

# **NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNETICO PRESENTES EN LAS ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES.**

## **INFORME DE AVANCE DEL TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

Presentada ante la

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**

Como parte de los requisitos para optar al título de

**INGENIERIO EN TELECOMUNICACIONES**

**REALIZADO POR:**

**Andrea Quintana**

**Oralip Sepúlveda**

**TUTOR:**

Ing. Nicola Buonanno

Caracas, febrero de 2013





UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

**NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNETICO  
PRESENTES EN LAS ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

Presentado ante la

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**

Como parte de los requisitos para optar al título de

**INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES**

**REALIZADO POR**

*Br. Quintana, Andrea*

*Br. Sepúlveda, Oralip Ivanna*

**PROFESOR GUÍA**

*Ing. Buonanno, Nicola*

**FECHA**

*Febrero de 2013*





UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

## **NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNETICO PRESENTES EN LAS ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES**

**REALIZADO POR**

*Br. Quintana, Andrea*

*Br. Sepúlveda, Oralip Ivanna*

**PROFESOR GUÍA**

*Ing. Buonanno, Nicola*

**FECHA**

*Febrero de 2013*





UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

## NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNETICO PRESENTES EN LAS ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado:

---

JURADO EXAMINADOR

Firma:

Firma:

Firma:

Nombre: \_\_\_\_\_ Nombre: \_\_\_\_\_ Nombre: \_\_\_\_\_

**REALIZADO POR**

*Br. Quintana, Andrea*

*Br. Sepúlveda, Oralip Ivanna`*

**PROFESOR GUÍA**

*Ing. Buonanno, Nicola*

**FECHA**

*Febrero de 2013*



## RESUMEN

Con el crecimiento acelerado de las tecnologías, se ha desarrollado e implementado conexiones inalámbricas entre equipos electrónicos, llegando al punto de evitar el uso de estructuras de cableado. El enrutador o *router* es uno de estos equipos que frecuentemente es usado en hogares y oficinas, debido a que mediante el uso de un enlace de microondas a 2.4Ghz de frecuencia permite el acceso a una red de internet, este mecanismo de comunicación inalámbrica es conocido como *Wi-Fi*.

La exposición continua de los seres humanos frente a equipos como éste, que emiten radiaciones de campo electromagnético, está ocasionando actualmente un incremento en las preocupaciones respecto a la incidencia de la radiación en la salud. Debido al incremento de esta preocupación en lo referente a la relación entre las radiaciones y la salud surge el presente trabajo, en el cual se expondrán los cálculos de las potencias emitidas por la antena que posee un *router Wi-Fi* a diferentes distancias, así como simulaciones mediante un código de *MATLAB* que permita determinar el índice de absorción a partir de la potencia recibida a cada distancia, para posteriormente mostrar la comparación de los resultados obtenidos con la tabla que nos indica la tasa de absorción específica aceptada por la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizantes. Y finalmente basados en investigaciones previas establecer los efectos que los valores obtenidos tienen en la salud de los seres humanos, tomando en cuenta tanto la información suministrada por el *ICNIRP* como de otras investigaciones.

Palabra claves: Enrutador, *WI-FI*, Antena omnidireccional, Radiaciones, Salud.

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

---

## DEDICATORIA

A mis padres María del Carmen e Isaac, quienes han sido una parte importante de mi vida, por siempre apoyarme y ayudarme en todos los momentos importantes, en especial esta etapa universitaria. A mis abuelos Josefa y Francisco por creer siempre en mí y acompañarme siempre. Gracias a todos por sus esfuerzos que hicieron posible alcanzar esta meta.

A mi hermana Astrid, por ser además mi mejor amiga y la mejor hermana que alguien podría pedir, gracias por estar siempre disponible para mí. A mis abuelos Clara y Orlando y a mis bisabuelas Sofía y María por formar parte de mi vida aunque su presencia física no este, su espíritu siempre seguirá con nosotros.

A mis amigas y amigos, personas importantes que he conocido en diferentes etapas de mi vida pero se han convertido en una constante en ella, sirviendo de apoyo, compañía y ejemplo en las situaciones importantes. Gracias por todo el apoyo y por toda la ayuda que me han brindado.

Y principalmente a Dios y a la Virgen por hacer posible este logro, por darme fuerza e iluminar mi camino.

*Andrea Quintana González*

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

---

## **DEDICATORIA**

A mis padres Victoria e Iván por ser mis guías y mentores durante mi desarrollo, tanto en mi vida y a lo largo de mis estudios.

A mis hermanas Geraldine y Anastasia, quienes me inspiran para ser el mejor ejemplo para ellas.

A mi mejor amiga Meilin, quien siempre está allí para apoyarme y ayudarme cuando y donde lo necesite.

A mis amigos y amigas, quienes siempre están acompañándome en los momentos más importantes de mi vida.

Gracias a cada uno de ustedes quienes siempre estuvieron apoyándome durante mi vida universitaria.

*Oralip Ivanna Sepúlveda Mendoza*

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

---

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a todos aquellos quienes con su apoyo hicieron posible la realización de este Trabajo Especial de Grado.

Al Ingeniero Nicola Buonnano, por brindarnos todo su apoyo así como su colaboración a lo largo de todo este proyecto.

A la Ingeniero Stephanie Cafiero, por ser parte fundamental en el cumplimiento de los objetivos planteados para este proyecto.

A nuestras amigas Yenmari Diaz y María Fabiola Santiago, por toda la ayuda que nos brindaron no solo a lo largo del desarrollo del proyecto, sino durante todo el transcurso de nuestras carreras.

A nuestros padres y hermanos por todo su apoyo.

A nuestros amigos que estuvieron siempre presentes para ayudarnos cuando lo necesitábamos.

A todos muchísimas Gracias.

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

---

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
DEDICATORIA .....	iii
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	3
Planteamiento del Proyecto.....	3
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Objetivos .....	4
1.2.1 Objetivo General.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos .....	4
1.3 Limitaciones y Alcances .....	5
1.4 Justificación.....	5
CAPÍTULO II .....	7
Marco Referencial.....	7
II.1 Antecedentes.....	7
II.2 Campo Electromagnético.....	12
II.3 Vector de Poynting .....	13
II.4 Antenas .....	13
II.4.1 Antenas Omnidireccionales .....	14
II.4.2 Diagrama de Radiación .....	14
II.4.3 Potencia Radiada.....	15
II.4.4 Ganancia.....	15
II.4.5 Eficiencia.....	16
II.4.6 Área Efectiva.....	16

II.4.7 Ancho de Banda Útil .....	16
II.5 Contaminación Electromagnética .....	16
II.6 Tasa de Absorción Específica (Specific Energy Absorption, <i>SAR</i> ).....	16
II.7 Radiaciones Ionizantes.....	17
II.8 Radiaciones No Ionizantes .....	17
II.9 Relación Señal a Ruido (S/N) .....	18
II.10 Compatibilidad Electromagnética .....	18
II.11 Enrutador.....	18
II.11.1 <i>Firmware</i> .....	19
II.12 Recomendaciones para limitar la exposición a los CEM.....	19
II.12.1 Limitaciones en la exposición ocupacional y del público en general..	19
II.12.2 Restricciones básicas y niveles de referencia.....	19
II.12.3 Restricciones básicas .....	20
II.12.4 Niveles de referencia .....	21
CAPÍTULO III .....	23
Marco Metodológico .....	23
III.1 Tipo de Investigación.....	23
III.2 Metodología Aplicada.....	23
CAPÍTULO IV .....	27
Desarrollo .....	27
IV.1 Descripción y estudio de las fórmulas utilizadas.....	27
IV.2 Estudio de los parámetros de los Simuladores .....	29
IV.3 Cálculo de los niveles de radiación .....	32
IV.4 Descripción del código para simulación <i>MATLAB</i> .....	39
IV.5 Descripción del <i>Router</i> utilizado .....	41
CAPITULO V .....	43
Análisis de resultados .....	43
V.I Análisis de los cálculos teóricos .....	43
V.2 Análisis de los resultados obtenidos en la simulación .....	48
V.3 Comparación de los resultados .....	60

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

---

V.4 Análisis de la tasa de absorción específica ( <i>SAR</i> ) .....	65
V.5 Configuración del <i>router</i> .....	65
CAPÍTULO VI.....	67
Conclusiones .....	67
RECOMENDACIONES .....	69
BIBLIOGRAFÍA .....	71
APENDICE A .....	73
EFECTOS EN LA SALUD DE LOS SERES HUMANOS.....	73
APENDICE B .....	83
ASPECTOS TÉCNICOS DEL <i>ROUTER</i> LINKSYS WRT54G.....	83
APENDICE C .....	87
ESTÁNDARES DE EXPOSICIÓN PÚBLICA DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS BASÁNDOSE EN LA BIOLOGÍA.....	87

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del Marco Referencial.....	7
Figura 2. Diagrama de radiación tridimensional.....	14
Figura 3. Diagrama de radiación en coordenadas polares.....	15
Figura 4. Diagrama de radiación en coordenadas cartesianas.....	15
Figura 5. Niveles de referencia <i>ICNIRP</i> para exposición a campos eléctricos variables en el tiempo.....	22
Figura 6. Niveles de referencia <i>ICNIRP</i> para exposición a campos magnéticos variables en el tiempo.....	22
Figura 7. Diagrama de la Metodología usada.....	24
Figura 8. Interfaz gráfica de <i>MATLAB</i> .....	29
Figura 9. Ventana del editor <i>M-File</i> .....	30
Figura 10. Ventana <i>help</i> del <i>software MATLAB</i> .....	31
Figura 11. Ventana <i>save file as</i> de <i>MATLAB</i> .....	31
Figura 12. Ventana <i>workspace</i> con arreglo de resultados.....	32
Figura 13. Línea de código con función <i>INPUT</i> (arriba), interfaz del simulador (abajo).....	39
Figura 14. Líneas de código con función <i>WHILE</i> (arriba), interfaz del simulador (abajo).....	40
Figura 15. Líneas de código con ciclo principal <i>WHILE</i> .....	40
Figura 16. <i>Router Linksys</i> modelo <i>WRT54G V8</i> .....	42
Figura 17. Gráfica Teórica Pérdidas por Espacio Libre vs Distancia.....	43
Figura 18. Gráfica Teórica Potencia Recibida en dBm vs distancia.....	44
Figura 19. Gráfica Teórica Potencia Recibida en watts vs Distancia.....	44
Figura 20. Gráfica Teórica Poynting vs Distancia.....	45
Figura 21. Gráfica Teórica Campo Eléctrico al cuadrado vs Distancia.....	45
Figura 22. Gráfica Teórica <i>SAR</i> vs Distancia con densidad y conductividad del tejido mínimas.....	46
Figura 23. Gráfica Teórica <i>SAR</i> vs Distancia con conductividad mínima y densidad máxima del tejido.....	46
Figura 24. Gráfica Teórica <i>SAR</i> vs Distancia con conductividad máxima y densidad mínima del tejido.....	47
Figura 25. Gráfica Teórica <i>SAR</i> vs Distancia con densidad y conductividad del tejido máximas.....	47

