de +6.00 y -6.00. Si se tienen números diferentes se debe de poner los valores anteriormente mencionados.
4. Si en el cuadro Engr. Value están los valores +6.00 y -6.00, pero el Computador nos muestra valores muy pequeños que los marcados en el Smart FieldMeter, el incremento en ambos números por un igual factor de error resolverá el problema.

Luego de Realizar las pruebas necesarias se establecieron valores casi fijos los cuales dependen de la escala a la cual el equipo se está usando. En la Tabla 6.15 se especifican los valores obtenidos

Escala SmartField Meter	Valor de error
2 V/m	+6.00
	-6.00
20 V/m	+9.50
	-9.50

Tabla 6.15.- Valores de Calibración

Con los equipos calibrados procedemos a almacenar los datos en un archivo con el siguiente formato base-número_distancia-mts_fecha_hora_punto de medición, con esto establecemos que un solo archivo corresponderá a la medición realizada y por lo tanto no existirán equivocaciones. En la Figura 6.9 se puede observar una ventana de una medición finalizada.

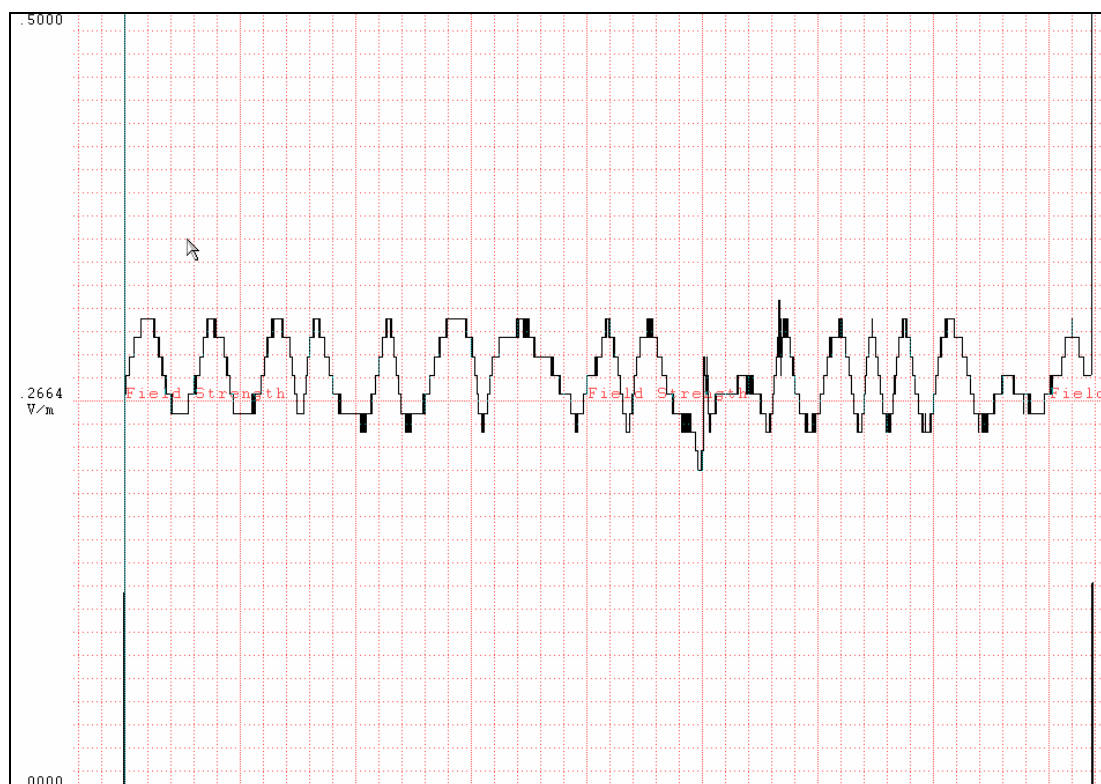


Figura 6.9.- Adquisición de Datos de Smart FieldMeter.


Para la Potencia, se hace uso del software RF Field Analyzer que incluía el equipo de medición. El uso de este software no necesita ningún tipo de calibración salvo la configuración de una manera correcta del puerto de comunicaciones. Se debe de recalcar

que la configuración del equipo tiene que estar correcta. En la Figura 6.10 podemos observar a una portadora celular comprendida entre 824.0 Mhz y 894.00 Mhz.



Figura 6.10.- Ventana de Adquisición de Datos RF Field Analyzer

En este software la adquisición de datos se realiza de forma manual, y los datos se guardan en formato “csv” este tipo de archivo es una hoja de Excel con los datos separados por comas.

Para exportar las mediciones tomadas a formato csv, se hace clic en el botón , luego de eso, especificamos el nombre del archivo y se guarda el mismo haciendo uso del botón guardar.

Una vez almacenados los datos se procesa las muestras, para lo cual se utiliza Excel como herramienta de extracción de datos.

Para la Intensidad de Campo Eléctrico y para la Potencia de cada uno de los puntos de las Radio Bases se usó un archivo en Excel el cual se encarga de: separar los datos, almacenarlos en un archivo único y trazar la gráfica de la medición correspondiente. En la Figura 6.11 se muestra el archivo de procesamiento para Potencia y en la Figura 6.12 se muestra el archivo de procesamiento para Intensidad de Campo Eléctrico.

No. Marker	Freq.	Level	total caracteres	tara	Zda	tara	No. Marker	Freq.	Level	Level
1	8240000,00000,3,5	20	2	11	11	1	824000	00000	3,5	824,00
2	8244450,00000,2	19	2	11	11	2	824445	00000	2	824,45
3	8248900,00000,4,5	20	2	11	11	3	824890	00000	4,5	824,89
4	8253350,00000,2,5	20	2	11	11	4	825335	00000	2,5	825,34
5	8257800,00000,3,5	20	2	11	11	5	825780	00000	3,5	825,78
6	8262250,00000,2	18	2	11	11	6	826225	00000	2	826,23
7	8266700,00000,2	18	2	11	11	7	826670	00000	2	826,67
8	8271150,00000,2	18	2	11	11	8	827115	00000	2	827,12
9	8275600,00000,3,5	20	2	11	11	9	827560	00000	3,5	827,56
10	8280050,00000,3	19	3	12	18	10	828005	00000	3	828,01
11	8284500,00000,2	19	3	12	18	11	828450	00000	2	828,45
12	8288950,00000,3	19	3	12	18	12	828895	00000	3	828,90

Figura 6.11.- Archivo de Procesamiento Potencia

Samples per sec.	TIEMPO (s)	TIEMPO (m)	POTENCIA (W/m)	POTENCIA 204+ (W/m)	S (uW/cm2)	PROMEDIO (W/m)	PROMEDIO S(uW/cm2)
120167						2,660460967	1,89E+00
0,00, 2,5430E-01, 2,4512E+00	0,00	0,00	0,2543	2,543	1715344562	2,660460967	1,89E+00
1117, 2,6035E-01, 2,4512E+00	0,02	0,00	0,2603	2,603	1737243767	2,660460967	1,89E+00
2,233, 2,7246E-01, 2,4512E+00	0,04	0,00	0,2724	2,724	1968216446	2,660460967	1,89E+00
3,350, 2,7246E-01, 2,4512E+00	0,06	0,00	0,2724	2,724	1968216446	2,660460967	1,89E+00
4,467, 2,7852E-01, 2,4512E+00	0,07	0,00	0,2785	2,785	2,057354111	2,660460967	1,89E+00
5,593, 2,8457E-01, 2,4512E+00	0,09	0,00	0,2845	2,845	2,148956233	2,660460967	1,89E+00
6,700, 2,9063E-01, 2,4512E+00	0,11	0,00	0,2906	2,906	2,240009549	2,660460967	1,89E+00
7,817, 2,9063E-01, 2,4512E+00	0,13	0,00	0,2906	2,906	2,240009549	2,660460967	1,89E+00
8,933, 2,9063E-01, 2,4512E+00	0,15	0,00	0,2906	2,906	2,240009549	2,660460967	1,89E+00
10,050, 2,9668E-01, 2,4512E+00	0,17	0,00	0,2966	2,966	2,33346313	2,660460967	1,89E+00
11,167, 3,0273E-01, 2,4512E+00	0,19	0,00	0,3027	3,027	2,430432095	2,660460967	1,89E+00
12,283, 3,0273E-01, 2,4512E+00	0,20	0,00	0,3027	3,027	2,430432095	2,660460967	1,89E+00
13,400, 3,0273E-01, 2,4512E+00	0,22	0,00	0,3027	3,027	2,430432095	2,660460967	1,89E+00
14,517, 3,0273E-01, 2,4512E+00	0,24	0,00	0,3027	3,027	2,430432095	2,660460967	1,89E+00
15,633, 3,0273E-01, 2,4512E+00	0,26	0,00	0,3027	3,027	2,430432095	2,660460967	1,89E+00
16,750, 3,0273E-01, 2,4512E+00	0,28	0,00	0,3027	3,027	2,430432095	2,660460967	1,89E+00
17,867, 2,9668E-01, 2,4512E+00	0,30	0,00	0,2966	2,966	2,33346313	2,660460967	1,89E+00
18,983, 2,9668E-01, 2,4512E+00	0,32	0,00	0,2966	2,966	2,33346313	2,660460967	1,89E+00

Figura 6.12.- Archivo de Procesamiento Campo Eléctrico.

CAPITULO 7

PONDERACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se calcula la densidad de potencia a partir de la Intensidad de Campo Eléctrico medido y con ésta se establecen los límites máximos obtenidos.

A partir de las simulaciones, se comparan los valores medidos y obtenidos para así establecer una diferencia entre ambos resultados.

7.1 OBTENCIÓN DE LA DENSIDAD DE POTENCIA

Para obtener la densidad de potencia a partir de la Intensidad de Campo Eléctrico medida se hace uso de la siguiente fórmula:

$$S = \frac{E^2}{3,77} [uW / cm^2] \quad \text{Ecuación 7.1}$$

Esta fórmula se encuentra incluida en la Hoja de Excel modelo para la pre – carga de los datos en la base de datos, por lo tanto los datos de densidad de potencia han sido calculados correctamente.

7.2 ANALISIS EN LOS ERRORES DE LA MEDICIÓN

El error de medición viene especificado en cada uno de los equipos involucrados, para el medidor de Intensidad de Campo Eléctrico se especifican los siguientes datos de error, Tabla 7.1

Exactitud de la Calibración	+/- 0.5dB
Desviación Lineal	+/- 1.5dB en cualquier rango de medición +/- 1dB típicamente.
Respuesta en frecuencia de la Punta de Prueba	+/- 1dB (2MHz – 2.5GHz)
Rango Térmico de operación	5 °C a 40 °C
Error de Temperatura	< 0.08 dB/°C en el rango de 2V/m < 0.05dB/° C en el resto de Rangos

Tabla 7.1. Valores de Error Smart Field Meter. Tomado del Certificado de Calibración

Para el Analizador de Espectros portátil los valores de error vienen especificados en la tabla 7.2

Sensibilidad de Recepción	Para EMF 10dB en Modo W - FM
Resolución	+/- 0.5dB
Exactitud	+/- 3dB en Temperatura Ambiente (23°C ±3°C)
Nivel de Ruido Generado internamente	-35dBc ⁶⁰ en W - FM
Error de Temperatura	< 0.08 dB/°C en el rango de 2V/m < 0.05dB/° C en el resto de Rangos

Tabla 7.2.- Valores de Error Protek 3290. Tomado del Manual de usuario.

Existe otro factor importante que se debe tomar en cuenta al hablar de error de medición, el aislamiento de la antena receptora de los equipos, mismo que al realizar las mediciones se minimizó al máximo.

Por esta razón los errores ocurridos durante la medición son mínimos y no afectaron a cada uno de los datos tomados.

⁶⁰ dBc es el nivel en dB relativo a la potencia de la señal portadora

7.3 PROCESAMIENTO DE LAS MEDICIONES CON LA AYUDA DE EMF – SOFT.

Luego de ingresar todos los puntos medidos en la base de datos EMF se generan reportes individuales, los cuales nos ayudarán a interpretar los datos que corresponden a cada punto medido.

A continuación se listan todos los puntos medidos, divididos por radio bases. A cada punto le corresponde una gráfica con su promedio correspondiente.

Radio Base	Puntos Medidos
1	6
2	6
3	6
4	6
5	6
6	6
7	6
8	3
9	4
10	2
11	3
12	2
13	3

