

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica-Eléctrica

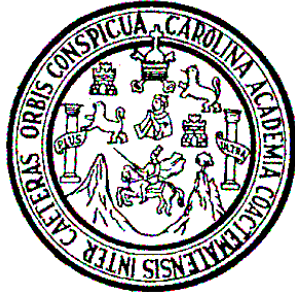
**“EVALUACIÓN DE LA RADIACIÓN EMITIDA POR LAS ANTENAS BASE DE  
TELEFONÍA CELULAR EN LA CIUDAD DE GUATEMALA, CON BASE EN  
LOS ESTÁNDARES PERMITIDOS INTERNACIONALMENTE”**

Luis Alberto Lavagnino Fonseca

Asesorado por Ing. Edgardo Loukota

Guatemala, febrero de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**“EVALUACIÓN DE LA RADIACIÓN EMITIDA POR LAS ANTENAS BASE DE  
TELEFONÍA CELULAR EN LA CIUDAD DE GUATEMALA, CON BASE EN  
LOS ESTÁNDARES PERMITIDOS INTERNACIONALMENTE”**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

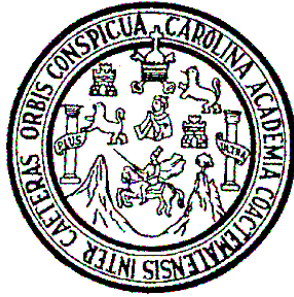
**LUIS ALBERTO LAVAGNINO FONSECA**  
ASESORADO POR ING. EDGARDO LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2006



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|            |                                  |
|------------|----------------------------------|
| DECANO     | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  |
| VOCAL I    |                                  |
| VOCAL II   | Lic. Amahán Sánchez Álvarez      |
| VOCAL III  | Ing. Julio David Galicia Celada  |
| VOCAL IV   | Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz   |
| VOCAL V    | Br. Elisa Yazminda Vides Leiva   |
| SECRETARIA | Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|            |                                    |
|------------|------------------------------------|
| DECANO     | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos    |
| EXAMINADOR | Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo |
| EXAMINADOR | Ing. Marvin Marino Hernandez       |
| EXAMINADOR | Ing. Gustavo Adolfo Villeda        |
| SECRETARIA | Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas   |



HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DE LA RADIACIÓN EMITIDA POR LAS ANTENAS BASE DE TELEFONÍA CELULAR EN LA CIUDAD DE GUATEMALA, CON BASE EN LOS ESTÁNDARES PERMITIDOS INTERNACIONALMENTE,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica Eléctrica con fecha 1 de octubre de 2004

Luis Alberto Lavagnino Fonseca



## **AGRADECIMIENTOS A:**

|                        |   |
|------------------------|---|
| <b>Dios</b>            | por darme la fuerza para salir adelante, toda la gloria es tuya.                |
| <b>Mis padres</b>      | cuyo apoyo incondicional me ayudo a alcanzar esta meta.                         |
| <b>Hermanas</b>        | por su invaluable compañía.   |
| <b>Lidia Sánchez</b>   | la razón por la cual he llegado hasta acá, sin ti esto no hubiese sido posible. |
| <b>Edgardo Loukota</b> | por su paciencia y colaboración.  |
| <b>Mis amigos</b>      | por su ayuda y apoyo durante este camino que hoy culmina.                       |



## **DEDICATORIA**

A mi papa, Luis Lavagnino, espero que pueda ver esto y lo llene de orgullo y satisfacción.



## ÍNDICE GENERAL

|   |             |
|---|-------------|
| <b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>                     | <b>V</b>    |
| <b>GLOSARIO.....</b>                                    | <b>VII</b>  |
| <b>RESUMEN.....</b>                                     | <b>XI</b>   |
| <b>OBJETIVOS.....</b>                                   | <b>XIII</b> |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                                | <b>XV</b>   |
| <br>  |             |
| <b>1. TEORÍA ACERCA DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.....</b> | <b>1</b>    |
| 1.1 Ondas Electromagnéticas.....                        | 1           |
| 1.1.1 Las Ondas Electromagnéticas.....                  | 1           |
| 1.1.2 Origen de las Ondas Electromagnéticas.....        | 2           |
| 1.1.3 Ecuaciones de Maxwell.....                        | 4           |
| 1.2 Tipos de Ondas Electromagnéticas.....               | 5           |
| 1.2.1 Espectro Electromagnético.....                    | 5           |
| 1.2.2 Radiofrecuencia – Microondas.....                 | 10          |
| 1.3 Dirección de las Ondas electromagnéticas.....       | 11          |
| 1.3.1 Vector de Poynting.....                           | 11          |
| 1.4 Propagación de las Ondas Electromagnéticas.....     | 13          |
| 1.4.1 Propagación.....                                  | 13          |
| 1.4.1.1 Atenuación.....                                 | 14          |
| 1.4.1.2 Interferencia.....                              | 16          |
| <br>  |             |
| <b>2. ESTACIONES BASE DE TELEFONÍA CELULAR.....</b>     | <b>19</b>   |
| 2.1 Teoría sobre Antenas.....                           | 21          |
| 2.1.1 La Antena.....                                    | 21          |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 2.1.2     | Parámetros Generales de una Antena.....                   | 22        |
| 2.1.2.1   | Impedancia.....   | 22        |
| 2.1.2.2   | Diagrama de Radiación.....                                | 23        |
| 2.1.2.3   | Directividad.....   | 25        |
| 2.1.2.4   | Polarización.....   | 25        |
| 2.1.2.4.1 | Polarización Cruzada.....                                 | 26        |
| 2.1.2.5   | Ancho de Banda.....                                       | 27        |
| 2.1.2.6   | Eficiencia.....   | 27        |
| 2.1.2.7   | Ganancia de Potencia.....                                 | 28        |
| 2.1.2.8   | Ancho del Haz de la Antena.....                           | 29        |
| 2.2       | Modelos Utilizados Típicamente.....                       | 30        |
| 2.2.1     | Modelos de 45°.....                                       | 30        |
| 2.2.1.1   | Modelo 742-212, Kahtrein Brasil.....                      | 30        |
| 2.2.1.2   | Modelo 936LG65VTE-B, Andrew USA...                        | 31        |
| 2.2.2     | Modelo de 65° con Polarización Vertical.....              | 33        |
| 2.2.2.1   | Modelo UMW-065164DH, Andrew USA .                         | 33        |
| <b>3.</b> | <b>ESTÁNDARES INTERNACIONALES.....</b>                    | <b>35</b> |
| 3.1       | Organismos Internacionales.....                           | 35        |
| 3.2       | Estándar para la Exposición Humana en Telefonía Celular.. | 36        |
| 3.2.1     | Exposición Ocupacional.....                               | 38        |
| 3.2.1.1   | Norma ANSI/IEEE.....                                      | 39        |
| 3.2.1.2   | Norma FCC.....  | 39        |
| 3.2.1.3   | Norma ICNIRP.....   | 40        |
| 3.2.2     | Exposición al Público en General.....                     | 41        |
| 3.2.2.1   | Norma ANSI/IEEE.....                                      | 42        |
| 3.2.2.2   | Norma FCC.....  | 42        |
| 3.2.2.3   | Norma ICNIRP.....   | 43        |





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| 1. Espectro Electromagnético.....                        | 7  |
| 2. Sistema de Telefonía Celular.....                     | 19 |
| 3. Diagrama de Radiación 3D.....                         | 23 |
| 4. Diagrama de Radiación 2D Plano Vertical.....          | 24 |
| 5. Diagrama de Radiación 2D Plano Horizontal.....        | 25 |
| 6. Diseño de la antena 742-212.....                      | 30 |
| 7. Diagramas de Radiación de la antena 742-212.....      | 31 |
| 8. Diseño de la antena 936LG65VTE-B.....                 | 32 |
| 9. Diagramas de Radiación de la antena 936LG65VTE-B..... | 33 |
| 10. Diseño de la Antena UMW-06516-4DH.....               | 34 |
| 11. Diagramas de Radiación UMW-06516-4DH.....            | 34 |
| 12. Conexión del equipo de medición E6474A.....          | 50 |
| 13. Medición de Potencia.....                            | 51 |
| 14. Mapa de la ruta de medición.....                     | 51 |
| 15. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 1.....  | 55 |
| 16. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 2.....  | 56 |
| 17. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 3.....  | 57 |
| 18. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 4.....  | 58 |
| 19. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 5.....  | 59 |
| 20. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 6.....  | 60 |
| 21. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 7.....  | 61 |

|  |    |
|--|----|
| 22. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 8.....  | 62 |
| 23. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 9.....  | 63 |
| 24. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 10..... | 64 |
| 25. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 11..... | 65 |

## **TABLAS**

|  |    |
|--|----|
| I. Radio Frecuencia y Microondas.....                        | 10 |
| II. Especificaciones de la antena 742-212.....               | 31 |
| III. Especificaciones de la antena 936LG65VTE-B.....         | 32 |
| IV. Especificaciones de la antena UMW-06516-4DH.....         | 34 |
| V. Norma ANSI/IEEE, Exposición Ocupacional.....              | 39 |
| VI. Norma FCC, Exposición Ocupacional.....                   | 40 |
| VII. Norma ICNIRP, Exposición Ocupacional.....               | 41 |
| VIII. Norma ANSI/IEEE, Exposición al Público en general..... | 42 |
| IX. Norma FCC, Exposición al Público en general.....         | 43 |
| X. Norma ICNIRP, Exposición al Público en general.....       | 44 |
| XI. Formato de Medición.....                                 | 53 |
| XII. Zonas de Medición.....                                  | 54 |
| XIII. Resumen de los resultados.....                         | 68 |



## GLOSARIO

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| <b>ANSI/IEEE</b>                 | American National Standard Institute (ANSI)/ Institute of Electrical and Electronics Engineering (IEEE) por sus siglas en ingles, Instituto Nacional Americano de Estándares/ Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, creadores de uno de los estándares acerca de la exposición de las personas a la radiación no ionizante. |
| <b>dBm</b>                       | Medición de potencia expresada en términos de su razón (en dB) a un miliwatt.  |
| <b>Densidad de potencia</b>      | La densidad de potencia se define como la potencia por unidad de área, tiene dimensionales de $W/m^2$ o $mW/cm^2$ o $dBm/cm^2$ y esta decrece cuando la distancia aumenta.   |
| <b>Espectro electromagnético</b> | Forma de ordenar en un espectro todas las ondas electromagnéticas desde frecuencias muy elevadas -longitudes de onda pequeñas- hasta frecuencias muy bajas -longitudes de onda altas-.   |

**Exposición  
Ocupacional**

Se le llama así a la exposición que sufren las personas consientes de que están sometidas a radiaciones de las antenas base de telefonía celular.

**Exposición  
público en general**

Se le llama así a la exposición que sufren las personas que habitan o trabajan, permanentemente, cerca de las estaciones base de telefonía celular y se encuentran sometidas a esta radiación.

**FCC**

Federal Communications Commission (FCC) por sus siglas en ingles, Comision Federal de Comunicaciones, desarrolló una guía para proteger a trabajadores y público, en general, de la radiación no ionizante.

**Frecuencia**

Es el número de vibraciones por unidad de tiempo y su unidad es por tanto el ciclo por segundo o el Hertzio (Hz).

**ICNIRP**

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) por sus siglas en ingles, Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante, desarrolló la normativa más estricta en cuanto a radiación no ionizante se refiere con un valor de  $-0.10717 \text{ dBm/cm}^2$ .

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <b>Longitud de onda</b>             | Es una distancia y su unidad de medida es el metro, aunque suelen medirse en nanómetros (nm).  |
| <b>Radiación ionizante</b>          | Emisiones caracterizadas por ser de muy alta energía, son capaces de convertir una molécula de un ión. En un organismo vivo, son capaces de alterar irreversiblemente el material hereditario e introducir, o favorecer, el desarrollo de cánceres o tumores.        |
| <b>Radiación no ionizante</b>       | Emisiones que carecen de energía suficiente para ionizar la materia, por lo que no afectan, directamente, a la estructura atómica y molecular de los tejidos vivos. El efecto térmico es la principal manifestación de las emisiones no ionizantes en tejidos vivos. |
| <b>RF</b>                           | Es la energía electromagnética del rango de frecuencia justo por encima de las frecuencias audibles.   |
| <b>Tasa de absorción específica</b> | La Tasa de Absorción Específica -TAE-, indica la cantidad de energía de radiofrecuencia que absorbe el tejido humano de un transmisor. La TAE tiene unidades de watts por kilogramo.   |



## RESUMEN

Las antenas base de telefonía móvil celular emiten radiación electromagnética no ionizante que puede llegar a ser peligrosa para las personas que tienen un contacto continuo con esta, además, puede provocar efectos adversos a la salud, por esto es importante contar con un sistema de control adecuado, por medio del cual pueda medirse dicha radiación y determinar su efecto en las personas.

Para llevar a cabo dicho estudio, se delimitó el universo de trabajo a 30 antenas de 3 distintas empresas, en diferentes áreas de la Ciudad de Guatemala, en cada una de estas se realizó una medición, en la cual se obtuvo la distancia a la cual se realizó la medición y la potencia recibida, para que con esto, se pueda encontrar la densidad de potencia emitida por una antena, para luego comparar esta con la densidad de potencia permitida por el estándar mas restrictivo de los tres analizados, siendo este el de la ICNIRP, se determinó que todas las antenas muestreadas cumplen con las tres normativas, por lo que no se consideran un riesgo para la salud de las personas, pero representa el peligro que trae consigo el contacto continuo con este tipo de radiación que tienen quienes trabajan o habitan cerca de una antena base de telefonía móvil celular.

Es necesario tener control sobre el funcionamiento y la radiación emitida por estas antenas, de manera periódica, siendo indispensable contar con una normativa que regule los límites establecidos para el funcionamiento de estas en la Ciudad de Guatemala, así como en el resto del país.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Verificar el cumplimiento de los parámetros internacionales de radiación de las antenas base de telefonía móvil celular en la Ciudad de Guatemala.

### **ESPECÍFICOS**

1. Evaluar el valor de la radiación emitida por las antenas base de telefonía celular en la Ciudad de Guatemala, así como sus efectos en caso de no cumplir con los estándares aceptados, internacionalmente.
2. Proveer un documento de consulta, con datos confiables, que puedan ser utilizados para la creación de una normativa respecto de la radiación no ionizante que emiten las antenas base de telefonía móvil celular en la Ciudad de Guatemala.





## INTRODUCCIÓN

La industria de telefonía móvil celular es una de las de mayor demanda y consumo a nivel mundial, de lo que Guatemala no es una excepción, ya que, cada día aumentan los consumidores de este servicio, así como las empresas que lo prestan.