Figura 26. Resultados de <i>MATLAB</i> en el <i>Command Window</i> .....	48
Figura 27. Resultados de <i>MATLAB</i> en el <i>Workspace</i> .....	49
Figura 28. Gráfica Simulación Pérdidas por Espacio Libre vs Distancia .....	55
Figura 29. Gráfica Simulada Potencia Recibida en dBm vs distancia .....	56
Figura 30. Gráfica Teórica Potencia Recibida en watts vs distancia.....	56
Figura 31. Gráfica Simulada Poynting vs distancia .....	57
Figura 32. Gráfica Simulada Campo Eléctrico al cuadrado vs distancia .....	57
Figura 33. Gráfica Simulación <i>SAR</i> vs Distancia con densidad y conductividad del tejido mínimas .....	58
Figura 34. Gráfica Simulación <i>SAR</i> vs distancia con conductividad mínima y densidad máxima del tejido .....	58
Figura 35. Gráfica Simulación <i>SAR</i> vs distancia con conductividad máxima y densidad mínima del tejido.....	59
Figura 36. Gráfica Simulación <i>SAR</i> vs distancia con densidad y conductividad del tejido máximas.....	59
Figura 37. Comparación de las Pérdidas por Espacio Libre vs Distancia, valor teórico y simulado por <i>MATLAB</i> .....	60
Figura 38. Comparación de la Potencia Recibida en dBm vs distancia, valor teórico y simulado por <i>MATLAB</i> .....	61
Figura 39. Comparación de la Potencia Recibida en watts vs Distancia, valor teórico y simulado por <i>MATLAB</i> .....	61
Figura 40. Comparación de Poynting vs Distancia, valor teórico y simulado por <i>MATLAB</i> .....	62
Figura 41. Comparación del Campo Eléctrico al cuadrado vs Distancia, valor teórico y simulado por <i>MATLAB</i> .....	62
Figura 42. Comparación del <i>SAR</i> vs Distancia con densidad y conductividad del tejido minimas, valor teórico y simulado por <i>MATLAB</i> .....	63
Figura 43. Comparación del <i>SAR</i> vs Distancia con conductividad mínima y densidad máxima del tejido, valor teórico y simulado por <i>MATLAB</i> .....	63
Figura 44. Comparación del <i>SAR</i> vs Distancia con conductividad máxima y densidad mínima del tejido, valor teórico y simulado por <i>MATLAB</i> .....	64
Figura 45. Comparación del <i>SAR</i> vs Distancia con densidad y conductividad del tejido máximas, valor teórico y simulado por <i>MATLAB</i> .....	64
Figura 48. Efectos de los Campos Electromagnéticos en el Cuerpo Humano .....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Restricciones básicas para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos para frecuencias hasta 10 GHz.....	20
Tabla 2. Niveles de referencia para exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos (valores <i>rms</i> no perturbados) .....	21
Tabla 3. Niveles de referencia para exposición poblacional a campos eléctricos y magnéticos (valores <i>rms</i> no perturbados) .....	21
Tabla 4. Descripción de las fases realizadas .....	26
Tabla 5. Valores Teóricos obtenidos (parte I).....	36
Tabla 6. Valores Teóricos obtenidos (parte II) .....	39
Tabla 7. Valores Simulados obtenidos (Parte I).....	52
Tabla 8. Valores simulados obtenidos (Parte II).....	55
Tabla 9. Relación entre las zonas del espectro y los efectos adversos en la salud (parte I). .....	79
Tabla 10. Relación entre las zonas del espectro y los efectos adversos en la salud (parte II). .....	80

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

---

## INTRODUCCIÓN

La radiación electromagnética está presente en muchos aspectos de la vida diaria de los seres humanos, generando polémicas con respecto a que efectos tiene en la salud de los mismos la constante exposición a esta radiación. Uno de los aspectos más discutidos, son los efectos causados por la radiación electromagnética emitida por las antenas *Wi-Fi*, tanto las transmisoras presentes en los *routers* o enrutadores, como en las receptoras presentes en los equipos que soportan esta tecnología. Las antenas *Wi-Fi* son antenas omnidireccionales que según el enrutador observado poseen diferentes configuraciones con respecto al área efectiva, la potencia de transmisión, entre otras propiedades, manteniendo como característica fija la frecuencia en la que opera, la cual es la típica de la tecnología *Wi-Fi*, es decir 2.4 GHz.

La necesidad de buscar respuestas a estas polémicas y discusiones fue lo que inspiró la elaboración de este Trabajo Especial de Grado, que busca calcular la cantidad de potencia radiada por una antena *Wi-Fi* omnidireccional existente en un *router* comúnmente hallado en áreas locales o de oficina y a través de investigaciones previas indicar que efectos tiene sobre el ser humano.

Este tomo se encuentra estructurado en seis capítulos y tres apéndices. El capítulo uno define lo que es el planteamiento del problema, en el cual se define brevemente el mismo. Se indica el proyecto con sus objetivos, alcances y limitaciones, además, se incluye la justificación de porque realizar esta investigación. En el segundo capítulo corresponde al marco teórico y en el mismo se encuentra una breve explicación de la teoría y demás conocimientos que son necesarios para desarrollar el proyecto.

El capítulo tres presenta la metodología que fue aplicada para llevar a cabo el desarrollo del proyecto, dicho capítulo corresponde al marco metodológico. En el

capítulo cuatro se encuentra el desarrollo de la investigación, en el cual se exponen los estudios, pruebas y procedimientos que se llevaron a cabo a lo largo del proyecto.

En el capítulo cinco se encuentran los análisis de los resultados obtenidos en la simulación y cálculos teóricos realizados a lo largo del proyecto de investigación. Por otra parte en el capítulo seis se encuentran las conclusiones y recomendaciones obtenidas con este Trabajo Especial de Grado.

El apéndice A profundiza en el tema de los efectos que las radiaciones tienen en la salud de los seres humanos. El apéndice B describe las especificaciones del *router* utilizado para llevar a cabo el proyecto. Finalmente el apéndice C menciona los aspectos más importantes de la investigación *BioInitiative*, la cual describe los estándares de exposición pública de los campos electromagnéticos basándose en la biología.

El estudio de los efectos que la radiación de los campos electromagnéticos produce en los seres humanos, se ha vuelto una parte esencial de las investigaciones realizadas en el área de la tecnología y más específicamente en el área de las telecomunicaciones, esto debido a que se ha hecho frecuente el uso de celulares inteligentes, tabletas, *notebooks* y muchos más artículos electrónicos desarrollados en los últimos años. Se invita a leer y a profundizar de este tema que seguramente dentro de poco será de mayor interés público.

# CAPÍTULO I

## Planteamiento del Proyecto

En el presente capítulo se describirá de una manera completa y detallada lo referente al planteamiento del problema, el objetivo general y los objetivos específicos, la justificación, así como los alcances y las limitaciones que abarca la investigación de este Trabajo Especial de Grado.

### 1.1 Planteamiento del Problema

Con la nueva preocupación que surge a nivel mundial referente a la contaminación electromagnética crecieron las interrogantes: ¿Está la radiación producida por las diferentes antenas afectando la salud de los seres humanos?, ¿Qué tan graves son las consecuencias que la contaminación electromagnética trae a nuestro planeta?, entre muchas otras.

Con estas interrogantes, la cantidad de investigaciones y estudios que buscan determinar los efectos de las radiaciones sobre los seres humanos se han visto incrementados, esto con el fin de determinar el daño que podría causar a los seres humanos con la exposición prolongada a dichas radiaciones, las cuales son utilizadas para la mayoría de los sistemas de telecomunicaciones del mundo.

Con este trabajo se desea analizar los niveles de radiación de campo electromagnético presente en las antenas omnidireccionales, que se encuentran en los enrutadores (*router*) utilizados principalmente en empresas y hogares. Se plantea estudiar, de manera teórica y mediante simulación, el campo electromagnético presente en el patrón de radiación de dichas antenas y por consiguiente en la potencia radiada, y así, basándonos en trabajos previos, establecer el posible efecto que el

mismo campo tiene en los seres humanos, tomando en cuenta su intensidad y la frecuencia a la que operan estas antenas.

Además se propone evaluar, si existe, un mejor desempeño en cuanto a instalación y ganancia para disminuir los efectos negativos que pueda tener la radiación de este tipo de antenas sobre el cuerpo humano.

## **1.2 Objetivos**

En el siguiente apartado se presentan los objetivos que se desean alcanzar a través de la presente investigación, los mismos abarcan todos los estudios y simulacros realizados para la culminación del Trabajo Especial de Grado.

### **1.2.1 Objetivo General**

Determinar teóricamente y mediante simulación los niveles de radiación de campo electromagnético presentes en las antenas *Wi-Fi* omnidireccionales, así como establecer el impacto de la misma en la salud de los seres humanos, basándonos en investigaciones previas.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar la investigación documental sobre antenas *Wi-Fi* Omnidireccionales.
- Determinar teóricamente los niveles de radiación de campo electromagnético, a través de la potencia radiada por las antenas *WiFi* omnidireccionales tomando en cuenta el patrón de radiación de las mismas.
- Escoger el *software* que nos permita realizar de manera eficiente la simulación del nivel de radiación de campo electromagnético.
- Diseñar el código que será utilizado para la simulación.
- Hacer una revisión bibliográfica de los efectos de las radiaciones en los seres humanos.
- Realizar la comparación de los resultados teóricos con los resultados obtenidos mediante la simulación.

- Modificar la configuración de estas antenas de modo que permita disminuir los efectos de la radiación en los seres humanos, de existir dichos efectos, sin que se afecte el desempeño de las mismas.
- Establecer según los resultados obtenidos cual podría ser el efecto de la radiación de estas antenas en los seres humanos.

### **1.3 Limitaciones y Alcances**

Este trabajo de grado incluye cálculos teóricos y simulaciones de la radiación del campo electromagnético generado por las antenas *Wi-Fi* normalmente de uso local en áreas no mayores a los 100m<sup>2</sup>. Una limitación que se presentó al momento de configurar la antena es que no todas las tarjetas (interfaces) de red inalámbrica se pueden modificar; todo depende de las restricciones del fabricante. Así mismo no a todos los enrutadores se les puede cambiar los niveles de potencia de transmisión u otras características, lo que podría originar que no exista forma de disminuir los niveles de radiación.

Además, los niveles de radiación no fueron medidos de manera práctica, esto por no contar con un gaussímetro que funcione a la frecuencia de 2.4 GHz, por esta razón dichos niveles solo fueron calculados de forma teórica y simulados.

Dentro de los alcances de este proyecto no se encuentra el diseño y simulación de la antena en sí, debido a su complejidad a la hora de ser diseñada en los simuladores y su irrelevancia con respecto a los objetivos propuestos.

### **1.4 Justificación**

En los últimos años se ha incrementado la preocupación en lo referente a los efectos que la exposición continua y prolongada a los distintos niveles de radiación pueden producir en los seres humanos. Esto ha originado un sin número de investigaciones cuyo objetivo es determinar dichos efectos.