Tabla 7.3.- Distribución de Radio Bases con sus puntos medidos

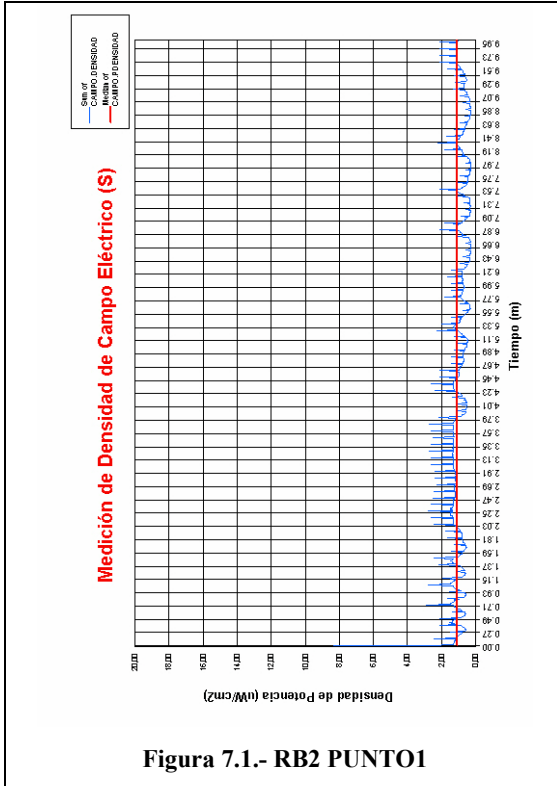


Figura 7.1.- RB2 PUNTO1

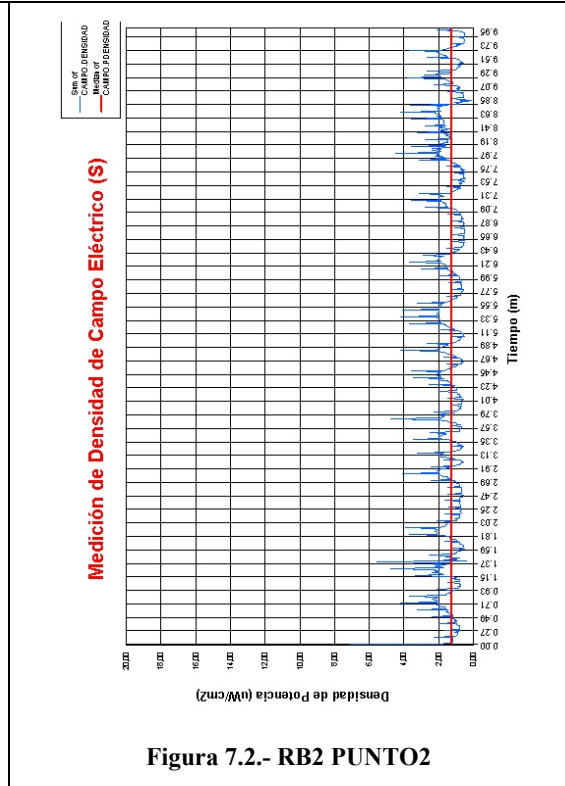


Figura 7.2.- RB2 PUNTO2

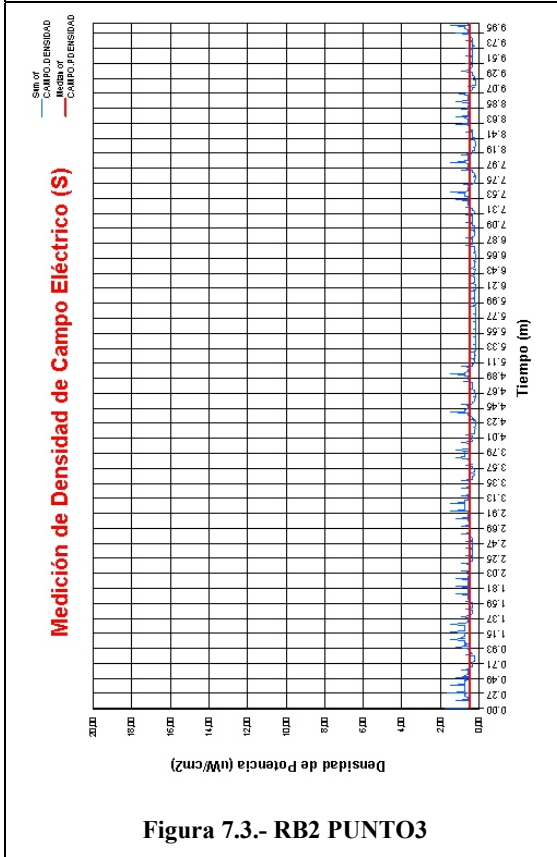


Figura 7.3.- RB2 PUNTO3

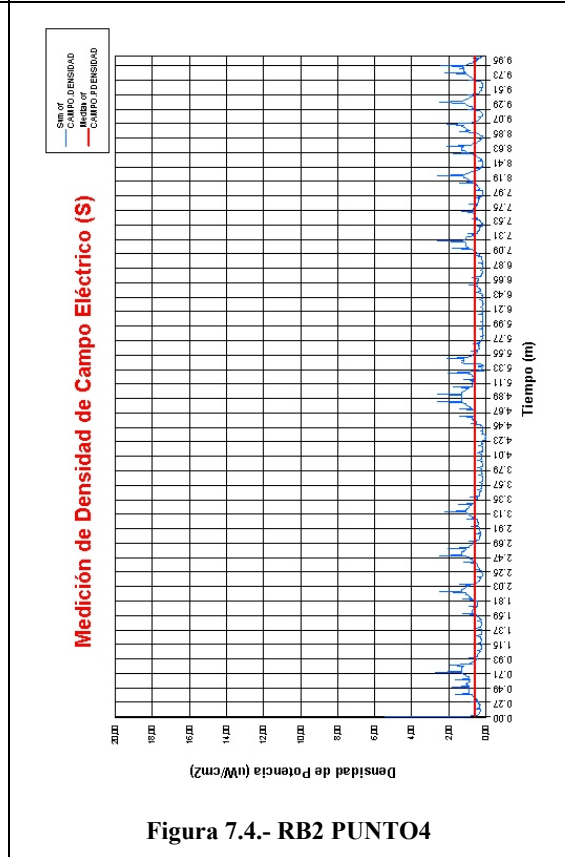


Figura 7.4.- RB2 PUNTO4

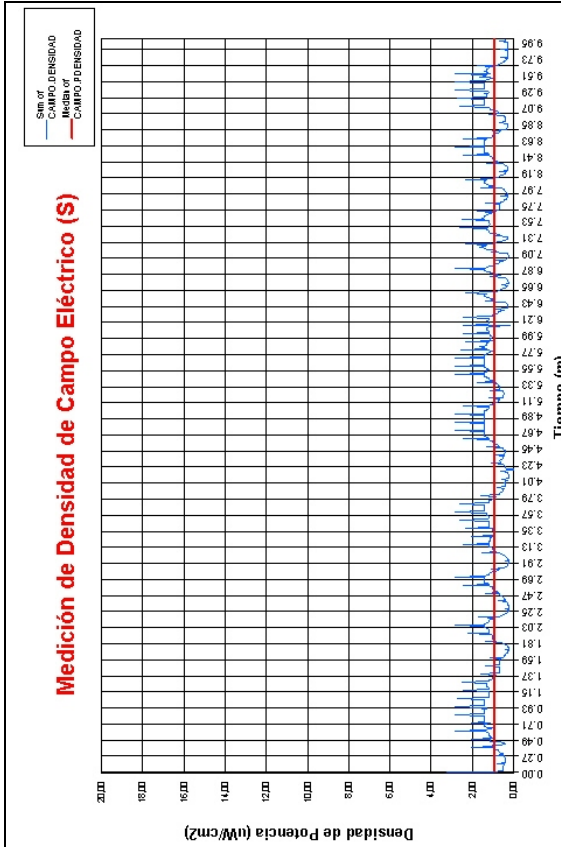


Figura 7.5.- RB2 PUNTO5

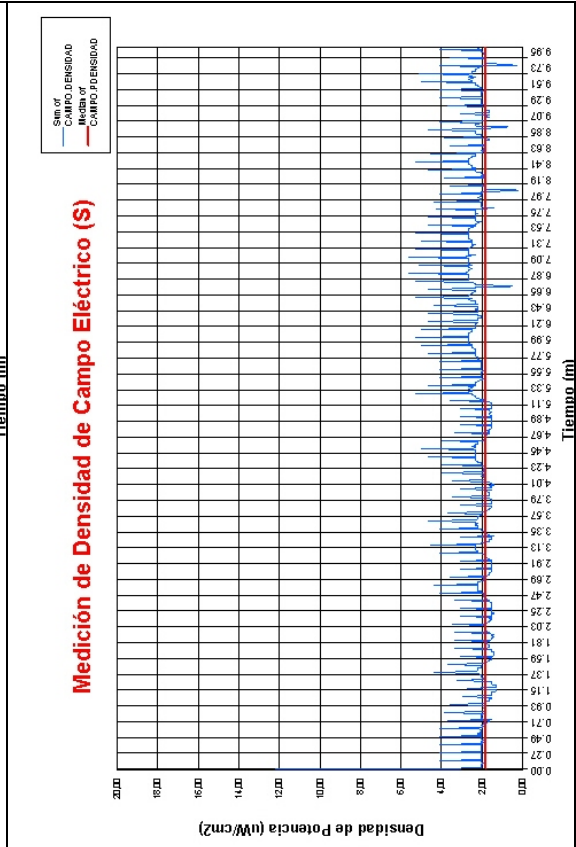


Figura 7.6.- RB2 PUNTO6

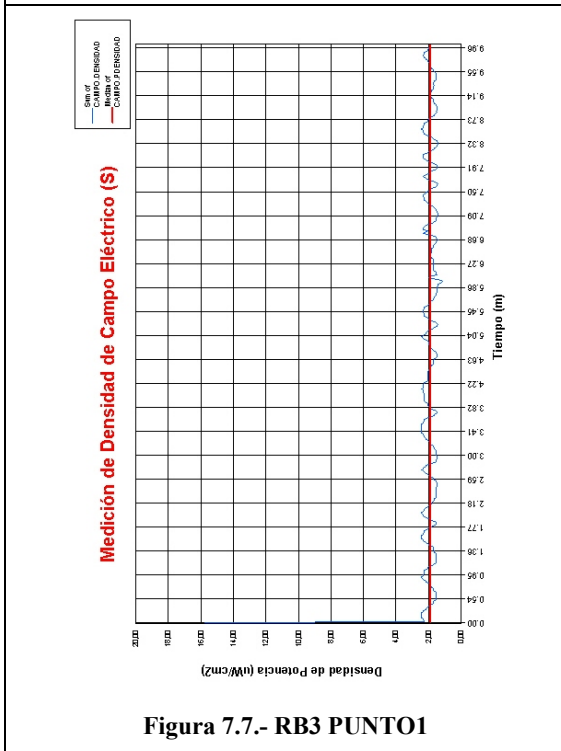


Figura 7.7.- RB3 PUNTO1

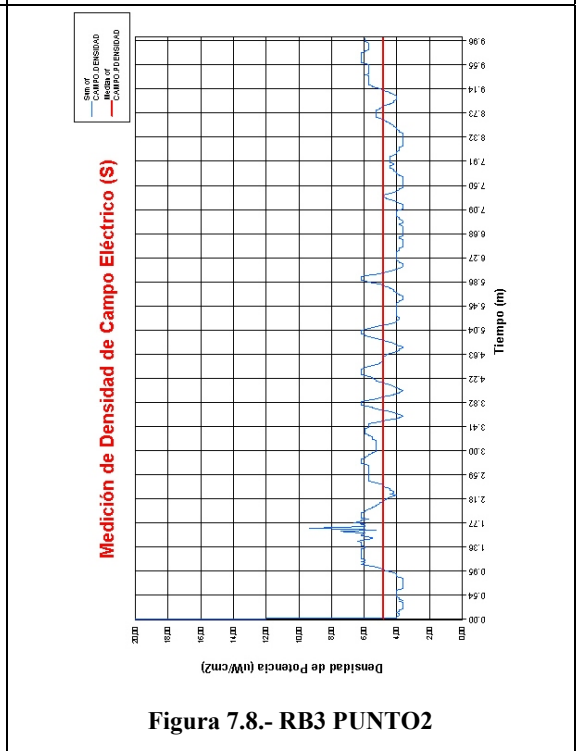


Figura 7.8.- RB3 PUNTO2

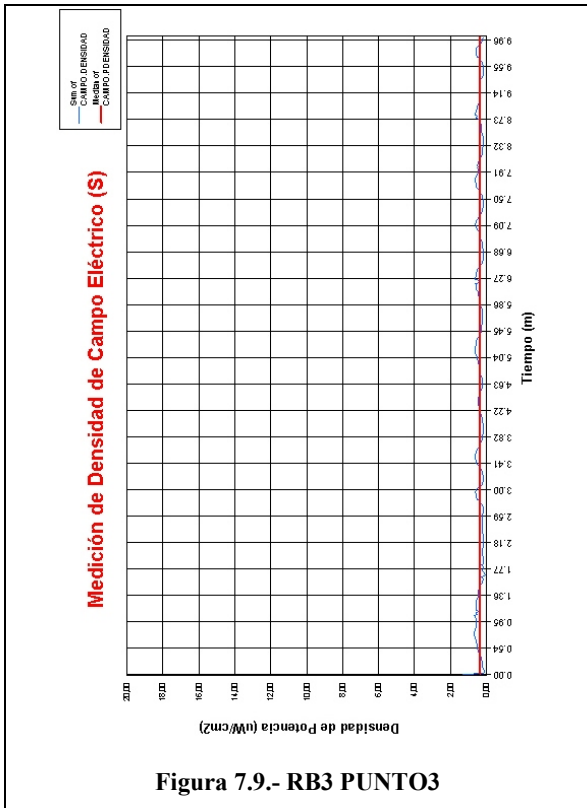


Figura 7.9.- RB3 PUNTO3

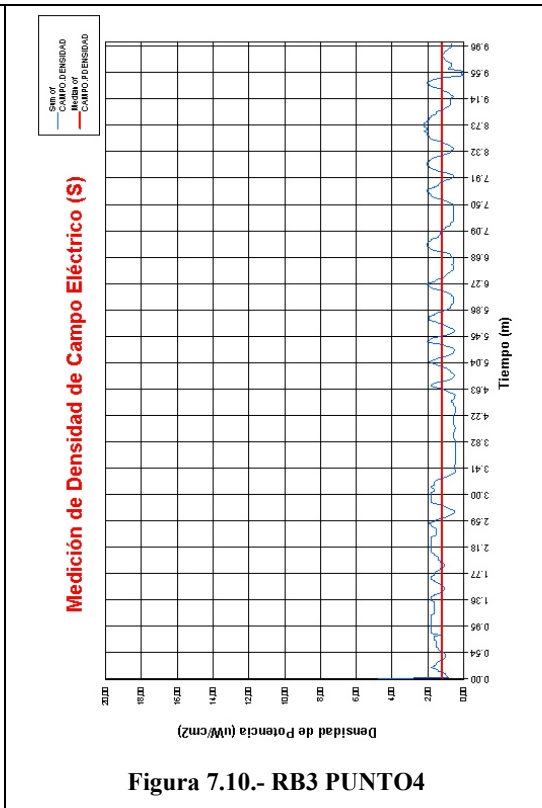


Figura 7.10.- RB3 PUNTO4

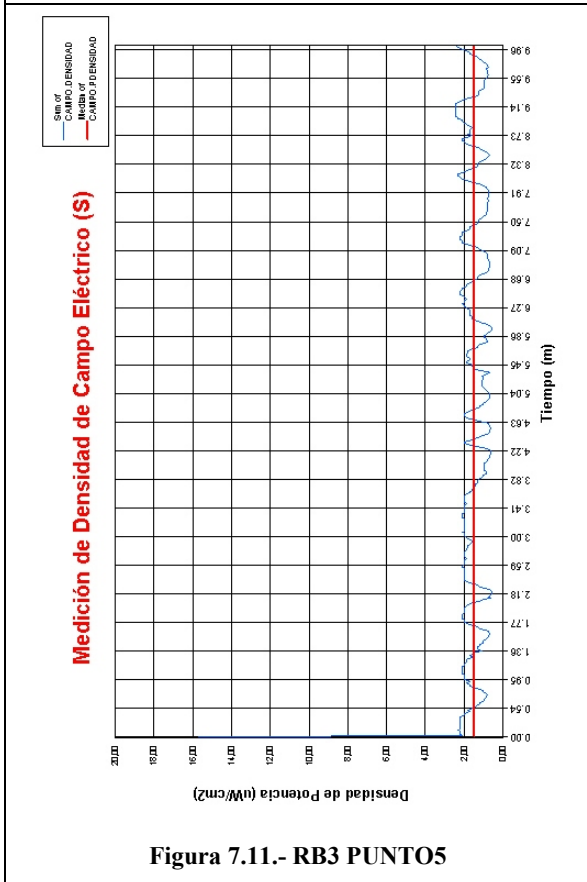


Figura 7.11.- RB3 PUNTO5

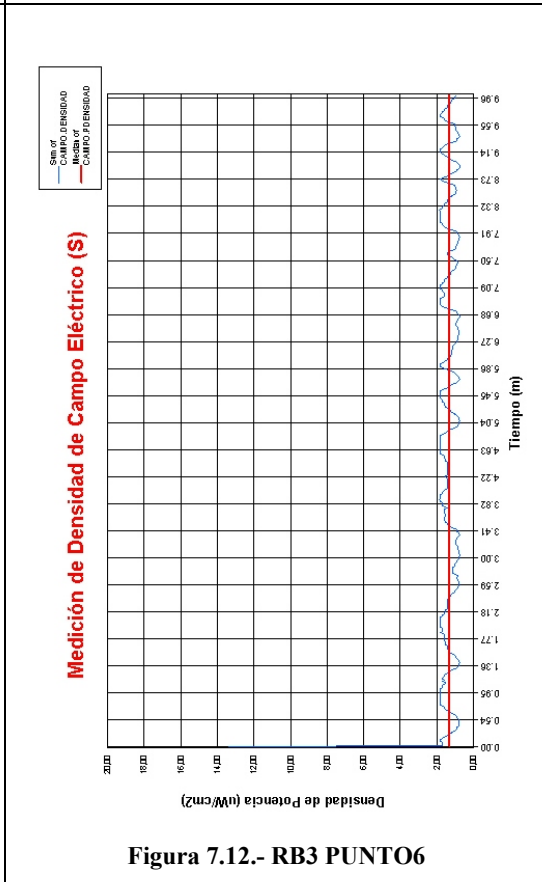


Figura 7.12.- RB3 PUNTO6

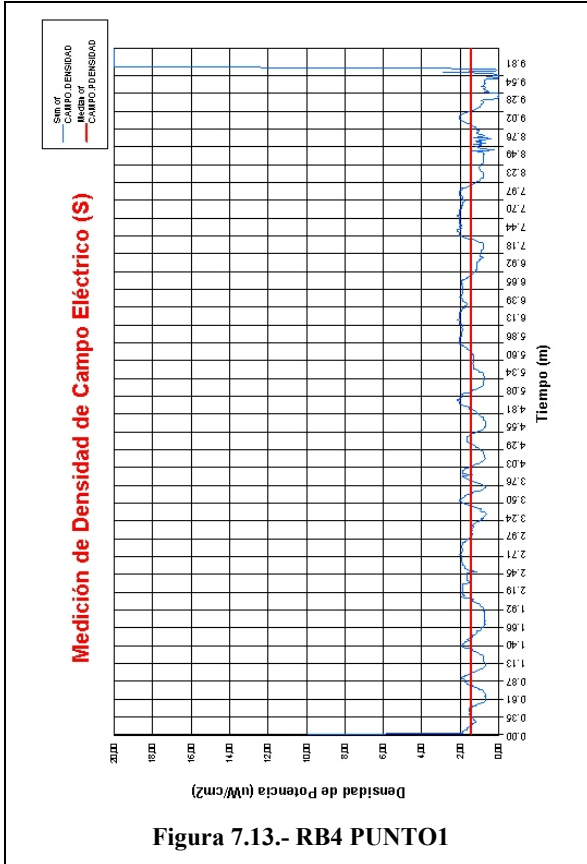


Figura 7.13.- RB4 PUNTO1

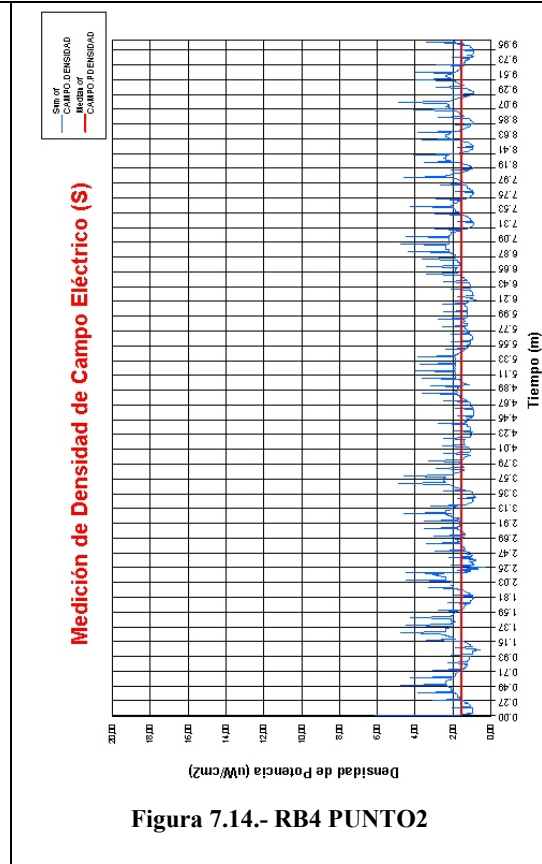


Figura 7.14.- RB4 PUNTO2

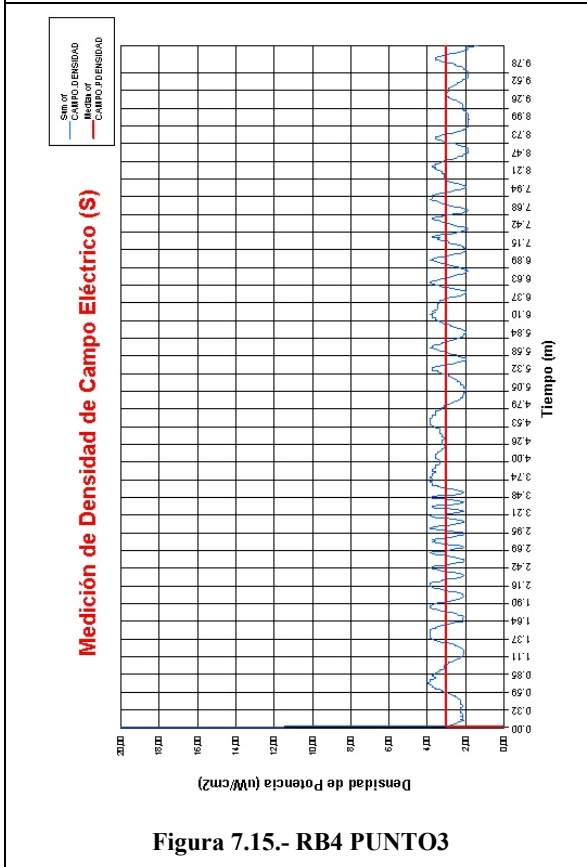


Figura 7.15.- RB4 PUNTO3

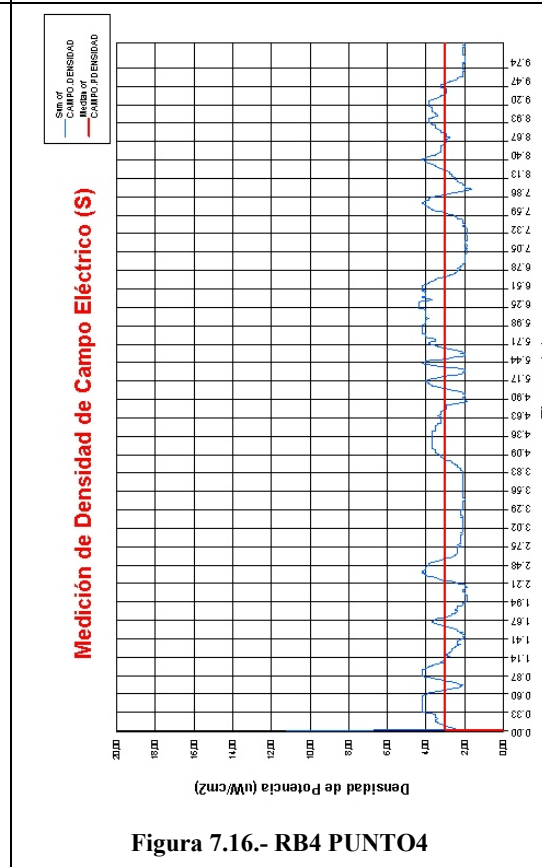
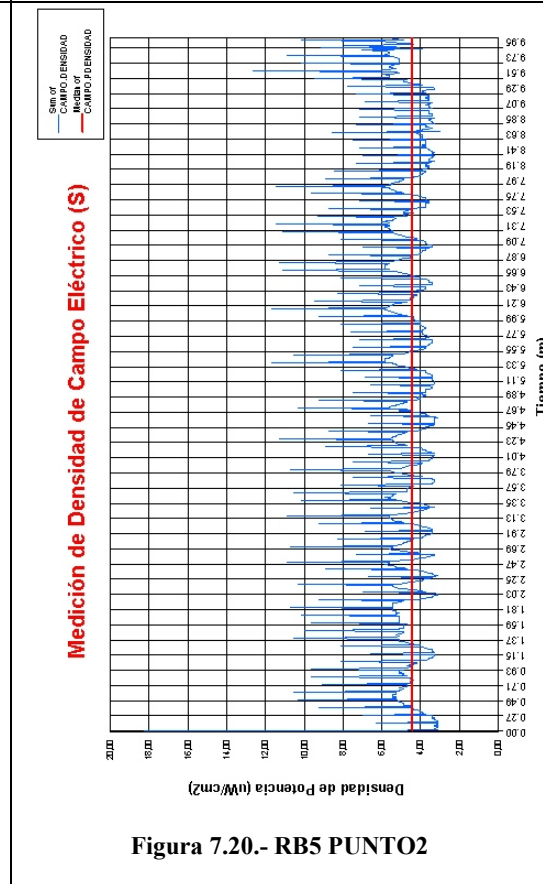
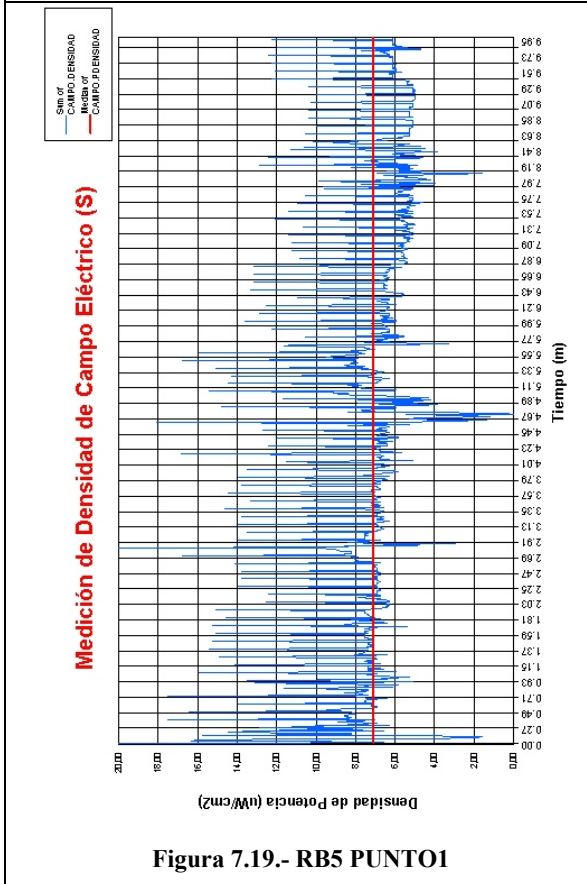
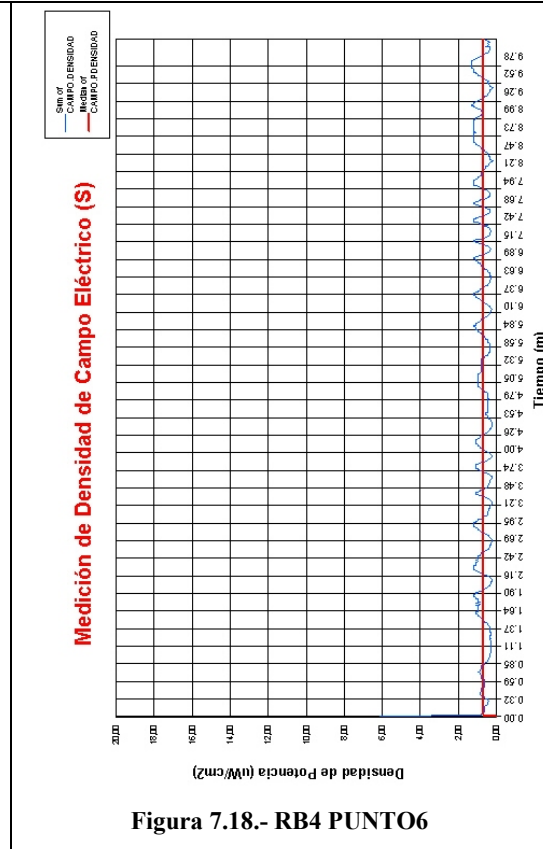
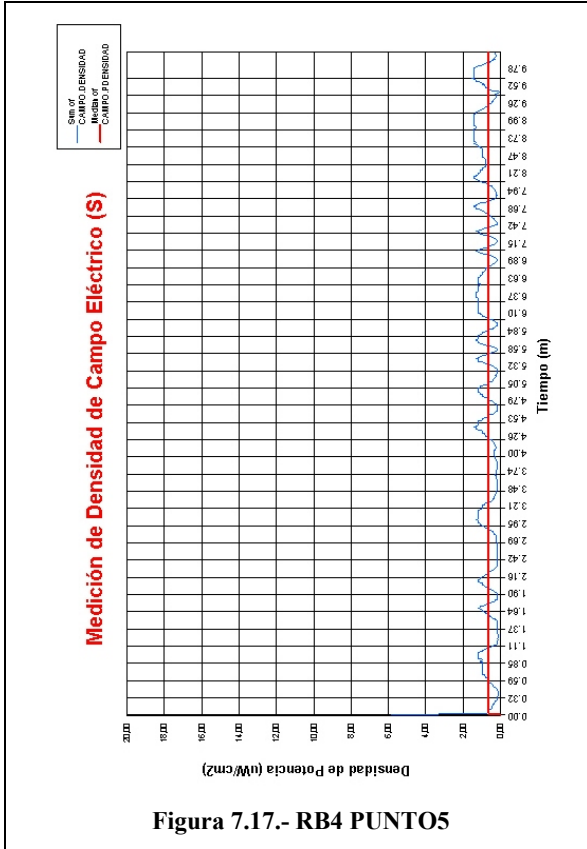