El intenso consumo y generación de ingresos que este tipo de industria genera, ha provocado que en muchos lugares del mundo incluyendo Guatemala, no se realice un estricto control de la ubicación y correcto funcionamiento de las antenas de telefonía móvil celular. Esto crea una serie de complicaciones que van desde financieras hasta legales, pasando por los efectos adversos que puede provocar este tipo de radiación en la salud.

Actualmente, en Guatemala, no existe una norma reguladora para el control de la emisión de radiación de antenas de telefonía móvil celular, pues, no se vela por la correcta ubicación y distribución de las mismas, ni tampoco de la densidad de potencia que estas emiten, por lo que el presente estudio pretende mostrar la evidencia y los antecedentes que permitan elaborar una investigación que sienta las bases para una futura regulación al respecto.







# 1. TEORÍA ACERCA DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

## 1.1 Ondas Electromagnéticas

### 1.1.1 Las Ondas Electromagnéticas

Son ondas producidas por la oscilación o la aceleración de una carga eléctrica, tienen componentes eléctricos y magnéticos que interactúan con sistemas biológicos, como plantas, animales o seres humanos. Las ondas electromagnéticas no necesitan un medio material para propagarse; pueden atravesar el espacio desplazándose en el vacío a una velocidad aproximada de 300.000 km/s a la que se denomina velocidad de la luz y se representa con la letra *c*.

Las ondas electromagnéticas son el soporte de las telecomunicaciones y el funcionamiento complejo del mundo actual. No necesitan de un medio para su existencia pues ocurren como consecuencia de dos efectos:

- Un campo magnético variable genera un campo eléctrico.
- Un campo eléctrico variable produce un campo magnético.

Las fuentes de radiación electromagnética son cargas eléctricas aceleradas, es decir que cambian con el tiempo su velocidad de movimiento.

Las ondas radiadas consisten en campos eléctricos y magnéticos oscilatorios que están en ángulo recto (perpendiculares) entre sí y también son perpendiculares a la dirección de propagación de la onda, esto significa que las ondas electromagnéticas son por naturaleza transversales.

Las ondas electromagnéticas, lejos del foco emisor, pueden considerarse ondas transversales planas formadas por un campo magnético y un campo eléctrico, perpendiculares entre sí y perpendiculares a su vez a la dirección de propagación. La amplitud de la radiación determina el brillo y la relación entre la amplitud y la fase de los campos eléctrico y magnético condiciona el estado de polarización.

### **1.1.2 Origen de las Ondas Electromagnéticas**

Quizá el mayor logro teórico de la física en el siglo XIX fue el descubrimiento de las ondas electromagnéticas. El primer indicio fue la relación imprevista entre los fenómenos eléctricos y la velocidad de la luz

James Maxwell demostró que las amplitudes de los campos eléctricos y magnéticos de una onda electromagnética están relacionadas.

A continuación los experimentos de Hertz constituyeron la primera y decisiva victoria de la teoría de campos, estos experimentos tienen una dimensión social por haber hecho posible el desarrollo de la comunicación a nivel de masas por medio de la radio y de la televisión, sin embargo, Faraday había intentado encontrar un experimento que demostrara la velocidad finita de las perturbaciones y que constituyera, por tanto, una prueba crucial de su teoría de campos.

El proyecto inicial de Hertz consistía en demostrar que la variación de la polarización de las sustancias dieléctricas produce un campo magnético. Según la teoría de Maxwell, una variación de la polarización de un material dieléctrico, tiene, al igual que una corriente de conducción, efectos magnéticos. Para ello, tenía que crear un campo eléctrico alterno que pudiera polarizar y despolarizar rápidamente un bloque de material dieléctrico.

Modificando y perfeccionando el diseño de los distintos dispositivos experimentales, llegó al descubrimiento de las ondas electromagnéticas. Hertz pensó que sería posible producir interferencias con dos ondas electromagnéticas, y como los fenómenos de interferencia están íntimamente ligados a los fenómenos ondulatorios quedaría así demostrada la existencia de las ondas electromagnéticas.

Las ondas electromagnéticas actualmente lideran la radio y la televisión y la enorme industria electrónica y han sido de gran utilidad en general.

### 1.1.3 Ecuaciones de Maxwell

Maxwell estableció la teoría de las ondas electromagnéticas en una serie de artículos publicados en la década de 1860, también, analizó matemáticamente la teoría de los campos electromagnéticos y afirmó que la luz visible era una onda electromagnética. Un campo eléctrico y otro magnético variables se inducen el uno al otro acoplándose juntos como una onda electromagnética que viaja a través del espacio. En 1865 unificó las leyes de Faraday, Gauss y Ampere formando un conjunto de ecuaciones que relacionan entre sí las variaciones espaciales y temporales de la intensidad del campo eléctrico  $\mathbf{E}$  y la inducción magnética  $\mathbf{B}$ .

Las ecuaciones de Maxwell se pueden definir como:

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{H} = \frac{4\pi\vec{j}}{c} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = 4\pi\rho$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

Donde  $\mathbf{H}$  es el campo magnético,  $\mathbf{E}$  es el campo eléctrico,  $\mathbf{D}$  es el vector desplazamiento,  $\mathbf{B}$  es el vector inducción magnética,  $\mathbf{j}$  es la densidad de corriente,  $\rho$  es la densidad de carga y  $c$  es una constante de proporcionalidad. Las ecuaciones de Maxwell se complementan con las denominadas relaciones constitutivas:



$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad \vec{B} = \mu \vec{H} \quad \vec{j} = \sigma \vec{E}$$

Donde  $\epsilon$  es la constante dieléctrica,  $\mu$  es la permeabilidad magnética y  $\sigma$  es la conductividad eléctrica.

En un medio dieléctrico homogéneo, isótropo y sin carga,  $\rho = 0$ ,  $\sigma = 0$ ,  $\epsilon$  y  $\mu$  son constantes. Las ecuaciones se simplifican:

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{H} = \frac{\epsilon}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\frac{\mu}{c} \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$$

$$\Delta \vec{E} = 0$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{H} = 0$$

## 1.2 Tipos de Ondas Electromagnéticas

### 1.2.1 Espectro Electromagnético

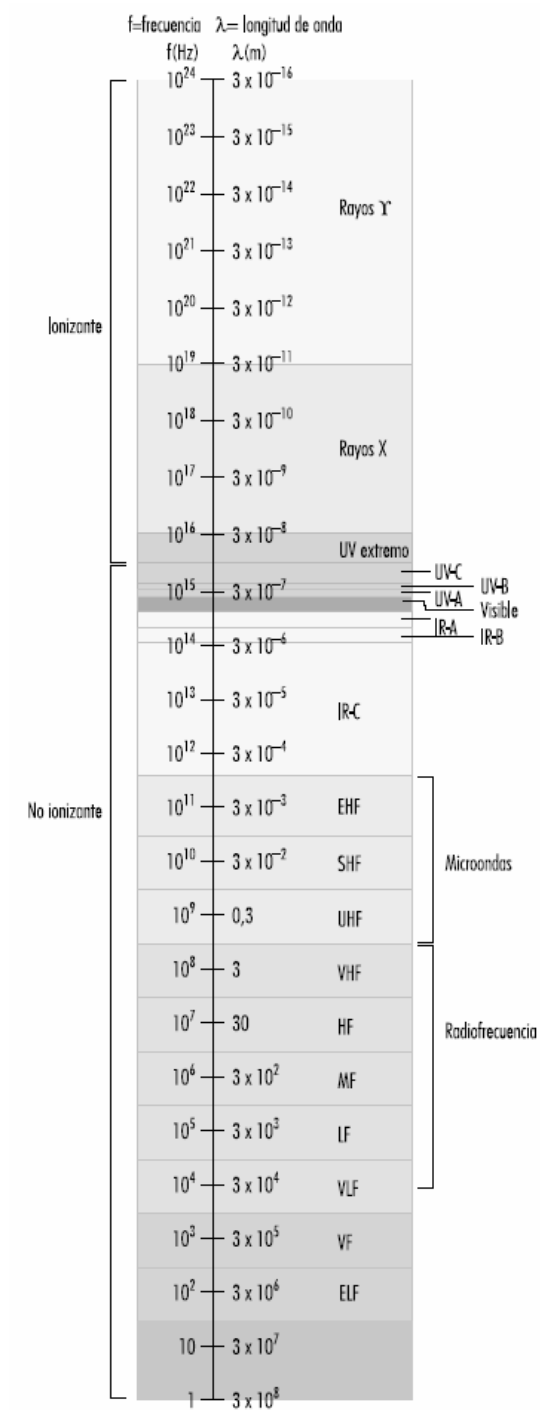
La radiación electromagnética se puede ordenar en un espectro que se extiende desde ondas de frecuencias muy elevadas (longitudes de onda pequeñas) hasta frecuencias muy bajas (longitudes de onda altas).

Las ondas electromagnéticas se agrupan bajo distintas denominaciones según su frecuencia, si se emplea el criterio clasificatorio de los efectos sobre los organismos vivos, las ondas se dividen en ondas electromagnéticas ionizantes y no ionizantes. Todas las radiaciones del espectro electromagnético presentan las propiedades típicas del movimiento ondulatorio, como la difracción y la interferencia.

La longitud de onda ( $\lambda$ ) y la frecuencia (f) de las ondas electromagnéticas, relacionadas mediante la expresión  $\lambda \cdot f = c$ , son importantes para determinar su energía, su visibilidad, su poder de penetración y otras características.

Cuando el espacio es una longitud de onda, el tiempo de este espacio se llama período (T) y la inversa del período es lo que se denomina frecuencia de la onda. La frecuencia es el número de vibraciones por unidad de tiempo y su unidad es por tanto el ciclo por segundo o el Hz (Hertzio) La longitud de onda ( $\lambda$ ) es una distancia y por lo tanto su unidad de medida es el metro, aunque, las longitudes de onda suelen medirse en nanómetros (nm).

Figura 1. Espectro Electromagnético



<http://www.mtas.es/insht/EncOIT/pdf/tomo2/49.pdf>

En la Figura 1, se denota todo el espectro electromagnético, con su longitud de onda, frecuencia y las siglas representativas de cada tipo de onda. A continuación se presentan las diferentes ondas de acuerdo a sus efectos sobre los organismos vivos, las radiaciones se dividen en radiaciones ionizantes y no ionizantes.

Las emisiones ionizantes, están caracterizadas por ser de muy alta energía, son capaces de convertir una molécula de un ión. En un organismo vivo, son capaces de alterar irreversiblemente el material hereditario e introducir, o favorecer, el desarrollo de cánceres o tumores.

- Ondas ultravioletas, que se producen por vibraciones de mayor frecuencia, producidas por ejemplo en el sol.
- Rayos X cuya fuente más común es la desaceleración de electrones que viajan a altas velocidades (alta energía) al chocar en un bombardeo de un blanco metálico.
- Rayos  $\gamma$  (Gama) que son ondas electromagnéticas emitidas por núcleos radioactivos durante ciertas reacciones nucleares.

Las emisiones no ionizantes, carecen de energía suficiente para ionizar la materia, por lo que no afectan directamente a la estructura atómica y molecular de los tejidos vivos. El efecto térmico es la principal manifestación de las emisiones no ionizantes en tejidos vivos.

- Ondas de radio, son el resultado de la aceleración de cargas a través de alambres conductores. Son generados por dispositivos electrónicos.
- Microondas que son ondas de radio de longitud corta también generadas por dispositivos electrónicos, se utilizan en sistemas de radar y para telecomunicaciones.
- Ondas infrarrojas llamadas también térmicas, llegan hasta la luz visible, se producen por la vibración de los electrones de las capas superiores de ciertos elementos, estas ondas son absorbidas fácilmente por la mayoría de los materiales. La energía infrarroja que absorbe una sustancia aparece como calor, ya que la energía agita los átomos del cuerpo, e incrementa su movimiento de vibración o translación, lo cual da por resultado un aumento de la temperatura.
- Ondas visibles, son la parte del espectro electromagnético que puede percibir el ojo humano. La luz se produce por la disposición que guardan los electrones en los átomos y moléculas. Las diferentes longitudes de onda se clasifican en colores que varían desde el violeta el de menor longitud de onda hasta el rojo el de mayor longitud de onda (de  $4$  a  $7 \times 10^{-7}$ ).

## 1.2.2 Radiofrecuencia – Microondas

Se denomina radiación de radiofrecuencia (RF) y de microondas a la oscilación progresiva del campo eléctrico y magnético en un medio material o el vacío en la gama de frecuencias de 30 KHz a 300 GHz. Para fines prácticos la radiación de radiofrecuencia y microondas es clasificada en bandas de frecuencias que se corresponden a sub-regiones del espectro, que juntas forman el espectro radioeléctrico, estas bandas de frecuencias están representadas en la Tabla I.

Tabla I. Radio Frecuencia y Microondas

### ***Región de Radiofrecuencia (RF):***

| <b>Gama de ondas</b> | <b>Límite inferior(MHz)</b> | <b>Límite superior(MHz)</b> | <b>Nombre comercial según la frecuencia</b> |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|
| Ondas largas         | 0.03                        | 0.3                         | LF Baja Frecuencia                          |
| Medias               | 0.3                         | 3                           | MF Frecuencia Media                         |
| Cortas               | 3                           | 30                          | HF Alta Frecuencia                          |
| Ultracortas          | 30                          | 300                         | VHF Muy alta frecuencia                     |

### ***Región de las microondas:***

| <b>Gama de Ondas</b> | <b>Límite Inferior (GHz)</b> | <b>Límite Superior (GHz)</b> | <b>Nombre comercial según la frecuencia</b> |
|----------------------|------------------------------|------------------------------|---|
| Ondas Decimétricas   | 0.3                          | 3                            | UHF Ultra Alta Frecuencia                   |
| Centrimétricas       | 3                            | 30                           | SHF Súper Alta Frecuencia                   |
| Milimétricas         | 30                           | 300                          | EMF Extremadamente Alta Frecuencia          |

## 1.3 Dirección de las Ondas electromagnéticas

### 1.3.1 Vector de Poynting

El vector de Poynting indica la dirección del flujo de energía de una onda electromagnética. Este vector se determina por su valor promedio y siempre apunta en sentido de la propagación de la onda.

Cuando una onda pasa a través de una superficie imaginaria en el espacio, su energía atraviesa tal superficie y en cada instante habrá un flujo de potencia a través de cada unidad de área. Esta magnitud, expresada en watts por metro cuadrado, posee dirección y sentido, y es por lo tanto una magnitud vectorial que se designa como vector de Poynting  $S$ .

En casi todos los casos<sup>1</sup>, una onda electromagnética puede estudiarse como una onda plana que se propaga perpendicularmente al plano formado por los dos vectores de campo: el eléctrico ( $E$ ) y el magnético ( $H$ ). La energía transportada por unidad de tiempo, por una onda electromagnética, se calcula a través de la potencia en un punto, realizando el producto vectorial de la intensidad del campo eléctrico y magnético:

$$P = H \times E$$

---

<sup>1</sup> A distancias muy próximas a las fuentes de radiación de radiofrecuencia, las relaciones características de las ondas planas no se satisfacen, por lo tanto no pueden estudiarse como ondas planas.