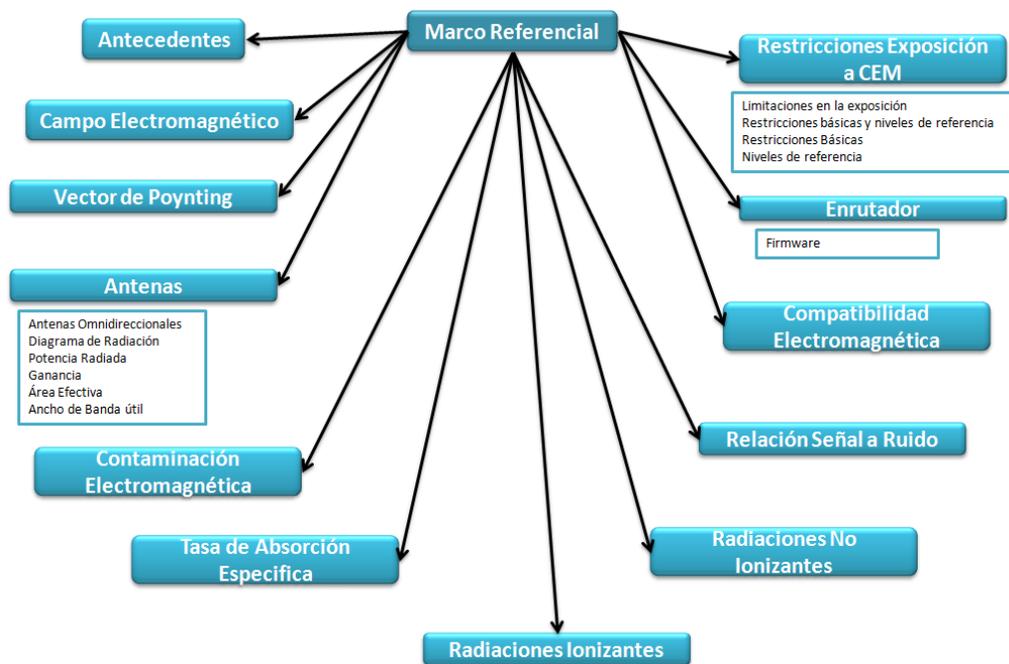
En este trabajo especial de grado se requiere obtener los niveles de radiación producida por las antenas *Wi-Fi* omnidireccionales. Estas antenas son las utilizadas comúnmente en nuestros hogares. Posteriormente se busca establecer los efectos que pueden ocasionarse en los seres humanos debido a la exposición a dicha radiación.

Así mismo se busca en el caso de existir, realizar modificaciones en el enrutador y/o dispositivo inalámbrico (*PC*) para disminuir los niveles de radiación para así evitar los efectos adversos en los seres humanos, de existir los mismos.

## CAPÍTULO II

### Marco Referencial

El capítulo que se muestra a continuación contiene una breve explicación de la teoría y demás conocimientos necesarios para el desarrollo del presente proyecto. En la Figura 1 se muestra el esquema del marco teórico.



**Figura 1.** Esquema del Marco Referencial

**Fuente:** Propia

### II.1 Antecedentes

Junto con el avance que ha tenido la tecnología en los últimos tiempos, aumentó la preocupación de los efectos que el uso de radiofrecuencias tiene para la salud humana y el medio ambiente. La preocupación sobre estos efectos producidos por las radiofrecuencias y las microondas tuvo su origen durante la segunda guerra

mundial, aunque las primeras normativas de protección de los trabajadores con microondas proceden de la Unión Soviética en la década de los 70.

En 1974 la asociación internacional para la protección de las radiaciones (*IRPA*) constituyó un grupo de trabajo para estudio de las radiaciones no ionizantes que en el congreso de 1977 en París fue renombrado *International Non-Ionizing Radiation Committlee (INIRC)*.

Para el año 1979 Wertheimer y Leeper desarrollaron trabajos sobre el aumento de cáncer en niños relacionado con la proximidad a líneas de alta tensión, lo que originó una mayor preocupación en la salud pública.

En las últimas dos décadas se han publicado más de 30.000 artículos relacionados directa e indirectamente con este tema. Los informes abarcan una gran cantidad de campos y disciplinas físicas, sin embargo aún se considera que no se poseen pruebas concluyentes sobre el efecto real de los campos electromagnéticos en la salud de los seres humanos. Sin embargo, existen documentaciones que muestran ciertos síntomas o efectos que la continua y prolongada exposición a la radiación provoca.

Algunos autores como es el caso de Miguel Ángel Solano Veréz y Juan Sáiz Ipiña han realizado investigaciones como “Efectos Biológicos del Campo Electromagnético”, en el cual especifican que se ha determinado que la exposición frecuente y prolongada a la radiación de campos electromagnéticos ha producido alteraciones en la salud de animales, como por ejemplo ratones, aunque dichas pruebas no fueron realizadas por ellos.

Existen casos como el del Comité Científico de los Riesgos Sanitarios Emergentes y Recientemente Identificados (CCRSERI). En este caso la Unión Europea ha actualizado su dictamen anterior sobre “Posibles efectos de los Campos Electromagnéticos (CEM) en la salud humana” emitido en 2007 y ha establecido

unos límites de seguridad para proteger a los trabajadores y la población en general, sobre los efectos de los teléfonos móviles y otros campos electromagnéticos.

Así mismo existen estudios, como el de Ximena Robledo e Yan Toro, que establecen que a raíz del hierro presente en la sangre y almacenado en el cerebro, los seres humanos son muy sensibles a los campos electromagnéticos; de igual manera sucede con la permeabilidad de las membranas que forman los nervios, los vasos sanguíneos, la piel y otros órganos, así como los cromosomas que forman parte del ADN. Todo esto se ve alterado, ya que la presencia de un campo electromagnético origina una agitación de los átomos, moléculas e iones sensibles al campo.

En el trabajo realizado en Uruguay, en el Instituto de Ingeniería por los Ingenieros Claudia Cabal, Gerardo Otero y José Acuña, titulado “Informe sobre Campos Electromagnéticos y la Salud Humana” se establecieron los efectos directos e indirectos de los campos eléctricos y magnéticos de acoplamiento con el cuerpo basándose en uno de los tres mecanismos descritos a continuación:

Primero: la exposición del cuerpo humano a campos eléctricos variables en el tiempo, resulta en flujos de cargas eléctricas.

Segundo: la interacción de los campos magnéticos variables en el tiempo con el cuerpo humano, genera campos eléctricos inducidos en el mismo y éstos originan la circulación de corriente.

Tercero: parte de los campos electromagnéticos externos son reflejados o difractados retornados al exterior y otra parte son absorbidas y transformadas en calor.

Existen una gran cantidad de investigaciones que referencian los mismos resultados anteriormente descritos; sin embargo no existen pruebas concluyentes tal como lo indican otros trabajos e investigaciones nombrados a continuación.

La investigación realizada por el CCRSERI en 2007 estableció en su trabajo “Posibles efectos de los campos electromagnéticos (CEM), los campos de radiofrecuencia (RF) y la radiación de microondas en la salud humana”, la cual establece que los estudios realizados en animales no han proporcionado pruebas concluyentes de si los campos de radiofrecuencia pueden producir cáncer, potenciar los efectos de las sustancias cancerígenas o estimular el desarrollo de Tumores. Sin embargo establece que en la mayoría de estos estudios el nivel de exposición fue relativamente bajo por lo que es necesario seguir investigando.

Por otro lado la Organización Mundial de la Salud, en su nota descriptiva N° 205 titulada “Los Campos Electromagnéticos y la salud pública: las frecuencias extremadamente bajas (ELF)” establece que si bien los seres humanos están expuestos a una compleja diversidad de campos electromagnéticos de diferentes frecuencias, los campos electromagnéticos de frecuencias extremadamente bajas no afectan la salud de los seres humanos, aunque se debe destacar que la tecnología *Wi-Fi* tiene una frecuencia mucho mayor a la considerada como extremadamente baja.

A continuación se presenta una lista de informes realizados por agencias estatales y organismos internacionales, originados por la preocupación social sobre el uso masivo de radiofrecuencias.

En 1992 Informe de la *OAK Ridge Associated Universities*.

En 1992 Informe de agencia para la protección radiológica del Reino Unido (*NRPB*).

En 1992 Informe del Instituto francés de la salud e investigaciones médicas (*INSERM*)

En 1992 Niveles de exposición de 3 KHz a 300 GHz de la *IEEE*.

En 1993 Informe conjunto de la organización mundial de la salud y la asociación mundial de protección radiológica *WHO/UNEP/IRPA*.

En 1996 Informe sobre el uso de los teléfonos móviles por el *ICNIRP*.

En 1997 Guía para evaluar la exposición humana a campos electromagnéticos de radiofrecuencias por *FCC*.

En 2001 Informe Técnico de expertos del ministerio de sanidad CEM y salud pública por F. Vargas y A. Ubeda.

Entre los antecedentes en Venezuela se encuentran algunas investigaciones, artículos y trabajos especiales de grado tales como:

En el año 1995 Radiaciones Ionizantes. Limites Anuales de Dosis por COVENIN, norma venezolana.

En el año 2002 Efecto de las Ondas Electromagnéticas en el cuerpo humano realizado por la Universidad Experimental del Tachira.

En el año 2010 Efectos de la radiación no ionizante en la salud por el Instituto Universitario de Tecnología de La Victoria.

En el año 2012 Propuesta para prevenir contaminación por radiación no ionizante por Ana Caterina Mastrolonardo y Lesmes Alejandro Mora de la Universidad Nacional Experimental del Táchira.

En el año 2012 cuatro simposios realizados por alumnos de la Universidad Simón Bolívar basados en las radiaciones, el hombre y el ambiente.

Así mismo existen una gran variedad de investigaciones en Venezuela referentes a los efectos que las radiaciones de los teléfonos móviles tienen en la salud, tales como:

El trabajo Especial de Grado realizado por Dora Kreft de la Universidad Simón Bolívar titulado “Estudio y determinación de la intensidad de campo para servicio móviles en el Oriente de Venezuela”.

El artículo realizado por Harold Escalona en 2011, Conozca los niveles de radiación de los teléfonos más usados en Venezuela

El artículo realizado por la doctora Aliza en el año 2011, El impacto de los teléfonos celulares en tu cerebro.

## II.2 Campo Electromagnético

Un campo electromagnético es una distribución espacial en la cual actúan campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo, acoplados. Este acoplamiento está caracterizado por las ecuaciones de Maxwell, que en su forma diferencial se expresan como:

a- 
$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (1)$$

Conocida como Ley de Faraday.

b- 
$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (2)$$

Conocida como la Ley de Ampere.

c- 
$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \quad (3)$$

Conocida como la Ley de Gauss del Campo Eléctrico, ya antes mencionada.

d- 
$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (4)$$

Conocida como la Ley de Gauss del Campo Magnético, también mencionada anteriormente.

En su forma integral tenemos, siguiendo el mismo orden:

$$\oint_c \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \int_s \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{s} \quad (5)$$

$$\oint_c \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \int_s \left( \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \right) \cdot d\mathbf{s} \quad (6)$$

$$\oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{s} = \int_V \rho dv \quad (7)$$

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = 0 \quad (8)$$

### II.3 Vector de Poynting

“Es un vector de densidad de potencia asociado con el campo electromagnético” (Cheng, 1993). El teorema de Poynting “establece que la potencia total que fluye hacia dentro de una superficie cerrada en un instante cualquiera será igual a la suma de las razones de incremento de las energías eléctrica y magnética almacenadas y de la potencia óhmica disipada dentro del volumen limitado por la superficie” (Cheng, 1993).

### II.4 Antenas

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (*IEEE*) define a una antena como “la parte de un sistema transmisor o receptor que es diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas” (IEEE, 1983).

“Las antenas son estructuras diseñadas para radiar y recibir energía electromagnética eficazmente, en una forma prescrita. Cada antena tiene una impedancia de entrada característica y puede considerarse como un transductor para adaptar la línea de transmisión de alimentación o la guía de ondas a la impedancia intrínseca del medio circundante. Si no hubiera una antena eficiente, la energía electromagnética estaría localizada y no sería posible la transmisión inalámbrica de información a grandes distancias.” (Cheng, 1993)

Una antena es cualquier dispositivo capaz de radiar o capturar en el espacio abierto una onda electromagnética que viaja a través de una línea de transmisión en forma de señal de radiofrecuencia.