Figura 7.16.- RB4 PUNTO4



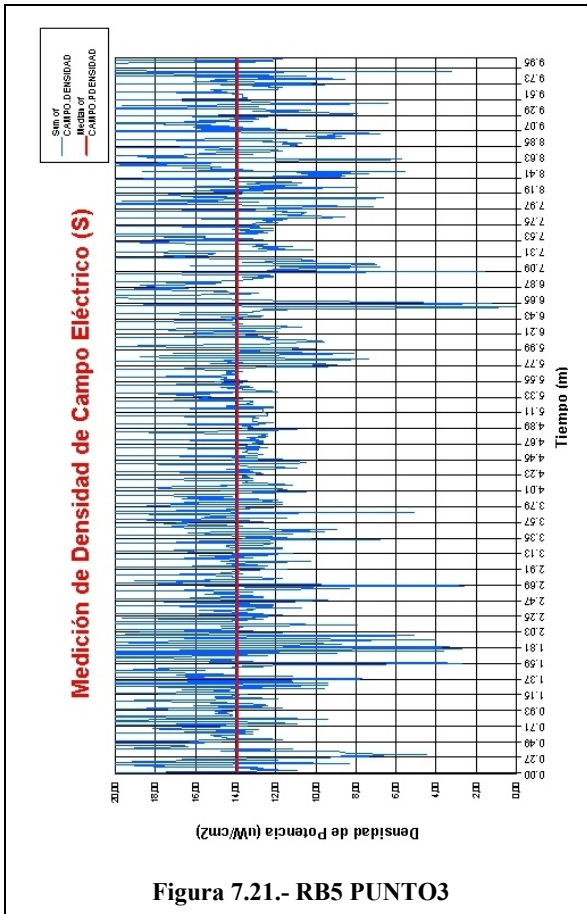


Figura 7.21.- RB5 PUNTO3

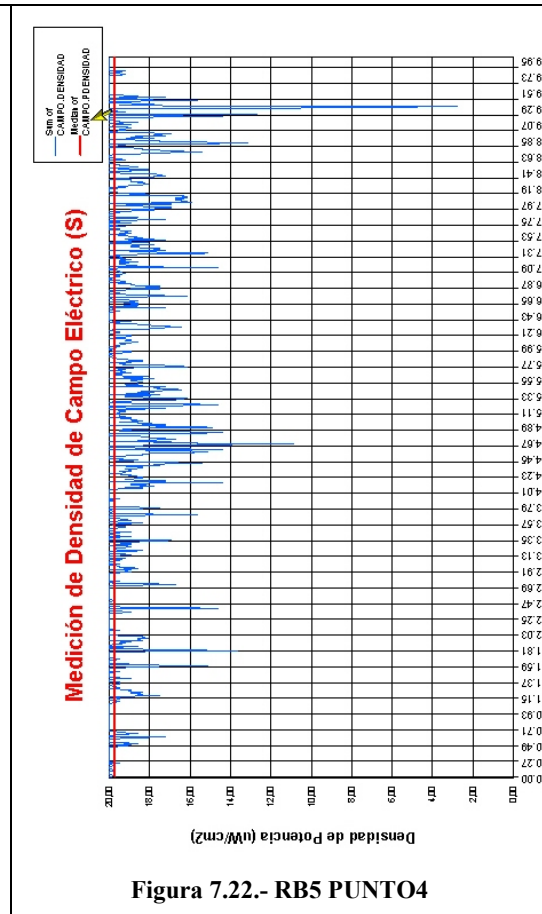


Figura 7.22.- RB5 PUNTO4

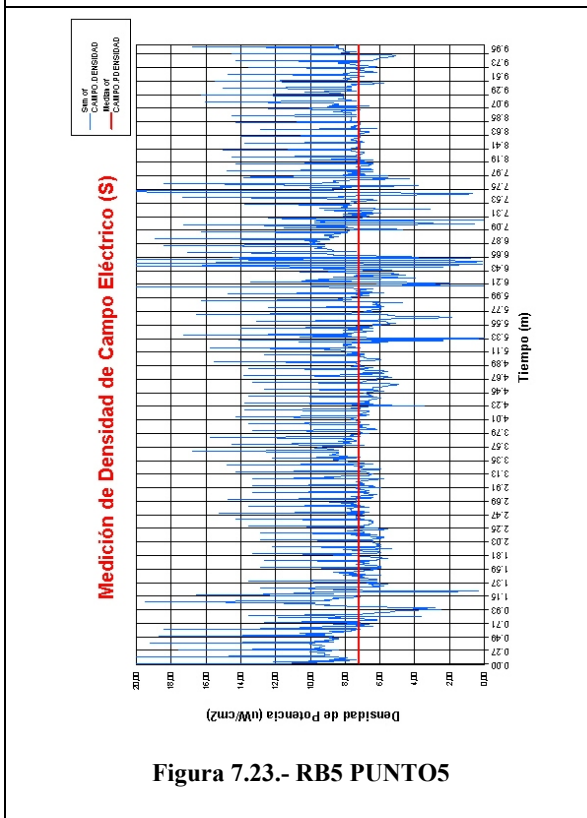


Figura 7.23.- RB5 PUNTO5

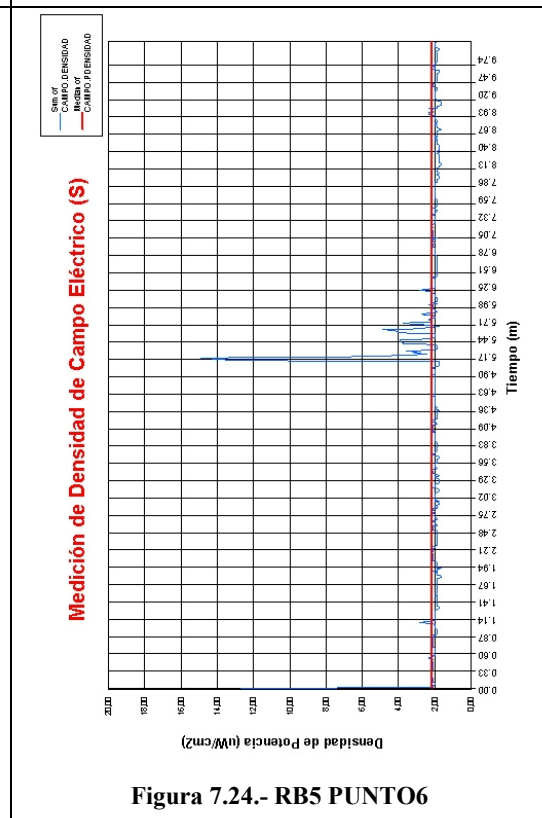


Figura 7.24.- RB5 PUNTO6

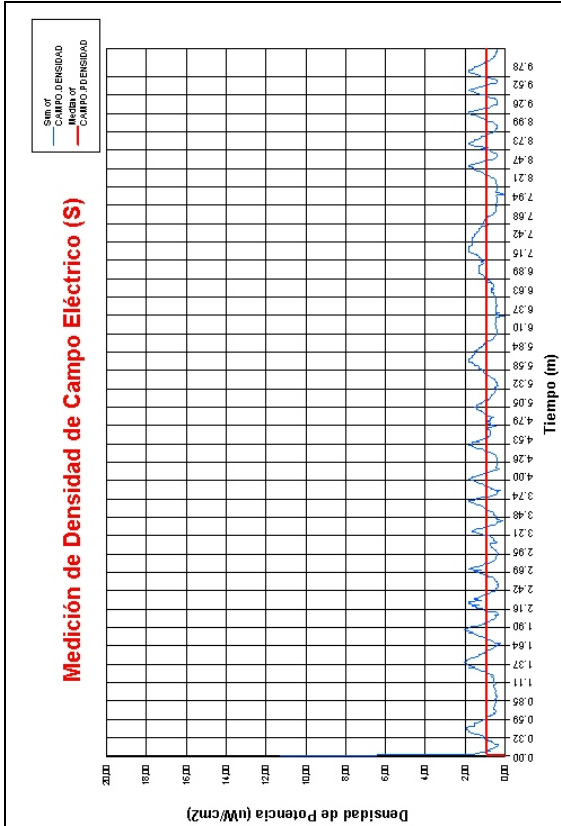


Figura 7.25.- RB6 PUNTO1

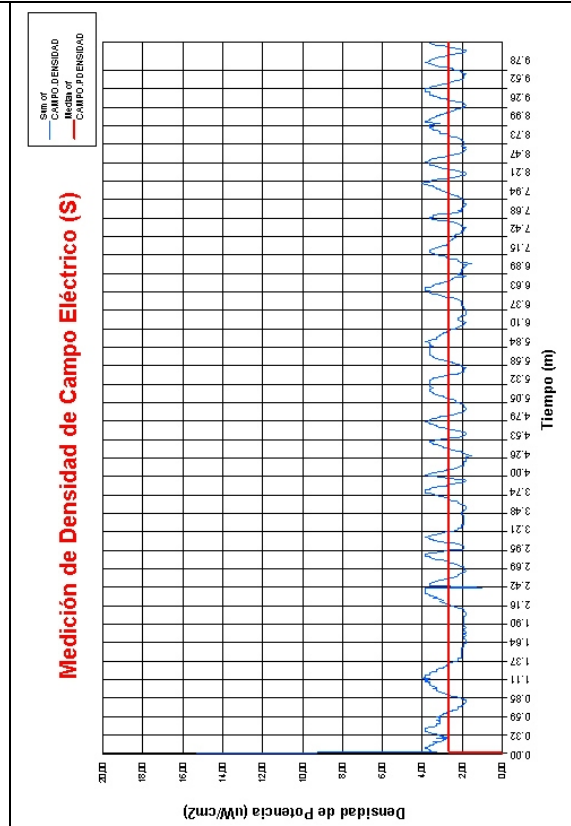


Figura 7.26.- RB6 PUNTO2

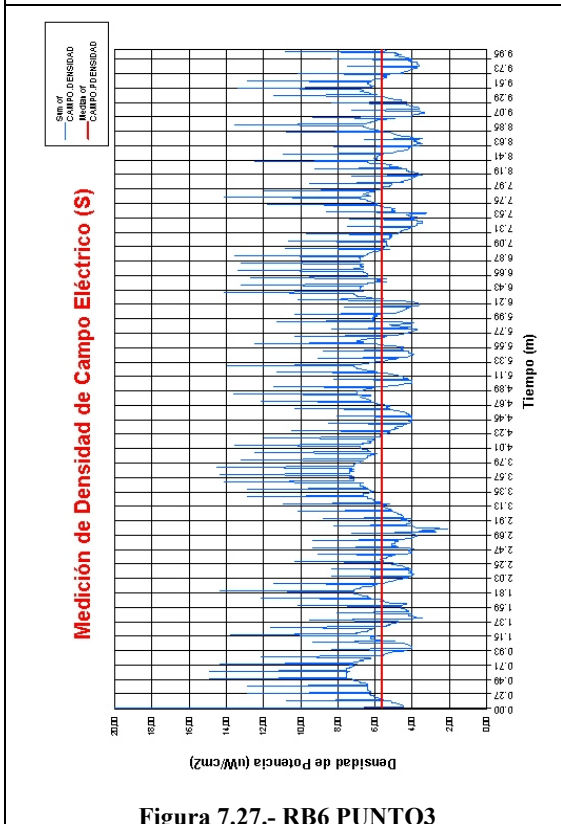


Figura 7.27.- RB6 PUNTO3

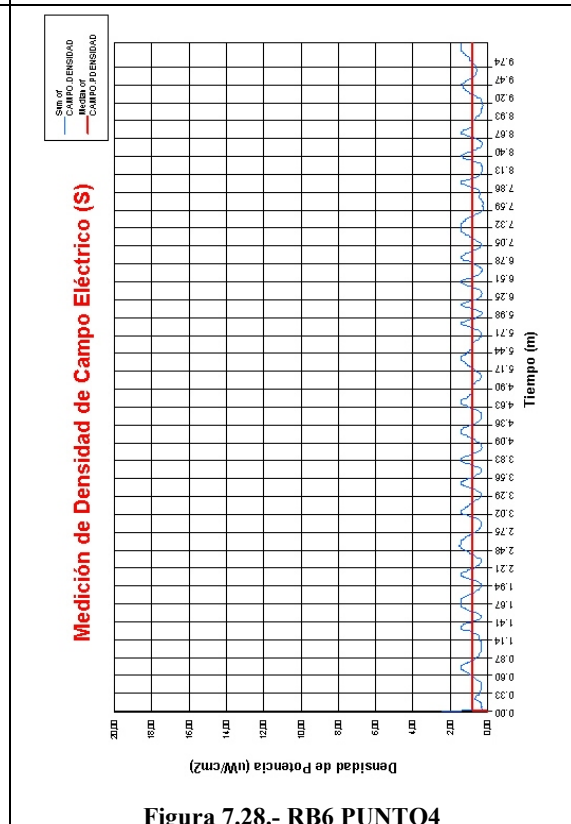


Figura 7.28.- RB6 PUNTO4

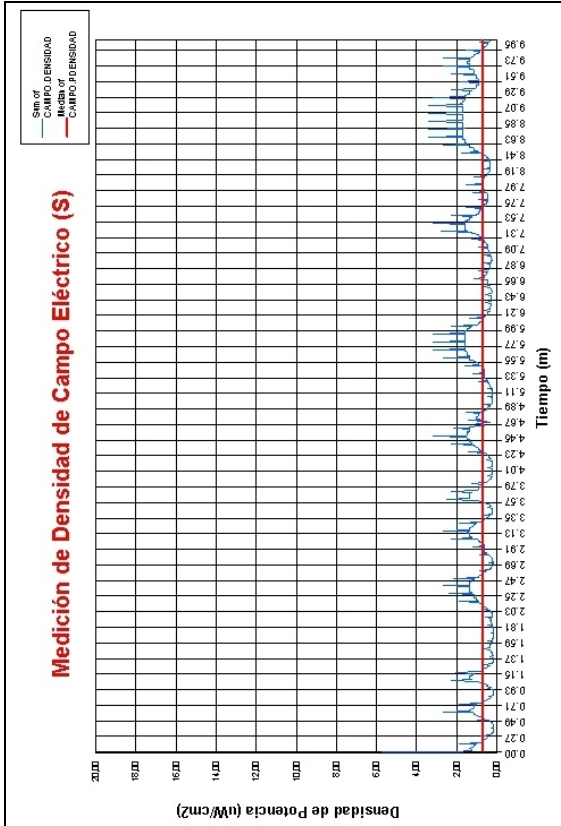


Figura 7.29.- RB6 PUNTO5

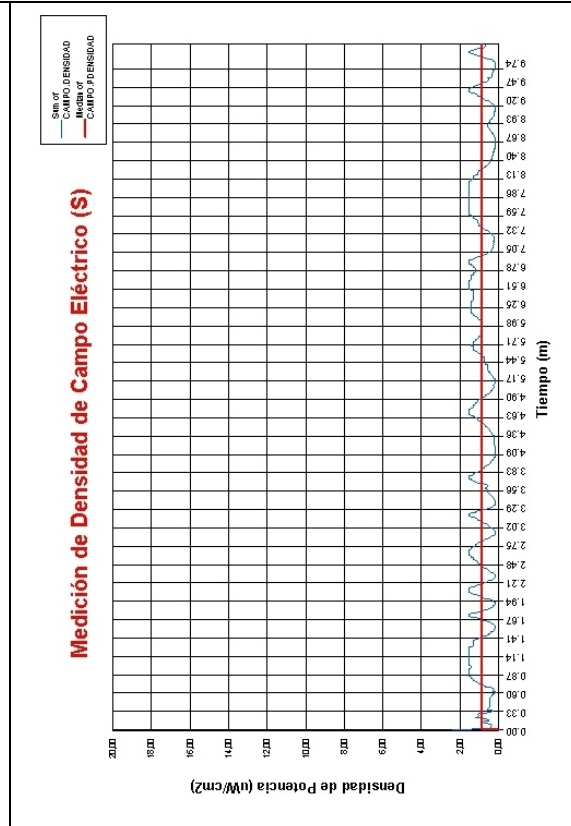


Figura 7.30.- RB6 PUNTO6

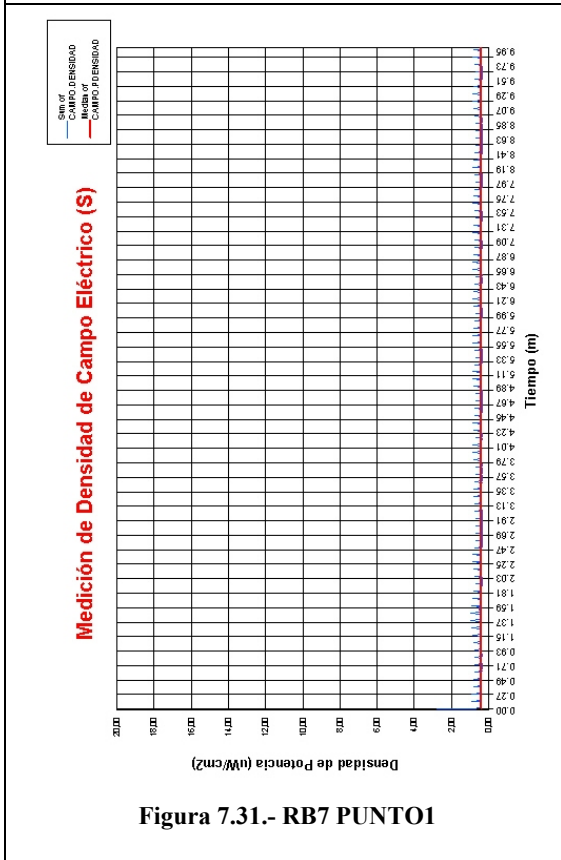


Figura 7.31.- RB7 PUNTO1

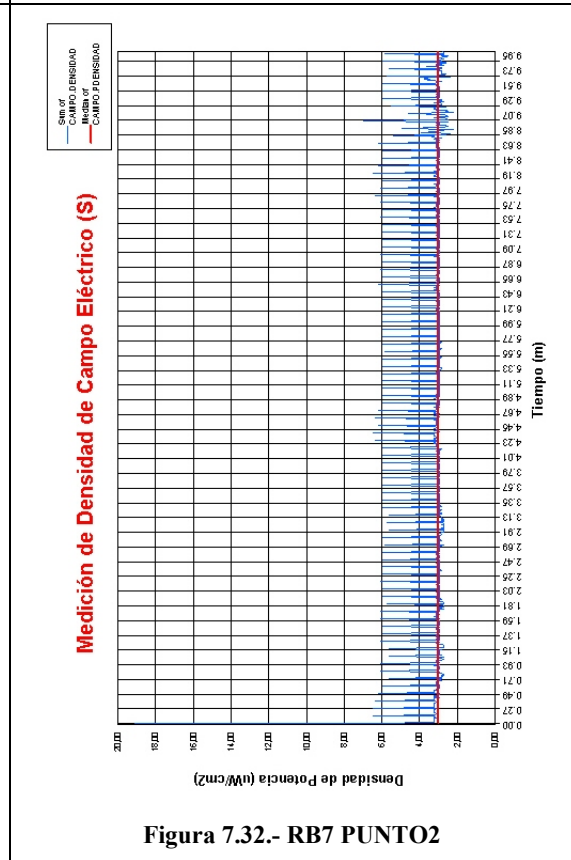


Figura 7.32.- RB7 PUNTO2

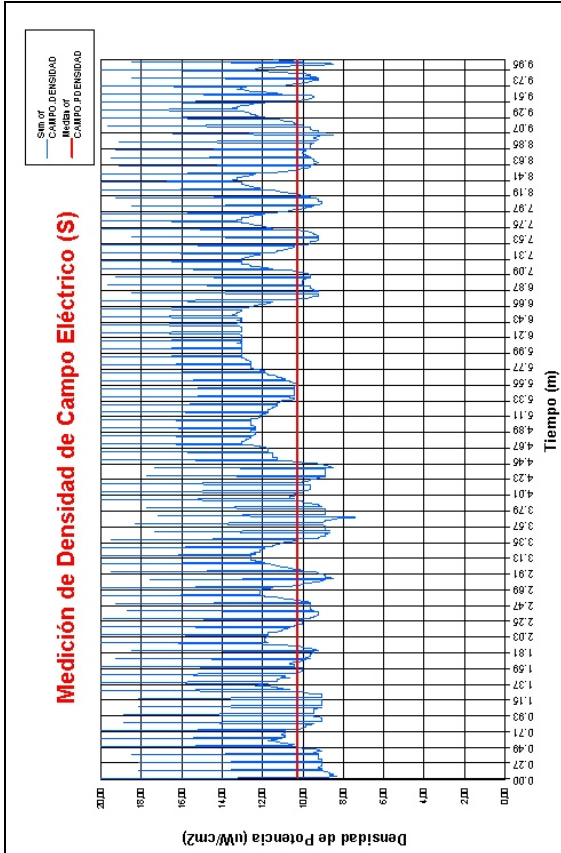


Figura 7.33.- RB7 PUNTO3

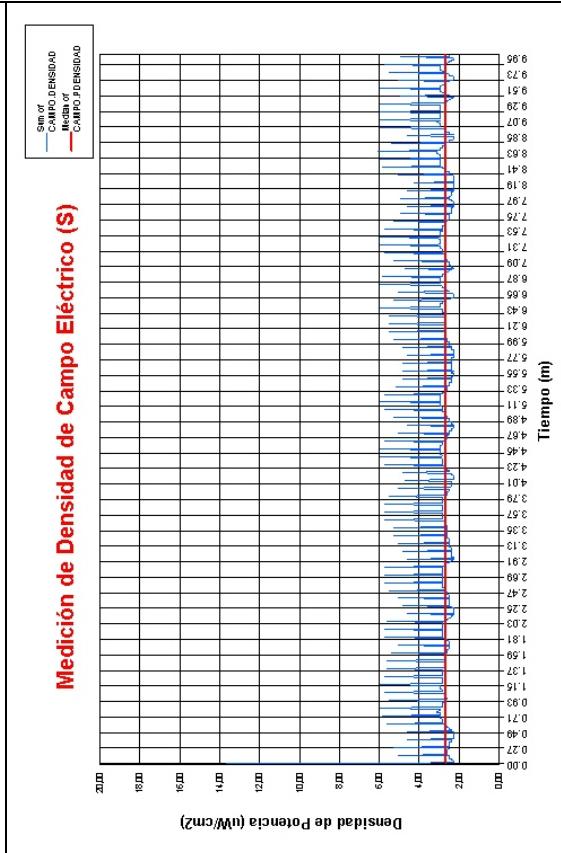


Figura 7.34.- RB7 PUNTO4

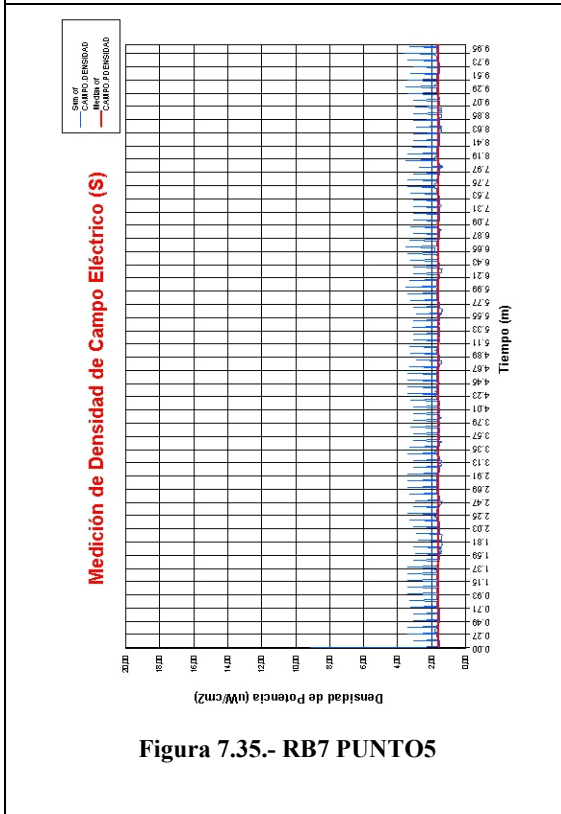


Figura 7.35.- RB7 PUNTO5

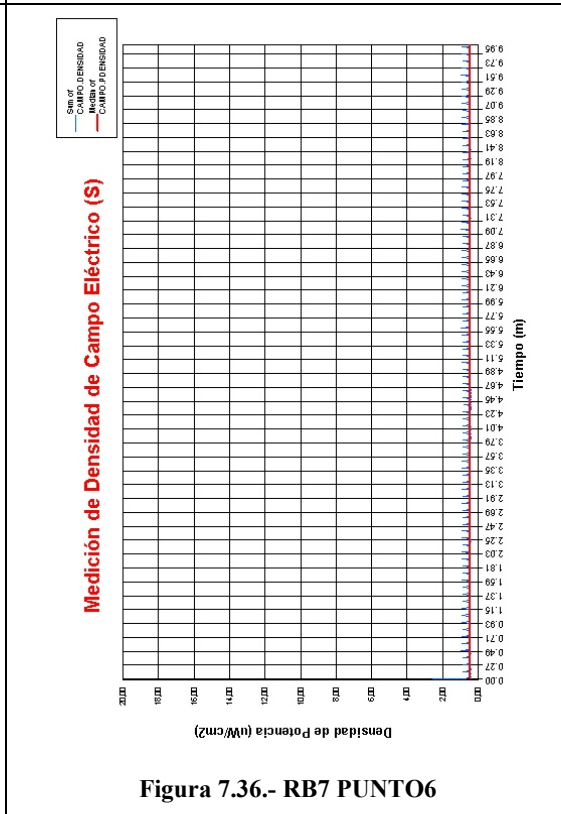


Figura 7.36.- RB7 PUNTO6

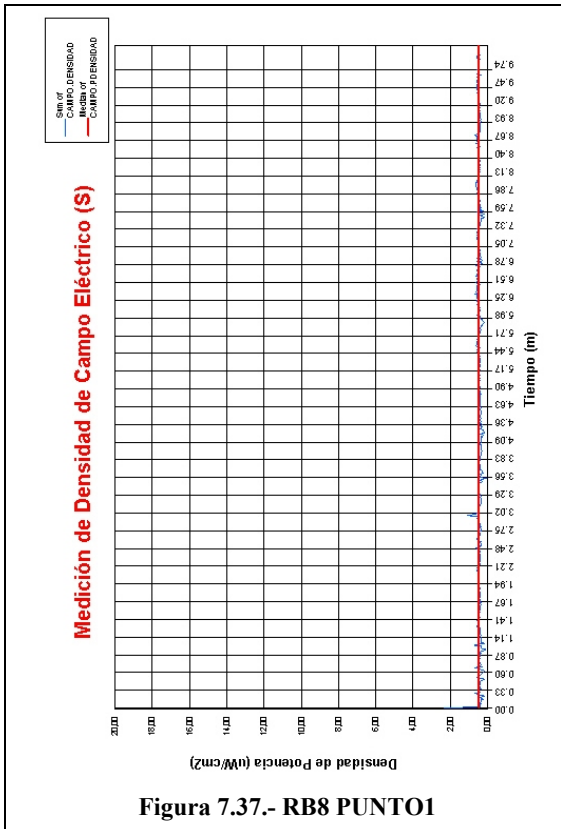


Figura 7.37.- RB8 PUNTO1

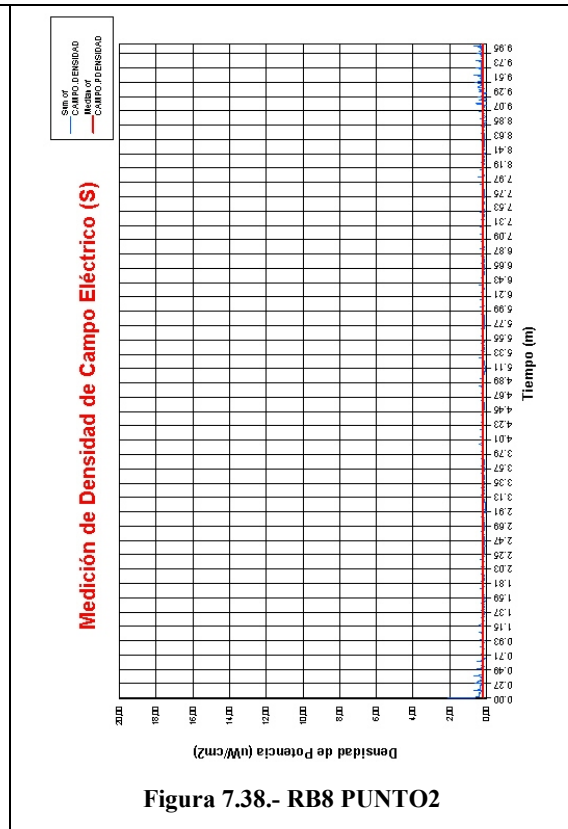


Figura 7.38.- RB8 PUNTO2

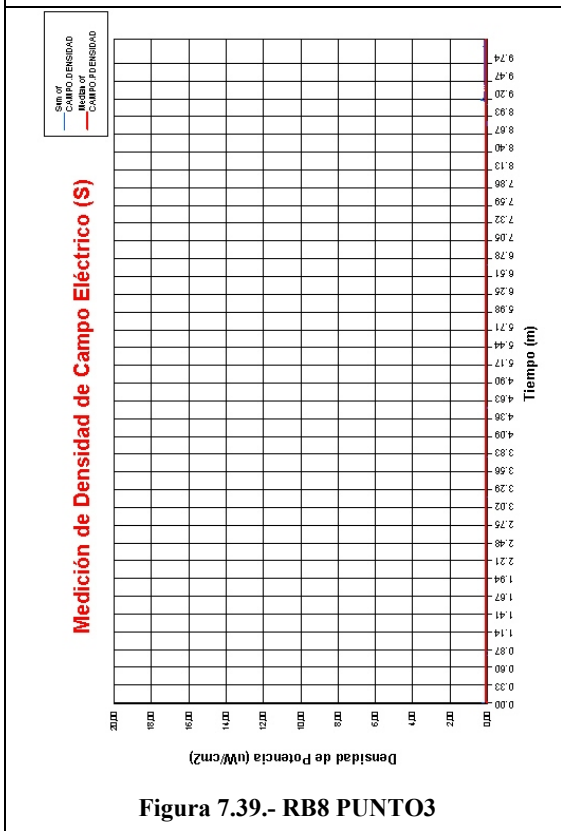


Figura 7.39.- RB8 PUNTO3

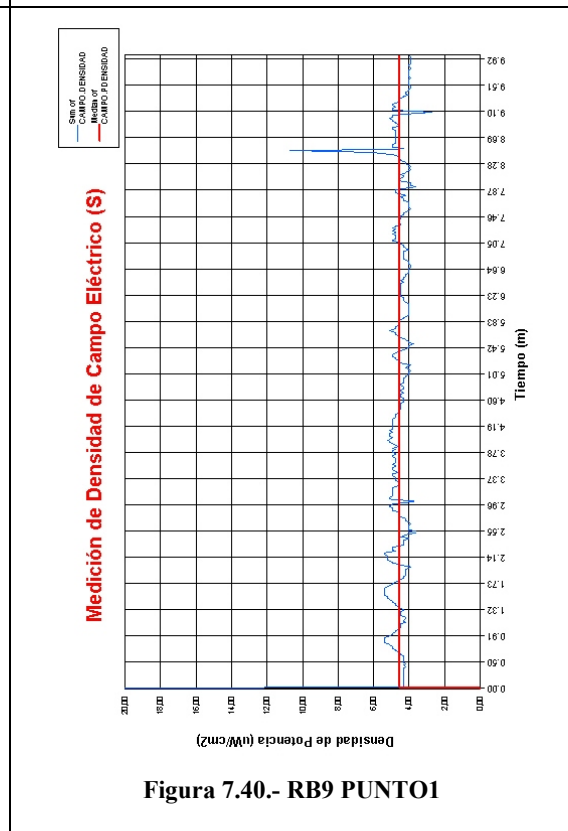


Figura 7.40.- RB9 PUNTO1

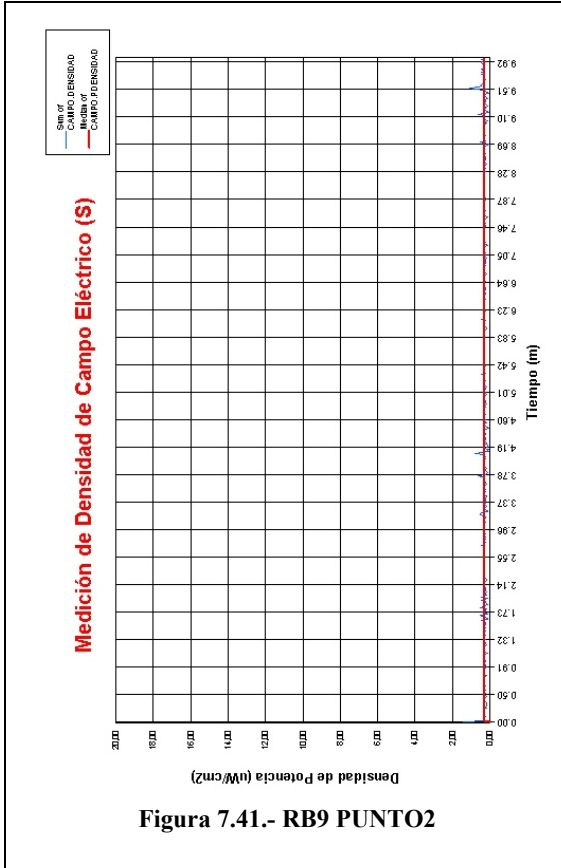


Figura 7.41.- RB9 PUNTO2

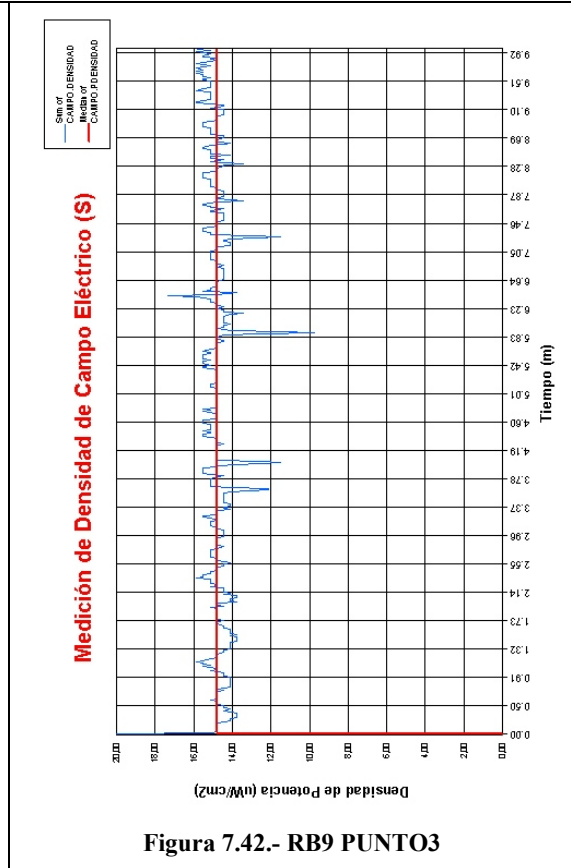


Figura 7.42.- RB9 PUNTO3

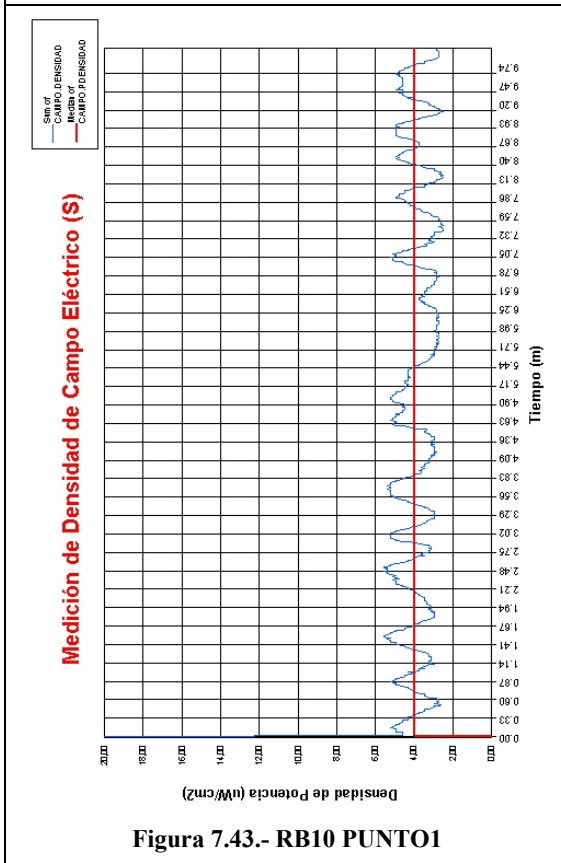


Figura 7.43.- RB10 PUNTO1

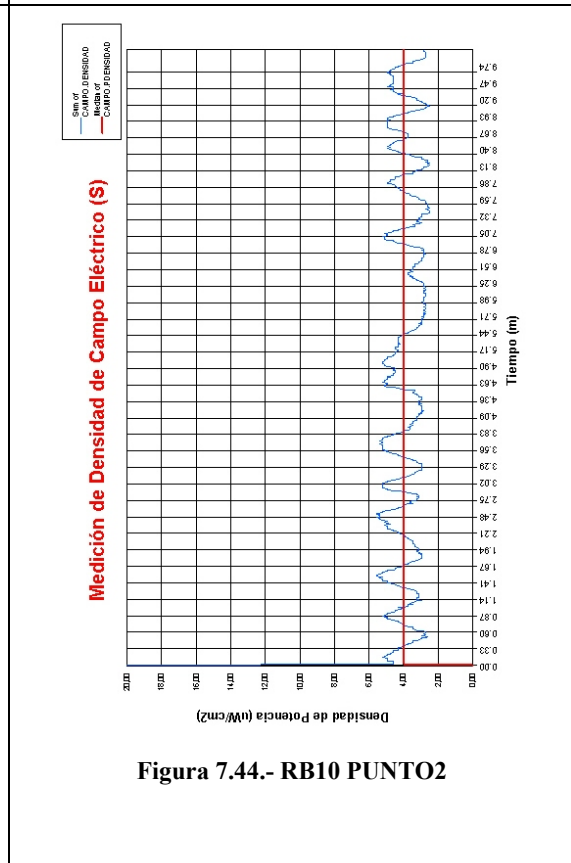


Figura 7.44.- RB10 PUNTO2

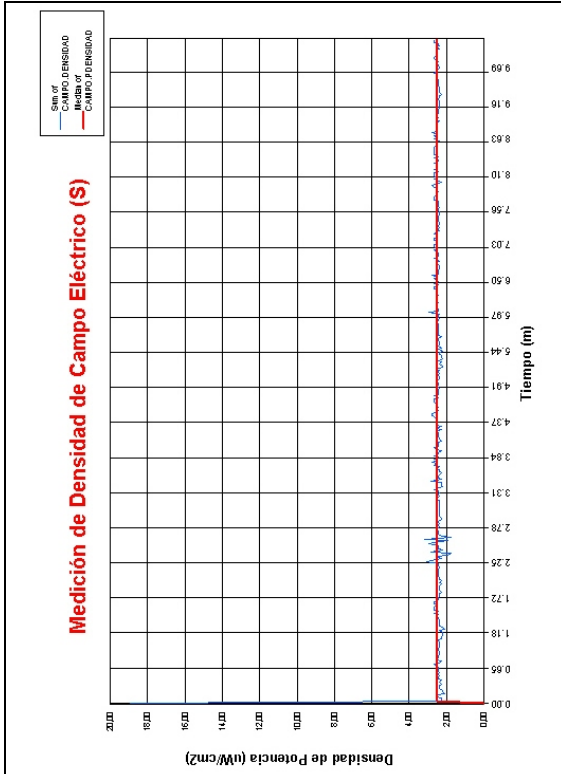


Figura 7.45.- RB11 PUNTO1

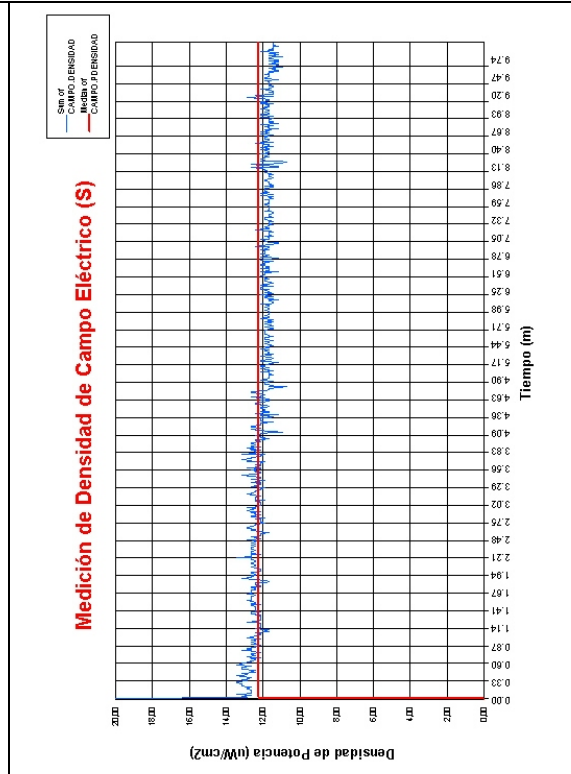


Figura 7.46.- RB11 PUNTO2

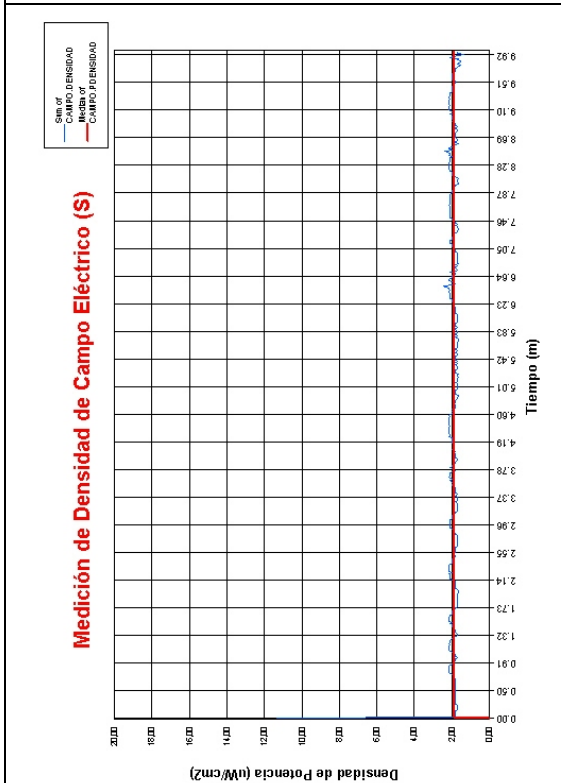


Figura 7.47.- RB11 PUNTO3

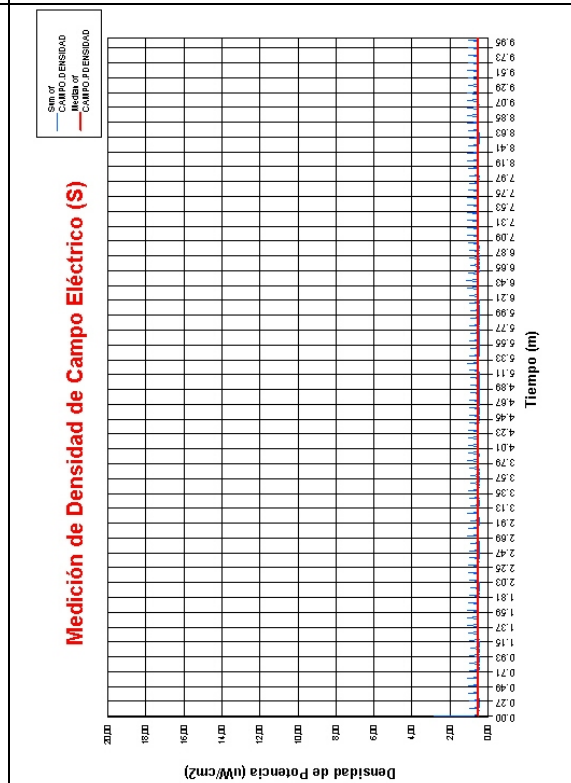


Figura 7.48.- RB12 PUNTO1

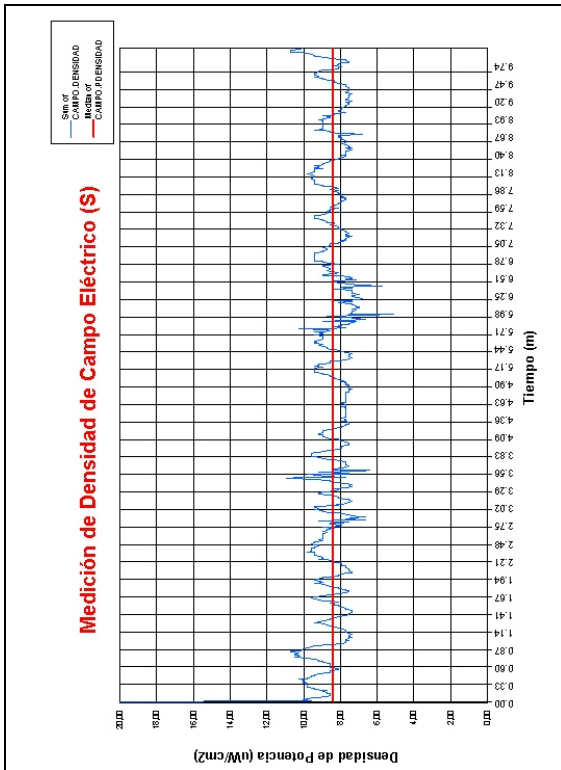


Figura 7.49.- RB12 PUNTO2

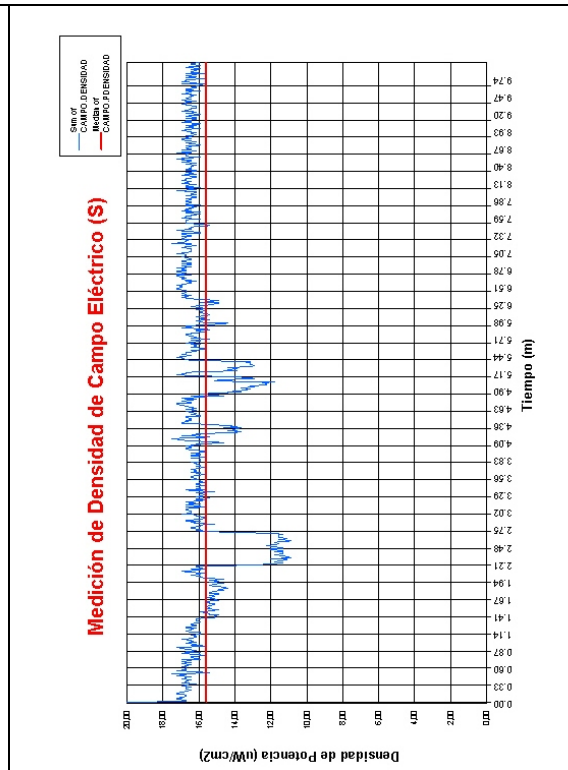


Figura 7.50.- RB13 PUNTO1

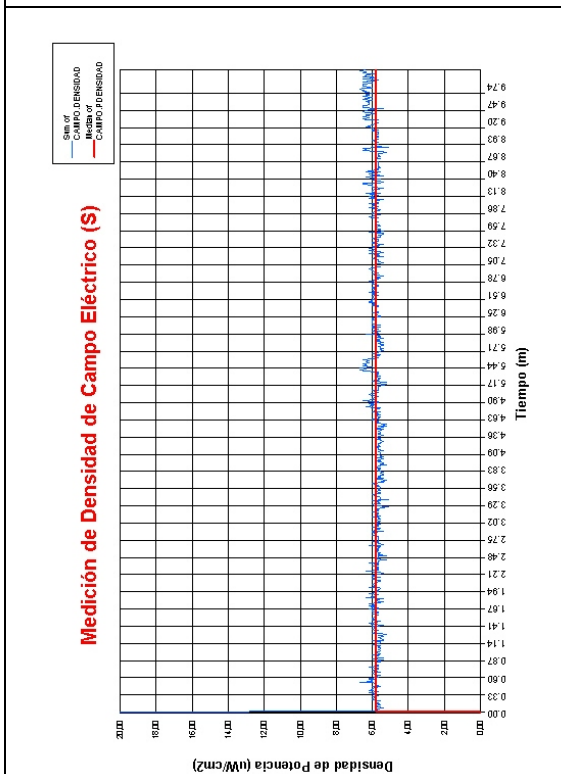


Figura 7.51.- RB13 PUNTO2

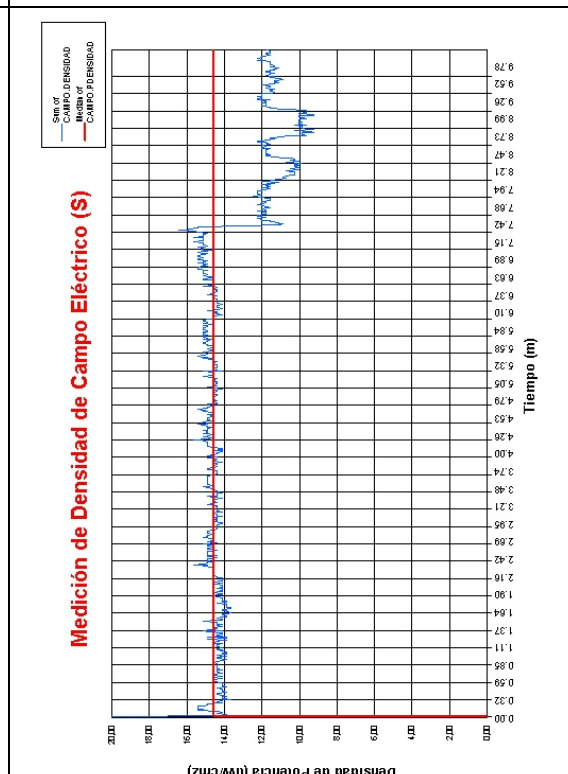


Figura 7.52.- RB13 PUNTO3

El valor promedio máximo de densidad de potencia emitida es de 15.61 uW/cm^2 y se encuentra en la Radio Base 13 en el punto uno.