Donde P es la potencia de la onda electromagnética. Las dimensionales de H son Amp/metro y de E son Volt/metro.

Estas dos cantidades se relacionan entre si por la impedancia característica de la onda electromagnética Z.

$$Z = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0} = 377\Omega$$

Donde,  $\mu_0$  es la permeabilidad en el vacío =  $4\pi \cdot 10^{-7}$  y  $\epsilon_0$  es la constante dieléctrica en el vacío =  $10^{-9}/36\pi$

$$E \times H = E \cdot H \cdot \sin \alpha$$

E y H son perpendiculares entre si, entonces:

$$\alpha = 90^\circ; \sin \alpha = 1$$

$$E \times H = E \cdot H.$$

H se puede sustituir por  $E \cdot Z$  dando como resultado final

$$P = E^2 / Z \text{ Watts}$$



Las dimensionales de P vienen dadas por: Volt<sup>2</sup>/Ω = Watts. El vector de Poynting (S), representa la potencia media por unidad de área A, también se le conoce como densidad de potencia y este da la dirección en la que se propaga la energía de la onda.

$$S = P / A \text{ Watts/m}^2$$

## **1.4 Propagación de las Ondas Electromagnéticas**

### **1.4.1 Propagación**

Las ecuaciones de Maxwell explican la propagación de las ondas electromagnéticas y como avanzan por el espacio. Las ondas electromagnéticas siguen una trayectoria rectilínea y su velocidad es constante en cada medio específico. Al pasar de un medio a otro la única característica que permanece constante es la frecuencia. Las radiaciones electromagnéticas se propagan en el vacío a la velocidad de la luz.

A continuación se presentan las principales características y reglas de propagación de las ondas radioeléctricas.

### 1.4.1.1 Atenuación

La atenuación, es decir, la pérdida de potencia como consecuencia de salvar la distancia entre dos puntos, que sufren las ondas radioeléctricas. Se puede desglosar, según su origen, en la contribución de varios factores independientes:

- Difracción por obstáculos: A frecuencias altas, a partir de 1 GHz, la no existencia de visibilidad directa (línea vista), introduce unas pérdidas suplementarias en la señal. El grado de obstrucción entre los dos puntos depende de las distancias al obstáculo, su altura y la frecuencia de la señal transmitida.

En general a frecuencias bajas no es necesario la visibilidad directa con la antena emisora (sistemas de radiodifusión AM y FM), pero a medida que aumentamos la frecuencia se hace condición necesaria (radio enlaces digitales, sistemas de telecomunicaciones, etc.).

- Las pérdidas en espacio libre La atenuación sufrida por la propagación de una onda es directamente proporcional al cuadrado de la frecuencia y al cuadrado de la distancia recorrida. Es decir, cuanto mayor es la distancia o mayor es la frecuencia, menor es el nivel de la señal de recepción.

- Propagación multi-camino: Las antenas radian energía hacia una zona concreta del espacio y puede que una misma señal llegue al receptor como consecuencia de múltiples rebotes. Estos rebotes se presentan como copias de la señal, de menor atenuación, y con un retardo respecto a la señal directa, como resultado de la diferencia entre los caminos recorridos por ambas señales. La suma produce, en el receptor, la distorsión de la señal original y la atenuación de su nivel de recepción.
- Factores atmosféricos: La presencia de lluvia, niebla, nieve y otros elementos meteorológicos afectan a la transmisión de señales de alta frecuencia, básicamente a partir de los 10 GHz.

La señal transmitida por ejemplo a través de una zona de tormenta con abundantes precipitaciones sufre una ligera atenuación debido a la pérdida de energía de las ondas electromagnéticas al atravesar las gotas de agua.

A partir de una determinada distancia los emisores de radiofrecuencia dejan de ser considerados como interferentes ya que el nivel de las señales emitidas es mínimo. Las distancias dependerán en cada caso de la frecuencia de trabajo, orografía del terreno, características de las antenas, etc. Pero en general, gracias al conocimiento de los mecanismos de propagación, pueden obtenerse analíticamente.

La propagación es muy importante ya que permite la reutilización de las frecuencias asignadas a un mismo sistema o servicio en zonas geográficas diferentes, minimizando las interferencias de unos sistemas sobre otros.

En sistemas donde la capacidad es proporcional al número de frecuencias de trabajo (telefonía móvil, difusión de TV, etc.) este mecanismo permite optimizar la capacidad con un número de frecuencias disponibles relativamente pequeño.

#### **1.4.1.2 Interferencia**

Es una propiedad ondulatoria por la que dos haces de ondas interactúan entre ellos. Se puede tener dos fuentes distintas que emiten ondas.

En un sector del plano las ondas interaccionan interfiriéndose mutuamente, produciendo una tercer onda cuya longitud de onda y frecuencia pueden ser iguales o distintas a las anteriores. Si esta interferencia es destructiva se verá una franja más oscura (mínimo) y si es constructiva, una franja brillante (máximo)

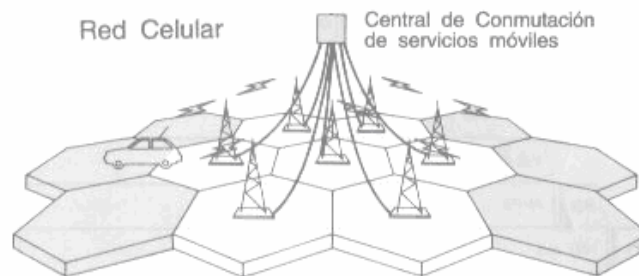
La interferencia entre dos ondas electromagnéticas se da entre las ondas, de la misma frecuencia, que avanzan más o menos en la misma dirección y tienen una diferencia de fase que permanece constante en el transcurso del tiempo, pueden combinarse de tal manera que su energía no se distribuye uniformemente en el espacio, sino que es máxima en ciertos puntos y mínima en otros. La demostración de tales efectos de interferencia para el caso de la luz efectuada por Young en 1801 estableció por primera vez la teoría ondulatoria sobre una base experimental firme.



## 2. ESTACIONES BASE DE TELEFONÍA CELULAR

Un sistema celular consta de células, cubiertas cada una por un sistema de radio que permite la conexión de los terminales móviles al sistema (estación base), y un sistema de conmutación (centro de servicios móviles) que permite la interconexión entre las estaciones base y la conexión del sistema a la red de conmutación públicas, como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Sistema de Telefonía Celular



<http://apuntes.rincondelvago.com/sistemas-de-comunicacion-moviles-y-ordenadores.html>

Las Estaciones Base (BTS) controlan la conexión de los terminales móviles, y permiten tener permanentemente localizados a los distintos usuarios (siempre que el móvil este encendido), se encuentran en el subsistema de estación base de la telefonía móvil celular, este subsistema está constituido por un Controlador de Estación Base (BSC) del que dependen una o más estaciones base.

Una estación base esta constituida por un conjunto de transceptores (TRX) que cubren la misma área y antenas usadas en cada célula de la red y que suelen estar situadas en el centro de la célula, generalmente su potencia de transmisión determina el tamaño de la célula.

La BTS es la entidad responsable del establecimiento de las comunicaciones con las estaciones móviles que se encuentran dentro de su área de influencia. Esta área de influencia puede estar constituida por una o más células radio, cada una de ellas con una estación base.

Las funciones de las estaciones base son:

- Supervisión de canales libres y envío de información de estos hacia el controlador
- Detección de accesos al sistema por parte de terminales móviles.



- Codificación y entrelazado para protección de errores
- Medidas de intensidad de campo y calidad de las señales recibidas de las terminales móviles.
- Construcción de los mensajes de aviso a partir de la información recibida desde el controlador.
- Encriptación de la información de señalizaron y tráfico.

Los BSC se utilizan como controladores de las estaciones base y tienen como funciones principales las de estar al cargo de los handovers, los frequency hopping y los controles de las frecuencias de radio de estas.

## **2.1 Teoría sobre Antenas**

### **2.1.1 La Antena**

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) define una antena como aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas.

Las antenas deben de dotar a la onda radiada con un aspecto de dirección, es decir, deben acentuar un solo aspecto de dirección y anular o disminuir los demás, esto se hace necesario, ya que solo interesa radiar hacia una dirección determinada. En comunicaciones móviles se querrá radiar sobre la zona de cobertura de forma omnidireccional.

## **2.1.2 Parámetros Generales de una Antena**

### **2.1.2.1 Impedancia**

Una antena se tendrá que conectar a un transmisor y deberá radiar el máximo de potencia posible con un mínimo de pérdidas, para lograr esto, la antena y el transmisor deben tener la misma impedancia.

En la entrada de la antena se puede definir la impedancia con una parte real  $R_e(\omega)$  y una parte imaginaria  $R_i(\omega)$ , dependientes de la frecuencia, si a una frecuencia la antena no presenta parte imaginaria en su impedancia  $R_i(\omega)=0$ , entonces esa antena está resonando a esa frecuencia.

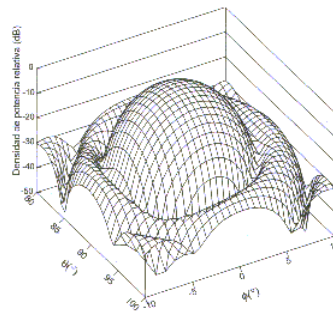
Normalmente se usará una antena a su frecuencia de resonancia, para evitar tener que aplicar corrientes excesivas, que lo único que hacen es producir grandes pérdidas.

La resistencia de entrada se puede descomponer en dos resistencias, la resistencia de radiación ( $R_r$ ) y la resistencia de pérdidas ( $R_L$ ). La resistencia de radiación es la resistencia que disiparía en forma de calor la misma potencia que radiaría la antena. Las pérdidas de los conductores es lo que se conoce como resistencia de pérdidas. Las dimensionales de la impedancia son ohms ( $\Omega$ )

### 2.1.2.2 Diagrama de Radiación

Un diagrama de radiación es una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena, en función de las distintas direcciones del espacio, a una distancia fija. Como el campo magnético se deriva directamente del eléctrico, la representación podría realizarse a partir de cualquiera de los dos, siendo norma habitual que los diagramas se refieran al campo eléctrico.

Figura 3. Diagrama de Radiación 3D

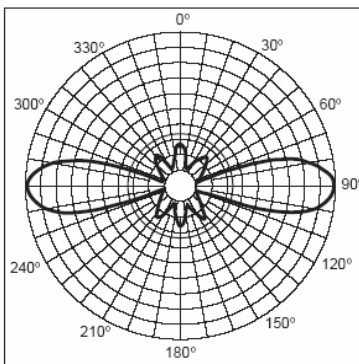


[http://www.geocities.com/ingenieria\\_antenas/t3\\_f1.gif](http://www.geocities.com/ingenieria_antenas/t3_f1.gif)

Algunas veces no interesa el diagrama de radiación en tres dimensiones, como el que se muestra en la Figura 3, al no poder hacerse mediciones exactas sobre él, lo que se suele hacer es un corte en el diagrama de radiación en tres dimensiones para pasarlo a dos dimensiones.

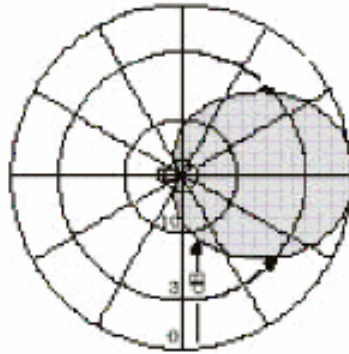
Los diagramas mostrados en las Figuras 4 y 5, son los más habituales ya que son más sencillos de medir e interpretar. Las dimensionales con las que suele medirse los diagramas de radiación esta dado en decibeleles (dB).

Figura 4. Diagrama de Radiación 2D Plano Vertical.



<http://viento.us.es/~murillo/docente/radio/antenaGSMColineal.pdf>

Figura 5. Diagrama de Radiación 2D Plano Horizontal.



<http://viento.us.es/~murillo/docente/radio/antenaGSMColineal.pdf>

### 2.1.2.3 Directividad

La directividad de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia dada, y la densidad de potencia que radiaría a esa misma distancia una antena isótropa que radiase la misma potencia que la antena

### 2.1.2.4 Polarización

La polarización es una indicación de la orientación del vector de campo en un punto fijo del espacio al transcurrir el tiempo, esta viene definida por la trayectoria que describe el vector de campo eléctrico (o magnético) cuando se observa en el sentido de propagación de la onda. Así, se tiene:

- Polarización lineal: las variaciones del vector de campo eléctrico están contenidas una única dirección;
- Polarización circular: el vector de campo eléctrico describe una trayectoria circular. Si rota en el sentido de las agujas del reloj, la polarización es a derechas. Si lo hace en sentido contrario, la polarización es a izquierdas;
- Polarización elíptica: el vector de campo eléctrico describe una trayectoria elíptica.

La polarización lineal es norma en la telefonía móvil, generalmente en las comunicaciones móviles la polarización es vertical, pero, también esta la polarización cruzada muy utilizada en sistemas celulares digitales.

#### **2.1.2.4.1 Polarización Cruzada**

Una antena con polarización cruzada consiste en dos sistemas de antenas separadas, orientadas  $90^\circ$  una de la otra. Esto significa que hay dos sistemas de antenas separados ubicados juntos que sustituyen a antenas físicamente separadas.

Una antena con polarización cruzada idealmente combina la necesidad de polarización vertical de redes de radio móvil con la propagación mejorada permitida mediante una onda polarizada horizontalmente.

#### **2.1.2.5 Ancho de Banda**

El ancho de banda es el rango entre las frecuencias máximas y mínimas para las cuales la ganancia de la antena no es menor a 3 dB de su ganancia máxima.

Normalmente las antenas celulares son construidas con anchos de banda acorde a la banda de trabajo del sistema celular, PCS (1900 Mhz), o celular (850 Mhz). El ancho de banda de un canal es 1.25 Mhz en los sistemas digitales PCS.

#### **2.1.2.6 Eficiencia**

Relacionado con la impedancia de la antena se tiene la eficiencia de radiación y la eficiencia de reflexión. Estas dos indican una, cuan buena es una antena emitiendo señal, y otra, cuan bien está adaptada una antena a una línea de transmisión.

La eficiencia de radiación se define como la relación entre la potencia radiada por la antena y la potencia que se entrega a la misma antena. La potencia está relacionada con la resistencia de la antena, se puede definir la eficiencia de radiación como la relación entre la resistencia de radiación y la resistencia de la antena

La eficiencia de adaptación o eficiencia de reflexión es la relación entre la potencia que le llega a la antena y la potencia que se aplica a ella. Esta dependerá mucho de la impedancia que presente la línea de transmisión y de la impedancia de entrada a la antena, se puede definir la eficiencia de reflexión como un módulo del coeficiente de reflexión, siendo el coeficiente de reflexión el cociente entre la diferencia de la impedancia de la antena y la impedancia de la línea de transmisión, y la suma de las mismas impedancias.