#### II.4.1 Antenas Omnidireccionales

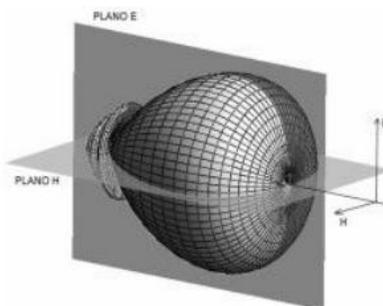
“Una antena omnidireccional es aquella que es capaz de radiar energía prácticamente en todas las direcciones” (Tanyá, Fermí, 2006). Es decir, irradia constantemente sobre un ángulo de  $360^\circ$  en el espacio.

#### II.4.2 Diagrama de Radiación

“Es un diagrama o gráfica polar que representa intensidades de campo o densidades de potencia en diversas posiciones angulares en relación con una antena” (Wayne, 2003).

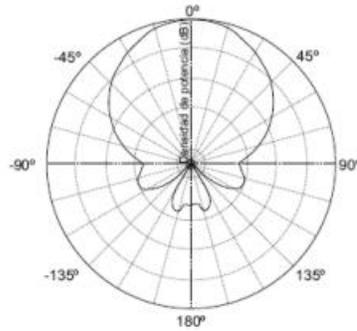
“La gráfica que describe la intensidad del campo lejano en función de la dirección a una distancia fija de una antena se denomina diagrama de radiación de la antena o diagrama de la antena” (Cheng, 1993).

Un diagrama de radiación se puede representar de forma bidimensional en coordenadas cartesianas y polares; de forma tridimensional estos diagramas representan volúmenes. El diagrama de radiación depende de las características de la antena, su geometría, dimensiones o forma de excitación.



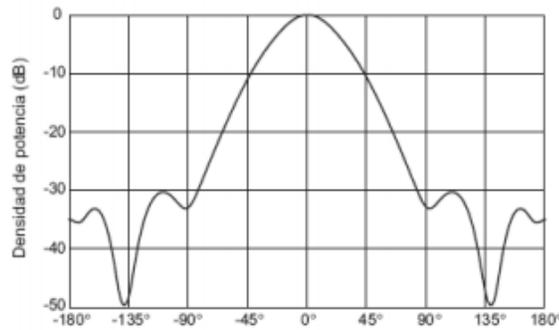
**Figura 2.** Diagrama de radiación tridimensional

**Fuente:** (Cardama, 1998).



**Figura 3.** Diagrama de radiación en coordenadas polares

**Fuente:** (Cardama, 1998).



**Figura 4.** Diagrama de radiación en coordenadas cartesianas

**Fuente:** (Cardama, 1998).

### II.4.3 Potencia Radiada

“La densidad de potencia radiada se define como la potencia por unidad de superficie en una determinada dirección. Las unidades son vatios por metro cuadrado” (Ferrando). Es la cantidad de potencia suministrada por la antena en un rango específico de superficie.

### II.4.4 Ganancia

“Una medida de la eficiencia de la antena es la ganancia en potencia. La ganancia de una antena con respecto a una fuente isótropa es la razón de su intensidad de radiación máxima a la intensidad de radiación de una fuente isótropa sin pérdidas con la misma potencia de entrada” (Cheng, 1993).

#### **II.4.5 Eficiencia**

Se puede definir como la relación entre la potencia radiada por una antena y la potencia entregada a la misma, la eficiencia es un número comprendido entre 0 y 1. “La relación entre la ganancia y la directividad, es la eficiencia” (Universidad Politécnica Salesiana).

#### **II.4.6 Área Efectiva**

“Es la razón de la potencia media, suministrada a una carga adaptada a la densidad de potencia media temporal de la onda electromagnética que incide sobre la antena” (Cheng, 1993).

#### **II.4.7 Ancho de Banda Útil**

“El ancho de banda de una antena es el rango de frecuencias dentro del cual la misma cumple con las características establecidas por el fabricante” (Escudero, 2007).

### **II.5 Contaminación Electromagnética**

Es la alteración del estado natural del medio ambiente como consecuencia de la introducción de las radiaciones electromagnéticas producidas por dispositivos o equipos electrónicos.

### **II.6 Tasa de Absorción Específica (Specific Energy Absorption, SAR)**

“Medida de la relación de energía absorbida en el tiempo por unidad de masa de tejido corporal expuesto. Se expresa en términos de vatio por kilogramo (W/kg) o milivatio por gramo (mW/g) Cuando un tejido biológico es expuesto a un campo de *RF* la *SAR* experimentada es proporcional al cuadrado de la intensidad del campo eléctrico inducido. La medida *SAR* se acepta ampliamente para relacionar los efectos térmicos adversos por exposición a *RF*” (Rodríguez, 2002).

La fórmula analítica para definir el *SAR* es la siguiente:

$$SAR = \frac{\sigma \cdot E^2}{\rho} \quad (9)$$

Donde  $\sigma$  es la conductividad,  $\rho$  la resistividad eléctrica y  $E$  el campo eléctrico sobre el tejido corporal.

## II.7 Radiaciones Ionizantes

“Son radiaciones electromagnéticas o flujos de partículas que tienen la energía suficiente como para romper las uniones moleculares, formando iones. Están constituidas por los rayos X, rayos gamma, las partículas alfa, beta y los neutrones” (Bermúdez Jiménez).

Comprende un rango de frecuencia que va desde  $10^{16}$  Hz aproximadamente hasta  $10^{22}$  Hz y un rango de longitud de onda que va desde  $10^{-7}$  m hasta  $10^{-12}$  m.

## II.8 Radiaciones No Ionizantes

“Son radiaciones consistentes en ondas eléctricas que se transmiten a través del espacio acompañadas, perpendicularmente por un campo magnético vibratorio con movimiento ondulatorio (Radiación Electromagnética). Se denominan no ionizantes porque su energía es insuficiente para romper enlaces químicos” (FONDONORMA, 2000). Este tipo de radiación no es capaz de ionizar los átomos de la materia en la que incide, tienen efectos que derivan de la generación de pequeñas corrientes inducidas dentro del cuerpo en el caso de la energía eléctrica y calor en el caso de las telecomunicaciones.

Comprende todas las frecuencias hasta alcanzar los  $10^{16}$  Hz y por lo tanto todas las longitudes de onda mayores a  $10^{-7}$  m.

## II.9 Relación Señal a Ruido (S/N)

Se define S/N al cociente de la potencia de la señal entre la potencia del ruido en un punto dado del sistema, es decir:

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{Potencia de la señal}}{\text{Potencia del ruido}} \quad (10)$$

La relación señal a ruido proporciona una medida de calidad de una señal en un sistema determinado y depende, tanto del nivel de señal recibida como del ruido total. (Vega, 2007).

## II.10 Compatibilidad Electromagnética

Es la capacidad que tienen los equipos para funcionar bajo un ambiente sin producir alteraciones en él y debe ser capaz de soportar la producida por otros equipos.

Una alteración es cualquier señal electromagnética que puede deteriorar el funcionamiento de un sistema o equipo.

Según Josep Bacells en su libro Interferencias Electromagnéticas en Sistemas Electrónicos indica que la compatibilidad electromagnética depende del nivel de perturbación de las interferencias del generador y de la susceptibilidad del afectado.

## II.11 Enrutador

Es un equipo que permite adaptar los paquetes para terminales de origen y destino en distintas redes. Suele regular el número de saltos hacia el destino, la velocidad de transmisión máxima entre enlaces y el estado de la red. (Gómez, 2010)

Un *router Wi-Fi* es aquel que permite conectar a la red por cableado en la que él se encuentra, mediante un enlace microondas a dispositivos que soporten la tecnología *Wi-Fi*.

### **II.11.1 Firmware**

Es un *software* basado en la memoria *ROM* que controla una unidad. Está conformado por un set de instrucciones almacenadas en la memoria de solo lectura. El *firmware* se encuentra en todos los productos basados en un ordenador, desde cámaras hasta periféricos digitales.

Según la *IEEE* el *firmware* está basado en un *software* que controla un equipo entre el tiempo que esté encendido y el tiempo que el sistema operativo primario toma el control de la máquina y se encuentra almacenado en la memoria de solo lectura (*ROM*).

## **II.12 Recomendaciones para limitar la exposición a los CEM**

### **II.12.1 Limitaciones en la exposición ocupacional y del público en general**

La población expuesta ocupacionalmente consiste de adultos que generalmente están expuestos bajo condiciones conocidas y que son entrenados para estar conscientes del riesgo potencial y para tomar las protecciones adecuadas. En contraste, el público en general comprende individuos de todas las edades y de estados de salud variables, y puede incluir grupos o individuos particularmente susceptibles. En muchos casos los miembros del público no están conscientes de su exposición a los CEM. Más aún, no se puede esperar que los miembros individuales del público, tomen precauciones razonables para minimizar o evitar su exposición. Son estas consideraciones que soportan la adopción de restricciones más estrictas a la exposición del público que para la exposición de la población expuesta ocupacionalmente.

### **II.12.2 Restricciones básicas y niveles de referencia**

Las restricciones en los efectos de la exposición son basadas en los efectos sobre la salud ya establecidos y son llamadas restricciones básicas. Dependientes de la frecuencia, las cantidades físicas usadas para especificar las restricciones básicas de la exposición a los CEM, son la densidad de corriente, el *SAR*, la densidad de

potencia. La protección contra efectos adversos sobre la salud requiere que estas restricciones básicas no sean excedidas.

Los niveles de referencia de la exposición son proveídos para comparación con valores medidos de cantidades físicas. El cumplimiento con todos los niveles de referencia dados en estas recomendaciones asegurara el cumplimiento de las restricciones básicas. Si los valores medidos son más altos que los niveles de referencia, no necesariamente implica que las restricciones básicas son excedidas, pero si es necesario un análisis más detallado para evaluar el cumplimiento de las restricciones básicas.

### II.12.3 Restricciones básicas

Diferentes bases científicas fueron usadas en el desarrollo de las restricciones básicas para varios rangos de frecuencia, entre 100 KHz y 10 GHz, las restricciones básicas son provistas en términos del SAR para prevenir el estrés térmico de todo el cuerpo y un calentamiento localizado excesivo en los tejidos.

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

**Tabla 1.** Restricciones básicas para exposiciones a campos eléctricos y magnéticos para frecuencias hasta 10 GHz

**Fuente:** (ICNIRP, 1998)

## II.12.4 Niveles de referencia

Los niveles de referencia son obtenidos, cuando es apropiado, a partir de las restricciones básicas mediante el uso de modelos matemáticos y por extrapolación de los resultados de las investigaciones de laboratorio en frecuencias específicas.