El valor promedio mínimo de densidad de potencia emitida es de 0.045 uW/cm^2 y se encuentra en la Radio Base 8 en el punto tres.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos fueron medidos en campo lejano y los niveles de radiación medidos en cada una de las radiobases se encuentran dentro de los límites establecidos por la SENATEL ya que sus valores de Densidad de potencia son menores en relación a los establecidos.
 - En la realización de este estudio se han medido 13 estaciones base, determinando que el valor promedio más alto de Densidad de Potencia se da en la Radiobase 13: Punto1(Movistar), cuyo valor es 15.61 uW/cm^2 , siendo 27 veces inferior al indicado por la norma establecida por la SENATEL.
El valor promedio más bajo de Densidad de Potencia se da en la Radiobase 8: Punto3, cuyo valor es 0.045 uW/cm^2 .
 - Hasta el presente no se ha llegado a determinar un mecanismo biológico que explique una posible relación causal entre exposición a CEM y un riesgo incrementado de padecer alguna enfermedad, pero actualmente a nivel mundial se realiza varios estudios, por lo que conviene reducir al mínimo la exposición a radiofrecuencias.
 - Debido a la variación de tráfico telefónico las mediciones deben realizarse en las horas pico, que para el caso de este estudio fueron realizadas entre las 12:00 P.M. y las 15:00 P.M.
 - Siendo absolutamente necesaria la protección de los ciudadanos a este tipo de radiaciones.
 - La complejidad que implica la regulación de los CEMs, debido a las altas incertidumbres que existen en la estimación de sus efectos y los diversos intereses
-

que están en juego, hace necesario generar un proceso regulatorio participativo, que permita la consulta completa de las personas interesadas. Además de un proceso regulatorio que fije las reglas con claridad pero a su vez que entregue suficiente flexibilidad para que las fuentes se muevan a la nueva situación gradualmente y de esta forma evitar impactos económicos significativos.

- El CONATEL debe adoptar las medidas necesarias para la inspección, control y diagnóstico de la situación actual de los niveles de exposición a las RNI producidas por los Servicios de Telecomunicaciones con la dotación de los medios técnicos y humanos necesario.
 - Por un principio de precaución debería evitarse que el haz de emisión directa de las antenas de telefonía afecte a espacios sensibles como escuelas, centros de salud, hospitales o parques públicos.
 - Mediante este proyecto se ha establecido un protocolo de mediciones de RNI, el cual sirve como base para este tipo de Regulaciones, para que después sirva como base para las normas de instalación de Radiobases.
-

RECOMENDACIONES

- En Ecuador no existe una normativa, sobre la instalación de antenas de telefonía celular sobre las terrazas de edificios, es por esto sería prudente que CONATEL realice estudios para emitir un reglamento que permita definir la altura mínima de la antena sobre las terrazas en edificios y la distancia de instalación con respecto al borde de la terraza. Este tipo de normativas han sido desarrolladas por las Universidades en Colombia, Perú, Argentina, España, entre las más importantes, mismas que luego han sido establecidas por las respectivas instituciones de regulación de cada país.
 - Por un principio de precaución debería evitarse que el haz de emisión directa de las antenas de telefonía afecte a espacios sensibles como Centros Educativos, Parques Infantiles, Hospitales e Instituciones Geriátricas, para lo cual los organismos de control deben establecer distancias mínimas de instalación considerando que los niños y ancianos son la población más vulnerable y con mayor riesgo.
 - Se recomienda el cumplimiento estricto de las vigentes normas de seguridad, mismas que se han elaborado para proteger a toda la población.
 - Marcar las zonas de protección de una manera clara y visible, permitiendo el acceso estrictamente al personal de mantenimiento de la Operadora con su respectiva indumentaria, que previamente hayan sido advertidos del presente riesgo.
 - En la resolución 01-01-CONATEL-2005, debería incluirse una reglamentación para los niveles del SAR en zonas pobladas.
 - Realizar continuos estudios epidemiológicos ya que éstos proveen los medios primarios de identificar y caracterizar directamente los efectos potenciales de los campos de RF en el medio ambiente sobre la salud humana. Los teléfonos celulares y dispositivos similares no han sido de uso general por un periodo de tiempo suficiente para permitir una investigación completa de todos los potenciales efectos
-

sobre la salud. Más aún, no solamente está en expansión el uso de esta forma de comunicación, sino que sistemas futuros usarán diferentes frecuencias y protocolos.

- Transmitir a la población una información objetiva, transparente y en un formato adecuado destinada a explicar a los ciudadanos los conocimientos actuales acerca de los efectos de los CEM, aclarando que la probabilidad de riesgo para las personas expuestas es muy baja, siempre que se cumplan los niveles propuestos en la Recomendación.
 - El procedimiento para la solicitud, autorización, instalación e inspección de antenas de telefonía debería clarificarse con el fin de garantizar que los ciudadanos estén correctamente informados a la hora de adoptar decisiones sobre la instalación de estos equipos en sus propiedades.
 - Revisar los valores límites adoptados en base a la nueva evidencia científica disponible, en toda la zona de cobertura de las operadoras.
 - Evaluar el nivel de contaminación de RNI, en toda el área de cobertura de las operadoras de celulares.
 - Instituir un protocolo de medición e instalación de Radiobases antes de su funcionamiento, incluyendo representantes del pueblo, empresas proveedores de ese servicio y entes regulantes.
-

BIBLIOGRAFÍA

- 📖 KRAUS John, FLEISCH Daniel, *Electromagnetics with Applications*, McGraw-Hill, Quinta Edición.
- 📖 BALANIS Constantine, *Antenna Theory, Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Segunda Edición.
- 📖 CARDAMA Angel, JOFRE Lluís, RIUS Juan, ROMEU Jordi, BLANCH Sebastián, *Antenas*, Alfaomega, Primera Edición.
- 📖 GARRIDO Nelson, VILLANUEVA Nelson, *Sistemas celulares*.
- 📖 BOUCHER Nell, *Cellular Radio Handbook*, Quantum Publishing, Tercera Edición.
- 📖 PAHLAVAN Kaveh, KRISHNAMURTHY Prashant, *Principles of Wireless Networks*, Prentice Hall PTR, Primera Edición.
- 📄 Federal Communications Commission (FCC): <http://www.fcc.gov/oet/rfsafety>
Documentos de referencia: Boletines OET 56 y 65.
- 📄 Canada's Royal Society: www.rsc.ca/english/RFreport.html. Informe sobre campos electromagnéticos del grupo de expertos.
- 📄 Independent Expert Group on Mobile Phones: www.iegmp.org.uk/.
Informe Stewart del Reino Unido.
-

-
- ☞ Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE): <http://www.ieee.org/>
- ☞ International Commission on Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP):
<http://www.icnirp.de/>.
- ☞ Organización Mundial de la Salud (OMS): <http://www.who.int/>
Proyecto Internacional CEM (Internacional EMF Project): www.who.int/peh-emf/es/
- ☞ Información específica sobre campos electromagnéticos:
http://www.who.int/health_topics/electromagnetic_fields/es/
- ☞ Ministerio de Sanidad y Consumo de España:
www.msc.es/salud/ambiental/home.htm
Documento de referencia: "Campos Electromagnéticos y Salud Pública" (Informe técnico de un Comité de Expertos Independientes)
- ☞ Medical College of Wisconsin:
<http://www.bellsouth.com/ec/www.mcw.edu/gcrc/cop/cell-phone-health-FAQ/toc.html>
- ☞ National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH):
www.cdc.gov/niosh/topics/emf/
- ☞ Agencia Francesa de Seguridad Sanitaria Medioambiental:
<http://www.afsse.fr/>
Informe "Téléphonie mobile et santé" disponible
-

☞ Asociación de Empresas Privadas de Servicios Públicos de Perú (ADEPSEP):

<http://www.adepsep.com/>

Informe "Las antenas móviles, los celulares y la salud"

☞ U.S. Food and Drug Administration: <http://www.fda.gov/>

Información sobre radiación de hornos microondas y otros productos al consumidor e industrias, además de links generales

☞ U.S. Environmental Protection Agency: <http://www.epa.gov/> .

☞ U.S. Occupational Safety & Health Administration:

www.osha.gov/SLTC/elradiation/index.html

Estudios sobre la exposición ocupacional a radiación de radiofrecuencia

☞ Alacel (Latin American Wireless Industry Association):

<http://www.alacel.com/>

Antenas de Telefonía Móvil Campos Electromagnéticos y Salud Humana (versión final en preparación)

☞ National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP):

www.ncrp.com/

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO II

Figura 2.1.- Una antena como un medio de transmisión	5
Figura 2.2.- Sistema de Coordenadas Esféricas.....	7
Figura 2.3.- Impedancia de Entrada.....	7
Figura 2.4.- Polarización de Antenas	9
Figura 2.5.- Ejemplos de Diagramas de Radiación en coordenadas polares.....	9
Figura 2.6.- Ángulo de Media Potencia de una Antena.....	10
Figura 2.7.- Directividad de una Antena.....	11
Figura 2.8.- Relación de ganancia por lóbulo de irradiación.....	12
Figura 2.9.- Relación frente / atrás en una antena.....	12
Figura 2.10.- El ancho de banda viene determinado por las frecuencias comprendidas entre f_1 y f_2	13
Figura 2.11.- Frecuencias de Operación.....	14
Figura 2.12.- Antenas Alámbricas tipo: a) Dipolo, b) Circular.....	16
Figura 2.13.- Antenas de Apertura y Reflectores.....	17
Figura 2.14.- Arreglos Típicos de Antenas.....	17
Figura 2.15.- Antena Parabólicas.....	18
Figura 2.16.- Evolución hacia 4G. Fuente: Ericsson.....	21
Figura 2.17.- Soporte de las Comunicaciones Móviles. Fuente: World Cellular Data Metrics.....	21
Figura 2.18.- Arquitectura de una red GSM.....	23
Figura 2.19.- Base Station Subsystem, Tomado de Nokia.com.....	25
Figura 2.20.- Componentes de una BSS.....	26
Figura 2.21.- Propagación ideal entre células en un sistema.....	27
Figura 2.22.- Downtilt Mecánico.....	27
Figura 2.23.- Downtilt Eléctrico.....	28
Figura 2.24.- Antena con dispositivo de Downtilt Eléctrico.....	28
Figura 2.25.- Modelos de Antenas Omnidireccionales.....	29
Figura 2.26.- Vista superior - 65° Antena direccional montada en paredes de edificios.....	30
Figura 2.27.- Diagrama de Irradiación Vertical de la Antena AP13 —880 / 065, Ganancia 15.5 dBi, Angulo de Media Potencia Horizontal : 65° ,Angulo de Media Potencia Vertical: 13°.....	33
Figura 2.28.- Cálculo de la altura para montaje de la antena.....	33
Figura 2.29.- Antenas RET.....	34
Figura 2.30.- Acceso Múltiple por División de Frecuencia.....	35
Figura 2.31.- Acceso Múltiple por División de Tiempo.....	36
Figura 2.32.- Acceso Múltiple por División de Código.....	37
Figura 2.33.- Modo de Transmisión FDD.....	38
Figura 2.34.- Modo de Operación TDD.....	38

CAPITULO III

Figura 3.1.- Fuentes de Radiación Electromagnética.....	44
Figura 3.2.- Espectro de Frecuencias de Radiaciones Electromagnéticas.....	46
Figura 3.3.- Ejemplo de Fuentes de Radiación No Ionizante.....	48
Figura 3.4.- SAR medido en Cuerpo Entero.....	65
Figura 3.5.- SAR Localizado.....	65

CAPITULO IV

Figura 4.1.- Diagrama de Clases Software EMF - SOFT.....	91
Figura 4.2.- Atributos clase RADIOBASE.....	92
Figura 4.3 Atributos clase ANTENAS.....	93
Figura 4.4.- Atributos clase CAMPO.....	94
Figura 4.5.- Atributos clase POTENCIA.....	95
Figura 4.6.- Atributos de la Clase USUARIO.....	96
Figura 4.7.- Formato de un Archivo del Equipo Protek 3290 en csv.....	97
Figura 4.8.- Formato de un Archivo del Equipo SmartField Meter en csv.....	97
Figura 4.9.- Jerarquía de Comandos a Nivel Principal.....	98
Figura 4.10.- Jerarquía de Comandos de la Opción Sistema.....	98
Figura 4.11.- Jerarquía de Comandos de la Opción Administración.....	99
Figura 4.12.- Jerarquía de Comandos de la Opción Reportes.....	99
Figura 4.13.- Jerarquía de Comandos de la Opción Herramientas.....	99
Figura 4.14.- Jerarquía de Comandos de la Opción Acerca.....	99

CAPITULO V

Figura 5.1.- Interfaz gráfica del RADIA 1.1.....	102
Figura 5.2.- Menú Principal RADIA 1.1 versión avanzada.....	103
Figura 5.3.- Menú Archivo.....	104
Figura 5.4.- Menú Ver.....	105
Figura 5.5.- Menú Antenas.....	106
Figura 5.6.- Menú Medio.....	106
Figura 5.7.- Menú Herramientas.....	107
Figura 5.8.- Menú Herramientas.....	108
Figura 5.9.- Menú A cerca de... ..	109
Figura 5.10.- Barra de herramientas de RADIA 1.1.....	109
Figura 5.11.- Espacio de Trabajo.....	110
Figura 5.12.- Información de Coordenadas.....	110
Figura 5.13.- Densidad de Potencia Emitida.....	110
Figura 5.14.- Límites de Densidad de Potencia en varios países.....	111
Figura 5.15.- Estructura de Funcionamiento de RADIA 1.1.....	112

Figura 5.16.- Menú Antenas.....	113
Figura 5.17.- Ingreso de Parámetro de una Radio Base.....	113
Figura 5.18.- Añadir Antena en el Mapa de Radiación.....	114
Figura 5.19.- Edición de las Propiedades de la Antena Simulada.....	114
Figura 5.20.- Selección del Foco de Contaminación.....	116
Figura 5.21.- Ubicación del Foco de Contaminación.....	116
Figura 5.22.- Menú Medio.....	117
Figura 5.23.- Ingreso de Altura de Relieve Topográfico.....	117
Figura 5.24.- Escogiendo Inicio Área de Relieve.....	118
Figura 5.25.- Escogiendo Fin de Área de Relieve.....	118
Figura 5.26.- Configuración Final de Relieve Topográfico.....	119
Figura 5.27.- Representación de una altura en Radia Canarina.....	119
Figura 5.28.- Representación Aproximada de una Elevación.....	120
Figura 5.29.- Relieve Simulado en Radia.....	120
Figura 5.30.- Escala de Dibujo.....	121
Figura 5.31.- Parámetros requeridos para la Simulación Numérica.....	122
Figura 5.32.- Simulación de Radiación haciendo uso de Líneas.....	123
Figura 5.33.- Información de Valores de Densidad de Potencia.....	123
Figura 5.34.- Simulación de Radiación haciendo uso de Colores.....	124
Figura 5.35.- Parámetros de las Antenas, alta y baja ganancia.....	125
Figura 5.36.- Relieve Topográfico levantado sobre Microsoft Excel.....	127
Figura 5.37.- Promedio del Relieve Topográfico.....	129
Figura 5.38.- Relieve Levantado en Canarina Radia, como base el mapa digital.....	130
Figura 5.39.- Alturas Promedio implementadas en Canarina Radia.....	131
Figura 5.40.- Simulación de la Densidad de Potencia en toda el Área de Investigación.....	134
Figura 5.41.- Mapa Digital de Radiación en el Área de Investigación.....	135
Figura 5.42.- Simulación 1, Tilt=15, Apertura=3.6, Valor Máximo de $S=1.307\text{uW/cm}^2$	136
Figura 5.43.- Simulación 1, Tilt = 15, Apertura = 7, Valor Máximo de $S = 1.919\text{uW/cm}^2$	137
Figura 5.44.- Simulación 1, Tilt = 15, Apertura = 8, Valor Máximo de $S = 2.041\text{uW/cm}^2$	137
Figura 5.45.- Simulación 1, Tilt = 15, Apertura = 12, Valor Máximo de $S = 2.392\text{ uW/cm}^2$	138
Figura 5.46.- Simulación 1, Tilt = 15, Apertura = 17, Valor Máximo de $S = 2.568\text{ uW/cm}^2$	138
Figura 5.47.- Simulación 2, Tilt = 8, Apertura = 3.6, Valor Máximo de $S = 1.450\text{ uW/cm}^2$	139
Figura 5.48.- Simulación 2, Tilt = 8, Apertura = 7, Valor Máximo de $S = 1.746\text{ uW/cm}^2$	139
Figura 5.49.- Simulación 2, Tilt = 8, Apertura = 8, Valor Máximo de $S = 1.790\text{ uW/cm}^2$	140
Figura 5.50.- Simulación 2, Tilt = 8, Apertura = 12, Valor Máximo de $S = 1.984\text{ uW/cm}^2$	140
Figura 5.51.- Simulación 2, Tilt = 8, Apertura = 17, Valor Máximo de $S = 2.312\text{ uW/cm}^2$	141
Figura 5.52.- Simulación 3, Tilt = 4, Apertura = 3.6, Valor Máximo de $S = 1.126\text{ uW/cm}^2$	141
Figura 5.53.- Simulación 3, Tilt = 4, Apertura = 7, Valor Máximo de $S = 1.371\text{ uW/cm}^2$	142
Figura 5.54.- Simulación 3, Tilt = 4, Apertura = 8, Valor Máximo de $S = 1.474\text{ uW/cm}^2$	142
Figura 5.55.- Simulación 3, Tilt = 4, Apertura = 12, Valor Máximo de $S = 1.768\text{ uW/cm}^2$	143

Figura 5.56.- Simulación 3, Tilt = 4, Apertura = 17, Valor Máximo de S = 2.004 uW/cm ²	143
Figura 5.57.- Simulación 4, Tilt = 2, Apertura = 3.6, Valor Máximo de S = 1.122 uW/cm ²	144
Figura 5.58.- Simulación 4, Tilt = 2, Apertura = 7, Valor Máximo de S = 1.363 uW/cm ²	144
Figura 5.59.- Simulación 4, Tilt = 2, Apertura = 8, Valor Máximo de S = 1.368 uW/cm ²	145
Figura 5.60.- Simulación 4, Tilt = 2, Apertura = 12, Valor Máximo de S = 1.659 uW/cm ²	145
Figura 5.61.- Simulación 4, Tilt = 2, Apertura = 17, Valor Máximo de S = 1.956 uW/cm ²	146

CAPITULO VI

Figura 6.1.- Protek 3290.....	148
Figura 6.2.- Medidor de Campo Smart Fieldmeter.....	150
Figura 6.3.- GPS – Garmin etrex Vista.....	152
Figura 6.4.- Mapa Digital de Sangolquí.....	156
Figura 6.5.- Capa Activa Porta en Autocad.....	158
Figura 6.6.- Capa Activa Movistar en Autocad.....	158
Figura 6.7.- Capa Activa Alegro en Autocad.....	159
Figura 6.8.- Procedimiento de Medición.....	170
Figura 6.9.- Adquisición de Datos de Smart FieldMeter.....	172
Figura 6.10.- Ventana de Adquisición de Datos RF Field Analyzer.....	173
Figura 6.11.- Archivo de Procesamiento Potencia.....	174
Figura 6.12.- Archivo de Procesamiento Campo Eléctrico.....	174

CAPITULO VII

Figura 7.1.- RB2 PUNTO1.....	178
Figura 7.2.- RB2 PUNTO2.....	178
Figura 7.3.- RB2 PUNTO3.....	178
Figura 7.4.- RB2 PUNTO4.....	178
Figura 7.5.- RB2 PUNTO5.....	179
Figura 7.6.- RB2 PUNTO6.....	179
Figura 7.7.- RB3 PUNTO1.....	179
Figura 7.8.- RB3 PUNTO2.....	179
Figura 7.9.- RB3 PUNTO3.....	180
Figura 7.10.- RB3 PUNTO4.....	180
Figura 7.11.- RB3 PUNTO5.....	180
Figura 7.4.- RB3 PUNTO6.....	180
Figura 7.13.- RB4 PUNTO1.....	181
Figura 7.14.- RB4 PUNTO2.....	181
Figura 7.15.- RB4 PUNTO3.....	181
Figura 7.16.- RB4 PUNTO4.....	181
Figura 7.17.- RB4 PUNTO5.....	182
Figura 7.18.- RB4 PUNTO6.....	182

Figura 7.19.- RB5 PUNTO1.....	182
Figura 7.20.- RB5 PUNTO2.....	182
Figura 7.21.- RB5 PUNTO3.....	183
Figura 7.22.- RB5 PUNTO4.....	183
Figura 7.23.- RB5 PUNTO5.....	183
Figura 7.24.- RB5 PUNTO6.....	183
Figura 7.25.- RB6 PUNTO1.....	184
Figura 7.26.- RB6 PUNTO2.....	184
Figura 7.27.- RB6 PUNTO3.....	184
Figura 7.28.- RB6 PUNTO4.....	184
Figura 7.29.- RB6 PUNTO5.....	185
Figura 7.30.- RB6 PUNTO6.....	185
Figura 7.31.- RB7 PUNTO1.....	185
Figura 7.32.- RB7 PUNTO2.....	185
Figura 7.33.- RB7 PUNTO3.....	186
Figura 7.34.- RB7 PUNTO4.....	186
Figura 7.35.- RB7 PUNTO5.....	186
Figura 7.36.- RB7 PUNTO6.....	186
Figura 7.37.- RB8 PUNTO1.....	187
Figura 7.38.- RB8 PUNTO2.....	187
Figura 7.39.- RB8 PUNTO3.....	187
Figura 7.40.- RB9 PUNTO1.....	187
Figura 7.41.- RB9 PUNTO2.....	188
Figura 7.42.- RB9 PUNTO3.....	188
Figura 7.43.- RB10 PUNTO1.....	188
Figura 7.44.- RB10 PUNTO2.....	188
Figura 7.45.- RB11 PUNTO1.....	189
Figura 7.46.- RB11 PUNTO2.....	189
Figura 7.47.- RB11 PUNTO3.....	189
Figura 7.48.- RB12 PUNTO1.....	189
Figura 7.49.- RB12 PUNTO2.....	190
Figura 7.50.- RB13 PUNTO1.....	190
Figura 7.51.- RB13 PUNTO2.....	190
Figura 7.52.- RB13 PUNTO3.....	190

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO II

Tabla 2.1. Comparación entre tecnologías de acceso múltiple.....	37
Tabla 2.2.- Rangos de Frecuencia.....	43

CAPITULO III

Tabla 3.1.- Clasificación de las Fuentes de radiación No Ionizante.....	48
Tabla 3.2.- Fuentes de Radiación Infrarroja.....	52
Tabla 3.3.- Fuentes de Radiación No Ionizante.....	56
Tabla 3.4.- Clasificación de las RNI de acuerdo a la Frecuencia.....	56
Tabla 3.5 Comparación General de Normas para RNI.....	76
Tabla 3.6.- Bandas de definición de cada uno de los estándares.....	83

CAPITULO IV

Tabla 4.1.- Definición de la Clase RADIOBASE.....	92
Tabla 4.2.- Definición de la Clase ANTENAS.....	93
Tabla 4.3.- Definición de la Clase CAMPO.....	94
Tabla 4.4.- Definición de la Clase POTENCIA.....	95
Tabla 4.5.- Definición de la Clase USUARIO.....	96
Tabla 4.6.- Tipos de Archivos recibidos en los equipos de medición.....	96

CAPITULO V

Tabla 5.1.- Distribución de Alturas área de Investigación.....	126
Tabla 5.2.- Valores de las 3 zonas promediadas.....	128
Tabla 5.3.- Valores Típicos de Tilt.....	132
Tabla 5.4.- Valores Típicos de Aperturas.....	133
Tabla 5.5.- Valores establecido para las simulaciones.....	136

CAPITULO VI

Tabla 6.1.- Conversión de Coordenadas de las Radiobases.....	157
Tabla 6.2.- Detalle Antenas Radio Base 1.....	160
Tabla 6.3.- Detalle Antenas radio Base 2.....	160
Tabla 6.4.- Detalle Antenas Radio Base 3.....	161
Tabla 6.5.- Detalle Antenas Radio Base 4.....	161
Tabla 6.6 Detalle Antenas Radio Base 5.....	162
Tabla 6.7.- Detalle de Antenas radio Base 6.....	163
Tabla 6.8.- Detalle de Antenas Radio Base 7.....	163
Tabla 6.9.- Detalle de Antenas Radio Base 8.....	164
Tabla 6.10.- Detalle Antenas Radio Base 9.....	164

Tabla 6.11.- Detalle Antenas Radio Base 10.....	165
Tabla 6.12.- Detalle Antenas Radio Base 11.....	165
Tabla 6.13.- Detalle Antenas Radio Base 12.....	165
Tabla 6.14.- Detalle Antenas radio Base 13.....	166
Tabla 6.15.- Valores de Calibración.....	172

CAPITULO VII

Tabla 7.1. Valores de Error Smart Field Meter. Tomado del Certificado de Calibración.....	176
Tabla 7.2.- Valores de Error Protek 3290. Tomado del Manual de usuario.....	176
Tabla 7.3.- Distribución de Radio Bases con sus puntos medidos.....	177

GLOSARIO

ANTENA

Conjunto de elementos utilizados para emitir y recibir ondas radioeléctricas, en las respectivas bandas atribuidas.

ÁREA CONTROLADA

Es el área o lugar en el que la exposición a las emisiones de RNI por uso de frecuencias de Espectro Radioeléctrico podrán exceder los límites de exposición poblacional.

CEM

Abreviatura para campos eléctricos y magnéticos o campos electromagnéticos.

CONARTEL

Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión.

CONATEL

Consejo Nacional de Telecomunicaciones.

DENSIDAD DE POTENCIA

Potencia por unidad de superficie normal a la dirección de propagación de la onda electromagnética, en Watts por metro cuadrado (W/m²). Para una onda plana la densidad de potencia está relacionada con el campo eléctrico, el campo magnético y la impedancia del espacio libre, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$S = E^2/Z_0 = H^2 Z_0.$$

Donde:

S:Densidad de potencia. (W/m²)

E:Campo Eléctrico (V/m)

H:Campo Magnético (A/m)

Z₀: Impedancia del espacio libre (377 ohms).