Algunas veces se define la eficiencia total, siendo esta el producto entre la eficiencia de radiación y la eficiencia de reflexión.

**Eficiencia Total = Eficiencia de Radiación x Eficiencia de Reflexión**

#### **2.1.2.7 Ganancia de Potencia**

La ganancia de potencial es igual a la ganancia directiva excepto que se utiliza el total de potencia que alimenta a la antena (Se toma en cuenta la eficiencia de la antena).



Se supone que la antena indicada y la antena de referencia tienen la misma potencia de entrada y que la antena de referencia no tiene pérdidas. Matemáticamente, la ganancia de potencia ( $A_p$ ) es:

$$A_p = D * h$$

Si una antena no tiene pérdidas, irradia 100% de la potencia de entrada y la ganancia de potencia es igual a la ganancia directa. La ganancia de potencia para una antena también se da en decibeles en relación con alguna antena de referencia.

#### **2.1.2.8 Ancho del Haz de la Antena**

El ancho del haz de la antena es sólo la separación angular entre los dos puntos de media potencia (-3 dB) en el lóbulo principal del patrón de radiación del plano de la antena, por lo general tomando en uno de los planos. El ancho de haz de la antena se llama ancho de haz de -3 dB o ancho de haz de media potencia.

## **2.2 Modelos Utilizados Típicamente**

Los modelos de antenas para estaciones base de telefonía celular que típicamente se utilizan son las antenas de dipolo y las antenas tipo panel. A continuación se presentan tres modelos de estas antenas y sus principales características.

### **2.2.1 Modelos de 45°**

#### **2.2.1.1 Modelo 742-212, Kathrein Brasil**

Las características eléctricas y de diseño de esta antena están representadas en las Figuras 6 y 7 y en la Tabla II.

Figura 6. Diseño de la antena modelo 742-212



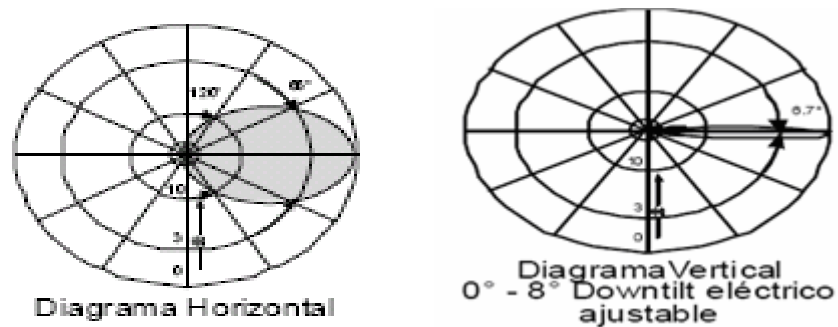
[www.kathrein.com.br/espanhol/folhetos/folhetos\\_paineis\\_cruzada/742\\_212\\_65graus.pdf](http://www.kathrein.com.br/espanhol/folhetos/folhetos_paineis_cruzada/742_212_65graus.pdf)

Tabla II. Especificaciones de la antena modelo 742-212

| Tipo de Antena                 | Rango de Operación | Polarización | Ganancia     |
|--------------------------------|--------------------|--------------|--------------|
| Panel con Polarización Cruzada | 1850-1990 MHz      | +45°, -45°   | 2 X 17.7 dBi |

[www.kathrein.com.br/espanhol/folhetos/folhetos\\_paineis\\_cruzada/742\\_212\\_65graus.pdf](http://www.kathrein.com.br/espanhol/folhetos/folhetos_paineis_cruzada/742_212_65graus.pdf)

Figura 7. Diagramas de Radiación de la antena modelo 742-212:



[www.kathrein.com.br/espanhol/folhetos/folhetos\\_paineis\\_cruzada/742\\_212\\_65graus.pdf](http://www.kathrein.com.br/espanhol/folhetos/folhetos_paineis_cruzada/742_212_65graus.pdf)

### 2.2.1.2 Modelo 936LG65VTE-B, Andrew USA

Las características eléctricas y de diseño de esta antena están representadas en las Figuras 8 y 9 y en la Tabla III.

Figura 8. Diseño de la antena modelo 936LG65VTE-B:



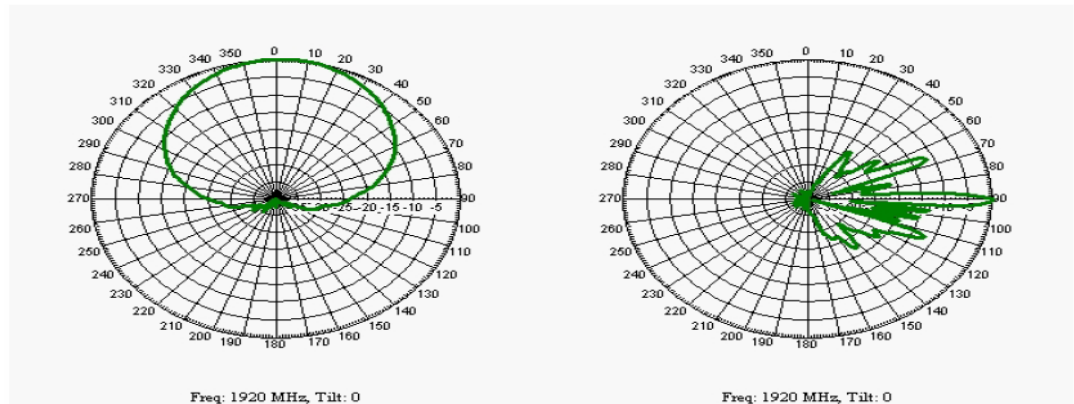
[http://www.andrew.com/products/antennas/bsa/\\_pdf/936LG65VTE-B.pdf](http://www.andrew.com/products/antennas/bsa/_pdf/936LG65VTE-B.pdf)

Tabla III. Especificaciones de la antena modelo 936LG65VTE-B:

| <b>Tipo de Antena</b>                  | <b>Rango de Operación</b> | <b>Polarización</b> | <b>Ganancia</b> |
|--|---------------------------|---------------------|-----------------|
| <b>Dipolo con Polarización Cruzada</b> | <b>1850-1990 MHz</b>      | <b>+45°, -45°</b>   | <b>18.3 dBi</b> |

[http://www.andrew.com/products/antennas/bsa/\\_pdf/936LG65VTE-B.pdf](http://www.andrew.com/products/antennas/bsa/_pdf/936LG65VTE-B.pdf)

Figura 9. Diagramas de Radiación de la antena modelo 936LG65VTE-B:



[http://www.andrew.com/products/antennas/bsa/\\_pdf/936LG65VTE-B.pdf](http://www.andrew.com/products/antennas/bsa/_pdf/936LG65VTE-B.pdf)

## 2.2.2 Modelo de 65° con polarización Vertical

### 2.2.2.1 Modelo UMW-065164DH, Andrew USA

Las características eléctricas y de diseño de esta antena están representadas en las Figuras 10 y 11 y en la Tabla IV.

Figura 10. Diseño de la Antena modelo UMW-065164DH:



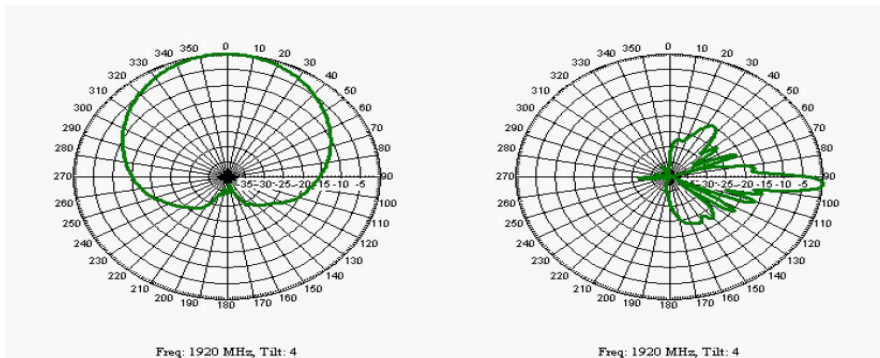
[http://invex3g.com/products/antennas/bsa/\\_pdf/UMW-06516-4DH.pdf](http://invex3g.com/products/antennas/bsa/_pdf/UMW-06516-4DH.pdf)

Tabla IV. Especificaciones de la antena modelo UMW-065164DH:

| Tipo de Antena | Rango de Operación | Polarización | Ganancia |
|----------------|--------------------|--------------|----------|
| Panel          | 1850-1990 MHz      | Vertical     | 17.8 dBi |

[http://invex3g.com/products/antennas/bsa/\\_pdf/UMW-06516-4DH.pdf](http://invex3g.com/products/antennas/bsa/_pdf/UMW-06516-4DH.pdf)

Figura 11. Diagramas de Radiación de la antena modelo UMW-065164DH:



[http://invex3g.com/products/antennas/bsa/\\_pdf/UMW-06516-4DH.pdf](http://invex3g.com/products/antennas/bsa/_pdf/UMW-06516-4DH.pdf)

### **3. ESTÁNDARES INTERNACIONALES**

En Guatemala, no existe ningún reglamento adoptado oficialmente que limite la exposición humana a la radiación de las estaciones base de telefonía móvil celular, por lo mismo, existe la necesidad de conocer los estándares internacionales más aceptados y los organismos que los dieron a conocer.

#### **3.1 Organismos Internacionales**

Los organismos internacionales crean estándares que regulan la exposición a la cual un cuerpo humano puede ser afectado, los principales organismos, dedicados a esto son la IEEE, la FCC de Estados Unidos y la ICNIRP.

Diversas organizaciones internacionales han publicado guías para limitar la exposición humana a la energía de radiofrecuencia. Dentro de estas se encuentran, la norma IEEE C95.1, las recomendaciones del National Council on Radiation Protection (NCRP) en EEUU; y el National Radiation Protection Board (NRBP) en Gran Bretaña. Aunque estas guías difieren en algunos aspectos, los límites en la banda de frecuencias que usan los teléfonos móviles y dispositivos similares son bastante parecidos.

En EEUU la Federal Communications Commission (FCC) autoriza la venta de dispositivos de comunicación inalámbricos que cumplen con su normativa. La guía de la FCC fue desarrollada para proteger a trabajadores y público en general y está basada en los límites de exposición del NCRP.

Las normas de los organismos internacionales y otras guías de exposición han sido desarrolladas por grupos de expertos que han identificado los valores de exposición de campos electromagnéticos para los que existe una evidencia creíble y reproducible de un efecto adverso que pueda tener relación con la salud humana, por medio de estudios de ingeniería, investigaciones en animales, cultivos celulares y estudios epidemiológicos en humanos.

### **3.2 Estándar para la Exposición Humana en Telefonía Celular**

En general puede afirmarse que los efectos biológicos de la radiación de microondas son de naturaleza térmica, y los estándares desarrollados para la protección de la salud de las personas incorporan factores de seguridad muy grandes. Los estándares de seguridad a la exposición de radiación electromagnética deben cubrir frecuencias desde al menos 3 kHz hasta 300 GHz.

Los niveles de exposición a los que se puede ver sometida la población dependen no solo de la intensidad de los campos eléctricos y magnéticos sino también de su distancia con los transmisores, de la presencia de antenas direccionales y de la proximidad al haz principal de radiación de las antenas.



Las restricciones básicas son limitaciones a la exposición de campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables con el tiempo que directamente producen efectos sobre la salud y consideraciones biológicas.

Dependiendo de la frecuencia de los campos electromagnéticos, las magnitudes físicas usadas para especificar estas restricciones pueden ser:

- Densidad de flujo magnético (B)
- Densidad de corriente (J)
- Tasa de absorción específica (SAR por sus siglas en inglés)
- Densidad de potencia (S).

Para las frecuencias comprendidas entre 100 KHz y 10 GHz se establecen restricciones sobre la Tasa de absorción específica (TAE) y la densidad de potencia (S), para prevenir el calentamiento del cuerpo humano y el excesivo calentamiento local de tejidos.

Todas las guías de exposición adoptan factores de seguridad para mantener los niveles muy por debajo de los que se consideran potencialmente peligrosos, aún en las peores condiciones de exposición, los factores de seguridad habitualmente se dividen en dos grandes grupos:

- Un factor para la exposición ocupacional
- Un factor para la exposición al público en general.

Estos tienen un tiempo promedio de exposición tanto para el factor ocupacional como para el público en general de 6 minutos.

### **3.2.1 Exposición Ocupacional**

Se le llama así a la exposición que sufren las personas que están consientes que están sometidas a radiaciones de las antenas base de telefonía celular. Para este factor, existen diferentes normas que dan como resultado, diferentes especificaciones sobre la máxima exposición que pueden llegar a tener las personas que se encuentren en este entorno.

### 3.2.1.1 Norma ANSI/IEEE

En la Tabla V se muestran los límites de exposición en entornos controlados del estándar del ANSI/IEEE.

Tabla V. Norma ANSI/IEEE, Exposición Ocupacional

| Campos electromagnéticos |                                     |                                     |  |  |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| Frecuencia (MHz)         | Intensidad de campo eléctrico (V/m) | Intensidad de campo magnético (A/m) | Densidad de potencia [E,H] (mW/cm <sup>2</sup> ) | Tiempo de promediado E <sup>2</sup> , H <sup>2</sup> , o S (min) |
| 0,000294-0,1             | -                                   | 163                                 | 100,1000000                                      | 6  |
| 0,00407-0,1              | 614                                 | -                                   | 100,1000000                                      | 6  |
| 0,1-3                    | 614                                 | 16,3/f                              | 100,10000/f <sup>2</sup>                         | 6  |
| 3-30                     | 1842/f                              | 16,3/f                              | 900/f <sup>2</sup> , 10000/f <sup>2</sup>        | 6  |
| 30-100                   | 61,4                                | 16,3/f                              | 1,10000/f <sup>2</sup>                           | 6  |
| 100-300                  | 61,4                                | 0,163                               | 1  | 6  |
| 300-3000                 | -                                   | -                                   | f <sub>m</sub> /300                              | 6  |
| 3000-15000               | -                                   | -                                   | 10   | 6  |
| 15000-300000             | -                                   | -                                   | 10   | 616000/f <sup>1,2</sup>  |

<http://www.ece.tamu.edu/~eml/AP-S/comar/ANSIstandar1.pdf>

### 3.2.1.2 NORMA FCC

La mayoría de límites permisibles están definidos en términos de campo eléctrico y campo magnético, además, de estar definidos por la densidad de potencia.

Los límites de exposición máximos permitidos por la FCC se muestran la Tabla VI. para entorno controlado-ocupacional.