Rango de Frecuencias (MHz)	Intensidad de Campo Eléctrico (Vm <sup>-1</sup> )	Intensidad de Campo Magnético (Am <sup>-1</sup> )	Densidad de Flujo Magnético (μT)	Densidad de Potencia (Wm <sup>-2</sup> )
Hasta 1 Hz	–	1,63 x 10 <sup>5</sup>	2 x 10 <sup>5</sup>	–
1 – 8 Hz	20 000	1,63 x 10 <sup>5</sup> /f <sup>2</sup>	2 x 10 <sup>5</sup> /f <sup>2</sup>	–
8 – 25 Hz	20 000	2 x 10 <sup>4</sup> /f	2,5 x 10 <sup>4</sup> /f	–
0,025 – 0, 82 kHz	500 / f	20 / f	25 / f	–
0,82 – 65 kHz	610	24,4	30,7	–
0,065 – 1 MHz	610	1,6 / f	2 / f	–
1 – 10 MHz	610 / f	1,6 / f	2 / f	–
10 – 400 MHz	61	0,16	0,2	10
400 – 2000 MHz	3 f <sup>0,5</sup>	0,008 f <sup>0,5</sup>	0,01 f <sup>0,5</sup>	f / 40
2 - 300 GHz	137	0.36	0.45	50

**Tabla 2.** Niveles de referencia para exposición ocupacional a campos eléctricos y magnéticos (valores *rms* no perturbados)

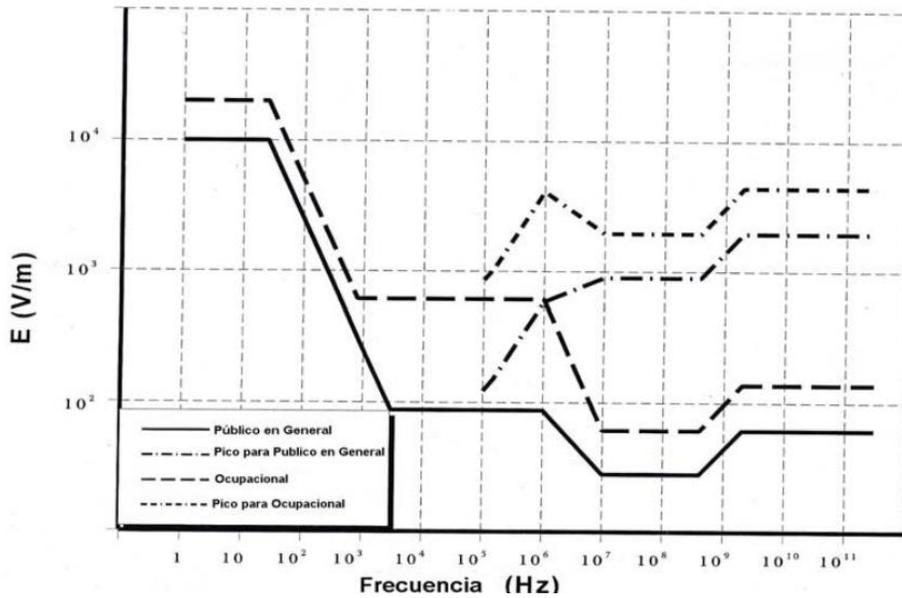
**Fuente:** (ICNIRP, 1998)

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

**Tabla 3.** Niveles de referencia para exposición poblacional a campos eléctricos y magnéticos (valores *rms* no perturbados)

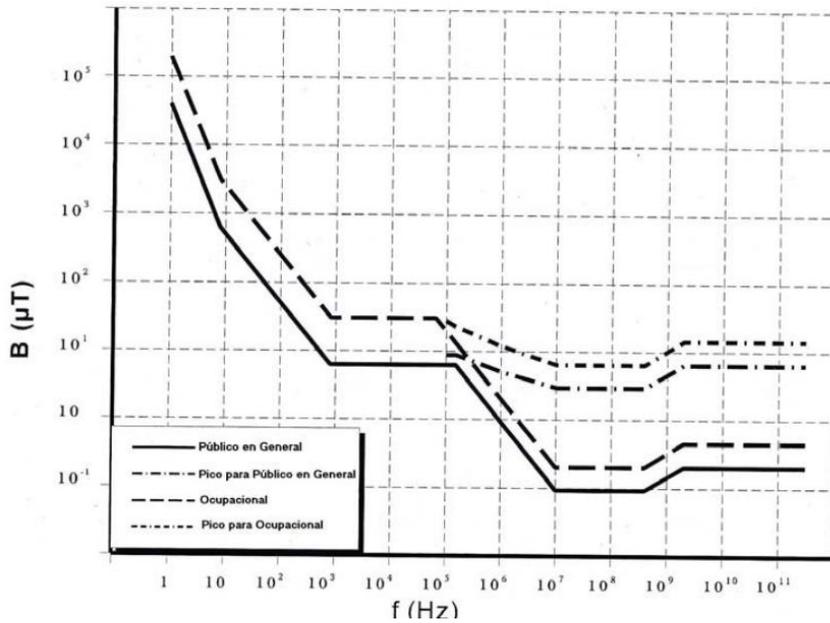
**Fuente:** (ICNIRP, 1998).

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES



**Figura 5.** Niveles de referencia *ICNIRP* para exposición a campos eléctricos variables en el tiempo

**Fuente:** (ICNIRP, 1998)



**Figura 6.** Niveles de referencia *ICNIRP* para exposición a campos magnéticos variables en el tiempo

**Fuente:** (ICNIRP, 1998).

## **CAPÍTULO III**

### **Marco Metodológico**

En el siguiente capítulo se presenta la metodología que fue aplicada para llevar a cabo el desarrollo del proyecto y así poder alcanzar los diversos objetivos planteados en el presente trabajo especial de grado.

#### **III.1 Tipo de Investigación**

El presente proyecto se encuentra clasificado según su grado de nivel y diseño como una investigación exploratoria, descriptiva y explicativa. Además, está clasificada según su propósito como una investigación experimental.

La investigación está basada, en un principio, en la realización de forma teórica de los cálculos para obtener los niveles de radiación de campo electromagnético emitidos por las antenas *Wi-Fi* Omnidireccionales, así se procedió a obtener mediante simulaciones dichos niveles y se compararon los resultados.

Seguidamente se establecieron, los efectos que los diferentes niveles de radiación provocan en los seres humanos debido a su exposición prolongada a los mismos, resaltando los efectos que se originan a partir de los resultados obtenidos.

Por último, se modificó la configuración del enrutador para así tratar de disminuir los niveles de radiación emitidas por el mismo.

#### **III.2 Metodología Aplicada**

En la Figura 7 podrá ser observado las distintas fases que fueron necesarias realizar para el desarrollo de la investigación.



**Figura 7.** Diagrama de la Metodología usada

**Fuente:** Propia

A continuación, en la Tabla 4 se indican cada una de las fases mencionadas anteriormente, así como una breve descripción de las actividades realizadas.

Fase	Descripción
<b>Revisión Bibliográfica</b>	Se inició la búsqueda de información a través de libros, trabajos especiales de grado e información electrónica que sea necesaria para abarcar el trabajo de grado. De la misma manera, se estudiaron las formulas necesarias para obtener

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

	<p>por medio de cálculos teóricos los niveles de radiación de campos electromagnéticos de las antenas <i>Wi-Fi</i> omnidireccionales. Además se estudiaron las características del <i>software</i> de simulación <i>MATLAB</i>, para confirmar que cumpliera con las necesidades de esta investigación.</p>
<p><b>Cálculo de los Niveles de Radiación de Campo Electromagnético de las Antenas</b></p>	<p>Basado en la información obtenida en la fase anterior, se procede a realizar el cálculo de forma teórica del valor de los niveles de radiación de la antena <i>Wi-Fi</i> omnidireccional.</p>
<p><b>Diseño del Código</b></p>	<p>Se diseñó el código de <i>MATLAB</i> para obtener los niveles de radiación de Campo Electromagnético por medio de medidas indirectas.</p>
<p><b>Simulación</b></p>	<p>A su vez se simuló el código diseñado en <i>MATLAB</i>, para obtener los valores de radiación presentes en el área de cobertura de la antena <i>Wi-Fi</i> omnidireccional. Así mismo se obtuvieron los valores simulados del índice de absorción.</p>
<p><b>Comparación de Resultados</b></p>	<p>Se compararon los resultados obtenidos de forma teórica con los simulados, para establecer los valores de la radiación de dichas antenas.</p>
<p><b>Determinar los Efectos de los Niveles de Radiación obtenidos en los Seres Humanos</b></p>	<p>Se determinaron los efectos que los niveles obtenidos en la fase anterior tienen en la salud de los seres humanos, utilizando las tablas <i>SAR</i> disponibles.</p>
<p><b>Búsqueda de una nueva Configuración</b></p>	<p>Se inició la búsqueda de una nueva configuración para el enrutador, tal que sin afectar el buen desempeño del equipo disminuya los niveles de</p>

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

---

	radiación.
<b>Redactar el tomo</b>	Se recopiló toda la información obtenida en los distintos pasos y se procedió a documentarla para elaborar el libro a entregar.

**Tabla 4.** Descripción de las fases realizadas

**Fuente:** Propia

## CAPÍTULO IV

### Desarrollo

En el presente capítulo se exponen los estudios, pruebas y procedimientos que se llevaron a cabo a lo largo del presente proyecto de investigación.

#### IV.1 Descripción y estudio de las fórmulas utilizadas

La finalidad de la investigación es obtener los niveles de la tasa de absorción (*SAR*) de la radiación producida por las antenas *Wi-Fi* Omnidireccionales presentes en los *routers* comúnmente utilizados en hogares y/o pequeñas oficinas.

La fórmula para obtener el *SAR* es la siguiente:

$$SAR = \frac{\sigma \times E_i^2}{\rho} \quad (11)$$

En la misma se observan:

$\sigma$ : Conductividad del cuerpo humano.

$E_i$ : Campo Eléctrico del cuerpo.

$\rho$ : Densidad del tejido corporal.

Para el cálculo del Campo Eléctrico del cuerpo se utilizó la fórmula de Poynting, con la cual se puede calcular el campo.

$$S = \frac{P_{TX} \times G_{TX}}{4 \times \pi \times d^2} \quad (12)$$

$$|E|^2 = S \times 2\eta \quad (13)$$

Se utilizó además la ecuación de Friis para obtener los valores de la potencia recibida y las pérdidas por espacio libre.

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{Antena\ Trasmisión} + G_{Antena\ Recepción} - Perdidat_{EspacioLibre} \quad (14)$$

Donde:

$P_{RX}$ : Potencia de recepción.

$P_{TX}$ : Potencia de transmisión.

$G_{AntenaTrasmisión}$ : Ganancia de la Antena de Transmisión.

$G_{AntenaRecepción}$ : Ganancia de la Antena de Recepción.

$Pérdidas_{EspacioLibre}$ : Son las pérdidas originadas por el espacio libre. Estas a su vez se calculan con la siguiente fórmula.

$$Perdidat_{EspacioLibre} = 10 \log \left( \frac{16 \times \pi^2 \times d^2}{\lambda^2} \right) \quad (15)$$

Para efectos de esta investigación y basado en la documentación revisada, se tiene conocimiento de los siguientes valores:

$\sigma$  = de 0,000001 a 0,000066 s/m

$\rho$  = de 950 a 1800 Kg/m<sup>3</sup> (varía según el tejido).