EFEECTO

Cambio en el estado o dinámica de un sistema causado por la acción de un agente.

EFECTOS TÉRMICOS

Efectos biológicos causados por el incremento de calor.

EMISIÓN

Es la radiación producida por una sola fuente de radiofrecuencia.

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.

EXPOSICIÓN

Es la situación en la que se encuentra una persona sometida a campos eléctricos, magnéticos, electromagnéticos o a corrientes de contacto o inducidas asociados a campos electromagnéticos de radiofrecuencias.

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. La exposición ocupacional también se aplica cuando la exposición es de naturaleza transitoria, resultado del paso ocasional por un lugar en el que los límites de exposición puedan ser superiores a los límites establecidos, para la población en general, ya que la persona expuesta ha sido advertida del potencial de exposición y puede controlar ésta, abandonando la zona o adoptando las debidas seguridades.

EXPOSICIÓN POBLACIONAL O NO CONTROLADA

Corresponde a situaciones en las que el público en general puede estar expuesto o en las que las personas expuestas como consecuencia de su trabajo pueden no haber sido advertidas de la potencial exposición y no pueden ejercer control sobre la misma.

FRECUENCIA

El número de ondas completas o ciclos por segundo que pasan por un determinado punto. La unidad es el Hertz (1 Hz = 1 ciclo por segundo).

FCC

La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) es una agencia estatal independiente de Estados Unidos. La FCC fue establecida en el Acta de Comunicaciones de 1934 y es encargada de la regulación de comunicaciones, entre estados e internacionales, de radio, televisión, satélite y cable. La jurisdicción De la FCC cubre los 50 estados, el distrito de Columbia, y las posesiones de los E.E.U.U.

FUENTE RADIANTE

Cualquier antena o arreglo de antenas transmisoras.

ICNIRP

Comisión científica independiente creada por la Asociación Internacional de Protección contra la Radiación (IRPA) para fomentar la protección contra la radiación no ionizante (RNI) en beneficio de las personas y del medio ambiente.

La ICNIRP es la organización no gubernamental oficialmente reconocida por la OMS y la Organización Internacional del Trabajo (OIT) para asuntos relativos a RNI. La ICNIRP es la organización no gubernamental oficialmente reconocida por la OMS y la Organización Internacional del Trabajo (OIT) para asuntos relativos a RNI.

IEEE

Corresponde a las siglas de The Institute of Electrical and Electronics Engineers, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas. Es la mayor asociación internacional sin fines de lucro formada por profesionales de las nuevas tecnologías, como ingenieros en telecomunicación, ingenieros en electrónica, ingenieros en informática e ingenieros en computación.

INMISIÓN

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

INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO (E)

Es la magnitud del vector Campo Eléctrico expresado en unidades de volts por metro (V/m).

INTENSIDAD DE CAMPO MAGNÉTICO (H)

Es la magnitud del vector Campo Magnético expresado en unidades de amperes por metro (A/m).

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 (λ)

La longitud de onda de una onda electromagnética está relacionada con la frecuencia (f) y la velocidad (v) de una onda electromagnética por la siguiente expresión:

$$l = v / f$$

MÁXIMA EXPOSICIÓN PERMITIDA (MEP)

Valor eficaz de Campo Eléctrico, Magnético o Densidad de Potencia equivalente a onda plana, a los que las personas pueden estar expuestos sin efectos perjudiciales y con un aceptable factor de seguridad.

MEDIDOR DE BANDA ANCHA

Instrumento isotrópico para medir campos electromagnéticos, el cual ofrece una lectura de la variable electromagnética considerando el efecto combinado de todas las componentes de frecuencia que se encuentran dentro de su ancho de banda especificado.

MEDIDOR DE BANDA ANGOSTA

Instrumento selectivo en frecuencia o sintonizable, el cual permite conocer la magnitud de la variable electromagnética medida (intensidad de campo eléctrico, magnético o densidad de potencia), debida a una componente de frecuencia o a una banda muy estrecha de frecuencias.

NIVEL DE EMISIÓN

Valor promedio de la intensidad de campo eléctrico o magnético en la zona de acceso a una estación radioeléctrica fija, la cual opera a una frecuencia específica. Este valor se obtiene con un medidor de banda angosta.

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.

PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN

El principio de tomar medidas para limitar a cierta actividad o exposición, aún cuando no haya sido totalmente establecido que la actividad o exposición constituye un peligro a la salud.

PROMEDIO TEMPORAL

Promedio de las mediciones de exposición obtenidas durante un periodo de tiempo apropiado con el fin de determinar el cumplimiento de los límites.

RADIOFRECUENCIA (RF)

Cualquier frecuencia a la cual la radiación electromagnética es útil para telecomunicaciones, radiofrecuencia se refiere al rango de 10 MHz a 300 GHz.

RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI)

Son aquellas radiaciones del espectro electromagnético que no tienen energía suficiente para ionizar la materia

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. La presencia de campo reactivo hace que el campo electromagnético no tenga la distribución de una onda plana, sino distribuciones más complejas.

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.

REGULACIÓN

Un conjunto de reglas, usualmente bajo una ley del parlamento.

SNT

Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.

SONDA ISOTRÓPICA

Sonda empleada en medición de niveles de intensidad de campo, la cual tiene un patrón de radiación que es fundamentalmente constante en todas las direcciones, con una respuesta en frecuencia de banda ancha.

SUPTEL

Superintendencia de Telecomunicaciones.

UIT

Organismo especializado de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones, a nivel internacional, entre las distintas administraciones y empresas operadoras.

En general, la normativa generada por la UIT está contenida en un amplio conjunto de documentos denominados *Recomendaciones*, agrupados por Series. Cada serie está

compuesta por las Recomendaciones correspondientes a un mismo tema, por ejemplo Tarificación, Mantenimiento, etc.

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.

ANEXO I

**NORMATIVAS INTERNACIONALES DE RADIACION NO
IONIZANTE**

I.1. Norma de la FCC

PAUTAS DE LA FCC PARA LA EXPOSICION HUMANA A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE RADIO FRECUENCIA, AGOSTO 1996.

Las pautas de la FCC se basan en los criterios de exposición recomendados en 1986 por el consejo nacional para la protección contra la radiación y mediciones de radiación (NRCP) y en el estándar desarrollado por el IEEE en 1991, posteriormente adoptado como estándar por el ANSI.

Las pautas de la FCC establecen límites de máxima exposición permisible (MPE) para exposición a la población general o exposición no controlada y para exposición ocupacional o controlada. Los límites para la población general establecen la máxima exposición a la cual la mayoría de la gente puede ser sometida. Esto incluye el público en general, no asociado con la instalación y mantenimiento de equipos de transmisión. Bajo la categoría ocupacional se permiten límites de exposiciones mayores, pero solo a personas expuestas como consecuencia de su empleo (ingenieros de radio, técnicos). Para calificar como exposición controlada, las personas deben ser completamente informadas del potencial de exposición (p. ej. mediante entrenamiento), y deben ser capaces de controlar su exposición. Adicionalmente, las personas que transitan por un lugar, conscientes del potencial de exposición, pueden ser expuestas bajo el criterio ocupacional. Los límites de MPE adoptados por la FCC incorporan un margen de seguridad sustancial y se ha establecido que están bien por debajo de los niveles generalmente aceptados como potencialmente nocivos para la salud.

Los límites de la MPE varían con la frecuencia debido a las diferentes propiedades de absorción del cuerpo humano a diferentes frecuencias cuando hay exposición de cuerpo completo a campos de RF. Para la mayoría de las frecuencias utilizadas por los servicios inalámbricos, la medida más relevante es densidad de potencia. Los límites MPE para densidad de potencia son dados en términos de $\frac{mW}{cm^2}$. En la práctica, dado que no es realista medir separadamente la exposición de cada centímetro cuadrado del cuerpo, la conformidad real con los límites debe determinarse promediando espacialmente la exposición de una persona sobre el área proyectada de un cuerpo humano adulto.

La Intensidad de campo eléctrico e Intensidad de campo magnético se utilizan para medir exposición de campo cercano. Para frecuencias menores que 300 MHz, esas son las medidas de exposición más relevantes, y los valores de densidad de potencia se dan principalmente como referencia. No obstante, la evaluación de densidad de potencia equivalente de campo lejano puede aún ser apropiada para evaluar la exposición en alguno de esos casos. Para frecuencias mayores que 300 MHz sólo se necesita evaluar una componente del campo (\bar{E} o \bar{H}), y la exposición suele ser más fácil de caracterizar en términos de la densidad de potencia (S). Los transmisores y antenas operando a frecuencias de 300 MHz y menores incluyen estaciones de radiodifusión, estaciones de difusión de TV y ciertas instalaciones de servicios personales inalámbricos. La mayoría de los servicios personales inalámbricos, incluyendo celulares y PCS, a sí como algunas estaciones de difusión de TV operan a frecuencias mayores que 300 MHz.

Los límites MPE se especifican como niveles de exposición promedio temporal. Esto significa que la exposición puede promediarse durante el tiempo específico (6 minutos para exposición ocupacional y 30 minutos para exposición al público general). Sin embargo, para el caso de exposición del público general, la premediación temporal usualmente no se aplica debido a la incertidumbre de las condiciones exactas de exposición y la dificultad del control del tiempo de exposición. Por tanto, el enfoque conservativo típico es asumir que cualquier exposición de Radio Frecuencia al público general será continuo. Los límites dados por la FCC para la exposición a diferentes frecuencias se muestran a continuación.

Rango de Frecuencia (Mhz)	Intensidad de Campo Eléctrico E (V/m)	Intensidad de Campo Magnético H (A/m)	Densidad de Potencia S (mW/cm ²)	Tiempo de Promediación (minutos)
0.3 – 3	614	1.63	100 *	6
3 – 30	1845 / f	4.89 / f	900 / f^2	6
30 – 300	61.4	0.163	1	6
300 – 1500	-	-	$f / 300$	6
1500 - 100000	-	-	5	6

Tabla I.3 .- Límites para exposición Ocupacional / Exposición Controlada FCC.

* Densidad de Potencia de una onda plana Equivalente.

Rango de Frecuencia (Mhz)	Intensidad de Campo Eléctrico E (V/m)	Intensidad de Campo Magnético H (A/m)	Densidad de Potencia S (mW/cm ²)	Tiempo de Promediación (minutos)
0.3 – 3	614	1.63	100 *	30
3 – 30	824 / f	2.19 / f	180 / f^2 *	30
30 – 300	27.5	0.073	0.2	30
300 – 1500	-	-	$f / 1500$	30
1500 - 100000	-	-	1.0	30

Tabla I.4.- Límites para exposición a la población General / Exposición No Controlada FCC.

Es importante entender que los límites de la FCC se aplican acumulativamente a todas las fuentes de emisiones RF que afectan un área dada. Un ejemplo común ocurre cuando dos o más operadores inalámbricos han acordado compartir el costo de construcción y mantenimiento de una torre, y colocar sus antenas en la estructura conjunta. En tal caso la exposición total de las dos instalaciones consideradas simultáneamente deben estar dentro de las pautas de la FCC. De otra manera se requerirá una evaluación ambiental.

I.2 Norma de la IEEE

ESTANDAR IEEE PARA LOS NIVELES SEGURO RESPECTO A LA EXPOSICION HUMANA A CAMPOS ELECTROMAGNETICOS DE RADIO FRECUENCIA DESDE 3 Khz A 300 Ghz. IEEE 1999

MÁXIMA EXPOSICIÓN PERMISIBLE (MPE)

MPE en ambientes controlados

Para la exposición humana a energía electromagnética de radio frecuencias desde 3 kHz hasta 300 GHz en ambientes controlados, la MPE se da en la Tabla I.3 como función de la frecuencia en términos de las intensidades de campo eléctrico (E) y magnético (H) r.m.s.¹, las densidades de potencia equivalente en el espacio libre (S) y las corrientes corporales inducidas(I) que pueden ser asociadas con la exposición a tales campos o con el contacto con objetos expuestos a tales campos. La exposición asociada con un ambiente

¹ Root Mean Square.

controlado incluye aquella experimentada por personas conscientes del potencial de exposición como condición de trabajo, exposición de otros individuos conscientes o exposición a consecuencia del tránsito incidental por áreas donde el análisis muestra que la exposición puede estar por encima de los niveles dados en la Tabla I.5 pero no exceden los mostrados en la Tabla I.3, y donde las corrientes de contacto pueden exceder los valores en la Tabla I.6, pero no los de la Tabla I.4

Rango de Frecuencia (Mhz)	Intensidad de Campo Eléctrico E (V/m)	Intensidad de Campo Magnético H (A/m)	Densidad de Potencia S (mW/cm ²) Campo E , Campo H	Tiempo de Promediación $ E ^2, H ^2$ o S (min)
0.003 – 0.01	614	163	100, 1000000	6
0.1 – 1.34	614	$16.3 / f$	$100, 10000 / f^2$	6
3 – 30	$1842 / f$	$16.3 / f$	$900 / f^2, 10000 / f^2$	6
30 – 100	61.4	$16.3 / f$	$1, 10000 / f^2$	6
100 – 300	61.4	0.163	1.0	6
300 - 3000	-	-	$f / 300$	6
3000 – 15000	-	-	10	6
15000 - 300000	-	-	10	6

Tabla I.5.- Niveles de Exposición para ambientes controlados. IEEE

Rango de Frecuencia (Mhz)	Corriente Máxima (mA)		Contacto
	A través de los pies	A través de un pie	
0.003 – 0.01	$2000 f$	$1000 f$	$1000 f$
0.1 - 100	200	100	100

Tabla I.6.- Corrientes de RF inducidas y de Contacto para ambientes Controlados. IEEE

MPE en ambientes no controlados

La exposición asociada con ambientes no controlados es la ocasionada sobre individuos sin conocimiento o control de su exposición. La exposición puede ocurrir en viviendas o sitios de trabajo donde no se espera que los niveles de exposición puedan exceder los listados en la Tabla I.5 como función de la frecuencia.

Rango de Frecuencia (Mhz)	Intensidad de Campo Eléctrico E (V/m)	Intensidad de Campo Magnético H (A/m)	Densidad de Potencia S (mW/cm ²) Campo E , Campo H	Tiempo de Promediación $ E ^2, H ^2$ o S (min)	
				$ E ^2, S$	$ H ^2$
0.003 – 0.1	614	163	100, 1000000	6	6
0.1 – 1.34	614	$16.3 / f$	$100, 10000 / f^2$	6	6
1.34 - 3		$16.3 / f$	$180, 10000 / f^2$	$f^2 / 0.3$	6
3 - 30	$823.8 / f$	$16.3 / f$	$180 / f^2, 10000 / f^2$	30	6
30 – 100	27.5	$158.3 / f^{1.668}$	$0.2, 940000 / f^{3.336}$	30	$0.636 f^{1.337}$
100 – 300	27.5	0.0729	0.2	30	30
300 - 3000	-		$f / 1500$	30	
3000 – 15000	-	-	$f / 1500$	$90000 / f$	
15000 - 300000	-	-	10	$616000 / f^{1.2}$	

Tabla I.7.- Campos Electromagnéticos para ambientes no Controlados. IEEE

Rango de Frecuencia (Mhz)	Corriente Máxima (mA)		Contacto
	A través de los pies	A través de un pie	
0.003 – 0.01	$900 f$	$450 f$	$450 f$
0.1 - 100	90	45	45

Tabla I.8.- Corrientes de RF inducidas y de contacto para ambientes no Controlados. IEEE

EXCLUSIONES

Ambiente controlado

Para frecuencias entre 100 kHz y 6 GHz, el MPE en ambientes no controlados para intensidad de campos electromagnéticos puede excederse si:

- Se puede demostrar mediante técnicas apropiadas que la condición de exposición produce tasas de absorción por debajo de 0.4W/kg promediado sobre todo el cuerpo y SAR espacial pico no mayor que 8W/kg promediado sobre cualquier gramo de tejido (definido como el volumen de tejido en la forma de un cubo), excepto por manos, muñecas, pies y tobillos, donde la SAR pico espacial no debe exceder 20 W/kg, promediado sobre cualquier masa de 10 g de tejido en la forma de un cubo; y

- Las corrientes inducidas en el cuerpo no sobrepasan el MPE dado en la Tabla I.3

Se debe reconocer regiones del cuerpo donde un volumen de 1 o 10 cm³ contiene una masa significativamente menor que 1 o 10 g respectivamente debido a cavidades con aire encerrado. Para esas regiones, la potencia absorbida debe dividirse entre la masa real dentro del volumen para obtener el SAR pico espacial. La SAR se promedia sobre cualquier intervalo de 6 minutos. Por encima de 6 GHz se permite la relajación del MPE bajo condiciones de exposición parcial.

Ambiente no controlado

Para frecuencias entre 100 kHz y 6 GHz, el MPE en ambientes no controlados para intensidad de campos electromagnéticos puede excederse si:

- Se puede demostrar mediante técnicas apropiadas que la condición de exposición produce tasas de absorción por debajo de 0.4W/kg promediado sobre todo el cuerpo y SAR espacial pico no mayor que 8W/kg promediado sobre cualquier gramo de tejido (definido como el volumen de tejido en la forma de un cubo), excepto por manos, muñecas, pies y tobillos, donde la SAR pico espacial no debe exceder 20 W/kg, promediado sobre cualquier masa de 10 g de tejido en la forma de un cubo; y
- Las corrientes inducidas en el cuerpo no sobrepasan el MPE dado.

Se debe reconocer regiones del cuerpo donde un volumen de 1 o 10 cm³ contiene una masa significativamente menor que 1 o 10 g respectivamente debido a vacíos. Para esas regiones, la potencia absorbida debe dividirse entre la masa real dentro del volumen para obtener el SAR pico espacial. Los tiempos de promediación para la SAR se indican en la Tabla I.5. Por encima de 6 GHz se permite la relajación del MPE bajo condiciones de exposición parcial.

RELAJACIÓN DE LÍMITES DE DENSIDAD DE POTENCIA PARA EXPOSICIÓN CORPORAL PARCIAL

Se permite la relajación de los límites de densidad de potencia para exposición en todas las partes del cuerpo excepto los ojos y los testículos indicada en la Tabla I.7. La conformidad

con el MPE para ambientes controlados y no controlados se determina a partir de promedios espaciales sobre un área equivalente a la sección transversal vertical del cuerpo humano a una distancia no menor que 20 cm de cualquier objeto.

	FRECUENCIA (Ghz)	Valor Pico del Campo Cuadrático Medio	Densidad de Potencia Equivalente (mW/cm ²)
Ambiente Controlado	$0.0001 \leq f < 0.3$	$< 20\overline{E}^2$ o $< 20\overline{H}^2$	
	$0.3 < f \leq 6$		< 20
	$6 < f \leq 96$		$< 20(f/6)^{1/4}$
Ambiente no Controlado	$96 < f \leq 300$		40
	$0.0001 \leq f < 0.3$	$< 20\overline{E}^2$ o $< 20\overline{H}^2$	
	$0.3 < f \leq 6$		4
	$6 < f \leq 30$		$f/1.5$
	$30 < f \leq 300$		20

Tabla I.9.- Relajación de los límites para exposición corporal parcial. IEEE

EXPLICACIÓN

Este estándar se basa en el hecho de que no existe evidencia científica confiable que muestre que:

- Algunos subgrupos de la población tienen un riesgo mayor al ser expuestos a EMF.
- El daño ocasionado por la exposición a campos electromagnéticos es acumulativo.
- La exposición duradera a los niveles ANSI C95.1-1982 constituye un riesgo significativo.
- Las secuelas no-térmicas o específicas al tipo de modulación de la exposición a EMF pueden estar significativamente relacionadas con la salud humana.

I.3 Norma de la ICNIRP

PAUTAS PARA LIMITAR LA EXPOSICIÓN A CAMPOS ELÉCTRICOS, MAGNÉTICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS VARIABLES EN EL TIEMPO HASTA 300Ghz. ICNIRP (Internacional Comisión on Non- Ionizing Radiation Protection), 1998

Los principios presentados tienen como objetivo limitar la exposición a campos electromagnéticos para evitar los efectos adversos sobre la salud que se conocen hasta ahora. Se dan dos tipos de principios:

- Restricciones básicas: Restricciones a la exposición a campos EM¹ que varían en el tiempo basadas directamente en los efectos sobre la salud conocidos. Dependiendo de la frecuencia, las cantidades físicas utilizadas para expresar dichas restricciones son densidad de corriente, tasa de absorción específica de energía (SAR²) y densidad de potencia. Sólo la densidad de potencia en el aire puede medirse fácilmente en individuos expuestos.
- Niveles de referencia: Se proporcionan como una forma práctica de estimación de la exposición a campos para determinar si las restricciones básicas podrían ser excedidas. Algunos niveles de referencia se derivan de las restricciones básicas relevantes utilizando mediciones o técnicas computacionales; algunos consideran la percepción y efectos adversos indirectos de la exposición a EMF³. Las cantidades derivadas son intensidad de campo eléctrico (E), intensidad de campo magnético (H), densidad de flujo magnético (B), densidad de potencia (S) y corrientes a través de las extremidades (I_L). Las cantidades que consideran la percepción y otros efectos indirectos son la corriente de contacto (I_C) y, para campos en forma de pulsos, la absorción de energía específica (SA). Mientras que el cumplimiento de los niveles de referencia garantiza la satisfacción de las restricciones básicas, su incumplimiento no necesariamente conduce a la violación de las restricciones.

Las recomendaciones para limitar la exposición se han desarrollado siguiendo una completa revisión de toda la literatura científica publicada. Para establecer las restricciones propuestas únicamente se utilizaron efectos establecidos. Se consideró que la inducción de cáncer a largo plazo derivada de la exposición a EMF no es un efecto establecido. Los pautas propuestas se basan en efectos sobre la salud inmediatos, a corto plazo, tales como la estimulación de nervios periféricos y músculos, choques y quemaduras causadas al

¹ Electromagnéticos.

² Specific energy absorption rate.

³ Electromagnetic Field

tocar objetos conductores, y temperaturas elevadas en los tejidos como consecuencia de la absorción de energía durante la exposición a EMF.

Los mecanismos de acople entre el cuerpo humano y EMF pueden ser directos e indirectos. Los directos son: acople con campos E de baja frecuencia, acople con campos M de baja frecuencia y absorción de energía de campos EM, siendo este último significativo a partir de los 100KHz. Los mecanismos indirectos son: corrientes de contacto que surgen cuando el cuerpo humano tiene contacto con un objeto a diferente potencial eléctrico (uno de los dos está cargado por un EMF), y el acople del campo con dispositivos utilizados por individuos (internos y externos). Este último mecanismo no se considera aquí.

PAUTAS PARA LIMITAR LA EXPOSICIÓN A EMF

La exposición ocupacional (EO) consiste en la ocasionada bajo condiciones conocidas sobre adultos que han sido entrenados al respecto, y por tanto conocen bien el riesgo potencial y saben tomar las precauciones apropiadas. En contraste, la exposición al público general (EP) es la ocasionada sobre grupos de individuos de todas las edades y estados de salud, pudiendo encontrarse entre ellos individuos particularmente susceptibles. En muchos casos, los miembros del público no tienen conocimiento de su exposición a EMF. Más aún, no puede esperarse que los miembros del público en general tomen precauciones para minimizar o evitar la exposición. Estas consideraciones llevan a la adopción de restricciones más estrictas para el público que para el sector ocupacional.

Restricciones básicas y niveles de referencia

Las restricciones sobre los efectos de la exposición se basan en efectos establecidos sobre la salud y se denominan restricciones básicas. Dependiendo de la frecuencia, las cantidades físicas utilizadas para especificar las restricciones básicas de exposición a EMF son densidad de corriente, SAR y densidad de potencia. La protección contra efectos adversos sobre la salud requiere que dichas restricciones básicas no sean excedidas.

Los niveles de referencia de exposición se proporcionan para hacer la comparación con valores medidos de cantidades físicas; la conformidad con todos los niveles de referencia dados en esta pauta asegura la conformidad con las restricciones básicas. Si los valores medidos superan los niveles de referencia, esto no necesariamente implica que las

restricciones básicas se han excedido, sino que es necesario un análisis más detallado para evaluar la conformidad con las restricciones básicas. No hay información suficiente respecto de los efectos biológicos ni sobre la salud de la exposición de humanos o animales a EMF para proporcionar una base rigurosa que permita establecer factores de seguridad sobre todo el rango de frecuencia y sobre todas las modulaciones posibles.

Restricciones básicas

Diferentes bases científicas se utilizaron en el desarrollo de las restricciones de exposición básicas para varios rangos de frecuencia:

- 1Hz-10MHz – La restricción se da en densidad de corriente para prevenir efectos en las funciones del sistema nervioso.
- 100kHz-10GHz – Se da en SAR para prevenir el sobrecalentamiento total del cuerpo y el calentamiento localizado de tejidos; de 100kHz-10MHz las restricciones se dan en densidad de corriente y SAR.
- 10GHz-300GHz – Se dan en densidad de potencia para prevenir el calentamiento excesivo en los tejidos cerca o en la superficie del cuerpo.

Los efectos sobre la salud y biológicos establecidos para el rango entre 10MHz y unos pocos GHz son consistentes con respuestas a un incremento de 1°C en la temperatura corporal. Este incremento resulta de la exposición de individuos bajo condiciones ambientales moderadas a un SAR aproximado de 4W/kg promediado sobre todo el cuerpo durante alrededor de 30 minutos. Por tanto se ha elegido un SAR de 0.4W/kg como la restricción que provee una protección adecuada para la exposición ocupacional. Para el público general se utiliza un factor de seguridad adicional 5, resultando un límite de 0.08W/kg.

A bajas frecuencias hay pocos datos que relacionen corrientes transitorias con efectos sobre la salud. Por tanto ICNIRP recomienda que las restricciones sobre densidades de corriente inducidas por campos transitorios o picos se consideren como valores instantáneos que no deben promediarse en el tiempo.

Característica de la exposición	Rango de Frecuencia	Densidad de Corriente para a cabeza y el tronco (mA/m ²)(rms)	SAR Promedio de cuerpo completo (W/m ²)	SAR localizado (cabeza y tronco) (W/m ²)	SAR localizado (W/m ²)
OCUPACIONAL	Hasta 1 Hz	40	-	-	-
	1Hz – 4Hz	40/ f	-	-	-
	4Hz – 1kHz	10	-	-	-
	1kHz – 100kHz	f /100	-	-	-
	100kHz – 10MHz	f /100	0,4	10	20
	10MHz - 10GHz	-	0,4	10	20
PUBLICO EN GENERAL	Hasta 1 Hz	8	-	-	-
	1Hz – 4Hz	8 / f	-	-	-
	4Hz – 1kHz	2	-	-	-
	1kHz – 100kHz	f / 500	-	-	-
	100kHz – 10MHz	f / 500	0,08	2	4
	10MHz - 10GHz	-	0,08	2	4

Tabla I.10.-Restricciones Básicas para Campos Eléctricos y Magnéticos dependientes del tiempo para frecuencias hasta de 10 GHz. ICNIRP

Para frecuencias entre 10 GHz y 300 GHz la restricción básica de densidad de potencia es de 10 W/m² para exposición pública y 50 W/m². La densidad de potencia debe promediarse sobre cualquier área expuesta de 20 cm² y cualquier período de $68/f^{1,05}$ minutos (f en GHz) para compensar la decreciente profundidad de penetración a medida que la frecuencia aumenta. La densidad de potencia máxima espacial, promediada sobre cualquier cm² debe ser menor que 20 veces el límite dado, es decir, 200 W/m².

Niveles de referencia

Los niveles de referencia se dan para las condiciones de máximo acople del campo con el individuo expuesto, proporcionando por tanto protección máxima. Se supone que los niveles de referencia son los valores promediados espacialmente sobre todo el cuerpo del individuo expuesto, pero con la importante estipulación que las restricciones básicas en exposición localizada no se excedan.

Las simplificaciones utilizadas para calcular los niveles de referencia a bajas frecuencias no tuvieron en cuenta fenómenos tales como la distribución no homogénea ni la anisotropía de la conductividad eléctrica y otros factores relacionados con los tejidos de importancia para esos cálculos. La dependencia entre la frecuencia y los niveles de referencia es consistente con los datos disponibles sobre efectos biológicos y acople del campo con el cuerpo humano.

Los modelos de campo magnético asumen que el cuerpo tiene una conductividad homogénea e isotrópica, y aplican modelos simples de mallas circulares conductivas para estimar corrientes inducidas en diferentes regiones y órganos del cuerpo.

Para demostrar el cumplimiento de las restricciones básicas, los niveles de referencia para los campos E y H deben considerarse separadamente y no aditivamente, porque para propósitos de protección, las corrientes inducidas por los campos E y H no son aditivas.

- Hasta 1kHz, los niveles de referencia para campos eléctricos sobre el público general son la mitad de los valores establecidos para exposición ocupacional. El valor de 10 kV/m para 50Hz o 8.3kV/m para 60Hz en exposición ocupacional incluye un margen de seguridad suficiente para prevenir efectos estimulantes derivados de corrientes de contacto bajo todas las condiciones posibles. El nivel elegido para el público fue la mitad de los anteriores previene efectos adversos para más del 90% de los individuos expuestos.
- Hasta 100kHz los niveles de campo magnético para el público son 5 veces menores que los dados para exposición ocupacional.
- Entre 100kHz y 10 MHz los niveles de campo magnético para el público se incrementaron con respecto a los dados en la pauta IRPA 1988. En dicha pauta los niveles de referencia para H se calcularon a partir de los de E utilizando la fórmula que los relaciona en la aproximación de campo lejano. Estos niveles son demasiado conservativos, dado que los campos M a frecuencias menores a 10 MHz no contribuyen significativamente al riesgo de choques, quemaduras o efectos de carga superficial que forman la base principal para limitar la exposición ocupacional a campos E en ese rango de frecuencia.