Tabla VI. Norma FCC, Exposición Ocupacional.

| Entorno controlado - ocupacional |   |   |  |   |
|----------------------------------|---|---|--|---|
| Frecuencia (MHz)                 | Intensidad de Campo Eléctrico (E) (V/m) | Intensidad de Campo Magnético (H) (A/m) | Densidad de Potencia (S) (mW/cm <sup>2</sup> ) | Tiempo de promediado $ E ^2$ , $ H ^2$ or S (minutos) |
| 0.3-3.0                          | 614                                     | 1.63                                    | (100)*   | 6   |
| 3.0-30                           | 1842/f                                  | 4.89/f                                  | (900/f <sup>2</sup> )*                         | 6   |
| 30-300                           | 61.4                                    | 0.163                                   | 1.0  | 6   |
| 300-1500                         | --                                      | --                                      | f/300  | 6   |
| 1500-100,000                     | --                                      | --                                      | 5  | 6   |

[www.dep.state.pa.us/dep/deputate/airwaste/rp/Radiation\\_Control\\_Division/oet56e4.doc](http://www.dep.state.pa.us/dep/deputate/airwaste/rp/Radiation_Control_Division/oet56e4.doc)

### 3.2.1.3 NORMA ICNIRP

Los límites de exposición máximos permitidos por la norma ICNIRP se muestran la Tabla VII. para entorno ocupacional.

Tabla VII. Norma ICNIRP, Exposición Ocupacional

| Frecuencia (MHz) | Intensidad de Campo Eléctrico (E) (V/m) | Intensidad de Campo Magnético (H) (A/m) | Densidad de Potencia (S) (W/m <sup>2</sup> ) | Tiempo Promedio de  E  <sup>2</sup> o  H  <sup>2</sup> o de S (minutos) |
|------------------|---|---|--|---|
| up to 1 Hz       | —                                       | $1.63 \times 10^3$                      | —  | 6   |
| 1–8 Hz           | 20,000                                  | $1.63 \times 10^5/f^2$                  | —  | 6   |
| 8–25 Hz          | 20,000                                  | $2 \times 10^4/f$                       | —  | 6   |
| 0.025–0.82 kHz   | $500/f$                                 | $20/f$                                  | —  | 6   |
| 0.82–65 kHz      | 610                                     | 24.4                                    | —  | 6   |
| 0.065–1 MHz      | 610                                     | $1.6/f$                                 | —  | 6   |
| 1–10 MHz         | $610/f$                                 | $1.6/f$                                 | —  | 6   |
| 10–400 MHz       | 61                                      | 0.16                                    | 10   | 6   |
| 400–2,000 MHz    | $3f^{1/2}$                              | $0.008f^{1/2}$                          | $f/40$                                       | 6   |
| 2–300 GHz        | 137                                     | 0.36                                    | 50   | 6   |

<http://www.icnirp.de/documents/emfgdl.pdf>

### 3.2.2 Exposición al público en general

Se le llama así a la exposición que sufren las personas que habitan o trabajan permanentemente cerca de las estaciones base de telefonía celular y se encuentran sometidas a esta radiación, para este factor, existen diferentes normas, que dan como resultado, diferentes especificaciones sobre la máxima exposición permisible que pueden llegar a tener las personas que se encuentren en este entorno, este fue el estándar utilizado para la comparación de los resultados.

### 3.2.2.1 Norma ANSI/IEEE

En la tabla VIII se muestran los límites de exposición en entornos no controlados o exposición al público en general recomendados en el estándar ANSI/IEEE C95.1-1991.

Tabla VIII. Norma ANSI/IEEE, Exposición al Público en general.

| Campos electromagnéticos |                                     |                                     |   |   |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|---|
| Frecuencia (MHz)         | Intensidad de campo eléctrico (V/m) | Intensidad de campo magnético (A/m) | Densidad de potencia $[E^2, H^2]$ (mW/cm <sup>2</sup> ) | Tiempo de promediado $E^2, S - H^2$ (min) |
| 0,003-0,1                | 614                                 | 163                                 | 100,1000000   | 6-6                                       |
| 0,1-1,34                 | 614                                 | 16,3/f                              | 100,10000/f <sup>2</sup>                                | 6-6                                       |
| 1,34-3                   | 823,8/f                             | 16,3/f                              | 180/f <sup>2</sup> , 10000/f <sup>2</sup>               | f <sup>2</sup> /0,3-6                     |
| 3-30                     | 823,8/f                             | 16,3/f                              | 180/f <sup>2</sup> , 10000/f <sup>2</sup>               | 30-6                                      |
| 30-100                   | 27,5                                | 158,3/f <sup>1,668</sup>            | 0,2,940000/f <sup>2,336</sup>                           | 30-0,0636f <sup>1,337</sup>               |
| 100-300                  | 27,5                                | 0,0729                              | 0,2   | 30-30                                     |
| 300-3000                 | -                                   | -                                   | f <sup>2</sup> m/1500                                   | 30-                                       |
| 3000-15000               | -                                   | -                                   | f <sup>2</sup> m/1500                                   | 90000/f-                                  |
| 15000-300000             | -                                   | -                                   | 10  | 616000/f <sup>1,2</sup> -                 |

<http://www.ece.tamu.edu/~eml/AP-S/comar/ANSIstandar1.pdf>

### 3.2.2.2 NORMA FCC

Los límites de exposición máximos permitidos por la FCC se muestran la Tabla IX. para entorno no controlado o público en general.

Tabla IX. Norma FCC, Exposición al Público en general.

| Entorno no controlado – público en general |   |   |  |   |
|--|---|---|--|---|
| Frecuencia (MHz)                           | Intensidad de Campo Eléctrico (E) (V/m) | Intensidad de Campo Magnético (H) (A/m) | Densidad de Potencia (S) (mW/cm <sup>2</sup> ) | Tiempo de promediado  E  <sup>2</sup> ,  H  <sup>2</sup> or S (minutos) |
| 0.3-1.34                                   | 614                                     | 1.63                                    | (100)*   | 30  |
| 1.34-30                                    | 824/f                                   | 2.19/f                                  | (180/f <sup>2</sup> )*                         | 30  |
| 30-300                                     | 27.5                                    | 0.073                                   | 0.2  | 30  |
| 300-1500                                   | --                                      | --                                      | f/1500   | 30  |
| 1500-100,000                               | --                                      | --                                      | 1.0  | 30  |

[www.dep.state.pa.us/dep/deputate/airwaste/rp/Radiation\\_Control\\_Division/oet56e4.doc](http://www.dep.state.pa.us/dep/deputate/airwaste/rp/Radiation_Control_Division/oet56e4.doc)

### 3.2.2.3 NORMA ICNIRP

Los límites de exposición máximos permitidos por la norma ICNIRP se muestran la Tabla X para el entorno del público en general.

Tabla X. Norma ICNIRP, Exposición al Público en general

| Frecuencia (MHz) | Intensidad de Campo<br>Electrico (E) (V/m) | Intensidad de Campo<br>Magnetico (H) (A/m) | Densidad de Potencia<br>(S) (W/m <sup>2</sup> ) | Tiempo Promedio de  E  <sup>2</sup><br>o  H  <sup>2</sup> o de S (minutos) |
|------------------|--|--|---|--|
| up to 1 Hz       | —  | $3.2 \times 10^4$                          | —   | 6  |
| 1-8 Hz           | 10,000                                     | $3.2 \times 10^4/f^2$                      | —   | 6  |
| 8-25 Hz          | 10,000                                     | $4,000/f$                                  | —   | 6  |
| 0.025-0.8 kHz    | $250/f$                                    | $4/f$                                      | —   | 6  |
| 0.8-3 kHz        | $250/f$                                    | 5  | —   | 6  |
| 3-150 kHz        | 87   | 5  | —   | 6  |
| 0.15-1 MHz       | 87   | $0.73/f$                                   | —   | 6  |
| 1-10 MHz         | $87/f^{1/2}$                               | $0.73/f$                                   | —   | 6  |
| 10-400 MHz       | 28   | 0.073                                      | 2   | 6  |
| 400-2,000 MHz    | $1.375f^{1/2}$                             | $0.0037f^{1/2}$                            | $f/200$   | 6  |
| 2-300 GHz        | 61   | 0.16                                       | 10  | 6  |

<http://www.icnirp.de/documents/emfgdl.pdf>



## **4. MODELOS DE MEDICIÓN**

### **4.1 Tipos de Modelos de Medición de Radiación no Ionizante**

Los niveles máximos de exposición a RF y microondas, del tipo no ionizantes, de trabajadores (que incluye a personas con exposición ocupacional) y otros individuos (el público en general) deben medirse periódicamente utilizando instrumentos adecuados a fin de determinar que no se excedan los niveles máximos establecidos por los estándares internacionales.

Para esto existen típicamente dos distintos modelos de medición de los niveles de radiación no ionizante, a continuación se detallan y se indica el modelo de medición utilizado para el presente estudio.

#### **4.1.1 Modelo de medición por medio de la tasa de absorción específica (TAE)**

La Tasa de Absorción Específica (TAE), indica la cantidad de energía de radio-frecuencia (RF) que absorbe el tejido humano de un transmisor de RF. La TAE tiene unidades de watts por kilogramo.

El nivel de TAE esta limitado por diferentes normativas al igual que el modelo de medición por medio de la densidad de potencia. Por ejemplo, el limite de TAE de la FCC para Estados Unidos es de 1.6 watts por kilogramo promedio sobre un gramo de tejido.

Para realizar este tipo de medición, es necesario un estudio de laboratorio, en el que se debe emitir radiación no ionizante sobre un trozo de tejido, y con esto medir cuanta de esta radiación es absorbida por el tejido.

#### **4.1.2 Modelo de medición por medio de la densidad de potencia**

Este fue el modelo utilizado en la presente evaluación, ya que como se describe en el modelo anterior, para la medición del TAE, es necesario realizar estudios en laboratorio, mientras que para la medición de la densidad de potencia, solamente es necesario realizar mediciones en el campo (Ciudad de Guatemala en este caso) con un equipo de medición de potencia como el que se describe en el subtítulo 4.2.

La densidad de potencia se define como la potencia por unidad de área, para encontrar la densidad de potencia en un punto específico, se puede realizar de dos formas distintas:

- Forma Teórica
  
- Forma Práctica
  
- Forma Teórica

En esta forma, se encontrará la densidad de potencia transmitida por una antena a una distancia determinada, está representado por la siguiente fórmula:

$$S = P_t \cdot G_t / 4\pi r^2$$

Donde,

**P<sub>t</sub>** es la potencia transmitida

**G<sub>t</sub>** es la ganancia de la antena transmisora

**r** es la distancia sobre la cual se quiere conocer la densidad de potencia.

En este caso es necesario encontrar todas las pérdidas del sistema (pérdidas en el espacio libre, pérdidas por obstáculos y las pérdidas por los factores atmosféricos.)

- Forma Práctica

Para la forma práctica que fue el método utilizado, se utiliza la siguiente fórmula:

$$S = Pr * Gr / Ae$$

Donde,

**Pr** es la potencia transmitida

**Gr** es la ganancia de la antena transmisora

**Ae** es el área efectiva de la antena.

El área efectiva esta determinada por la siguiente fórmula:

$$Ae = Gr * \lambda^2 / 4\pi$$

Donde,

**Gr** es la ganancia de la antena receptora

$\lambda$  es la longitud de onda

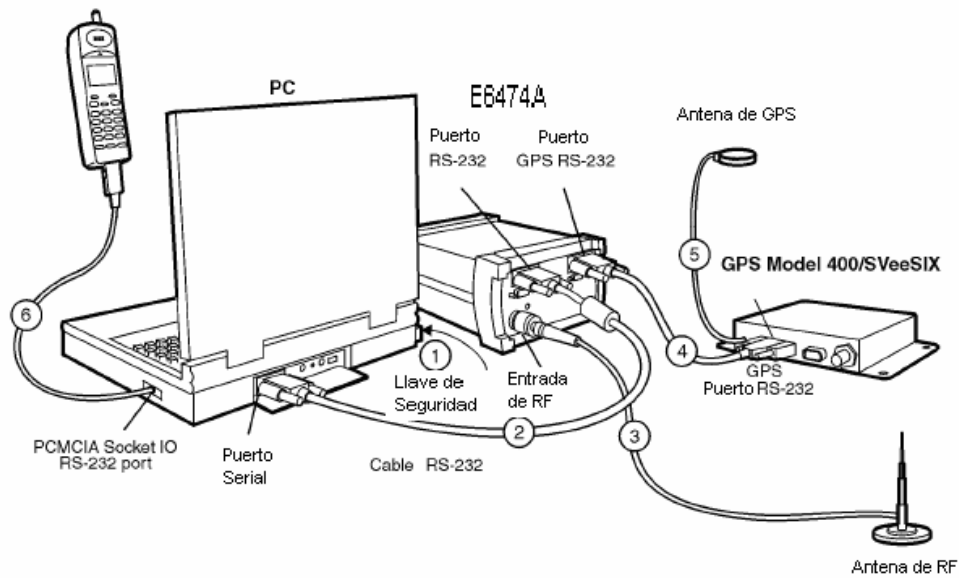
Como se indicó en el capítulo 1 de este estudio, la densidad de potencia tiene dimensionales de  $W/m^2$  o bien  $mW/cm^2$  o como se utilizó para este estudio en  $dBm/cm^2$  y esta decrece cuando la distancia aumenta.

## **4.2 Equipo de Medición Utilizado**

Para realizar la medición de la potencia recibida se utilizó equipo marca Agilent modelo E6474A, el cual es un software de optimización de redes inalámbricas, este permite recolectar parámetros de cobertura tales como la potencia recibida a cierta frecuencia en tiempo real, los parámetros recolectados pueden ser utilizados nuevamente durante o después de la prueba.

Todas las mediciones que realiza el equipo pueden ser referenciadas geográficamente a través de un GPS, el cual muestra las coordenadas del punto en donde se está realizando la medición, este puede ser conectado al equipo y con el se pueden obtener las coordenadas del lugar en donde se está realizando la medición. En la Figura 12 está la forma de conexión del equipo de medición.

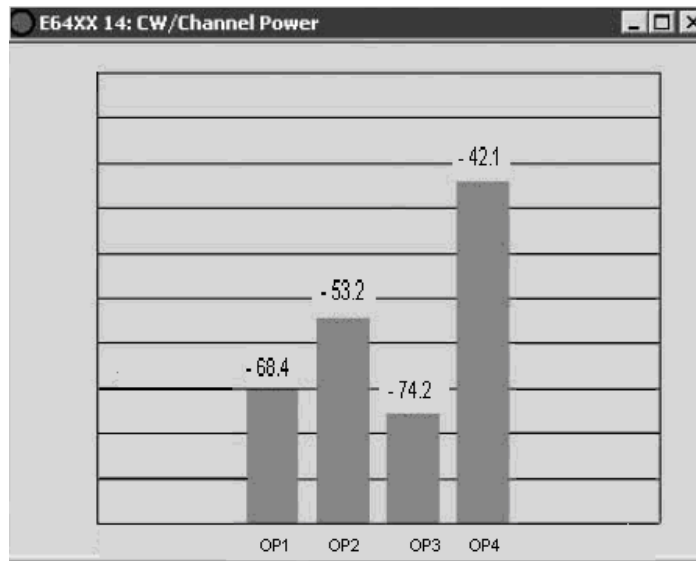
Figura 12. Conexión del equipo de medición E6474A.