$P_{TX} = 15$  dBm

$G_{AntenaTrasmisión} = 2$  dB

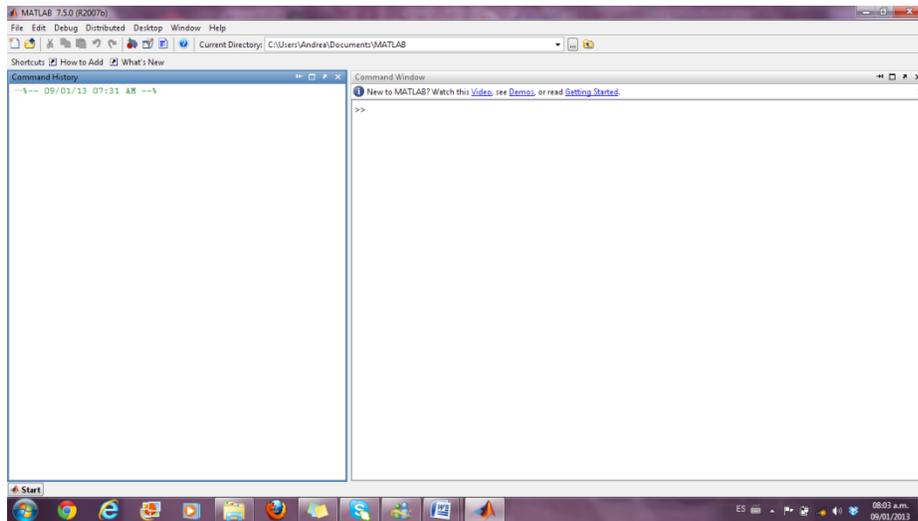
$G_{AntenaRecepción} = 1$  dB

Los últimos corresponden a los datos obtenidos del *router* Linksys modelo número WRT54G.

## IV.2 Estudio de los parámetros de los Simuladores

En el presente proyecto se utilizó como software de simulación el *software* matemático *MATLAB*, el cual permite manipular matrices, representar datos y funciones e implementar algoritmos.

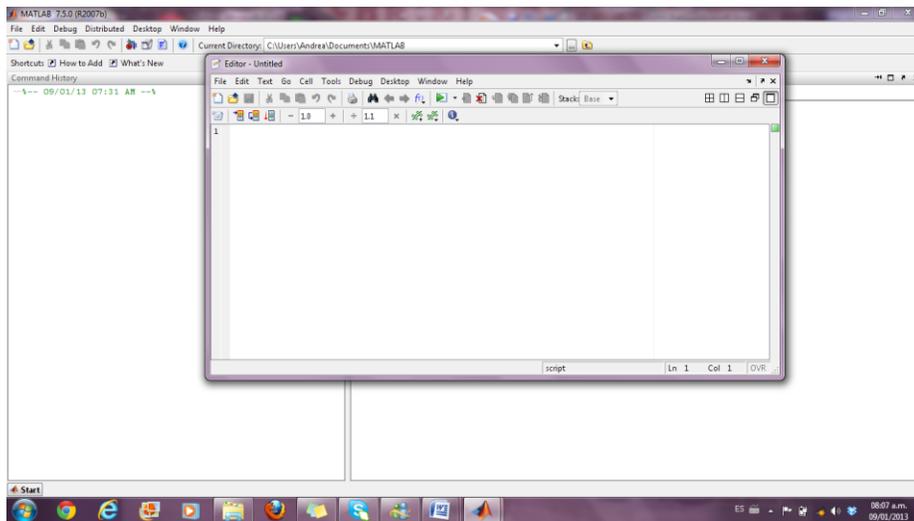
Para trabajar con el software matemático *MATLAB* se puede utilizar directamente el *command window*, en este se introduce línea por línea el código. En la figura 8 se puede observar la interfaz gráfica de *MATLAB*, en la cual se muestra el *command window*.



**Figura 8.** Interfaz gráfica de *MATLAB*

**Fuente:** *Software MATLAB*

Así mismo se puede realizar el código en un archivo *M-File*, para esto se hace click en nuevo *M-File*, a continuación se abre una nueva ventana tal y como se muestra en la figura 9.



**Figura 9.** Ventana del editor *M-File*

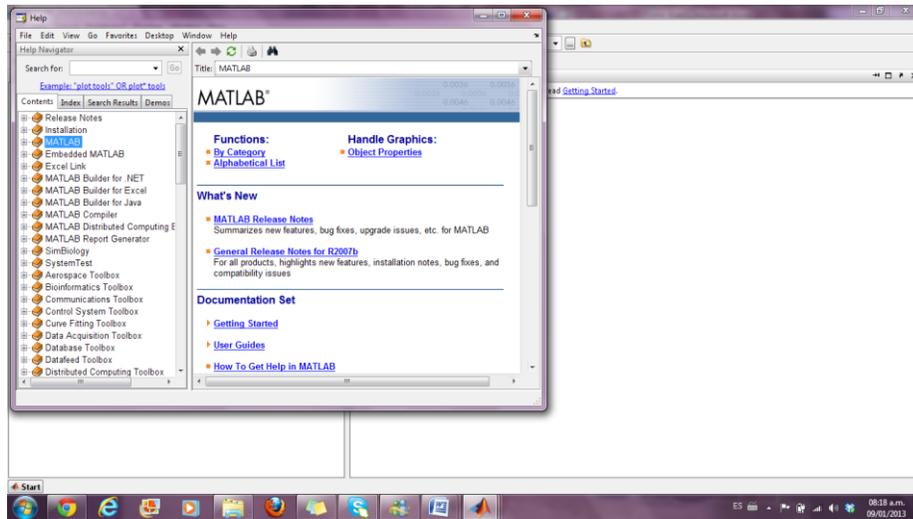
**Fuente:** *Software MATLAB*

En esa nueva ventana, se procede a realizar el código en lenguaje de *MATLAB*. Las funcionalidades de este *software* agrupan más de 35 cajas de herramientas, entre las cuales se encuentran: Matemáticas y Optimización, Estadística y Análisis de datos, Diseño de sistemas de control y análisis, Procesado de señal y comunicaciones, Procesado de imagen, Pruebas y medidas, Biología computacional, Modelo y análisis financiero, Desarrollo de aplicaciones, Informes y conexión a base de datos.

Una vez que el código se encuentra diseñado, el *software* de simulación determina si existe o no error en el mismo. Para esto muestra un cuadro en la parte derecha de color verde, si no existen errores, pequeños cuadros de color naranja si existen advertencias en determinadas líneas de código o pequeños cuadros de color rojo si existe un error en determinadas líneas de código.

El *software MATLAB* tiene una gran cantidad de instrucciones las cuales se encuentran explicadas y detalladas en el *help* del mismo, en la figura 10 se puede observar la ventana del *help* de *MATLAB*.

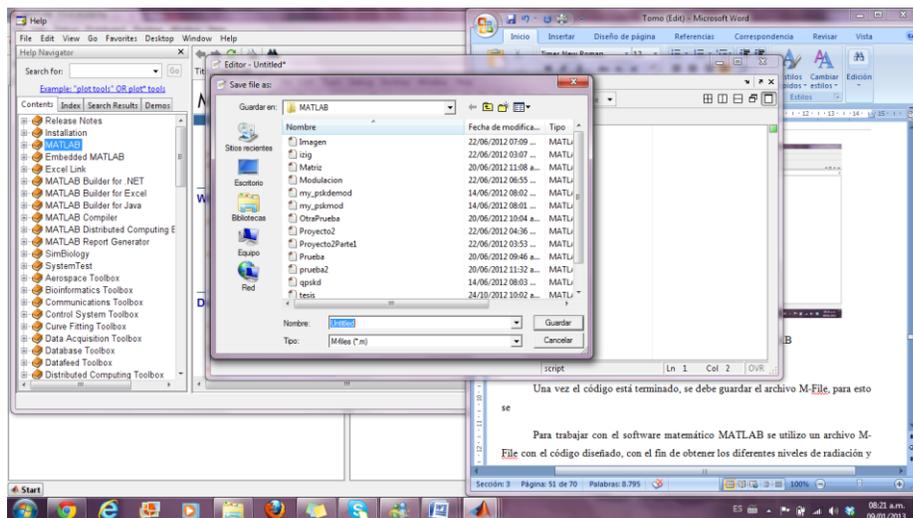
## NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES



**Figura 10.** Ventana *help* del software *MATLAB*

**Fuente:** *Software MATLAB*

Una vez el código está terminado, se debe guardar el archivo *M-File*, para esto se selecciona guardar dentro de la ventana de edición del archivo *MATLAB*. Se abre una nueva ventana *Save file as*, tal como se muestra en la figura 11.



**Figura 11.** Ventana *save file as* de *MATLAB*

**Fuente:** *Software MATLAB*

## NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

Una vez guardado el archivo se oprime el botón *Run*, con el cual se procede a correr el código diseñado, obteniendo los resultados en el *command window*.

Dentro de la interfaz de *MATLAB* se encuentra el *workspace*, en el cual se encuentran arreglos de todos resultados arrojados por el código una vez que este se corrió. En la Figura 12 se puede observar la ventana del *workspace* con un arreglo de resultados.

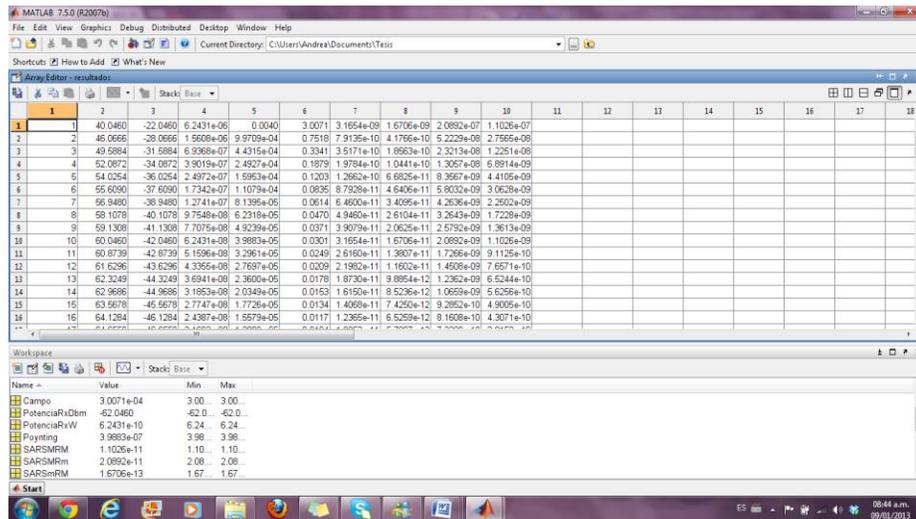


Figura 12. Ventana *workspace* con arreglo de resultados

Fuente: Propio

El código diseñado en *MATLAB* tiene la finalidad de mostrar la potencia recibida a cada distancia, así como los niveles del índice *SAR*.

### IV.3 Cálculo de los niveles de radiación

Para los cálculos teóricos se utilizaron las fórmulas descritas anteriormente en este capítulo, la frecuencia de operación utilizada fue 2.4 GHz la cual corresponde a la frecuencia utilizada por la tecnología *Wi-Fi*. Para los cálculos se tomaron diferentes distancias desde 1m hasta 100m, espaciando dichas distancias en 1 metro para hacer los estudios. A partir de la Ecuación 15 se obtuvieron las pérdidas por espacio libre a

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

las diferentes distancias y con estas utilizando la Ecuación 14 se obtuvieron las diferentes potencias recibidas según las distancias utilizadas.

Además se utilizaron las Ecuaciones 12 y 13 para realizar el cálculo de la magnitud del Campo Eléctrico en el cuerpo humano, para finalmente utilizar la Ecuación 11 para obtener los diferentes niveles de la Tasa de Absorción según las diferentes distancias que fueron tomadas en consideración. Además se utilizaron los valores de conductividad del cuerpo humano y densidad del tejido corporal promedios, establecidos en registros de biomedicina estudiados, esto debido a que según las diferentes características físicas de las personas, así como las diferencias demográficas entre ellas, estos valores pueden variar, por consiguiente se debió utilizar valores promedios para la realización de los cálculos.