- En el rango 10 MHz a 10 GHz, los niveles de E y H para el público son menores por un factor 2.2 que los establecidos para Exposición Ocupacional. El valor 2.2 corresponde a la raíz cuadrada de 5, que es el factor de seguridad entre las restricciones básicas para Exposición Ocupacional y Exposición Pública. Se utiliza la raíz para relacionar intensidad de campo con densidad de potencia.
- Entre 10 y 300 GHz, los niveles para EP se definen mediante la densidad de potencia al igual que en las restricciones básicas, y son 5 veces menores que para la Exposición Ocupacional.
- Aunque se tiene poca información disponible sobre la relación entre efectos biológicos y valores pico de campos pulsados, se ha sugerido que para frecuencias mayores que 100MHz S_{eq} promediado sobre el ancho de pulso no puede exceder 32 veces los niveles de referencia, o que las intensidades de campo no excedan 32 veces los niveles de referencia para intensidad de campo. Entre 0.3 GHz y varios GHz, y para exposición localizada de la cabeza, con el fin de limitar o evitar efectos auditivos causados por expansión termoelástica, la absorción específica de los pulsos debe limitarse. En este rango de frecuencia, el umbral de SA¹ 4-16 mJ /kg para producir este efecto corresponde, para pulsos de 30 us, a valores SAR pico de 130-520 W/kg en el cerebro. Entre 100kHz y 10MHz, los valores pico para las intensidades de campo se obtienen interpolando desde el pico de 1.5 veces en 100kHz al pico de 32 veces en 10 MHz.
- Para los niveles de Exposición ocupacional y Exposición Pública, algunos cambios en la función ocurren en valores diferentes de frecuencia para cada uno. Esto es consecuencia de la variación en los factores utilizados para derivar los niveles de referencia para la Exposición Pública, mientras que la dependencia de la frecuencia se mantiene igual para la Exposición Ocupacional y la Exposición Pública.

¹ Specific energy absorption (J.kg⁻¹)

Rango de Frecuencia	Intensidad de Campo Eléctrico $E(V/m)$	Intensidad de Campo Magnético $H(A/m)$	Densidad de Flujo Magnético $B(uT)$	Densidad de Potencia de Onda Plana Equivalente $S_{eq}(W/m^2)$
Hasta 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	-
1Hz – 8Hz	20,000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	-
8Hz – 25Hz	20,000	$2 \times 10^4 / f$	$2,5 \times 10^4 / f$	-
25Hz – 0,82kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	-
0,82kHz – 65kHz	610	24,4	30,7	-
0,065 – 1MHz	610	$1,6 / f$	$2,0 / f$	-
1 - 10 MHz	$610 / f$	$1,6 / f$	$2,0 / f$	-
10 – 400MHz	61	0,16	0,2	10
400 – 2000MHz	$3 f^{1/2}$	$0,008 f^{1/2}$	$0,01 f^{1/2}$	$f / 40$
2 – 300 GHz	137	0,36	0,45	50

Tabla I.11.- Niveles de referencia para exposición ocupacional a campos Electromagnéticos dependientes del tiempo (Valores r.m.s. sin perturbación) ICNIRP

Rango de Frecuencia	Intensidad de Campo Eléctrico $E(V/m)$	Intensidad de Campo Magnético $H(A/m)$	Densidad de Flujo Magnético $B(uT)$	Densidad de Potencia de Onda Plana Equivalente $S_{eq}(W/m^2)$
Hasta 1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	-
1Hz – 8Hz	10,000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	-
8Hz – 25Hz	10,000	$4,000 / f$	$5,000 / f$	-
25Hz – 0,82kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-
0,82kHz – 3kHz	$250 / f$	5	6,25	-
3 – 150kHz	87	5	6,25	-
0,15 – 1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
1 – 10MHz	$87 f^{1/2}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
10 – 400MHz	28	0,0073	0,092	2
400 – 2,000MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f / 200$
2 – 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Tabla I.12.- Niveles de Referencia para exposición del público general a campos Electromagnéticos dependientes del tiempo (Valores rms sin perturbación). ICNIRP

Exposición simultánea a campos de múltiples frecuencias

Es importante determinar si en situaciones de exposición simultánea a campos de diferentes frecuencias cada uno de estos tiene efectos aditivos con los de los demás. La aditividad debe examinarse separadamente para los efectos de estimulación eléctrica y térmica, y las restricciones básicas dadas abajo deben cumplirse. Esas fórmulas funcionan para las frecuencias relevantes bajo situaciones prácticas de exposición.

Para estimulación eléctrica, relevante en frecuencias de hasta 10MHz, las densidades de corriente inducidas deben sumarse así:

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{10\text{MHz}} \frac{J_i}{J_{L,i}} \leq 1 \quad (3.4)$$

Para efectos térmicos, relevantes desde los 100 kHz, los valores de SAR y densidad de potencia deben sumarse así:

$$\sum_{i=100\text{kHz}}^{10\text{GHz}} \frac{SAR_i}{SAR_L} + \sum_{i>10\text{GHz}}^{300\text{GHz}} \frac{S_i}{S_L} \leq 1 \quad (3.5)$$

J_i es la densidad de corriente inducida a la frecuencia i , $J_{L,i}$ es la restricción para la densidad de corriente en la frecuencia i dada por la Tabla I.8, SAR_i es la tasa de absorción específica causada por la exposición a la frecuencia i , SAR_L es el límite dado en la Tabla I.8, S_i es la densidad de potencia a la frecuencia i , y S_L es el límite de la densidad de potencia entre 10 GHz y 300 GHz, es decir 10 W/m².

Para la aplicación práctica de las restricciones básicas, debe aplicarse los siguientes criterios respecto de los niveles de referencia de las intensidades de campo.

- Para efectos de densidad de corriente inducida y estimulación eléctrica, relevantes para frecuencias de hasta 10 MHz, debe aplicarse los siguientes dos requerimientos a los niveles de campo:

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{1\text{MHz}} \frac{E_i}{E_{L,1}} + \sum_{i>1\text{MHz}}^{10\text{MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1 \quad (3.6)$$

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{65\text{kHz}} \frac{H_i}{H_{L,1}} + \sum_{i>65\text{kHz}}^{10\text{MHz}} \frac{H_i}{b} \leq 1$$

E_i es la intensidad de campo eléctrico a la frecuencia i , $E_{L,i}$ es el nivel de referencia para el campo eléctrico en la frecuencia i dado por la Tabla I.10, H_i es la intensidad de campo magnético a la frecuencia i , $H_{L,i}$ es el nivel de referencia para el campo magnético en la frecuencia i dado por la Tabla I.6, a es 87 V/m y b es 5 A/m. Estas constantes sólo son válidas para exposición pública.

Los valores constantes a y b se utilizan para frecuencias mayores que 1 MHz para E y mayores que 65 kHz para H porque la suma se basa en densidades de corriente inducidas y debe separarse de las consideraciones térmicas.

- Para los niveles EO y EP, algunos cambios en la función ocurren en valores diferentes de frecuencia
- Para consideraciones térmicas, relevantes por encima de los 100 kHz, los siguientes dos requerimientos deben aplicarse a los niveles de campo:

$$\sum_{i=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1 \quad (3.7)$$

$$\sum_{i=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{H_i}{d} \right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{H_i}{H_{L,i}} \right)^2 \leq 1 \quad (3.8)$$

Donde c es $87/f^{1/2}$ V/m y d es $0.73/f$ A/m para exposición al público general con f en MHz.

Para corriente de extremidad y de contacto respectivamente, se aplican los siguientes criterios:

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{110\text{MHz}} \left(\frac{I_i}{I_{L,i}} \right)^2 \leq 1 \quad (3.9)$$

$$\sum_{k=1\text{Hz}}^{110\text{MHz}} \left(\frac{I_k}{I_{C,k}} \right)^2 \leq 1 \quad (3.10)$$

Siendo I_i la componente de corriente de miembro a la frecuencia i , $I_{L,i}$ el nivel de referencia de corriente de miembro (45mA para exposición pública en la banda de 10MHz–10MHz), I_k es la corriente de contacto en la frecuencia k , $I_{C,k}$ es la corriente de contacto en la frecuencia k e $I_{C,k}$ es el nivel de referencia de corriente de contacto a la frecuencia k . Las fórmulas de suma anteriores asumen los peores casos para campos de fuentes múltiples. Como resultado, las situaciones típicas de exposición en la práctica pueden requerir niveles de exposición menos restrictivos que los dados.

I.4 Norma de la Health Canada

LÍMITES DE LA EXPOSICIÓN HUMANA A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE RADIO FRECUENCIA EN EL RANGO ENTRE 3 kHz Y 300 GHz. Health Canada, 1999

Los estudios de peligros potenciales para la salud humana derivados de la exposición a campos EM de RF muestran que hay una necesidad de controles al respecto. La exposición a energía RF en cantidades mayores a los límites dados en este código de seguridad pueden causar efectos adversos sobre la salud. El tipo y extensión de los efectos depende no solo de la intensidad del campo y la duración de la exposición, sino también de otros factores varios tales como la frecuencia, tipo de polarización, modulación y distancia de la fuente.

Los límites se establecieron a partir de una revisión de los experimentos realizados en los últimos 30 años sobre organismos biológicos, incluyendo humanos, animales y sistemas celulares. Los límites recomendados en este código se han establecido al menos un factor

10 debajo del umbral en el cual inician los efectos perjudiciales de acuerdo con el consenso de la comunidad científica. Los efectos biológicos de campos de RF a niveles muy bajos para producir calentamiento también se han revisado. Dichos efectos no están bien establecidos, y sus implicaciones para la salud humana no están lo suficientemente bien entendidas. Por tanto, ellos no pueden proporcionar una base para hacer recomendaciones sobre la restricción de exposición humana a campos de tan baja intensidad.

Objetivos del código

- Especificar niveles máximos y duraciones de la exposición a campos de RF a frecuencias entre 3kHz y 300GHz con el fin de prevenir efectos sobre la salud humana.
- Especificar los valores máximos permisibles para corrientes corporales inducidas y de contacto para prevenir la percepción física de campos RF al público general y choques o quemaduras de RF a trabajadores expuestos a RF y microondas.
- Recomendar procedimientos generales para asegurar que la exposición del público en general y de personal trabajando en cercanías de dispositivos de RF y microondas no es mayor que los niveles especificados en el código.
- Recomendar condiciones laborales que induzcan a altos estándares de seguridad para todo el personal comprometido en la fabricación, operación y mantenimiento de dispositivos de RF.

Los límites básicos que no deben excederse son dados en términos de las corrientes en el cuerpo, ya sea por inducción o contacto con objetos metálicos energizados, o en términos de la tasa a la cual el cuerpo absorbe energía electromagnética de Radio Frecuencia (SAR). En la práctica la medición directa de la SAR es realizable sólo bajo condiciones de laboratorio. Los niveles de exposición máximos recomendados en términos de intensidad de campo eléctrico y magnético no perturbado, así como densidad de potencia son por tanto dados en adición a los límites de SAR. Esas intensidades de campo máximas se encuentran a niveles que generarían una SAR o una corriente corporal inducida no mayor que el límite básico.

Para los límites de exposición de trabajadores expuestos, un factor de seguridad aproximadamente de 10 se incorporó con referencia al consenso científico para efectos adversos sobre la salud. Para otras personas, incluyendo el público general, un factor adicional (entre 2 y 5) se incluyó para llegar a límites más bajos. Los factores de seguridad son incorporados para tener en cuenta todas las condiciones posibles bajo las cuales puede ocurrir la exposición. Las razones de establecer límites más bajos para el público son:

- La exposición del público es potencialmente de 24 horas al día durante 7 días a la semana, comparada con 8 horas al día, 5 días a la semana para trabajadores expuestos a RF y microondas.
- Ciertos miembros del público general podrían ser más susceptibles a ser lastimados por la exposición.

Para determinar si los niveles máximos de exposición y duraciones máximas son excedidas, deben considerarse los siguientes factores:

- Ocupación de las áreas.
- Duración real de la exposición y promediación temporal (incluyendo tiempos ON/OFF de generadores de RF, dirección del rayo, ciclos útiles, tiempos de barrido, etc.)
- Características espaciales de la exposición, por ejemplo cuerpo completo o partes del mismo.
- Uniformidad del campo al cual se expone (promediación temporal)

En ciertos casos y sobre un rango de frecuencia específico, se permiten niveles de exposición más altos por cortas duraciones. Si este es el caso, las intensidades de campo y densidades de potencia deben promediarse sobre 6 minutos.

TRABAJADORES EXPUESTOS A RADIOFRECUENCIA Y MICROONDAS

Límites de intensidad de campo

En la Tabla I.11 se dan los límites de exposición para trabajadores expuestos en términos de campo eléctrico, campo magnético y densidad de potencia. Estos son valores promedio

temporal y espacial, llevándose a cabo la promediación espacial sobre un área equivalente a la sección transversal del cuerpo humano, y la temporal en el intervalo indicado.

FRECUENCIA (MHz)	Intensidad de Campo Eléctrico; rms (V/m)	Intensidad de Campo Magnético; rms (A/m)	Densidad de Potencia (W/m ²)	Tiempo de Promediación (min)
0,003 – 1	600	4,9	-	6
1 – 10	600 / f	4,9 / f	-	6
10 – 30	60	4,9 / f	-	6
30 – 300	60	0,163	10*	6
300 – 1500	3,54 $f^{0,5}$	0,0094 $f^{0,5}$	$f / 30$	6
1500 – 15000	137	0,364	50	6
15000 – 150000	137	0,364	50	616000 / $f^{1,2}$
150000 - 300000	0,354 $f^{0,5}$	0,00094 $f^{0,5}$	3,33 x 10 ⁻⁴ f	616000 / $f^{1,2}$

Tabla I.13.- Límites de exposición para trabajadores expuestos (incluyendo personas expuestas ocupacionalmente). Health

Restricciones básicas- Límites de tasa de absorción específica (SAR)

La SAR es una medida de la tasa a la cual la energía electromagnética es absorbida por el cuerpo. Para frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz, los límites de SAR tienen precedencia sobre los de intensidad de campo y densidad de potencia, y no deberán excederse. En los casos en los que la determinación de la SAR es apropiada, los valores dados en la tabla no deben excederse.

CONDICION	Limite de SAR (W/kg)
SAR promediada sobre la masa total del cuerpo	0,4
SAR local para cabeza, cuello y tronco, promediada sobre cualquier gramo de tejido.	8
SAR en las extremidades, promediada sobre 10 gramos de tejido	20

Tabla I.14.- Límites de SAR para trabajadores Expuesto en RF y Microonda. Health

Aunque no es requerimiento del código, se sugiere que siempre que sea posible, la SAR promedio de órgano en el ojo no exceda 0,4 W/kg. Esta recomendación se mantendrá hasta

* La densidad de potencia es aplicable para frecuencias mayores que 100MHz

que sea posible la estimación de los efectos sobre la salud de la exposición del ojo basada en información científica.

Corriente inducida y de contacto

Los límites para corrientes inducidas y de contacto buscan reducir el potencial de choques o quemaduras RF así:

- Para trabajadores expuestos sin contacto con objetos metálicos, la corriente corporal inducida debe limitarse en función de la frecuencia como se indica en la Tabla I.11.
- Ningún objeto al alcance de la mano de un trabajador expuesto estará energizado a tal extremo que la corriente que fluye a través de un circuito a tierra con impedancia equivalente a la del cuerpo humano exceda los valores para corriente de contacto indicados para las diferentes bandas de frecuencia.
- Las máximas corrientes permitidas pueden ser perceptibles (cosquilleo o calentamiento leve) pero no son suficientes para causar dolor o daños como quemaduras.
- En el caso de exposición durante tiempos menores al de promediación presentado, el límite se extiende de acuerdo con la siguiente relación:

$$I_{av}^2 = I_{lm}^2 \frac{6}{T_{exp}} \quad (3.11)$$

Siendo I_{av} la corriente promedio máxima permisible para tiempos de exposición menores que 6 minutos, I_{lm} es el límite a través de cada pie (100mA) como se muestra en la Tabla I.13 y T_{exp} es el tiempo de exposición durante cualquier período de 6 minutos. Para tiempos menores que 0,5 minutos la máxima corriente instantánea es 350 mA.

Frecuencia (MHz)	Corriente r.m.s. inducida (mA) a través de:		Corriente de contacto r.m.s. (mA)	
	Los dos Pies	Cada pie	Contacto fuerte de mano y a través de cada pie	Tiempo de promediación
0,003 – 0,1	2000 <i>f</i>	1000 <i>f</i>	1000 <i>f</i>	1 seg
0,1 - 110	200	100	10	6 min

Tabla I.15.- Corrientes de contacto e inducidas límite para trabajadores expuestos. HEALTH

Cuando la radiación electromagnética consiste en un número de frecuencias en la misma o en diferentes bandas, la ponderación para verificar si la magnitud de interés (campo, corriente, densidad de potencia) está por debajo del límite se realiza de la manera indicada en la siguiente sección utilizando la tabla del caso.

EXPOSICIÓN DE PERSONAS NO CLASIFICADAS COMO TRABAJADORES EXPUESTOS

Límites de intensidad de campo

Se dan en la tabla I.14 los límites para valores promediados temporal y espacialmente. La promediación espacial se lleva a cabo sobre un área equivalente a la sección transversal vertical del cuerpo humano (área proyectada). El promedio temporal se calcula sobre un período de 6 minutos para frecuencias de hasta 15 GHz, y para frecuencias mayores se indica en la misma tabla I.14. Cuando la radiación electromagnética consiste en un número de frecuencias en la misma banda o en diferentes bandas, entonces la división del valor medido a cada frecuencia entre el límite a dicha frecuencia debe determinarse, y la suma de todas las divisiones no deben exceder la unidad al promediarse espacial y temporalmente. Para mediciones de intensidad de campo, los valores medidos y los límites deben elevarse al cuadrado antes de efectuar la división.

$$\sum_{k=3kHz}^{300GHz} \left(\frac{F_i}{F_{L,i}} \right)^2 \leq 1 \quad (3.12)$$

$$\sum_{k=3kHz}^{300GHz} \left(\frac{P_i}{P_{L,i}} \right)^2 \leq 1 \quad (3.13)$$

F_i es la intensidad de campo a la frecuencia i , $F_{L,i}$ es el límite para dicha intensidad de campo a la frecuencia i dado en la Tabla I.10, P_i es la densidad de potencia medida a la frecuencia i y $P_{L,i}$ es el límite para la densidad de potencia a dicha frecuencia dada en la Tabla I.14.

FRECUENCIA (MHz)	Intensidad de Campo Eléctrico; rms (V/m)	Intensidad de Campo Magnético; rms (A/m)	Densidad de Potencia (W/m ²)	Tiempo de Promediación (min)
0,003 – 1	280	2,19	-	6
1 – 10	280 / f	2,19 / f	-	6
10 – 30	28	2,19 / f	-	6
30 – 300	28	0,073	2*	6
300 – 1500	1,585 $f^{0,5}$	0,0042 $f^{0,5}$	$f / 150$	6
1500 – 15000	61,4	0,163	10	6
15000 – 150000	61,4	0,163	10	616000 / $f^{1,2}$
150000 - 300000	0,158 $f^{0,5}$	4,21 x 10 ⁻⁴ $f^{0,5}$	6,67 x 10 ⁻⁵ f	616000 / $f^{1,2}$

Tabla I.16.- Límites de exposición para personas no clasificadas como trabajadores expuestos (incluyendo el público en general). Health Canada

Restricciones básicas – Límites de la Tasa de Absorción Específica (SAR)

A frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz, los límites de SAR tienen precedencia sobre los límites de intensidad de campo y densidad de potencia, y no deben excederse. El SAR debe determinarse para los casos en los que la exposición tiene lugar a una distancia de la fuente de 20 cm o menos. En las condiciones donde la determinación de la SAR es impráctica, deben efectuarse mediciones de intensidad de campo o de densidad de potencia. Cuando es práctica, los valores de la tabla I.11 no deben excederse.

CONDICIÓN	SAR Límite (W/kg)
SAR promediado sobre la masa del cuerpo	0,008
SAR local para cabeza, cuello y tronco, promediado sobre 1 g de tejido *	1,6
SAR en las extremidades, promediada sobre 10 g de tejido *	4

Tabla I.17.- SAR límite para personas no clasificadas como trabajadores expuestos. Health Canada

No es un requerimiento del código, pero se sugiere que siempre que sea posible, el SAR promedio para el ojo en ambientes controlados no exceda 0.4W/Kg., ni 0.2W/Kg. en

* La densidad de potencia es aplicable para frecuencias mayores que 100MHz

* Definido como un volumen de tejido en la forma de un cubo

ambientes no controlados. Esta sugerencia se mantendrá hasta que se tenga la información científica suficiente para estimar el efecto sobre la salud de la exposición del ojo a radiofrecuencia.

I.5 Norma de la UIT

ORIENTACION SOBRE EL CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES DE EXPOSICIÓN DE LAS PERSONAS A LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS, Recomendación UIT-T K.52, Febrero de 2000

Alcance

La finalidad de la presente Recomendación es facilitar el cumplimiento por las instalaciones de telecomunicación de los límites de seguridad cuando existe la exposición de las personas a campos electromagnéticos (EMF, electromagnetic fields). La Recomendación no impone límites de seguridad; su objetivo es presentar técnicas y procedimientos para evaluar el cumplimiento por las instalaciones de telecomunicación de los límites de seguridad nacionales o internacionales de los EMF. El procedimiento de evaluación, basado en los límites de seguridad proporcionados por la ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection), ayuda a los usuarios a determinar la probabilidad de que las instala.

Establece los límites de seguridad de la exposición de las personas a los campos electromagnéticos (EMF) producidos por equipo de telecomunicaciones en la gama de frecuencias de 9 kHz a 300 GHz. La presente Recomendación presenta técnicas y procedimientos para evaluar la gravedad de la exposición a estos campos y para limitar la exposición de los operarios y del público en general a estos campos si se sobrepasan estos límites.

Cuando existen leyes, normas o directrices nacionales sobre los límites de exposición a los EMF, y los procedimientos aplicados presentan variaciones con respecto a los de esta Recomendación, las leyes, normas o directrices nacionales tendrán precedencia sobre los procedimientos presentados en esta Recomendación. Esta Recomendación trata de la exposición de las personas presentes en los emplazamientos de telecomunicaciones y la exposición de las personas que están fuera de los emplazamientos de telecomunicaciones a los EMF producidos por equipos de telecomunicación y equipos situados en los

emplazamientos de telecomunicaciones. En la presente Recomendación no se trata de la exposición a la corriente de contacto debida a objetos conductivos irradiados por un campo electromagnético. No se trata de la exposición producida por el uso de teléfonos móviles u otros dispositivos radiantes utilizados en proximidad inmediata al cuerpo humano.

La Recomendación UIT-T K.33, Límites para la seguridad de las personas en relación con el acoplamiento en el sistema de telecomunicaciones de instalaciones de energía eléctrica en c.a. y de instalaciones ferroviarias electrificadas en c.a. en condiciones de avería, trata de los aspectos de seguridad de las personas que están en contacto con circuitos de telecomunicaciones expuestos a la inducción de las líneas de energía eléctrica en c.a. y de instalaciones ferroviarias electrificadas en c.a.

Referencias

Las siguientes Recomendaciones del UIT- T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas.

Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes.

- CEI 61566 (1997), Measurement of exposure to radio-frequency electromagnetic fields – Field strength in the frequency range 100 kHz to 1 GHz.
- CEI 60657 (1979), Non-ionizing radiation hazards in the frequency range from 10 MHz to 300 000 MHz.
- CEI 60833 (1987), Measurement of power-frequency electric fields.

Principios generales

Hay muchos documentos nacionales e internacionales que indican límites de seguridad de exposición de las personas a los EMF. Aunque estos documentos difieren en los detalles, la mayoría tienen varios principios básicos en común, entre los que se hallan el uso de

límites básicos y derivados, el uso de límites de exposición a dos niveles, tiempos de promediación, y consideración separada de la exposición a los campos de baja frecuencia y alta frecuencia. La mayoría de los documentos indican límites de seguridad en forma de niveles básicos y niveles de referencia (o derivados). Los límites básicos corresponden a las magnitudes fundamentales que determinan la respuesta física o lógica del cuerpo humano a los campos electromagnéticos. Los límites básicos se aplican a una situación en la que el cuerpo está presente en el campo. Los límites básicos de exposición de las personas se expresan en forma de tasa de absorción específica (SAR, specific absorption rate), absorción específica (SA, specific absorption) y densidad de corriente. Como las magnitudes básicas son difíciles de medir directamente, la mayoría de los documentos indican niveles derivados (de referencia) de campo eléctrico, campo magnético y densidad de potencia.

Los límites derivados pueden rebasarse si puede demostrarse que la condición de exposición produce SAR, SA y una densidad de corriente inducida por debajo de los límites básicos. Los límites derivados se aplican a una situación en la que el campo electromagnético no es influenciado por la presencia de un cuerpo. La mayoría de los documentos utilizan una estructura de límites a dos niveles, en la que se especifican niveles inferiores para la exposición no controlada del público en general que para la exposición controlada/ocupacional. Es importante resaltar que los límites de exposición no son límites de emisión; se aplican a lugares accesibles a los operarios o miembros del público en general. Por tanto, es posible conseguir el cumplimiento limitando el acceso a zonas en las que se sobrepasan los límites de campo.

Múltiples fuentes y frecuencias

La mayoría de los documentos exigen que se consideren los efectos de múltiples fuentes. Debido al diferente efecto fisiológico de las fuentes de frecuencias más bajas y las fuentes de frecuencias más altas, deben considerarse por separado. En las frecuencias más bajas (ordinariamente inferiores a 10 MHz), los efectos fisiológicos importantes se deben a la densidad de corriente inducida, mientras que a las frecuencias más altas (ordinariamente superiores a 100 kHz), los efectos fisiológicos importantes se deben al SAR. Para considerar los efectos de las múltiples fuentes, la mayoría de los documentos requieren que las fuentes se consideren en una suma ponderada, en la que cada fuente individual se

prorratee de acuerdo con el límite aplicable a su frecuencia. El apéndice I de la norma UIT-K.52 se presenta el procedimiento en las directrices de la ICNIRP.

Límites de seguridad de EMF

En muchos casos los organismos de reglamentación o de normalización local o nacional publican los límites de seguridad de EMF. Si no existen estos límites o si no cubren las frecuencias de interés, deben utilizarse los límites de la ICNIRP mostrados en la tabla I.16 y en la tabla I.17

Tipo de Exposición	Gamma de Frecuencia	Densidad de Corriente en la cabeza y el tronco (mA/m ²) (valor eficaz)	SAR media en todo el cuerpo (W/m ²)	SAR localizada (cabeza y tronco) (W/m ²)	SAR localizada (extremidades) (W/m ²)
OCUPACIONAL	Hasta 1 Hz	40	-	-	-
	1Hz – 4Hz	40/ <i>f</i>	-	-	-
	4Hz – 1kHz	10	-	-	-
	1kHz – 100kHz	<i>f</i> /100	-	-	-
	100kHz – 10MHz	<i>f</i> /100	0,4	10	20
	10MHz - 10GHz	-	0,4	10	20
PUBLICO EN GENERAL	Hasta 1 Hz	8	-	-	-
	1Hz – 4Hz	8 / <i>f</i>	-	-	-
	4Hz – 1kHz	2	-	-	-
	1kHz – 100kHz	<i>f</i> / 500	-	-	-
	100kHz – 10MHz	<i>f</i> / 500	0,08	2	4
	10MHz - 10GHz	-	0,08	2	4

NOTA1.- *f* es la frecuencia en hertzios.

NOTA2.- Debido a la inhomogeneidad eléctrica del cuerpo, las densidades de corriente deben promediarse en una sección de corte de 1 cm² perpendicular a la dirección de la corriente.

NOTA3.- Todos los valores de *SAR* han de promediarse en cualquier periodo de 6 minutos.

NOTA4.- La masa de promediación de la *SAR* localizada es cualesquiera 10 g. de tejido contiguo; la máxima *SAR* así obtenida debe ser el valor utilizado para estimación de la exposición.

Tabla I.18.- Límites Básicos de la ICNIRP

TIPO DE EXPOSICIÓN	Gamma de frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico E (V/m)	Intensidad de Campo Magnético H (A/m)	Densidad de Potencia de Onda Plana Equivalente S_{eq} (W/m ²)
OCUPACIONAL	Hasta 1 Hz	-	2×10^5	-
	1Hz – 8Hz	20,000	$2,0 \times 10^5 / f^2$	-
	8Hz – 25Hz	20,000	$2,0 \times 10^4 / f$	-
	25Hz – 0,82kHz	$500 / f$	$20 / f$	-
	0,82kHz – 65kHz	610	24,4	-
	0,065 – 1MHz	610	$1,6 / f$	-
	1 - 10 MHz	$610 / f$	$1,6 / f$	-
	10 – 400MHz	61	0,16	10
	400 – 2000MHz	$3 f^{1/2}$	$0,008 f^{1/2}$	$f / 40$
	2 – 300 GHz	137	0,36	50
PUBLICO EN GENERAL	Hasta 1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	-
	1Hz – 8Hz	10,000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	-
	8Hz – 25Hz	10,000	$4,000 / f$	-
	25Hz – 0,82kHz	$250 / f$	$4 / f$	-
	0,82kHz – 3kHz	$250 / f$	5	-
	3 – 150kHz	87	5	-
	0,15 – 1 MHz	87	$0,73 / f$	-
	1 – 10MHz	$87 f^{1/2}$	$0,73 / f$	-
	10 – 400MHz	28	0,0073	2
	400 – 2,000MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$f / 200$
2 – 300 GHz	61	0,16	10	

NOTA1.- f es la frecuencia en hertzios.

NOTA2.- Para frecuencias entre 100kHz y 10GHz, el tiempo de promediación es de 6 minutos.

NOTA3.- Para frecuencias hasta de 100 kHz, los valores de cresta pueden obtenerse multiplicando el valor eficaz por $\sqrt{2}$ ($\approx 1,414$). Para impulsos de duración t_p , la frecuencia equivalente aplicable debe calcularse como $f = 1/(2t_p)$.