[http://www.home.agilent.com/upload/cmc\\_upload/All/E6474-90052.pdf](http://www.home.agilent.com/upload/cmc_upload/All/E6474-90052.pdf)

La Figura 13 muestra una imagen de la forma en que el software presenta la toma de datos y en la Figura 14 se muestra el mapa digitalizado para saber la ubicación de las estaciones base medidas y el trazo sobre el cual se han realizado mediciones.

Figura 13. Medición de Potencia.



[http://www.cnrood.com/PHP/files/telecom\\_pdf/Drive-Test-Tools.pdf](http://www.cnrood.com/PHP/files/telecom_pdf/Drive-Test-Tools.pdf)

Figura 14. Mapa de la ruta de medición.



[http://www.cnrood.com/PHP/files/telecom\\_pdf/Drive-Test-Tools.pdf](http://www.cnrood.com/PHP/files/telecom_pdf/Drive-Test-Tools.pdf)

En la toma de datos, se utilizaron la longitud y latitud en donde se realizó la medición dada por el GPS, la potencia recibida por la antena y la frecuencia en la que se realizó la medición, dependiendo del proveedor en donde se está realizando la prueba es la frecuencia que se utiliza, todo esto se traslada al programa de computación Excel en el formato que se muestra en la Tabla XI.



Tabla XI. Formato de Medición.

| Número de Medición | Latitud  | Longitud | Frecuencia | Potencia dBm |
|--------------------|----------|----------|------------|--------------|
| 1                  | 14.59533 | 90.56355 | 1976.25    | -68.22       |
| 2                  | 14.59533 | 90.56355 | 1951.25    | -69.03       |
| 3                  | 14.59533 | 90.56355 | 1932.5     | -86.47       |
| 4                  | 14.59533 | 90.56355 | 1956.25    | -79.81       |
| 5                  | 14.59533 | 90.56355 | 1976.25    | -68.25       |
| 6                  | 14.59533 | 90.56355 | 1951.25    | -69.03       |
| 7                  | 14.59533 | 90.56355 | 1932.5     | -88.13       |
| 8                  | 14.59533 | 90.56355 | 1956.25    | -81.38       |
| 9                  | 14.59533 | 90.56356 | 1976.25    | -70.78       |
| 10                 | 14.59533 | 90.56356 | 1951.25    | -68.94       |
| 11                 | 14.59533 | 90.56356 | 1932.5     | -87.16       |
| 12                 | 14.59533 | 90.56356 | 1956.25    | -78.28       |
| 13                 | 14.59533 | 90.56356 | 1976.25    | -70.13       |
| 14                 | 14.59533 | 90.56356 | 1951.25    | -68.84       |
| 15                 | 14.59533 | 90.56356 | 1932.5     | -87.63       |
| 16                 | 14.59533 | 90.56356 | 1956.25    | -76.44       |
| 17                 | 14.59533 | 90.56356 | 1976.25    | -67.06       |
| 18                 | 14.59533 | 90.56356 | 1951.25    | -67.81       |
| 19                 | 14.59533 | 90.56356 | 1932.5     | -85.97       |
| 20                 | 14.59533 | 90.56356 | 1956.25    | -78.78       |

### 4.3 Ubicación de las estaciones base utilizadas en la medición

En la Tabla XII. se presenta la ubicación de las estaciones base utilizadas para este estudio.

TABLA XII. Zonas de Medición.

| Zona      | Antenas  |
|-----------|----------|
| <b>8</b>  | <b>3</b> |
| <b>9</b>  | <b>2</b> |
| <b>10</b> | <b>8</b> |
| <b>11</b> | <b>5</b> |
| <b>12</b> | <b>7</b> |
| <b>13</b> | <b>3</b> |
| <b>14</b> | <b>2</b> |

Se realizaron mediciones en 30 antenas en 7 zonas de la Ciudad de Guatemala, las Figuras de la 15 a la 25 muestran la ubicación de las estaciones base en donde se realizo la medición.