A continuación se presenta los valores obtenidos en estos cálculos en la Tabla 5 y 6, dichos valores serán analizados en el capítulo siguiente.

Distancia (m)	PEspacioLibre (dB)	PRX (dBm)	PRX (w)	S (W/m <sup>2</sup> )	E  <sup>2</sup> (V <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
1	40,04601733	-22,0460173	6,24307E-06	0,003988332	3,007138588
2	46,06661724	-28,0666172	1,56077E-06	0,000997083	0,751784647
3	49,58844243	-31,5884424	6,93675E-07	0,000443148	0,33412651
4	52,08721716	-34,0872172	3,90192E-07	0,000249271	0,187946162
5	54,02541742	-36,0254174	2,49723E-07	0,000159533	0,120285544
6	55,60904234	-37,6090423	1,73419E-07	0,000110787	0,083531627
7	56,94797813	-38,9479781	1,2741E-07	8,13945E-05	0,061370175
8	58,10781707	-40,1078171	9,7548E-08	6,23177E-05	0,04698654
9	59,13086752	-41,1308675	7,70749E-08	4,92387E-05	0,037125168
10	60,04601733	-42,0460173	6,24307E-08	3,98833E-05	0,030071386
11	60,87387103	-42,873871	5,15956E-08	3,29614E-05	0,024852385
12	61,62964225	-43,6296423	4,33547E-08	2,76968E-05	0,020882907
13	62,32488438	-44,3248844	3,69412E-08	2,35996E-05	0,017793719
14	62,96857805	-44,968578	3,18524E-08	2,03486E-05	0,015342544
15	63,56784251	-45,5678425	2,7747E-08	1,77259E-05	0,01336506
16	64,12841698	-46,128417	2,4387E-08	1,55794E-05	0,011746635
17	64,65499576	-46,6549958	2,16023E-08	1,38005E-05	0,010405324
18	65,15146743	-47,1514674	1,92687E-08	1,23097E-05	0,009281292

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

Distancia (m)	PEspacioLibre (dB)	PRX (dBm)	PRX (w)	S (W/m <sup>2</sup> )	E  <sup>2</sup> (V <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
19	65,62108935	-47,6210894	1,72938E-08	1,1048E-05	0,008330024
20	66,06661724	-48,0666172	1,56077E-08	9,97083E-06	0,007517846
21	66,49040323	-48,4904032	1,41566E-08	9,04384E-06	0,006818908
22	66,89447095	-48,8944709	1,28989E-08	8,24036E-06	0,006213096
23	67,28057405	-49,2805741	1,18016E-08	7,53938E-06	0,005684572
24	67,65024217	-49,6502422	1,08387E-08	6,92419E-06	0,005220727
25	68,00481751	-50,0048175	9,98891E-09	6,38133E-06	0,004811422
26	68,34548429	-50,3454843	9,23531E-09	5,8999E-06	0,00444843
27	68,67329261	-50,6732926	8,56388E-09	5,47096E-06	0,004125019
28	68,98917796	-50,989178	7,9631E-09	5,08716E-06	0,003835636
29	69,29397729	-51,2939773	7,42339E-09	4,74237E-06	0,00357567
30	69,58844243	-51,5884424	6,93675E-09	4,43148E-06	0,003341265
31	69,87325121	-51,8732512	6,49643E-09	4,15019E-06	0,003129176
32	70,1490169	-52,1490169	6,09675E-09	3,89486E-06	0,002936659
33	70,41629613	-52,4162961	5,73285E-09	3,66238E-06	0,002761376
34	70,67559567	-52,6755957	5,40058E-09	3,45011E-06	0,002601331
35	70,92737822	-52,9273782	5,09638E-09	3,25578E-06	0,002454807
36	71,17206735	-53,1720673	4,81718E-09	3,07742E-06	0,002320323
37	71,41005181	-53,4100518	4,56031E-09	2,91332E-06	0,002196595
38	71,64168926	-53,6416893	4,32346E-09	2,762E-06	0,002082506
39	71,86730947	-53,8673095	4,10458E-09	2,62218E-06	0,00197708
40	72,08721716	-54,0872172	3,90192E-09	2,49271E-06	0,001879462
41	72,30169447	-54,3016945	3,7139E-09	2,37259E-06	0,001788899
42	72,51100314	-54,5110031	3,53916E-09	2,26096E-06	0,001704727
43	72,71538644	-54,7153864	3,37646E-09	2,15702E-06	0,001626359
44	72,91507086	-54,9150709	3,22473E-09	2,06009E-06	0,001553274
45	73,11026761	-55,1102676	3,083E-09	1,96955E-06	0,001485007
46	73,30117397	-55,301174	2,95041E-09	1,88485E-06	0,001421143
47	73,48797449	-55,4879745	2,8262E-09	1,80549E-06	0,001361312
48	73,67084208	-55,6708421	2,70967E-09	1,73105E-06	0,001305182
49	73,84993893	-55,8499389	2,6002E-09	1,66111E-06	0,001252453
50	74,02541742	-56,0254174	2,49723E-09	1,59533E-06	0,001202855
51	74,19742085	-56,1974209	2,40026E-09	1,53338E-06	0,001156147
52	74,3660842	-56,3660842	2,30883E-09	1,47497E-06	0,001112107
53	74,53153472	-56,5315347	2,22252E-09	1,41984E-06	0,001070537
54	74,69389253	-56,6938925	2,14097E-09	1,36774E-06	0,001031255
55	74,85327112	-56,8532711	2,06383E-09	1,31846E-06	0,000994095

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

Distancia (m)	PEspacioLibre (dB)	PRX (dBm)	PRX (w)	S (W/m <sup>2</sup> )	E  <sup>2</sup> (V <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
56	75,00977787	-57,0097779	1,99078E-09	1,27179E-06	0,000958909
57	75,16351445	-57,1635144	1,92154E-09	1,22756E-06	0,000925558
58	75,3145772	-57,3145772	1,85585E-09	1,18559E-06	0,000893918
59	75,46305756	-57,4630576	1,79347E-09	1,14574E-06	0,000863872
60	75,60904234	-57,6090423	1,73419E-09	1,10787E-06	0,000835316
61	75,75261403	-57,752614	1,67779E-09	1,07184E-06	0,000808153
62	75,89385112	-57,8938511	1,62411E-09	1,03755E-06	0,000782294
63	76,03282832	-58,0328283	1,57296E-09	1,00487E-06	0,000757656
64	76,16961681	-58,1696168	1,52419E-09	9,73714E-07	0,000734165
65	76,30428446	-58,3042845	1,47765E-09	9,43984E-07	0,000711749
66	76,43689604	-58,436896	1,43321E-09	9,15595E-07	0,000690344
67	76,56751339	-58,5675134	1,39075E-09	8,88468E-07	0,000669891
68	76,69619559	-58,6961956	1,35015E-09	8,62529E-07	0,000650333
69	76,82299915	-58,8229991	1,31129E-09	8,37709E-07	0,000631619
70	76,94797813	-58,9479781	1,2741E-09	8,13945E-07	0,000613702
71	77,07118431	-59,0711843	1,23846E-09	7,91179E-07	0,000596536
72	77,19266726	-59,1926673	1,2043E-09	7,69354E-07	0,000580081
73	77,31247453	-59,3124745	1,17153E-09	7,4842E-07	0,000564297
74	77,43065173	-59,4306517	1,14008E-09	7,28329E-07	0,000549149
75	77,5472426	-59,5472426	1,10988E-09	7,09037E-07	0,000534602
76	77,66228918	-59,6622892	1,08086E-09	6,90501E-07	0,000520626
77	77,77583184	-59,7758318	1,05297E-09	6,72682E-07	0,000507192
78	77,88790939	-59,8879094	1,02615E-09	6,55544E-07	0,00049427
79	77,99855916	-59,9985592	1,00033E-09	6,39053E-07	0,000481836
80	78,10781707	-60,1078171	9,7548E-10	6,23177E-07	0,000469865
81	78,21571771	-60,2157177	9,51543E-10	6,07885E-07	0,000458335
82	78,32229438	-60,3222944	9,28476E-10	5,93149E-07	0,000447225
83	78,42757918	-60,4275792	9,06238E-10	5,78942E-07	0,000436513
84	78,53160305	-60,5316031	8,84789E-10	5,6524E-07	0,000426182
85	78,63439585	-60,6343958	8,64093E-10	5,52018E-07	0,000416213
86	78,73598636	-60,7359864	8,44115E-10	5,39255E-07	0,00040659
87	78,83640238	-60,8364024	8,24821E-10	5,2693E-07	0,000397297
88	78,93567077	-60,9356708	8,06182E-10	5,15022E-07	0,000388319
89	79,03381746	-61,0338175	7,88167E-10	5,03514E-07	0,000379641
90	79,13086752	-61,1308675	7,70749E-10	4,92387E-07	0,000371252
91	79,22684518	-61,2268452	7,53903E-10	4,81624E-07	0,000363137
92	79,32177388	-61,3217739	7,37603E-10	4,71211E-07	0,000355286

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

Distancia (m)	PEspacioLibre (dB)	PRX (dBm)	PRX (w)	S (W/m <sup>2</sup> )	E  <sup>2</sup> (V <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
93	79,4156763	-61,4156763	7,21826E-10	4,61132E-07	0,000347686
94	79,5085744	-61,5085744	7,06549E-10	4,51373E-07	0,000340328
95	79,60048944	-61,6004894	6,91753E-10	4,4192E-07	0,000333201
96	79,69144199	-61,691442	6,77417E-10	4,32762E-07	0,000326295
97	79,78145202	-61,781452	6,63521E-10	4,23885E-07	0,000319602
98	79,87053885	-61,8705388	6,50049E-10	4,15278E-07	0,000313113
99	79,95872122	-61,9587212	6,36983E-10	4,06931E-07	0,00030682
100	80,04601733	-62,0460173	6,24307E-10	3,98833E-07	0,000300714

**Tabla 5.** Valores Teóricos obtenidos (parte I)

**Fuente:** Propia

Distancia (m)	SAR con smin y rmin (W/Kg)	SAR con smin y rmax (W/Kg)	SAR con smax y rmin (W/Kg)	SAR con smax y rmax (W/Kg)
1	3,16541E-09	1,67063E-09	2,08917E-07	1,10262E-07
2	7,91352E-10	4,17658E-10	5,22292E-08	2,75654E-08
3	3,51712E-10	1,85626E-10	2,3213E-08	1,22513E-08
4	1,97838E-10	1,04415E-10	1,30573E-08	6,89136E-09
5	1,26616E-10	6,68253E-11	8,35668E-09	4,41047E-09
6	8,7928E-11	4,64065E-11	5,80325E-09	3,06283E-09
7	6,46002E-11	3,40945E-11	4,26361E-09	2,25024E-09
8	4,94595E-11	2,61036E-11	3,26433E-09	1,72284E-09
9	3,90791E-11	2,06251E-11	2,57922E-09	1,36126E-09
10	3,16541E-11	1,67063E-11	2,08917E-09	1,10262E-09
11	2,61604E-11	1,38069E-11	1,72659E-09	9,11254E-10
12	2,1982E-11	1,16016E-11	1,45081E-09	7,65707E-10
13	1,87302E-11	9,8854E-12	1,2362E-09	6,52436E-10
14	1,615E-11	8,52364E-12	1,0659E-09	5,6256E-10
15	1,40685E-11	7,42503E-12	9,2852E-10	4,90052E-10
16	1,23649E-11	6,52591E-12	8,16082E-10	4,3071E-10
17	1,0953E-11	5,78074E-12	7,22896E-10	3,81529E-10
19	8,76845E-12	4,62779E-12	5,78717E-10	3,05434E-10
20	7,91352E-12	4,17658E-12	5,22292E-10	2,75654E-10
21	7,1778E-12	3,78828E-12	4,73735E-10	2,50027E-10
22	6,5401E-12	3,45172E-12	4,31647E-10	2,27814E-10
23	5,98376E-12	3,1581E-12	3,94928E-10	2,08434E-10
24	5,4955E-12	2,9004E-12	3,62703E-10	1,91427E-10