NOTA4.- Entre 100kHz y 10MHz, los valores de cresta de las intensidades de campo se obtienen por interpolación desde 1,5 veces la cresta a 100MHz hasta 32 veces la cresta de 10MHz. Para valores que sobrepasen 10MHz, se sugiere que la densidad de potencia de onda plana equivalente de cresta, promediada a lo largo de la anchura del impulso, no sobrepase 1000 veces el límite S_{eq} , o que la intensidad de campo no sobrepase los niveles de exposición de intensidad de campo indicados en la tabla.

NOTA5.- Para frecuencias superiores a 10GHz, el tiempo de promediación es de $68 / f^{1,05}$ minutos (f en GHz).

Tabla I.19.- Límites de referencia ICNIRP (valores eficaces sin perturbaciones)

Conformidad con los límites de seguridad de EMF

Para que exista conformidad deben adoptarse las siguientes medidas:

1. Identificar los límites de conformidad adecuados.
2. Determinar si es necesaria la evaluación de la exposición al EMF para la instalación o el equipo en cuestión. (Véase Determinación de la necesidad de evaluación en el equipo de telecomunicaciones).
3. Si es necesaria la evaluación de la exposición al EMF, puede realizarse mediante cálculos o medición. Esta Recomendación presenta un método de evaluación de riesgos para ayudar al usuario a determinar la posibilidad de que puedan sobrepasarse los límites de exposición al EMF y para ayudar al usuario a seleccionar un método apropiado para efectuar la evaluación.
4. Si la evaluación de la exposición al EMF indica que pueden sobrepasarse los límites de exposición pertinentes en zonas en las que puede haber presentes personas, deben aplicarse medidas de reducción o de evitación.

Determinación de la necesidad de evaluación en el equipo de telecomunicaciones

El equipo de telecomunicaciones debe clasificarse como emisor de EMF intencional o no intencional con arreglo a las definiciones. Un emisor intencional suele estar asociado con una antena para la radiación de energía electromagnética.

- **Emisores no intencionales.-** Los transmisores no intencionales pueden producir EMF debido a emisiones espurias¹. Hay normas de emisión de compatibilidad electromagnética (EMC, electromagnetic compatibility) que limitan la magnitud de estos campos espurios. Los campos producidos por un equipo de telecomunicaciones como es un emisor no intencional, suelen estar apreciablemente por debajo de los límites de seguridad establecidos por las normas de la ICNIRP y las normas nacionales. Los límites establecidos de conformidad EMC están a órdenes de magnitud por debajo de los límites de seguridad del EMF. Aun si el equipo sobrepasa los límites de emisión a ciertas frecuencias, la experiencia indica que los campos producidos se hallan aún a órdenes de magnitud por debajo de los

¹ Se llaman "espurias" a todas las señales indeseadas que puedan resultar de cualquiera de los procesos involucrados en la generación, amplificación o modulación de las señales de radio.

límites de seguridad. Por tanto, equipo de telecomunicaciones tal como un emisor no intencional no necesita una evaluación de seguridad del EMF para asegurar la conformidad con los límites de seguridad.

- **Emisores intencionales.-** Los emisores intencionales utilizan campos electromagnéticos para la transmisión de señales. Producen un EMF que puede sobrepasar los límites de seguridad en algunas regiones, dependiendo de la potencia del funcionamiento, ganancia, frecuencia, orientación y directividad de la antena de transmisión. Es posible tener en cuenta estos parámetros y el entorno operativo de la instalación para determinar la necesidad y el procedimiento apropiado de evaluación de la exposición. Esta Recomendación presenta un método de evaluación de riesgos basado en la clasificación de las zonas de exposición.

Procedimientos de evaluación de la exposición al EMF

Si se determina que se necesita una evaluación de la exposición al EMF debido a la presencia de transmisores intencionales, debe realizarse para todos los lugares en los que las personas podrían estar expuestas al EMF. El objetivo de la evaluación es clasificar la exposición potencial al EMF como perteneciente a una de las tres zonas siguientes:

1. Zona de conformidad: En la zona de conformidad, la exposición potencial al EMF está por debajo de los límites aplicables a la exposición ocupacional/controlada y a la exposición no controlada del público en general.
2. Zona ocupacional: En la zona ocupacional, la exposición potencial al EMF está por debajo de los límites aplicables a la exposición controlada/ocupacional, pero sobrepasa los límites aplicables a la exposición no controlada del público en general.
3. Zona de rebasamiento: En la zona de rebasamiento, la exposición potencial al EMF sobrepasa los límites aplicables a la exposición controlada/ocupacional y a la exposición no controlada del público en general.

En muchas instalaciones, la zona de rebasamiento y la zona ocupacional no son accesibles a las personas, y sólo son accesibles en circunstancias excepcionales, como cuando hay una persona de pie inmediatamente delante de la antena. El procedimiento de evaluación de riesgos presentado en esta Recomendación se ocupa sobre todo de la exposición del

público en general, y de los operarios en el ejercicio de sus actividades normales. Véase la figura I.1.

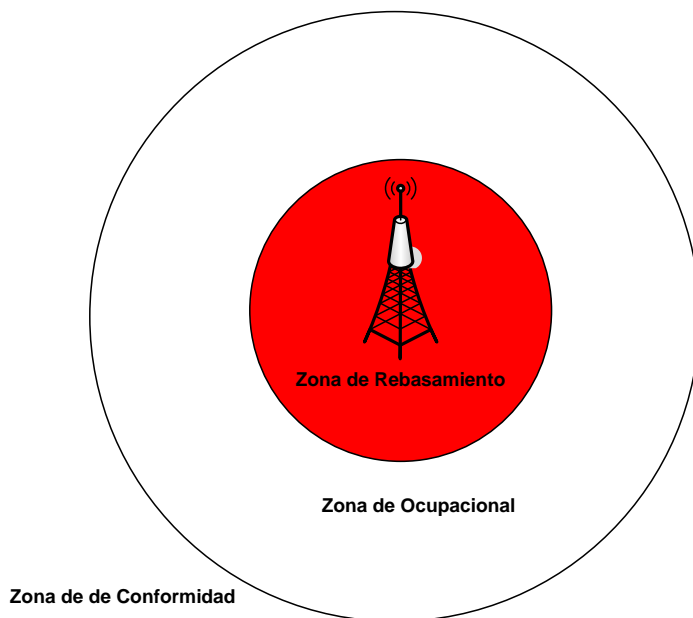


Fig. I.1.- Ilustración figurada de las Zonas de Exposición.

Procedimiento de evaluación del nivel de exposición

El nivel de exposición considerará:

- Las condiciones de emisión más desfavorables;
- La presencia simultánea de varias fuentes de EMF, aun a diferentes frecuencias.

Deben considerarse los siguientes parámetros:

- La EIRP máxima del sistema de antena ;
- La ganancia de antena G o la ganancia numérica relativa F, incluida la máxima ganancia y la máxima anchura de haz;
- La frecuencia de explotación;
- Diversas características de la instalación, como la ubicación de la antena, altura de la antena, dirección del haz, inclinación del haz y la evaluación de la probabilidad de que una persona pueda estar expuesta al EMF.

Para la gestión del procedimiento y de estos parámetros, se introduce el siguiente esquema de clasificación.

Esquema de clasificación de la instalación

Cada una de las instalaciones emisoras debe clasificarse en las tres clases siguientes:

- **Inherentemente conformes:** Las fuentes inherentemente seguras producen campos que cumplen los límites de exposición pertinentes a pocos centímetros de la fuente. No son necesarias precauciones particulares.
- **Normalmente conformes:** Las instalaciones normalmente conformes contienen fuentes que producen un EMF 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 rebasamiento de estas fuentes no es accesible a las personas en condiciones ordinarias. Ejemplos son 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 esta conformidad, lo cual incluye la determinación de las zonas de exposición y las medidas presentadas en las técnicas de reducción.

Procedimiento para determinar la clase de instalación

Cada clase de instalación debe clasificarse dentro de una de las clases de instalación definidas en “esquema de clasificación de la instalación”. Se prevé que los operadores que presten un determinado servicio de telecomunicación utilicen un conjunto limitado de antenas y equipo asociado de características bien definidas. Además, las condiciones de instalación y de exposición de muchos emplazamientos de emisores serán probablemente similares. Por tanto, es posible definir un conjunto de configuraciones de referencia, de condiciones de exposición de referencia y los correspondientes parámetros críticos que permitirán una clasificación conveniente de los emplazamientos.

Un procedimiento útil es el siguiente:

1. Definir un conjunto de referencia de parámetros de antena o de tipos de antena. Estas categorías pueden particularizarse a los tipos de emisores utilizados en la aplicación considerada.

2. Definir un conjunto de condiciones de accesibilidad. Estas categorías dependen de la accesibilidad de las personas a las diversas zonas próximas al emisor. Estas categorías pueden particularizarse al entorno de la instalación que se dé más ordinariamente en el servicio o aplicación considerada.
3. Para cada combinación parámetros de antena de referencia y condición de accesibilidad, determinar la *EIRP* umbral. Esta *EIRP* umbral, que se designará por $EIRP_{th}$ es el valor que corresponde al límite de exposición para la densidad de potencia o campo procedente de la antena de referencia para la condición de accesibilidad. La determinación puede efectuarse por los métodos de cálculo o las mediciones que se describen en “Determinación de la $EIRP_{th}$ ” y en “Técnicas de evaluación del EMF”. Siempre que las categorías sean suficientemente abiertas, esta determinación sólo necesitará realizarse una vez en la mayoría de las instalaciones.
4. Una instalación pertenece a la clase inherentemente conforme si el emisor es inherentemente conforme. No hay necesidad de considerar otros aspectos de la instalación. Además una fuente inherentemente conforme debe tener una *EIRP* menor que 2 W.
5. Para cada emplazamiento, una instalación pertenece a la clase normalmente conforme si se cumple el criterio siguiente:

$$\sum_i \frac{EIRP_i}{EIRP_{th,i}} \leq 1 \quad (3.14)$$

donde $EIRP_i$ es la potencia radiada promediada temporal de la antena a una frecuencia i , y $EIRP_{th,i}$ es el umbral de *EIRP* correspondiente a los parámetros de antena y condiciones de accesibilidad considerados. Para la instalación de múltiples antenas, es necesario distinguir las dos condiciones siguientes:

- Si la fuente tiene diagramas de radiación superpuestos y se considera la anchura de haz a potencia mitad, la respectiva *EIRP* máxima promediada en el tiempo debe satisfacer el criterio.
 - Si no hay superposición de las múltiples fuentes, se considerarán independientemente.
6. Los emplazamientos que no cumplen las condiciones para clasificarlos normalmente conformes se consideran provisionalmente conformes.

Para los emplazamientos en los que la aplicación de estas categorías es ambigua, necesitarán realizarse cálculos o mediciones adicionales.

En el archivo original de esta recomendación, Anexo B, se presentan un conjunto de configuraciones básicas, consideraciones de exposición, parámetros, y valores pertinentes de $EIRP_{th}$. El conjunto del anexo B debe utilizarse como conjunto por defecto a menos que el operador defina otro conjunto que sea apropiado para una instalación de un servicio dado y realiza el análisis de exposición pertinente.

Determinación de la $EIRP_{th}$

El procedimiento es el siguiente:

1. Determinar el campo o la densidad de potencia para cada punto O, en el que puede producirse exposición, para una antena concreta.
2. Determinar la densidad de potencia máxima S_{max} dentro de la zona de exposición correspondiente a este conjunto.
3. La condición $S_{max} = S_{lim}$ de la $EIRP_{th}$ donde S_{lim} es el límite pertinente que indica la norma de exposición al EMF a la frecuencia considerada.

Este procedimiento puede efectuarse mediante los cálculos presentados en el siguiente tema “Técnicas de evaluación del EMF”, por otros métodos de cálculo más exactos o por mediciones. Si se utilizan mediciones, es necesario efectuarlas en cierto número de lugares representativos para cada configuración de accesibilidad y tipo de antena.

Técnicas de evaluación del EMF

Esta cláusula presenta métodos que pueden utilizarse para evaluar el EMF.

Métodos de cálculo

- **Región de campo cercano reactivo.-** En la región de campo reactivo, los campos eléctricos y magnéticos deben considerarse por separado. En ausencia de objetos distorsionantes del campo, los campos pueden calcularse utilizando fórmulas cuasiestáticas si se conoce una distribución en curso.
- **Región de campo lejano.-** El texto que sigue proporciona métodos para estimar conservadoramente los niveles de intensidad de campo y de densidad de potencia.

Para una antena radiante simple, la densidad de potencia aproximada radiada en la dirección descrita por los ángulos θ (complementario del ángulo de elevación) y ϕ (ángulo de acimut) pueden evaluarse por la expresión siguiente:

$$S(R, \theta, \phi) = \frac{EIRP}{4\pi} \left[f(\theta, \phi) \frac{1}{R} + \rho f(\theta', \phi') \frac{1}{R'} \right]^2 \quad (3.15)$$

Donde:

$S(R, \theta, \phi)$ es la densidad de potencia en W/m^2

$f(\theta, \phi)$ es el diagrama de radiación relativo de la antena (número positivo entre 0 y 1).

$EIRP$ es la EIRP de la antena en W.

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

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

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

A nivel próximo al suelo, los valores de las variables primas son aproximadamente iguales a las que no tienen prima, por lo que la potencia puede calcularse por:

$$S_{gl}(R, \theta, \phi) = (1 + \rho) \frac{EIRP}{4\pi R^2} F(\theta, \phi) \quad (3.16)$$

Donde:

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

El coeficiente de reflexión ρ de una tierra de conductividad σ , permitividad $\epsilon = \kappa\epsilon_0$ (ϵ_0 = permitividad de vacío) y un ángulo de incidencia Ψ es:

$\rho = \frac{(\kappa - j\chi)\text{sen}\Psi - \sqrt{(\kappa - j\chi) - \cos^2 \Psi}}{(\kappa - j\chi)\text{sen}\Psi + \sqrt{(\kappa - j\chi) - \cos^2 \Psi}}$	Polarización Vertical
$\rho = \frac{\text{sen}\Psi - \sqrt{(\kappa - j\chi) - \cos^2 \Psi}}{\text{sen}\Psi + \sqrt{(\kappa - j\chi) - \cos^2 \Psi}}$	Polarización Horizontal

En general, la onda reflejada contiene componentes en polarización vertical u horizontal que varían con el ángulo de incidencia. Sin embargo, en muchas aplicaciones, es suficiente considerar sólo la polarización predominante de la onda incidente al calcular el coeficiente de reflexión.

Las distancias y ángulos se definen en la figura I.2. Se supone que la exposición se evalúa en el punto O.

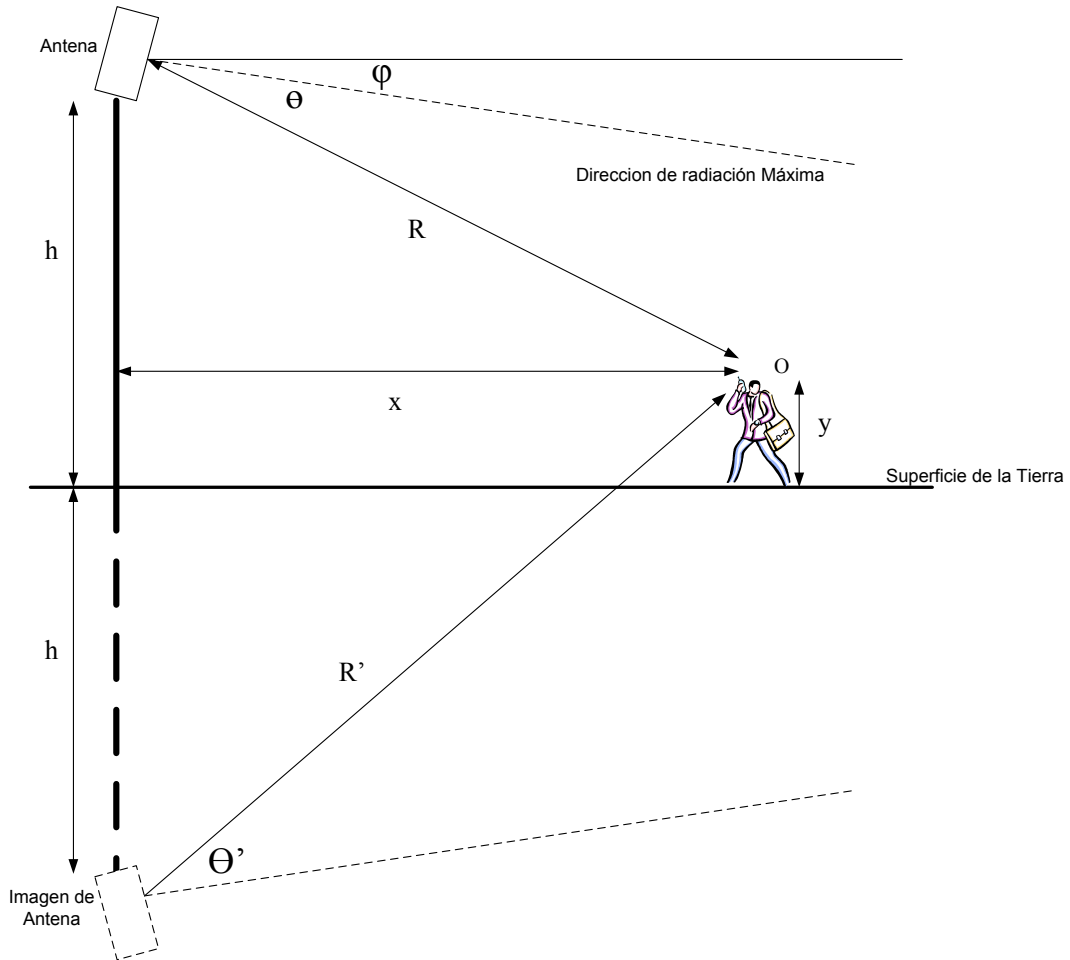


Fig. 1.2.- Definición de Distancias y ángulos verticales

Para emplazamientos situados en tejados, la atenuación causada por los materiales de construcción de las paredes y el tejado puede reducir la exposición dentro de un edificio al menos en 10-20 dB. Los campos eléctrico y magnético se calculan utilizando:

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

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

donde

$\eta_0 = 377 \text{ } \Omega$ es la impedancia intrínseca del espacio libre.

Las ecuaciones anteriores son válidas para la región de campo lejano. Su utilización en la región de campo cercano puede arrojar resultados inexactos (excesivamente

conservadores). Por tanto, estas ecuaciones pueden utilizarse para determinar el cumplimiento de los límites de exposición al EMF.

Procedimientos de medición

Las mediciones son útiles en los casos en que los campos son difíciles de calcular y en que los cálculos arrojan valores cercanos al umbral del límite de exposición. Cuando se mide el EMF, es necesario primero determinar la gama de frecuencias en la que se requiere la determinación de EMF basándose en las características de los emisores pertinentes. Los instrumentos de medición deben seleccionarse consecuentemente. Puede utilizarse un único instrumento de banda ancha o una combinación de varios instrumentos de banda estrecha (o mediciones) para caracterizar los campos en una determinada gama de frecuencias.

Técnicas de reducción

Es necesario controlar la exposición al EMF en lugares accesibles a personas cuando el EMF sobrepasa los límites de seguridad de exposición al EMF. Una forma efectiva de controlar la exposición, cuando no es posible cambiar otras características de la instalación, es restringir el acceso a las zonas en las que se sobrepasan los límites.

- **Zona ocupacional.-** Si el EMF sobrepasa los límites de exposición no controlada del público en general, pero no así los límites de exposición ocupacional, debe entonces restringirse el acceso al público en general, pero puede permitirse a los operarios penetrar en la zona. La restricción de acceso puede conseguirse con barreras físicas, procedimientos de cierre o letreros adecuados. Debe informarse a los operarios que penetren en la zona ocupacional. Se recomienda no colocar un puesto de trabajo permanente en la zona ocupacional.
- **Zona de rebasamiento.-** Cuando el EMF sobrepasa los límites de exposición ocupacional, debe restringirse el acceso a los operarios y al público en general. Si es necesario que entren operarios en la zona, deben adoptarse medidas para controlar la exposición de los mismos. Dichas medidas incluyen:
 - Reducción temporal de la potencia del emisor;

- Control de la duración de la exposición de manera que la exposición promediada en el tiempo se halle dentro de los límites de seguridad;
- Blindaje o utilización de ropas de protección.

I.6 Norma del CONATEL

REGLAMENTO DE PROTECCIÓN DE EMISIONES DE RADIACIÓN NO IONIZANTE GENERADAS POR USO DE FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOLÉCTRICO, Registro Oficial No. 536, Marzo 2005

Objetivo.

El presente Reglamento tiene por objeto establecer los Límites de Protección de Emisiones de Radiación No Ionizante (RNI) generadas por uso de frecuencias del Espectro Radioeléctrico en Telecomunicaciones, su monitoreo y control para el efectivo cumplimiento de los límites establecidos.

Aspectos Generales

Del Ámbito de Aplicación.- Los deberes, derechos y obligaciones establecidos en el presente Reglamento se aplicarán al uso de frecuencias del Espectro Radioeléctrico, en el ámbito de competencia del CONATEL, a nivel nacional. Dado que las frecuencias necesarias para el Servicio Móvil Marítimo son prestadas, explotadas y controladas por la Armada Nacional; y que las frecuencias utilizadas para los Sistemas y Servicios de Radiodifusión y Televisión atribuidas a estos servicios, se rigen por la Ley de Radiodifusión y Televisión, y son administradas por el CONARTEL, dichas Instituciones podrán establecer las normas de protección de emisiones de RNI generadas por el uso de las frecuencias del Espectro Radioeléctrico que se encuentran bajo su responsabilidad.

Para el presente Reglamento no se aplica la exposición producida por el uso de teléfonos móviles u otros dispositivos personales de baja potencia y a la corriente de contacto debida a objetos conductivos irradiados por un campo electromagnético.

Régimen de Protección.- El Régimen de Protección de emisiones de RNI generadas por uso de frecuencias del Espectro Radioeléctrico, aplica tanto a la exposición ocupacional

como a la exposición poblacional por el uso de frecuencias del Espectro Radioeléctrico, contempladas en el presente Reglamento.

Límites Máximos de Exposición por Estación Radioeléctrica Fija.- Se establecen los límites máximos de exposición a las emisiones de RNI generadas por uso de frecuencias del Espectro Radioeléctrico, de acuerdo a los valores establecidos en la Recomendación UIT -T K.52 de la UIT, como se detalla en la Tabla I.8.

Nivel de Exposición Simultánea por Efecto de Múltiples Fuentes. Para el cálculo de Nivel de Exposición Porcentual (exposición simultánea a múltiples fuentes), aun cuando los niveles de emisión de las distintas estaciones radioeléctricas fijas en una determinada zona de acceso, cumplan de manera individual con los límites señalados en la Tabla I.9, se debe verificar que el nivel de exposición porcentual para campo eléctrico o magnético sea menor a la unidad o menor al cien por ciento (100 %). El cumplimiento de los límites de exposición se evaluará utilizando las ecuaciones dadas en la Recomendación UIT-T K.52.

Instalación de Estaciones Radioeléctricas Fijas y Coexistencia de Antenas Transmisoras.- En el caso de que un concesionario requiera la instalación y operación de estaciones radioeléctricas fijas o emplazar sus antenas transmisoras sobre una misma infraestructura de soporte, dentro o en las cercanías de una zona de acceso, estará condicionada a:

- a) Que el Nivel de Exposición Porcentual en dicha zona, sea menor o igual a la unidad.
- b) Que los Límites Máximos de Exposición por estación radioeléctrica fija cumplan con los límites máximos de exposición por estación radioeléctrica establecidos en el presente Reglamento.

MEDICIONES

Instrumental a utilizar para las mediciones.- El Informe Técnico de Inspección de Emisiones de RNI generadas por uso de frecuencias del Espectro Radioeléctrico, será determinado entre otros en base de los siguientes instrumentos:

- a) De banda ancha: Medidores isotrópicos de radiación.
- b) De banda angosta: Medidores de campo o analizadores de espectro y juego de antenas calibradas para los distintos rangos de medición.

Los instrumentos y sondas o antenas empleados deberán poseer certificado de calibración, extendido por un laboratorio acreditado a nivel internacional en el Ecuador, vigente a la fecha de la medición.

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

1. 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.
2. Se deberá efectuar la medición en los puntos accesibles al público donde la misma sea prácticamente realizable.
3. A efectos de evitar posibles acoplamientos capacitivos, los puntos de medición deben encontrarse a una distancia no inferior a 20 cm de cualquier objeto.
4. Se calculará el punto de frontera entre el campo cercano y el campo lejano al fin de medir:
 - a. En el campo lejano el campo eléctrico E o el campo magnético H
 - b. En el campo cercano el campo eléctrico E y el campo magnético H.

Método de Medición.

1. 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.
2. Si el resultado de la medición es superior al establecido en el artículo 5 del presente Reglamento, se deberá continuar midiendo hasta encontrar el punto que permita cumplir con los límites establecidos.
3. Para cada uno de los radiales deberá cubrirse lo establecido en el punto 1.
4. Se repetirá los puntos 1, 2 y 3 al fin de determinar la zona de rebasamiento.

5. 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.

CONTROL

Organismo Competente para Realizar las Mediciones. La SUPTEL inspeccionará la instalación y monitoreará los niveles de radiación electromagnética de las estaciones radioeléctricas fijas, a fin de verificar el cumplimiento de las disposiciones establecidas en el presente Reglamento. Las operadoras de Telefonía Móvil Celular y Telefonía Móvil Avanzada darán las facilidades al organismo regulador a fin de que cumplan sus funciones y realicen las inspecciones necesarias.

Informe Técnico de Inspección de Emisiones de RNI.- El Informe Técnico de Inspección de Emisiones de RNI será elaborado por funcionarios que la SUPTEL designe para el efecto; dicha inspección contará con la presencia del técnico responsable de la estación radioeléctrica designada por el concesionario o poseedor del título habilitante de uso de frecuencias; las mediciones serán realizadas en función de lo especificado en los Artículos 9, y 10 del Reglamento de la CONATEL.

El Informe Técnico de Inspección de Emisiones de RNI deberá ser presentado en el formulario especificado en el Anexo 4 del Reglamento del Conatel.

Informe técnico Aprobado de Inspección de Emisiones de RNI.- El informe técnico de inspección de emisiones de RNI, aprobado por la SUPTEL, es el único documento que garantiza el cumplimiento por parte del concesionario de las disposiciones contenidas en el presente Reglamento, y será necesario para:

- a) La firma del acta de puesta en Operación.
- b) La operación de nuevas estaciones radioeléctricas fijas.
- c) Para verificación de cambios autorizados en la operación de estaciones radioeléctricas fijas.
- d) Para fines de administración y control de la SNT o la SUPTEL, en el ámbito de competencias de cada Institución.

DISPOSICIONES RELATIVAS A LOS CONCESIONARIOS

Deberes.- Previa la concesión, autorización o registro de estaciones radioeléctricas fijas que utilizan frecuencias del Espectro Radioeléctrico los solicitantes deberán entregar un estudio técnico de emisiones de RNI a la SNT por cada estación radioeléctrica fija a instalar, de conformidad con lo previsto en los Anexos 5 y 6 del Reglamento de la CONATEL.

Delimitación de Áreas Controladas.- Es obligatorio que las áreas controladas se encuentren señalizadas apropiadamente, teniendo en cuenta las siguientes características:

- a) El acceso al área controlada debe ser permitido solo a personal autorizado, conector de las actividades y de los límites de exposición ocupacional respectiva, así como de la necesidad de tomar las precauciones debidas bajo ambiente ocupacional.
- b) 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.
- c) Debe establecerse señalización visible para identificar claramente:
 - I. 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
 - II. La zona ocupacional, que comprende el área sobre los límites de exposición poblacional, y por tanto debe restringirse el acceso al público en general
 - III. 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 Anexo 7 del Reglamento del CONATEL.

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 dispuesta tomando en cuenta lo establecido en los Anexos 7 y 8 del Reglamento del CONATEL.

De los Lugares de Trabajo. No se debe colocar un lugar de trabajo permanente en la zona ocupacional.

Modificación en 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:

- a) Cambio de altura de la antena.
- b) Cambio del P.I.R.E.
- c) Cambio de la Ganancia de la antena.
- d) Cambio de frecuencia.
- e) 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 artículo 12, el cual debe ser presentado a la SNT en el término de veinte (20) días hábiles, contados a partir de la fecha de autorización de la o las modificaciones por parte de la SNT.