Figura 15. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 1

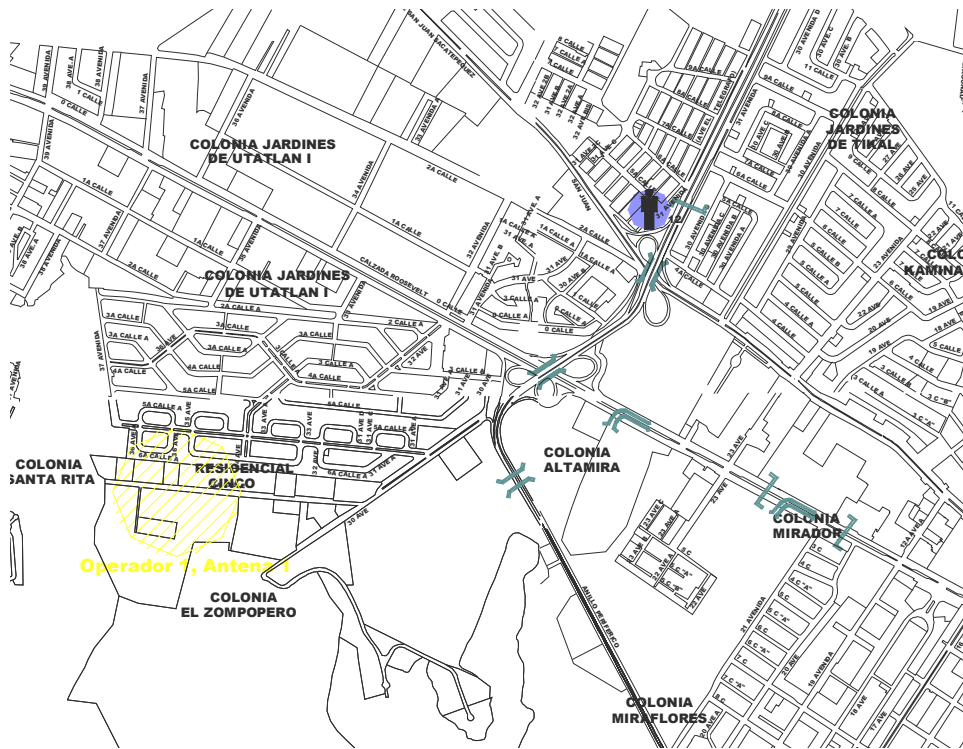


Figura 16. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 2

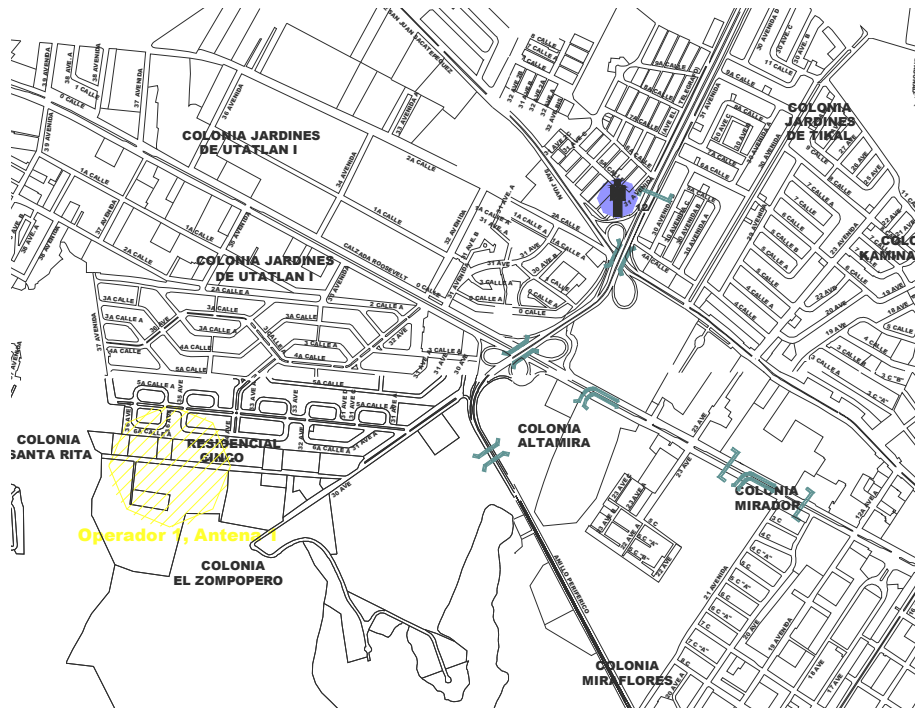


Figura 17. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 3

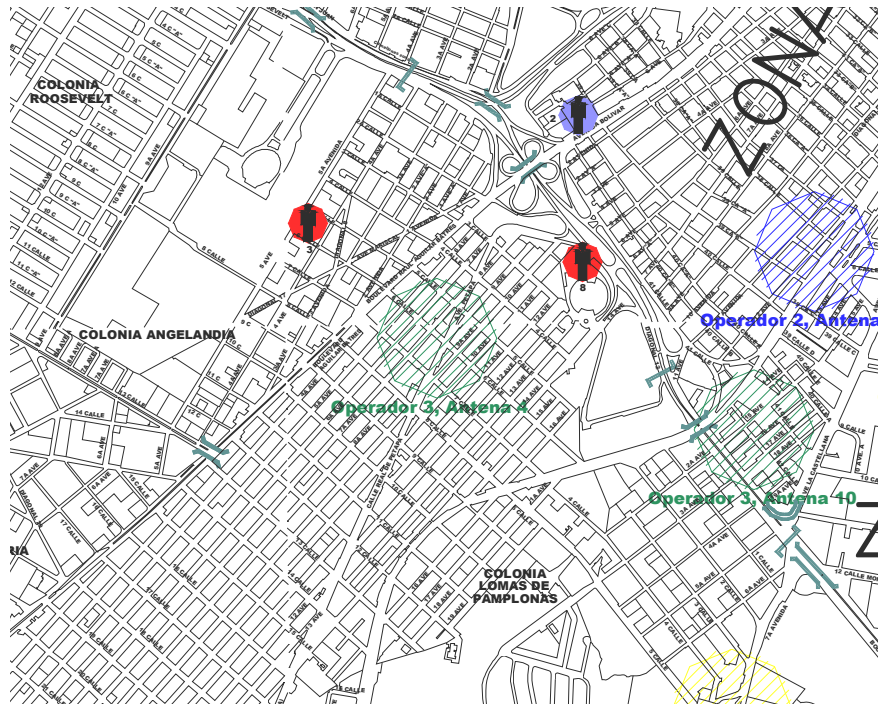


Figura 18. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 4

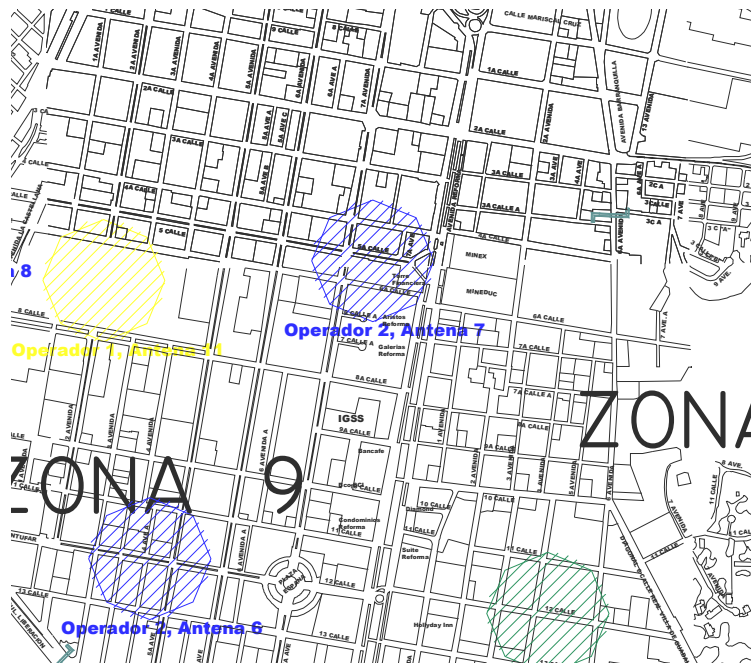


Figura 19. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 5

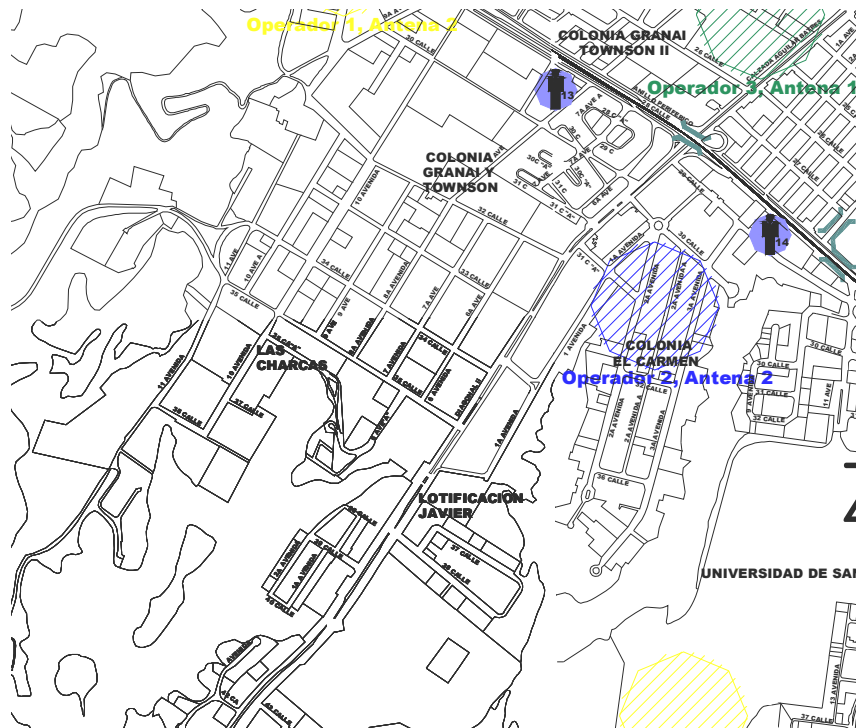


Figura 20. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 6

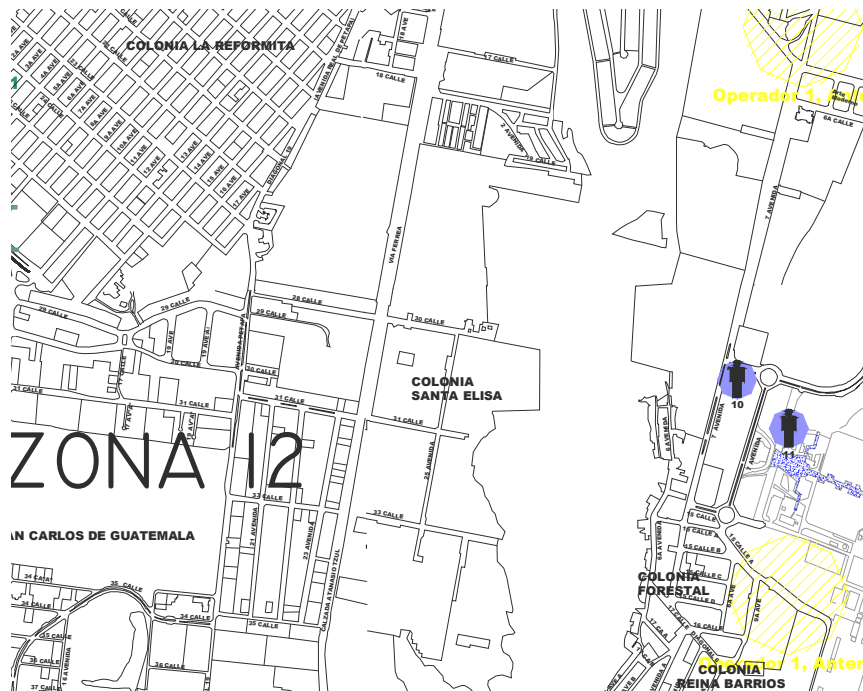




Figura 21. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 7

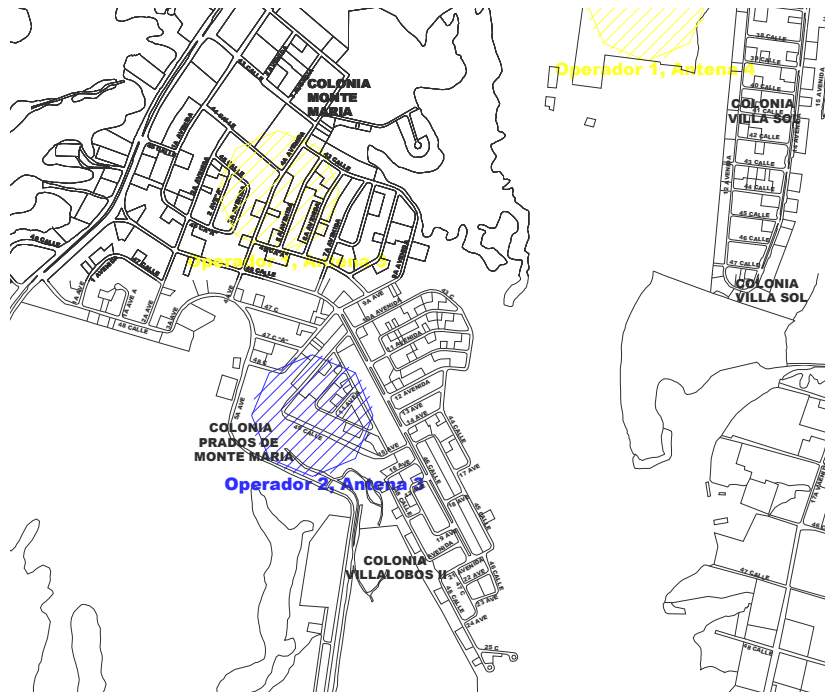


Figura 22. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 8

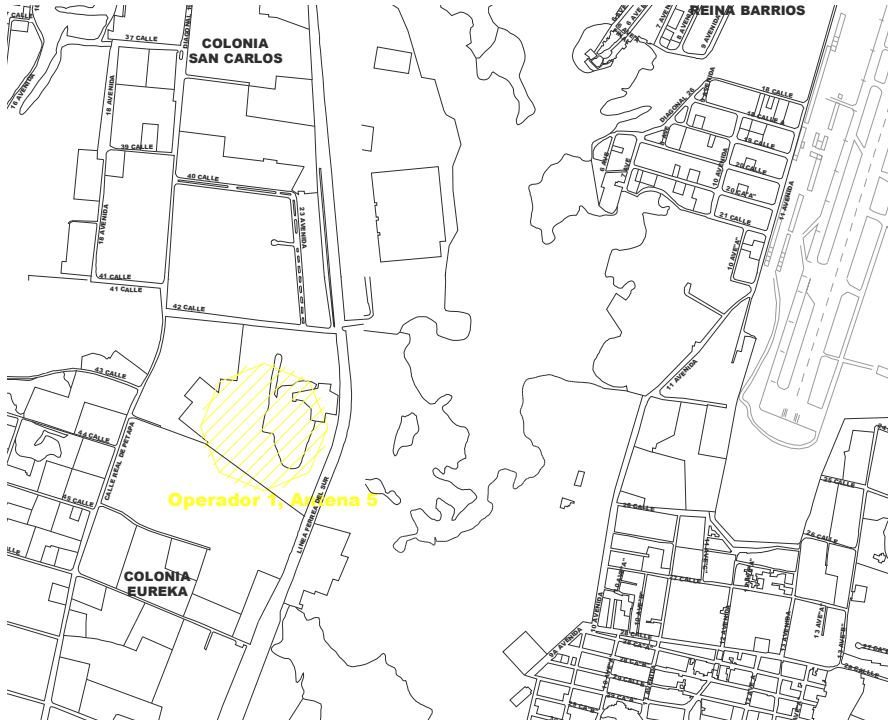


Figura 23. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 9

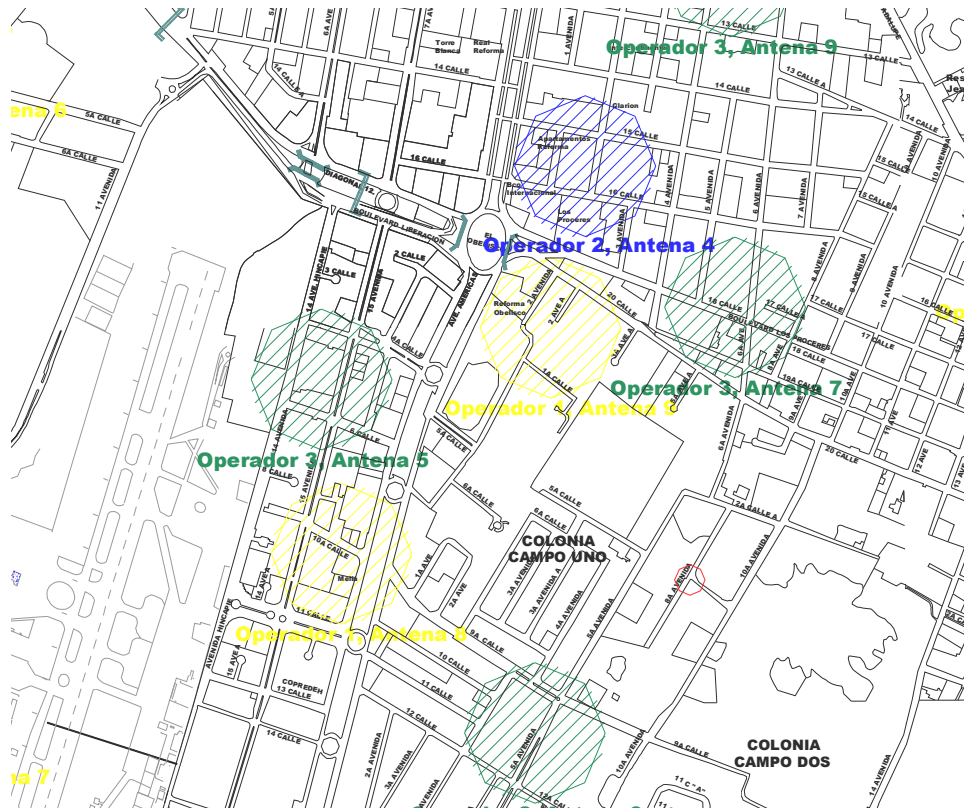


Figura 24. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 10

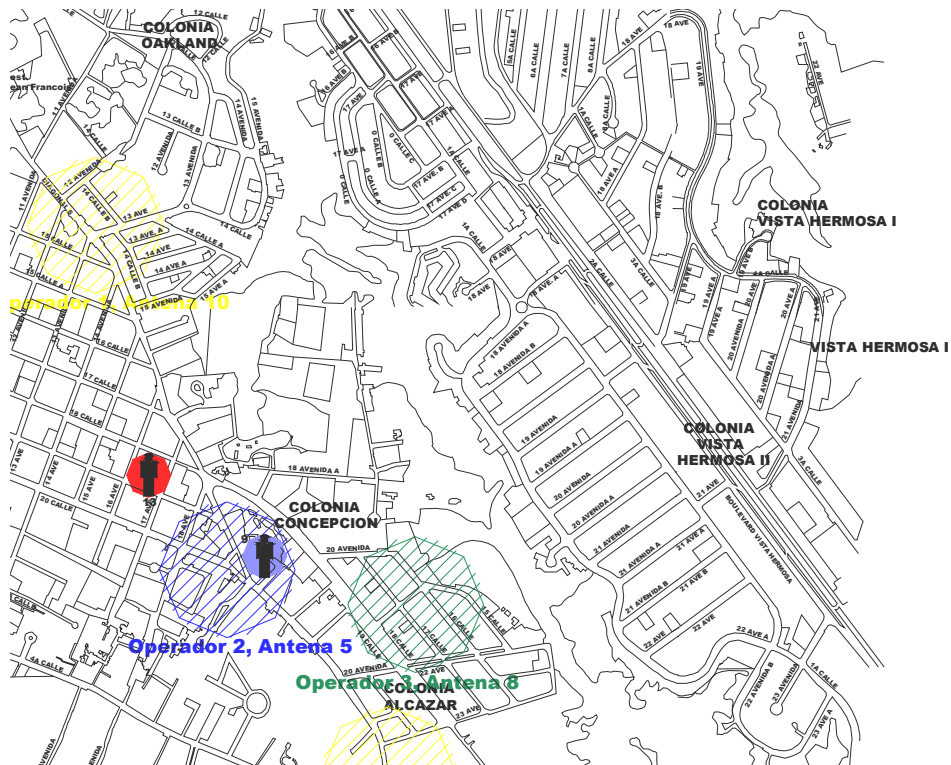
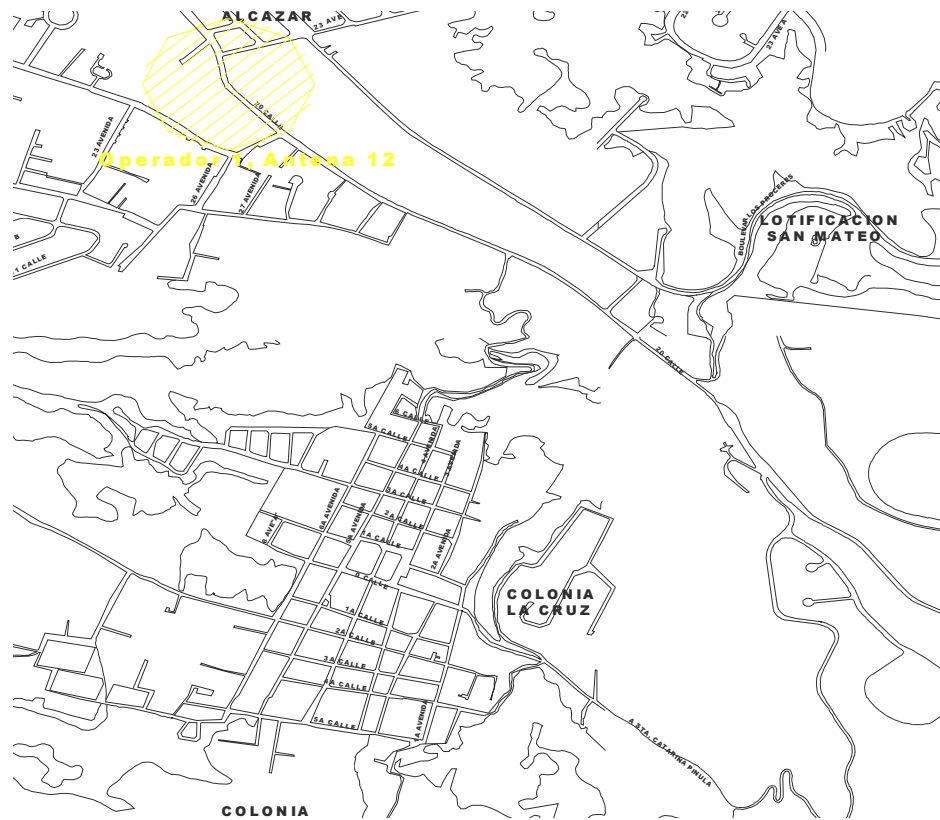


Figura 25. Mapa de la ubicación de las Mediciones Parte 11





## 5. RESULTADOS

En la Tabla XIII se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la medición de la densidad de potencia recibida comparada con el estándar de la ICNIRP, de treinta antenas de estaciones base de telefonía celular, incluyendo en esta el valor máximo, mínimo y el valor promedio de la medición, así como, la frecuencia de la onda y la zona de la ciudad en la que se realizó la medición.

Estos resultados muestran que todas las mediciones estuvieron por debajo del estándar internacional mas bajo, de los estándares que se presentaron.