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

ANEXO II

LOCALIZACION DE RADIOBASES

II.1. Localización de las RadioBases Cuestión de la Investigación

RB	Ubicación	Sector	Latitud	Longitud	Altura (m)	Altura Torre (m)	Operadora	Numero de Antenas
	1 Calle España y Altar, Sangolqui	SANGOLQUI	00° 20' 10.30" S	078° 26' 49.38" W	2546,00	38,00	Porta	9

Antenas	Altura(mts)	Azimut (°)
1	40,00	210
2	40,00	160
3	40,00	230
4	40,00	150
5	40,00	210
6	40,00	210
7	27,10	60
8	36,00	160
9	36,00	210

Tabla II.20.- RadioBase 1

RB	Ubicación	Sector	Latitud	Longitud	Altura (m)	Altura Torre (m)	Operadora	Numero de Antenas
	2 Montufar y Avda. General Enriquez SANGOLQUI		00° 19' 44" S	078° 27' 1" W	2515,00	60,90	Alegro PCS	3

Antenas	Altura(mts)	Azimut (°)
1	60,90	0
2	60,90	110
3	60,90	230

Tabla II.21.- RadioBase 2

RB	Ubicación	Sector	Latitud	Longitud	Altura (m)	Altura Torre (m)	Operadora	Numero de Antenas
	3 Avda. Calderón y Chile	Barrio San Sebastian	00° 19' 40,5" S	078° 26' 39,1" W	2529,00	50,00	Movistar	15

Antenas	Altura(mts)	Azimut (°)
1	48,5	60
2	48,3	60
3	48,5	60
4	49,4	60
5	49,3	60
6	48,50	310
7	48,30	310
8	48,50	310
9	49,40	310
10	49,30	310
11	48,50	170
12	48,30	170
13	48,50	170
14	49,50	170
15	49,30	170

Tabla II.22.- RadioBase 3

RB	Ubicación	Sector	Latitud	Longitud	Altura (m)	Altura Torre (m)	Operadora	Numero de Antenas
4	Aurelio Naranjo	Academia de Guerra	00° 18' 49.71" S	078° 27' 4.40" W	2506,00	36,00	Porta	3

Antenas	Altura(mts)	Azimut (°)
1	36,00	0
2	36,00	110
3	36,00	250

Tabla II.23.- RadioBase 4

RB	Ubicación	Sector	Latitud	Longitud	Altura (m)	Altura		Operadora	Numero de Antenas
						Torre (m)			
5		El Triángulo	00° 17' 55.5" S	78° 27' 35.5" W	2485,00	41,00		Movistar	15

Antenas	Altura(mts)	Azimut (°)
1	38,2	120
2	39,7	120
3	38,2	120
4	40,5	120
5	40,2	120
6	38,20	0
7	39,70	0
8	38,20	0
9	40,50	0
10	40,20	0
11	38,20	240
12	39,70	240
13	38,20	240
14	40,50	240
15	40,20	240

Tabla II.24.- RadioBase 5

RB	Ubicación	Sector	Latitud	Longitud	Altura (m)	Altura Torre (m)	Operadora	Numero de Antenas
6		Via al Tingo	00° 17' 50" S	078° 27' 19" W	2484,00	63,50	Alegro PCS	3

Antenas	Altura(mts)	Azimut (°)
1	63,00	60
2	63,00	180
3	63,00	320

Tabla II.25.- RadioBase 6

RB	Ubicación	Sector	Latitud	Longitud	Altura (m)	Altura Torre (m)	Operadora	Numero de Antenas
7		Conocoto	00° 17' 10.00" S	078° 28' 13.39" W	2554,00	30,00	Porta	10

Antenas	Altura(mts)	Azimut (°)
1	28,2	120
2	25,5	120
3	24,5	110
4	29,5	120
5	24,5	150
6	29,50	210
7	29,50	210
8	29,50	0
9	29,50	0
10	24,50	330

Tabla II.26.- RadioBase 7

RB	Ubicación	Sector	Latitud	Longitud	Altura (m)	Altura		Operadora	Numero de Antenas
						Torre (m)			
8	Garcia Moreno - Andinatel	Conocoto - Parque Central	00° 17' 32" S	078° 28' 44" W	2560,00	58,00		Alegro PCS	3

Antenas	Altura(mts)	Azimut (°)
1	58,00	80
2	58,00	170
3	58,00	270

Tabla II.27.- RadioBase 8

RB	Ubicación	Sector	Latitud	Longitud	Altura (m)	Altura		Operadora	Numero de Antenas
						Torre (m)			
9	4ta Transversal - Pasaje Loma	La Armenia	00° 16' 3.58" S	078° 27' 43.00" W	2502,00	36,50		Porta	3

Antenas	Altura(mts)	Azimut (°)
1	36,50	90
2	36,50	235
3	36,50	325

Tabla II.28.- RadioBase 9

RB	Ubicación	Sector	Latitud	Longitud	Altura (m)	Altura Torre (m)	Operadora	Numero de Antenas
10	Sto. Domingo de Conocoto	Conocoto	00° 15' 43.0" S	78° 28' 55.0" W	2714,00	33,50	Movistar	10

Antenas	Altura(mts)	Azimut (°)
1	32,6	30
2	28,5	30
3	31,5	30
4	32,8	30
5	30,5	270
6	32,20	270
7	33,00	270
8	34,20	270
9	25,30	150
10	23,10	150

Tabla II.29.- RadioBase 9

ANEXO II LOCALIZACION DE RADIOBASES

RB	Ubicación	Sector	Latitud	Longitud	Altura (m)	Altura		Operadora	Numero de Antenas
						Torre (m)			
11 S/N		Barrio Collacoto	00° 14' 54" S	078° 28' 54" W	2777,00	38,50		Alegro PCS	3

Antenas	Altura(mts)	Azimut (°)
1	37,50	80
2	37,50	200
3	37,50	330

Tabla II.30.- RadioBase 11

RB	Ubicación	Sector	Latitud	Longitud	Altura (m)	Altura		Operadora	Numero de Antenas
						Torre (m)			
12	Triangulo de Piedra Calle A Lote 94 Autopista		00° 14' 29.98" S	078° 28' 54.99" W	2882,00	13,00		Porta	2

Antenas	Altura(mts)	Azimut (°)
1	13,00	210
2	13,00	280

Tabla II.31.- RadioBase 12

RB	Ubicación	Sector	Latitud	Longitud	Altura (m)	Altura Torre (m)	Operadora	Numero de Antenas
13	Autopista	Autopista	00° 14' 30.0' S	78° 29' 10.0" W	2866,00	11,00	Movistar	7

Antenas	Altura(mts)	Azimut (°)
1	11	250
2	8,9	250
3	9,4	90
4	32,8	30
5	30,5	270
6	32,20	270
7	23,10	150

Tabla II.32.- RadioBase 13

ANEXO III

EMF - SOFT

El Software EMF – SOFT consta de las siguientes opciones:



Figura III.35.- Pantalla de Bienvenida EMF –SOFT

En la figura III.2 se muestra la pantalla de identificación del EMF – SOFT deberán ingresarse ambos datos: Usuario y Clave para que puedan ser validados.

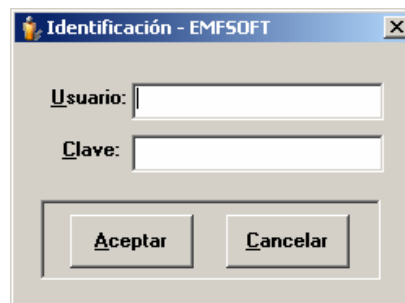


Figura III.36.- Esquema de la GUI mnuConectar

En la Figura III.3, se presenta la pantalla principal del Software EMF – SOFT, esta ventana contiene la barra de menú, en la que se muestran las opciones a las cuales puede acceder el usuario, de acuerdo a su perfil. Si el perfil es Administrador se activaran todas las opciones disponibles, mientras que se es un usuario tipo Control se habilitarán las opciones Sistema (menos el submenú Usuario), Reportes y Herramientas.

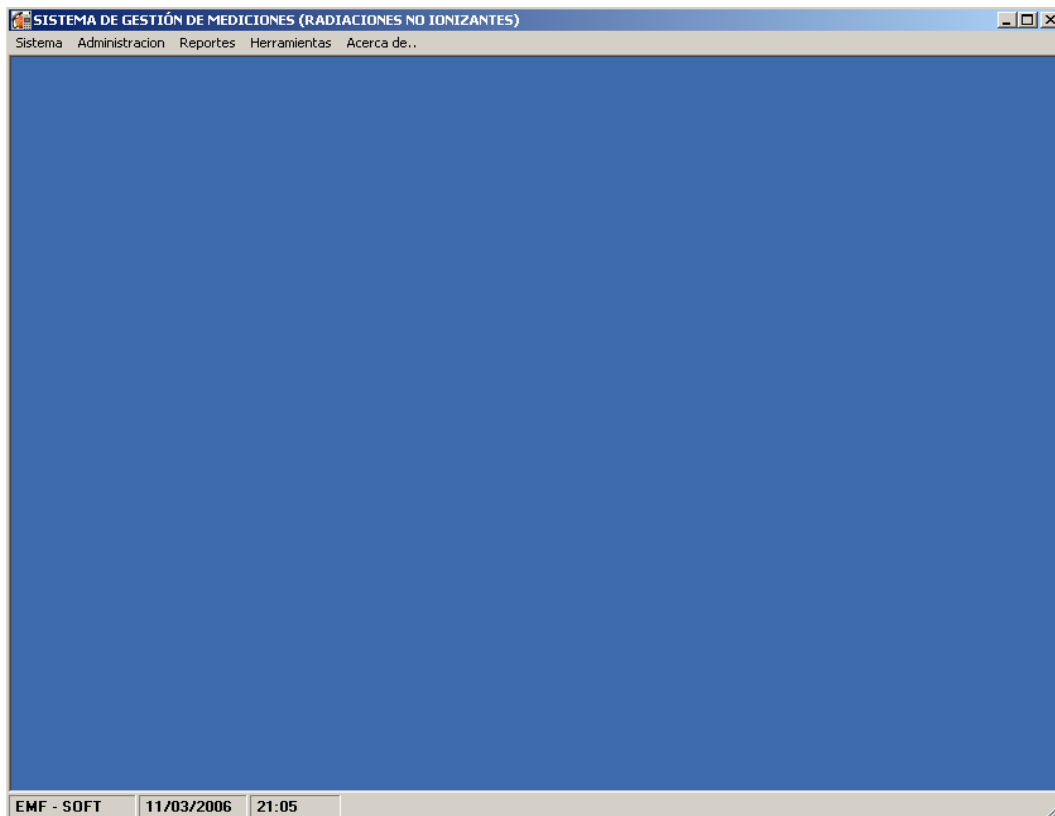


Figura III.37.- Esquema de la GUI Principal

En la Figura III.4 se despliega la pantalla de que nos permite la Administración de los datos de las diferentes radiobases con sus respectivas antenas, el manejo de esta pantalla esta restringido a los usuarios cuyo perfil es Administrador.

El campo de Código se generará automáticamente el momento de dar clic en el botón Nuevo, todos los campos deben de ser ingresados y automáticamente el botón Consultar en la sección de gestión de Antenas se habilitará, y con el una ventana de dialogo que se la puede ver en la Figura III.6

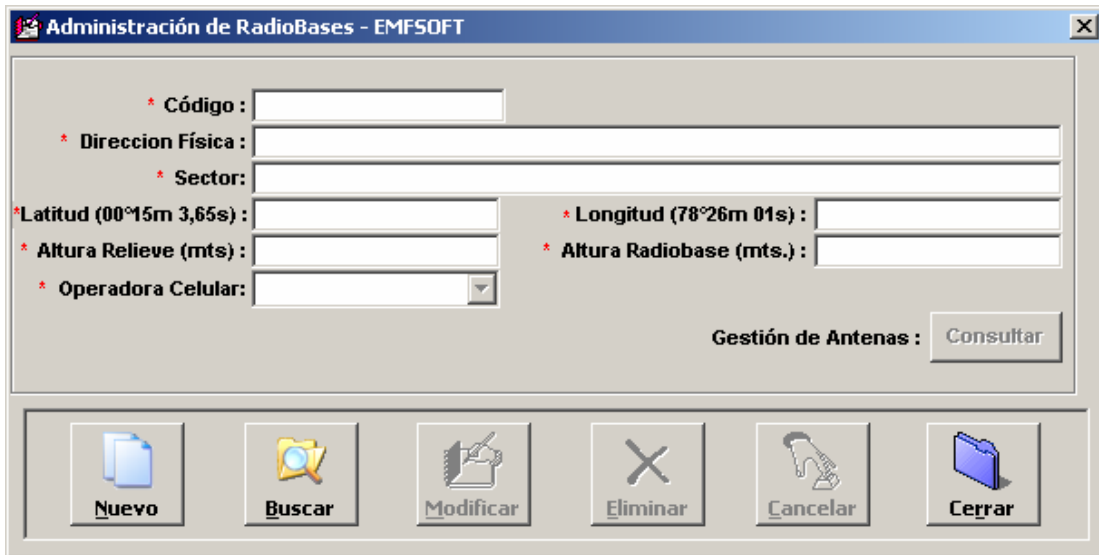


Figura III.38.- Esquema de la GUI mnuRadio inicial

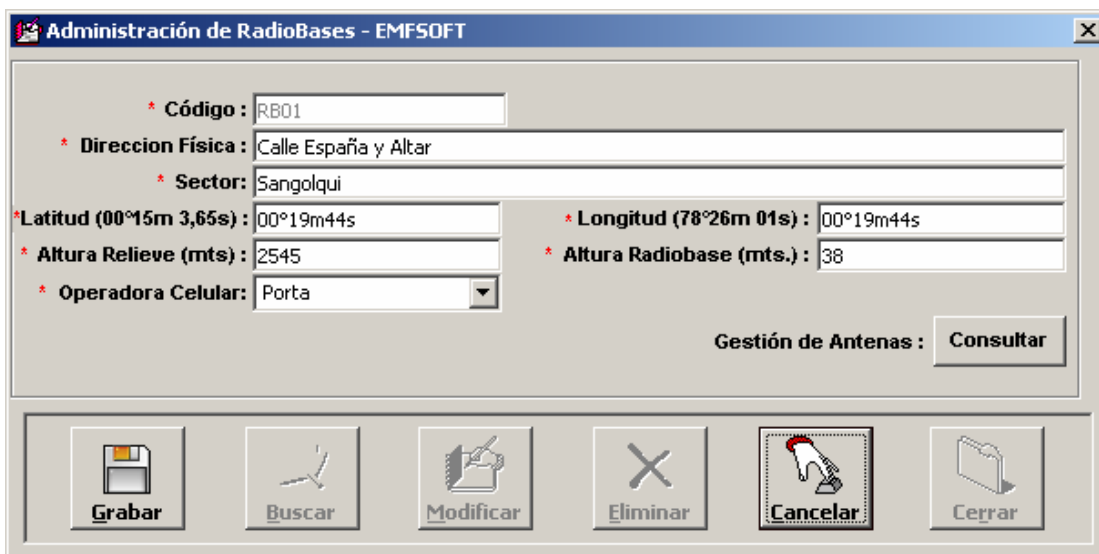


Figura III.39.- GUI de Administración de RadioBases con Información Cargada

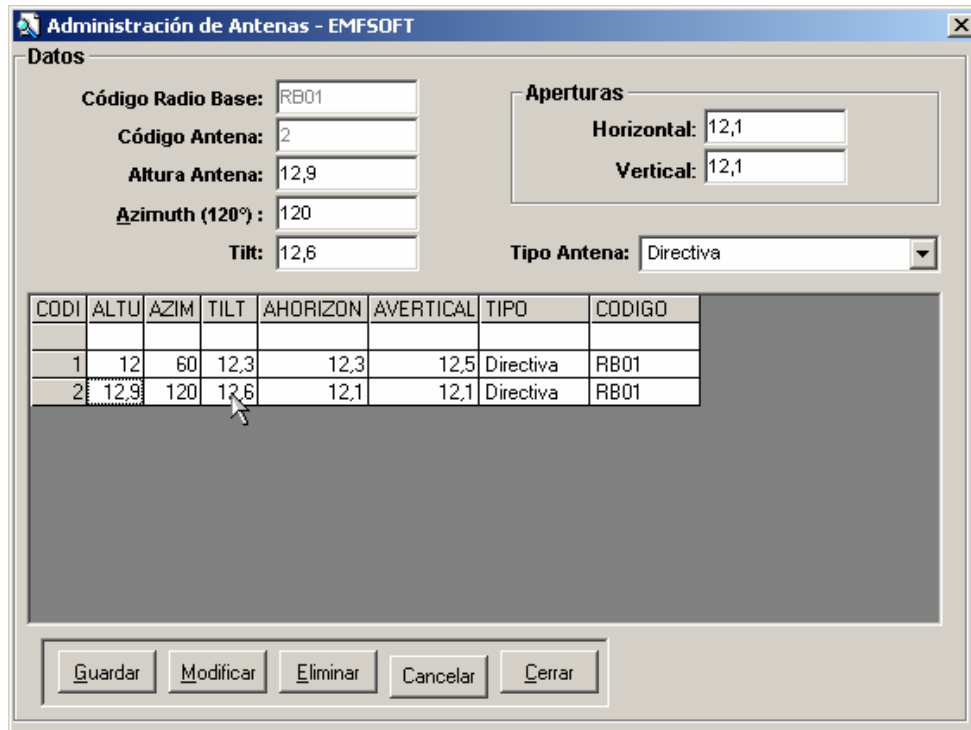


Figura III.40.- Esquema de la GUI de Administración de Antenas.

En esta ventana de administración todos los datos están validados de tal manera que el en momento de ingresarlos no existan errores.

En la Figura III.7 y III.8 se muestra la pantalla genérica para el ingreso de las mediciones de Intensidad de Campo Eléctrico y Potencia respectivamente.

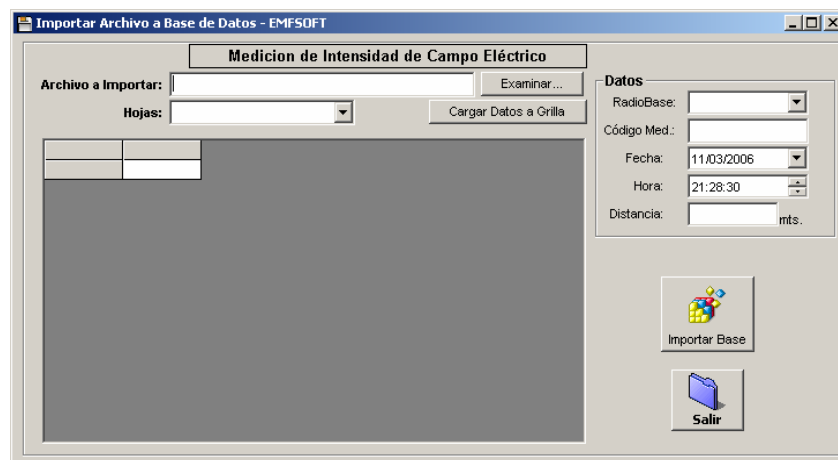


Figura III.41.- Esquema de la GUI SmnuCampo

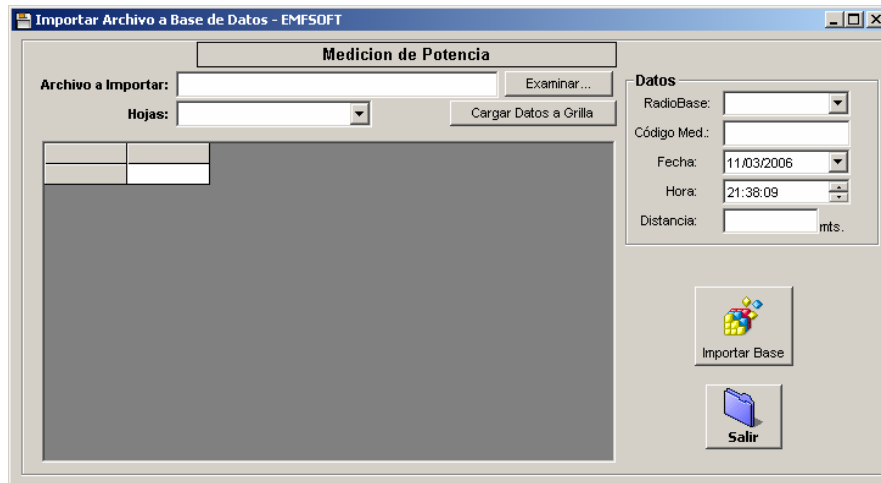


Figura III.42.- Esquema de la GUI SmnuPotencia

Debemos escoger el archivo correspondiente y realizar un clic en Cargar Datos a la Grilla, hay que tomar en cuenta que si dentro del archivo de Excel no existe una hoja llamada “RESUMEN” significará que los datos en dicho archivo no están correctamente preparados, por lo tanto los datos no se exportarán.

Luego de haber pre-cargado los datos debemos escoger a cual radiobase corresponde dicho archivo, el nombre del punto evaluado, la fecha, la hora y la distancia. Finalmente damos un clic en Importar Base y los datos automáticamente se cargarán en la Base de Datos EMF. En la Figura III.9 se muestra una GUI válida antes de cargar los datos en la Base.

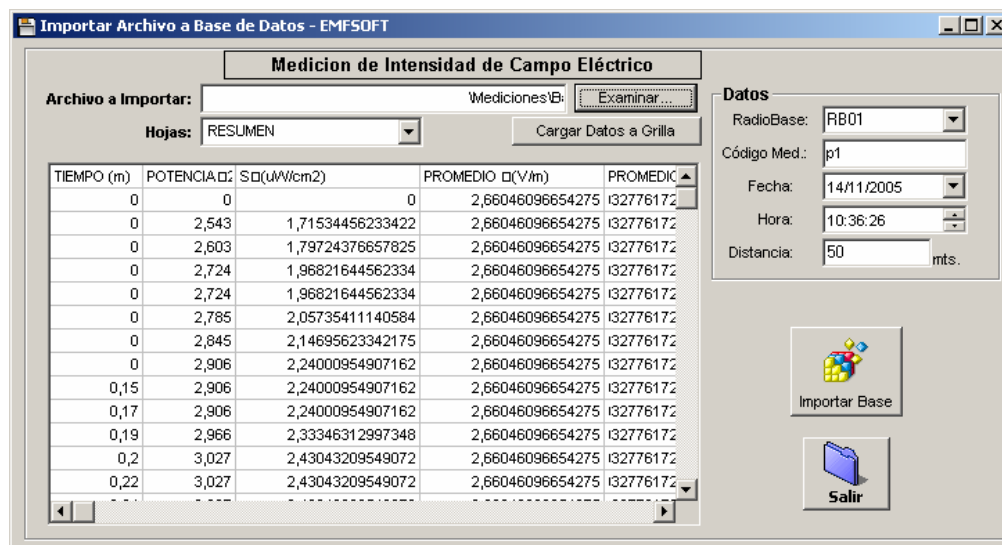


Figura III.43.- Pantalla de Precargado lista para ser procesada por la Base de Datos

En la Figura III.10.- se despliega la pantalla que permite la Generación de Reporte de cada Radio Base con sus respectivas Antenas.

CODIGO A	ALTURA	AZIMUTH	TILT	AHORIZONT.	AVERTICAL	TIPO	CODIGO
1	60,9	0	0	0	0	Directiva	RB02
2	60,9	110	0	0	0	Directiva	RB02
3	60,9	230	0	0	0	Directiva	RB02

Figura III.44.- Esquema de la GUI de mnuREPradiobases

Lo único que debemos escoger aquí es el Código de la Radio Base y automáticamente se cargarán los datos de la Radio base seleccionada.

El momento que queramos imprimir el reporte debemos hacer clic en el botón Generar Reporte y se abrirá una nueva ventana con toda la información de la radio base como la que se muestra en la Figura III.11.



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO
CENTRO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS DEL EJÉRCITO
FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRÓNICA



REPORTE DE RADIOBASES

RADIO BASE : RB02			
UBICACION :	Montufar y Avnda. General Rumifahui		
SECTOR :	Sangolqui		
LATITUD :	00°19m 77s	LONGITUD :	78°27m 1s
RELIEVE :	2.515,00 mts. a nivel del Mar		
ALTURA :	60,90 mts. a nivel del Suelo		
OPERADORA :	Alegro PCS		

REPORTE DE ANTENAS						
CODIGO	ALTURA	AZIMUTH	TILT	AHORIZONTAL	AVERTICAL	TIPO
1	60,90	0	0,00	0,00	0,00	Directiva
2	60,90	110	0,00	0,00	0,00	Directiva
3	60,90	230	0,00	0,00	0,00	Directiva

FiguraIII.45.- Generación de Reporte por Radio Base.

En la Figura III.12 se muestra la pantalla de Generación de Reportes de Mediciones, se pueden generar reportes de cada uno de los puntos medidos e ingresados de una Radio Base específica. Lo datos se irán filtrando dependiendo de lo que escojamos en cada uno de los Combo Box.

Así como en el reporte anterior se podrá imprimir el reporte generado, un ejemplo del dicho reporte se muestra en la Figura III.13

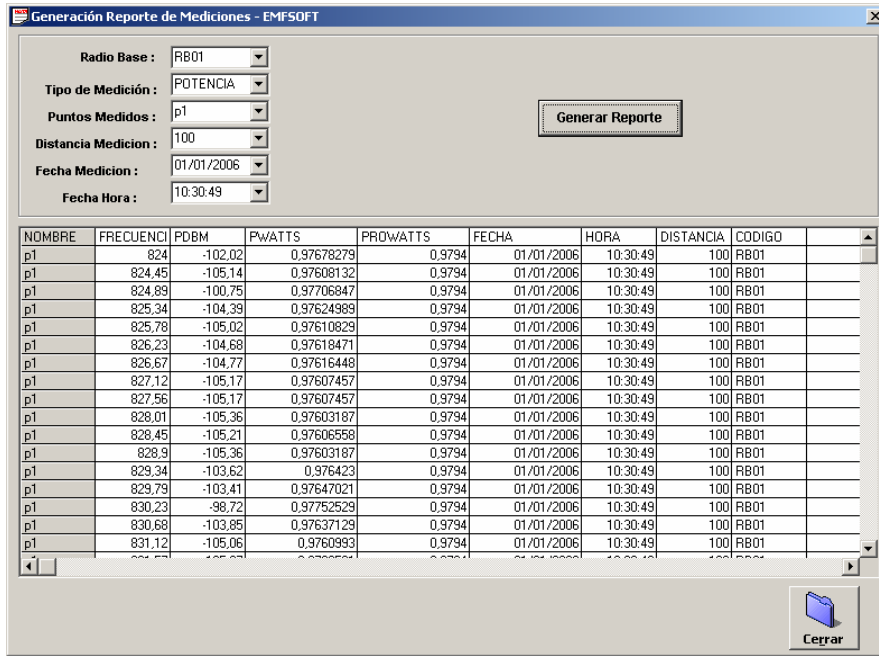


Figura III.46.- Esquema de la GUI para SmnuREPmediciones.

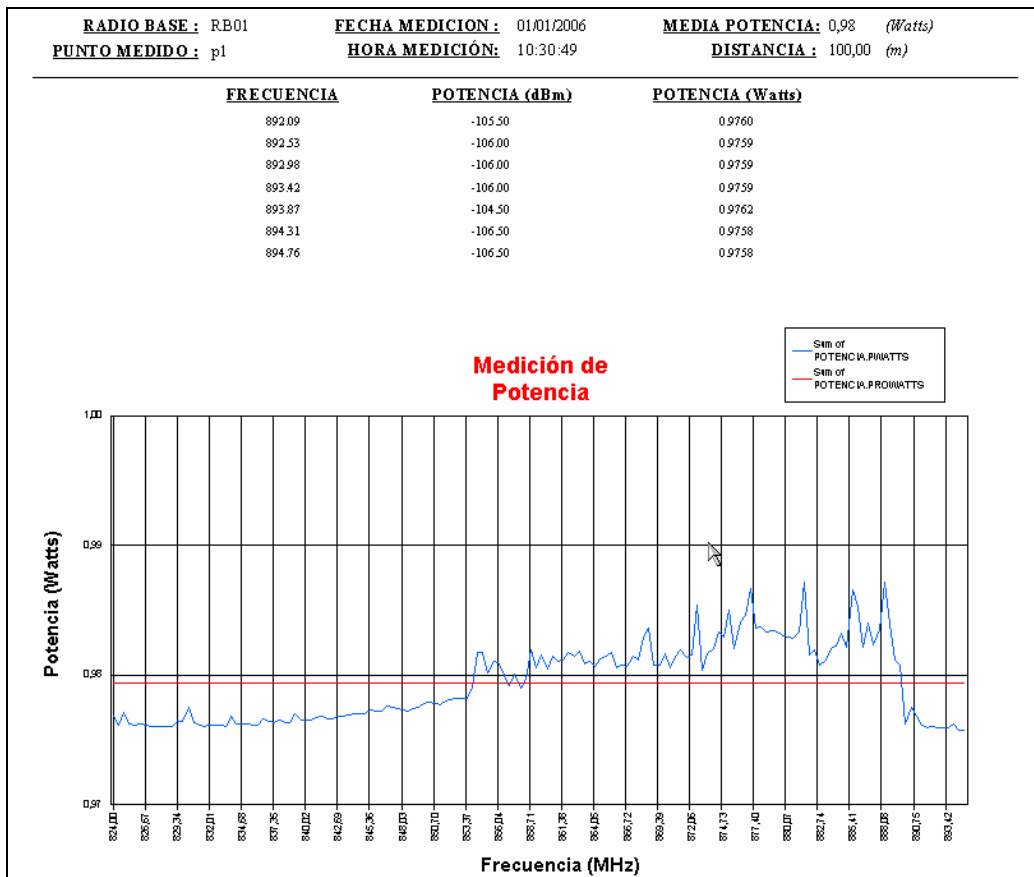


Figura III.47.- Generación de Reporte por punto medido.

La Figura III.14 nos despliega la utilidad calculadora que nos servirá el momento de transformar Intensidad de Campo Eléctrico a Densidad de Potencia.

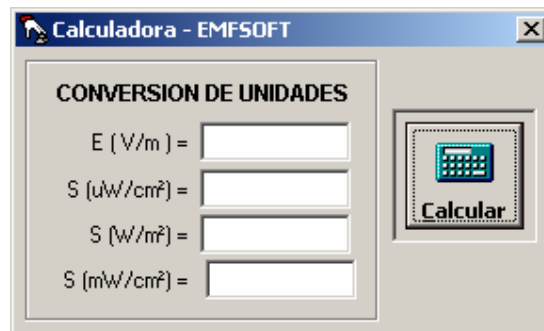


Figura III.48.- Esquema de la GUI de mnuCalculadora.

Finalmente en la Figura III.15 se muestran los derechos de Autor del Software aquí presentado.



Figura III.49.- Esquema de GUI de mnuAcerca

ACTA DE ENTREGA

El proyecto de grado “**Evaluación de la Radiación No Ionizante (RNI) generada por las estaciones Radio Base de Telefonía Celular en el Valle de los Chillos**”, fue entregado a la Facultad de Ingeniería Electrónica y reposa en la Escuela Politécnica del Ejército.

Sangolquí, _____

ELABORADO POR:

Srta. Diana Patricia Ortiz Garcés

Sr. Juan Carlos Gómez Romero

AUTORIDADES:

Ing. Gonzalo Olmedo MsC.

Coordinador de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

Sr. Dr. Jorge Carvajal

Secretario Académico