Tabla XIII. Resumen de los resultados

| Identificación de la Antena |        | Datos de la Antena |      | Diferencia entre la densidad de potencia medida y el estándar ICNIRP en dBm/cm2 |              |                |
|-----------------------------|--------|--------------------|------|---|--------------|----------------|
| Número                      | Nombre | Frecuencia         | Zona | Valor Máximo  | Valor Mínimo | Valor Promedio |
| 1                           | P1-A1  | 1976.25            | 11   | -63.10  | -90.10       | -75.39         |
| 2                           | P1-A2  | 1976.25            | 11   | -70.49  | -92.35       | -79.75         |
| 3                           | P1-A3  | 1976.25            | 12   | -64.46  | -86.85       | -75.11         |
| 4                           | P1-A4  | 1976.25            | 12   | -61.55  | -97.78       | -77.03         |
| 5                           | P1-A5  | 1976.25            | 12   | -60.94  | -83.60       | -74.87         |
| 6                           | P1-A6  | 1976.25            | 13   | -62.39  | -86.57       | -75.06         |
| 7                           | P1-A7  | 1976.25            | 13   | -60.69  | -82.94       | -76.34         |
| 8                           | P1-A8  | 1976.25            | 14   | -62.57  | -105.00      | -84.14         |
| 9                           | P1-A9  | 1976.25            | 10   | -64.74  | -97.47       | -79.81         |
| 10                          | P1-A10 | 1976.25            | 10   | -68.44  | -80.53       | -75.71         |
| 11                          | P1-A11 | 1976.25            | 8    | -66.97  | -97.66       | -85.76         |
| 12                          | P1-A12 | 1976.25            | 10   | -64.36  | -88.47       | -74.54         |
| 13                          | P2-A1  | 1932.5             | 11   | -70.64  | -86.98       | -79.11         |
| 14                          | P2-A2  | 1932.5             | 12   | -72.67  | -89.20       | -81.40         |
| 15                          | P2-A3  | 1932.5             | 12   | -60.32  | -95.70       | -82.98         |
| 16                          | P2-A4  | 1932.5             | 10   | -62.59  | -96.04       | -77.77         |
| 17                          | P2-A5  | 1932.5             | 10   | -60.97  | -103.54      | -85.02         |
| 18                          | P2-A6  | 1932.5             | 9    | -64.09  | -82.26       | -75.45         |
| 19                          | P2-A7  | 1932.5             | 9    | -62.59  | -93.42       | -76.76         |
| 20                          | P2-A8  | 1932.5             | 8    | -68.65  | -88.01       | -78.70         |
| 21                          | P3-A1  | 1951.25            | 11   | -60.76  | -83.04       | -69.05         |
| 22                          | P3-A2  | 1951.25            | 11   | -63.87  | -88.51       | -74.34         |
| 23                          | P3-A3  | 1951.25            | 12   | -60.19  | -75.52       | -67.09         |
| 24                          | P3-A4  | 1951.25            | 12   | -64.29  | -89.82       | -79.78         |
| 25                          | P3-A5  | 1951.25            | 13   | -60.65  | -86.16       | -74.74         |
| 26                          | P3-A6  | 1951.25            | 14   | -62.10  | -94.85       | -79.20         |



Tabla XIII. Continuación.

| Identificación de la Antena |        | Datos de la Antena |      | Diferencia entre la densidad de potencia medida y el estándar ICNIRP en dBm/cm <sup>2</sup> |              |                |
|-----------------------------|--------|--------------------|------|---|--------------|----------------|
| Número                      | Nombre | Frecuencia         | Zona | Valor Máximo  | Valor Mínimo | Valor Promedio |
| 27                          | P3-A7  | 1951.25            | 10   | -60.90  | -86.98       | -74.64         |
| 28                          | P3-A8  | 1951.25            | 10   | -60.24  | -94.94       | -78.01         |
| 29                          | P3-A9  | 1951.25            | 10   | -62.07  | -92.41       | -74.86         |
| 30                          | P3-A10 | 1951.25            | 8    | -63.02  | -87.57       | -78.53         |

### 5.1 Discusión de Resultados

El presente estudio tuvo como fin la verificación del cumplimiento de los parámetros internacionales de radiación de las antenas base de telefonía celular en la Ciudad de Guatemala, por medio de la densidad de potencia; en la cual se determinó que ésta se encuentra por debajo de los límites establecidos por todos los estándares internacionales, utilizados en la evaluación, tomándose por conveniencia, como estándar de comparación, los parámetros dados por la ICNIRP ya que éstos son los estándares más estrictos, es decir los estándares con los valores más bajos de densidad de potencia aceptados.

La normativa tomada como referencia para la comparación de resultados, no es guatemalteca, debido a que en Guatemala, no existe ningún reglamento adoptado oficialmente que limite la exposición humana a la radiación de las estaciones base de telefonía móvil celular, por lo mismo, existe la necesidad de conocer los estándares internacionales más aceptados, los cuales son clasificados en estándares para público en general, quienes no sufren de una exposición continua, y en estándares ocupacionales, en los cuales se contempla el hecho de que en las actividades laborales de las personas puede existir una exposición a dicha radiación mucho mayor.

La investigación fue realizada, por conveniencia, midiendo la densidad de potencia de treinta antenas en siete zonas de la Ciudad de Guatemala. Aunque existen diferentes formas de medir la radiación emitida por las antenas base de telefonía celular, se utilizó la forma práctica por medio de la densidad de potencia, ya que para su determinación no es necesario realizar estudios de laboratorio en los cuales se analice tejido humano, como en el análisis de la Tasa de Absorción Específica (TAE), ya que no se buscó determinar y analizar los daños que la radiación causa a las personas, sino únicamente se buscó determinar si la radiación de dichas antenas cumple con la normativa internacional, concluyéndose de forma indirecta si puede o no afectar la salud humana.

Según los resultados obtenidos, se determinó que el valor máximo de densidad de potencia de las 30 antenas muestreadas es de -60.19 dBm/cm<sup>2</sup>, mientras que el estándar ICNIRP, tomado como base por ser el estándar con valores mas bajos, es de -0.10717 dBm/cm<sup>2</sup>, para público en general, lo cual demuestra que los valores obtenidos no son perjudiciales a la salud, sin embargo, es necesario realizar monitoreos continuos como medida de control de las antenas base de telefonía celular, así como regular y verificar el cumplimiento de la normativa referente a la magnitud de la radiación.

Esta investigación puede tomarse como base para futuras investigaciones en las que se involucre no solo la medición de la radiación, sino también su efecto en las personas por medio de estudios experimentales in Vitro, los cuales, junto con el presente estudio puedan ser utilizados como fundamento de nuevas leyes que rijan todo lo referente a la telefonía celular en Guatemala.



## CONCLUSIONES

1. La radiación electromagnética emitida por las antenas base de telefonía móvil celular, se encuentra dentro de los parámetros establecidos por los estándares internacionales aceptados por las tres distintas normativas que se analizaron.
2. Los valores obtenidos en la medición presentan un documento de base para cualquier futura investigación y normativa al respecto de la densidad de potencia emitida por las antenas base de telefonía móvil.



## **RECOMENDACIONES**

1. El presente trabajo puede ser utilizado como una guía para la realización de nuevas investigaciones acerca de la radiación emitida por las antenas base de telefonía celular.
2. Impulsar una normativa de ley que establezca, basándose en estudios y estándares internacionales, los parámetros aceptados como no perjudiciales para la salud de la población.





## BIBLIOGRAFÍA

1. Agilent. ***E6474A-740 Wireless application measurement software data sheet.*** Agilent Technologies, Inc. 2005.
2. Agilent. ***E6474A Wireless network optimization platform for GSM and GPRS data sheet.*** Agilent Technologies, Inc. 2002.
3. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency. ***Radio frequency EME exposure levels – Prediction methodologies.*** ARPANSA. Australia. 2002
4. Bengt Knave, **Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo.** Capitulo 49: Radiaciones No Ionizantes, Riesgos Generales. Estados Unidos. 2000.
5. Collin, Robert E. ***Antennas and radiowave propagation.*** Editorial McGraw-Hill. 1985.
6. Comisión de Regulación de Telecomunicaciones – CRT. **Proyecto estudio de los límites de la exposición humana a campos electromagnéticos producidos por antenas de telecomunicaciones y análisis de su integración al entorno.** Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 2002.
7. Federal Communications Commission (FCC). ***Evaluating compliance with fcc guidelines for human exposure to radiofrequency electromagnetic fields.*** OET Bulletin 65. Estados Unidos. 1997.
8. Federal communications commission (FCC). ***Questions and***

**answers about biological effects and potential hazards of radiofrequency electromagnetic Fields.** OET Bulletin 56. Estados Unidos. 1999.

9. Grote, Waler y Ricardo Olivares V. **Radiación de estación base PCS-GSM.** Universidad Técnica Federico Santa María. Chile. 1998.
10. Halliday, David y otros. **Física.** Cuarta edición, Vol. 2. Editorial Continental, México, 1996.
11. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. **Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz).** Vol. 74. No 4. Estados Unidos. 1998.
12. Institute of Electrical and Electronics Engineers. **Recommended practice for the measurement of potentially hazardous electromagnetic fields - RF and microwave.** Std C95.3.1992. Estados Unidos. 1992
13. Institute of Electrical and Electronics Engineers. **Standard for safety level with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields, 3kHz to 300GHz.** Std C95.1-1991 - 1999. Estados Unidos. 1992
14. Kinley, Harold. **Conversions for RF exposure measurements.** Estados Unidos. 1998.
15. Moran Vaquero, Manuel y otros. **Introducción a la radioafición.** Universidad de Vigo. España. 1999.
16. Murillo Fuentes, Juan Jose. **Radiación y radiocomunicación.** Universidad de Sevilla. España. 2004.
17. National Institute of Environmental Health Sciences. **NIEHS Report**

***on health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields.*** Publication No. 99-4493. National Institutes of Health NIH. Estados Unidos. 1999.

18. National Radiological Protection Board. ***Health effects from radiofrequency electromagnetic Fields.*** Vol. 14. No2. Documents of the NRPB. Estados Unidos. 2003.
19. National Radiological Protection Board. ***Review of scientific evidence for limiting exposure to electromagnetic fields 0 -300 GHz.*** Vol. 15 No3. Documents of the NRPB. Estados Unidos. 2004.
20. Universidad Santo Tomas. **Investigación sobre sistemas de Comunicaciones móviles y PCS.** Universidad Santo Tomás. Bogotá, Colombia. 2003.
21. Valdez, Alberto D. - Del Valle, Eduardo E. **Consideraciones sobre mediciones de densidad de potencia total en proximidades de antenas para telefonía celular.** UNNE. 2000
22. World Health Organization, International Radiation Protection Association. ***Electromagnetic fields 300 Hz –300GHz.*** Geneva: World Health Organization. 1993.

### **Bibliografía Electronica**

1. [www.agilent.com](http://www.agilent.com)
2. [www.andrew.com](http://www.andrew.com)
3. [www.fda.gov/cellphones](http://www.fda.gov/cellphones)
4. [www.gea-es.org/electromagnetismo](http://www.gea-es.org/electromagnetismo)

5. [www.grn.es/electropolucio](http://www.grn.es/electropolucio)
6. [www.katherin.com](http://www.katherin.com)
7. [www.nrpb.org](http://www.nrpb.org)
8. [www.terra.es/personal/kirke1/pagact.htm](http://www.terra.es/personal/kirke1/pagact.htm)
9. [www.who.int/peh-emf/index.html](http://www.who.int/peh-emf/index.html)
10. [ewh.ieee.org/soc/embs/comar/base.htm](http://ewh.ieee.org/soc/embs/comar/base.htm)

## **APÉNDICE 1 EFECTOS DE LA RADIACIÓN NO IONIZANTE EN LA SALUD**

En los últimos años, el incremento de la telefonía móvil, es sin precedentes, estos avances tecnológicos han suscitado preocupación por los posibles riesgos sanitarios asociados a su uso.

Informes científicos han sugerido que la exposición a los campos electromagnéticos emitidos por estos aparatos, podría tener efectos perjudiciales para la salud, tales como: cáncer, reducción de la fecundidad, pérdida de memoria y cambios negativos en el comportamiento y desarrollo de los niños, sin embargo, la amenaza real de riesgo tanto sanitario como biológico no es conocida, aunque para determinados campos electromagnéticos y en los niveles detectados en la comunidad podría ser muy baja o inexistente. La absorción de energía de los campos de RF por parte de los tejidos se mide según la tasa específica de absorción (TAE) en una masa de tejido dada.

Existe evidencia experimental de efectos de la exposición a radiaciones de RF intensas que no parecen debidos a calentamiento de los tejidos. Algunos de estos efectos son los siguientes:

- efectos térmicos
- efectos no térmicos
- efectos sobre el sistema nervioso

Las antenas de RF de las estaciones de base se encuentran a una altura que, generalmente, es de 24 a 48 m o sobre un edificio. Cada una de esas antenas emite un rayo de RF bien delimitado que es aproximadamente paralelo al suelo y está representado por su diagrama de radiación. Dada la escasa amplitud vertical del rayo, la intensidad del campo de RF sobre el suelo directamente debajo de la antena es escasa y disminuye rápidamente al alejarse de ella. A cualquier distancia, los niveles en el suelo del campo de RF de las estaciones de base se hallan bien por debajo de los límites marcados por las directrices internacionales para la exposición del público en general, como se mostró en los resultados de este informe.

Las ondas electromagnéticas conllevan el peligro de efectos biológicos que pueden, a veces, desembocar en efectos adversos para la salud. La exposición a microondas con débiles densidades de potencia parece provocar trastornos neurasténicos en el hombre, con padecimientos subjetivos como cefalea, fatiga, debilidad, mareos, malhumor, confusión e insomnio.

En animales se han observado cambios en los reflejos condicionados y la conducta con exposiciones crónicas o repetidas. Aunque la hipótesis térmica continúa vigente, el aumento de la pérdida de calcio en el tejido encefálico, causado por una modulación específica de amplitud, no podría ser explicado.

Algunos científicos, han reportado efectos debido al uso de teléfonos móviles que incluyen cambios en la actividad normal del cerebro, en el tiempo de reacción y en los patrones de sueño. Estos efectos son mínimos y no tienen aparente significado en la salud. En estudios epidemiológicos sobre población, pudieron verificarse casos de cataratas con exposiciones a densidades sobre los  $100 \text{ mW/cm}^2$ , estos valores no son alcanzados por ninguna de las treinta antenas en las que se realizó la medición de la densidad de potencia.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) es uno de estos organismos internacionales que tiene un programa llamado International Electromagnetic Fields (EMF) Project, establecido en 1996. Este programa revisa los resultados de investigaciones y realiza evaluaciones de riesgo de exposiciones a campos eléctricos y magnéticos estáticos y de frecuencias ultra bajas (ELF).

Si bien, la Organización Mundial de la Salud (OMS) reconoce que aún no existen estudios epidemiológicos de calidad para evaluar los riesgos en la salud que causa la exposición a la radiofrecuencia, advierte que algunos de ellos ya han demostrado que sus campos aceleran el desarrollo de tumores en el pulmón, cáncer mamario y de piel, hematomas y sarcoma, por esta razón, es necesario crear una regulación nacional para la emisión de radiofrecuencia de las estaciones base de telefonía móvil.

La normativa aplicable debe exigir que todas las estaciones base estén dentro de los límites estipulados, para ello se deben establecer elementos de control necesarios para garantizar los niveles aceptables de radiación, tanto para el público en general como para las personas cuya ocupación es el mantenimiento de estas estaciones, como elementos de control se podrían utilizar los siguientes:

- mediciones de las emisiones, y
- generar informes de conocimiento público de las densidades de potencia permisibles en la normativa y las mediciones realizadas por la entidad responsable para su verificación.

Como conclusión, es necesario que todos los agentes involucrados aseguren que todas las emisiones radioeléctricas, de todos los operadores y en todas las bandas de frecuencia, cumplen con los límites establecidos.