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

Distancia (m)	SAR con smin y rmin (W/Kg)	SAR con smin y rmax (W/Kg)	SAR con smax y rmin (W/Kg)	SAR con smax y rmax (W/Kg)
25	5,06465E-12	2,67301E-12	3,34267E-10	1,76419E-10
26	4,68256E-12	2,47135E-12	3,09049E-10	1,63109E-10
27	4,34212E-12	2,29168E-12	2,8658E-10	1,51251E-10
28	4,03751E-12	2,13091E-12	2,66476E-10	1,4064E-10
29	3,76386E-12	1,98648E-12	2,48415E-10	1,31108E-10
30	3,51712E-12	1,85626E-12	2,3213E-10	1,22513E-10
31	3,29387E-12	1,73843E-12	2,17395E-10	1,14736E-10
32	3,09122E-12	1,63148E-12	2,04021E-10	1,07677E-10
33	2,90671E-12	1,5341E-12	1,91843E-10	1,0125E-10
34	2,73824E-12	1,44518E-12	1,80724E-10	9,53821E-11
35	2,58401E-12	1,36378E-12	1,70544E-10	9,00096E-11
36	2,44245E-12	1,28907E-12	1,61201E-10	8,50785E-11
37	2,31221E-12	1,22033E-12	1,52606E-10	8,05418E-11
38	2,19211E-12	1,15695E-12	1,44679E-10	7,63586E-11
39	2,08114E-12	1,09838E-12	1,37355E-10	7,24929E-11
40	1,97838E-12	1,04415E-12	1,30573E-10	6,89136E-11
41	1,88305E-12	9,93833E-13	1,24281E-10	6,55929E-11
42	1,79445E-12	9,47071E-13	1,18434E-10	6,25067E-11
43	1,71196E-12	9,03533E-13	1,12989E-10	5,96332E-11
44	1,63503E-12	8,6293E-13	1,07912E-10	5,69534E-11
45	1,56316E-12	8,25004E-13	1,03169E-10	5,44502E-11
46	1,49594E-12	7,89524E-13	9,8732E-11	5,21086E-11
47	1,43296E-12	7,56285E-13	9,45754E-11	4,99148E-11
48	1,37388E-12	7,25101E-13	9,06758E-11	4,78567E-11
49	1,31837E-12	6,95807E-13	8,70125E-11	4,59233E-11
50	1,26616E-12	6,68253E-13	8,35668E-11	4,41047E-11
51	1,217E-12	6,42304E-13	8,03218E-11	4,23921E-11
52	1,17064E-12	6,17837E-13	7,72622E-11	4,07773E-11
53	1,12688E-12	5,94743E-13	7,43742E-11	3,9253E-11
54	1,08553E-12	5,72919E-13	7,16451E-11	3,78127E-11
55	1,04642E-12	5,52275E-13	6,90635E-11	3,64502E-11
56	1,00938E-12	5,32727E-13	6,66189E-11	3,516E-11
57	9,74272E-13	5,14199E-13	6,43019E-11	3,39371E-11
58	9,40966E-13	4,96621E-13	6,21037E-11	3,2777E-11
59	9,09339E-13	4,79929E-13	6,00164E-11	3,16753E-11
60	8,7928E-13	4,64065E-13	5,80325E-11	3,06283E-11
61	8,50688E-13	4,48974E-13	5,61454E-11	2,96323E-11

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

Distancia (m)	SAR con smin y rmin (W/Kg)	SAR con smin y rmax (W/Kg)	SAR con smax y rmin (W/Kg)	SAR con smax y rmax (W/Kg)
62	8,23467E-13	4,34608E-13	5,43489E-11	2,86841E-11
63	7,97533E-13	4,2092E-13	5,26372E-11	2,77807E-11
64	7,72805E-13	4,07869E-13	5,10051E-11	2,69194E-11
65	7,49209E-13	3,95416E-13	4,94478E-11	2,60975E-11
66	7,26678E-13	3,83524E-13	4,79607E-11	2,53126E-11
67	7,05148E-13	3,72161E-13	4,65398E-11	2,45627E-11
68	6,84561E-13	3,61296E-13	4,5181E-11	2,38455E-11
69	6,64862E-13	3,509E-13	4,38809E-11	2,31594E-11
70	6,46002E-13	3,40945E-13	4,26361E-11	2,25024E-11
71	6,27933E-13	3,31409E-13	4,14436E-11	2,1873E-11
72	6,10611E-13	3,22267E-13	4,03003E-11	2,12696E-11
73	5,93997E-13	3,13498E-13	3,92038E-11	2,06909E-11
74	5,78051E-13	3,05083E-13	3,81514E-11	2,01355E-11
75	5,62739E-13	2,97001E-13	3,71408E-11	1,96021E-11
76	5,48028E-13	2,89237E-13	3,61698E-11	1,90896E-11
77	5,33886E-13	2,81773E-13	3,52365E-11	1,8597E-11
78	5,20284E-13	2,74594E-13	3,43388E-11	1,81232E-11
79	5,07196E-13	2,67687E-13	3,34749E-11	1,76673E-11
80	4,94595E-13	2,61036E-13	3,26433E-11	1,72284E-11
81	4,82458E-13	2,54631E-13	3,18422E-11	1,68056E-11
82	4,70763E-13	2,48458E-13	3,10703E-11	1,63982E-11
83	4,59487E-13	2,42507E-13	3,03262E-11	1,60055E-11
84	4,48612E-13	2,36768E-13	2,96084E-11	1,56267E-11
85	4,38119E-13	2,31229E-13	2,89158E-11	1,52611E-11
86	4,27989E-13	2,25883E-13	2,82473E-11	1,49083E-11
87	4,18207E-13	2,2072E-13	2,76017E-11	1,45675E-11
88	4,08756E-13	2,15733E-13	2,69779E-11	1,42383E-11
89	3,99622E-13	2,10912E-13	2,63751E-11	1,39202E-11
90	3,90791E-13	2,06251E-13	2,57922E-11	1,36126E-11
91	3,8225E-13	2,01743E-13	2,52285E-11	1,3315E-11
92	3,73985E-13	1,97381E-13	2,4683E-11	1,30271E-11
93	3,65986E-13	1,93159E-13	2,4155E-11	1,27485E-11
94	3,5824E-13	1,89071E-13	2,36438E-11	1,24787E-11
95	3,50738E-13	1,85112E-13	2,31487E-11	1,22174E-11
96	3,43469E-13	1,81275E-13	2,26689E-11	1,19642E-11
97	3,36424E-13	1,77557E-13	2,2204E-11	1,17188E-11
98	3,29593E-13	1,73952E-13	2,17531E-11	1,14808E-11

Distancia (m)	SAR con smin y rmin (W/Kg)	SAR con smin y rmax (W/Kg)	SAR con smax y rmin (W/Kg)	SAR con smax y rmax (W/Kg)
99	3,22968E-13	1,70455E-13	2,13159E-11	1,12501E-11
100	3,16541E-13	1,67063E-13	2,08917E-11	1,10262E-11

**Tabla 6.** Valores Teóricos obtenidos (parte II)

**Fuente:** Propia

#### IV.4 Descripción del código para simulación *MATLAB*

Para la realización del código en *MATLAB* se utilizaron las ecuaciones antes descritas en la investigación. Se usaron las mismas fórmulas y parámetros que en los cálculos teóricos, sin embargo, la simulación en *MATLAB* tiene como fin ser una interfaz dinámica, donde un usuario cualquiera puede introducir las características de su *router* y obtener los valores de exposición.

La característica principal de un *router Wi-Fi* es su frecuencia a 2.4 GHz, por lo tanto, esta no puede ser modificada pero otros parámetros como potencia de transmisión y ganancia del equipo si varían de acuerdo al mismo, además, la interfaz permite introducir la distancia a la que deseamos obtener los niveles de exposición.

Respecto al lenguaje en *MATLAB* se usaron las siguientes funciones: *INPUT* para permitir el acceso de valores por parte del usuario.

```
3 - potencia=input('Indroduzca la Potencia de Transmisiòn del router (dBm)');
Indroduzca la Potencia de Transmisiòn del router (dBm)
```

**Figura 13.** Línea de código con función *INPUT* (arriba), interfaz del simulador (abajo)

**Fuente:** *Software MATLAB*

Se utilizó la función *WHILE* para desarrollar ciclos que permiten, inicialmente, la entrada de las variables, manteniendo como condición que los valores a introducir deben ser mayores a cero.

## NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

```
4 - while potencia < 0
5 -     potencia=input('Introduzca la Potencia de Transmisión del router (dBm), debe ser un numero mayor a 0');
6 - end
7 - gananciatx=input('Introduzca la Ganancia de Transmisión del router (dB)');
8 - while gananciatx < 0
9 -     gananciatx=input('Introduzca la Ganancia de Transmisión del router (dBm), debe ser un numero mayor a 0');
10 - end
11 - distancia=input('Introduzca la distancia hasta la que desea trabajar (m)');
12 - while distancia < 0
13 -     distancia=input('Introduzca la distancia hasta la que desea trabajar (m), debe ser un numero mayor a 0');
14 - end

Introduzca la Potencia de Transmisión del router (dBm)-9
Introduzca la Potencia de Transmisión del router (dBm), debe ser un numero mayor a 0
Introduzca la Ganancia de Transmisión del router (dB)9
Introduzca la distancia hasta la que desea trabajar (m)|
```

**Figura 14.** Líneas de código con función *WHILE* (arriba), interfaz del simulador (abajo)

**Fuente:** *Software MATLAB*

Esta función también permitió el llenado de la matriz que proporcionó los resultados, desarrollando cada una de las ecuaciones descritas dentro del ciclo, permitiendo realizar cada uno de los cálculos para cada valor diferente de distancia hasta llegar al que señaló el usuario.

```
19 - while contador<= distancia
20 -     contador1=contador1+1;
21 -     if contador1<=distancia
22 -         loss=10*log10((16*(pi^2)*((contador1)^2)/(lambda^2));
23 -         PotenciaRxDbm=gananciatx+potencia+1-loss;
24 -         PotenciaRxW=(0.001*10^(PotenciaRxDbm/10));
25 -         Poynting=(0.031623*1.58489)/(4*pi*contador1^2);
26 -         Campo=(Poynting*120*pi^2);
27 -         SARSmFm=(0.000001*Campo/950);
28 -         SARSmRM=(0.000001*Campo/1800);
29 -         SARSMFm=(0.000066*Campo/950);
30 -         SARSMRM=(0.000066*Campo/1800);

33 -     resultados(contador,1)= contador;
34 -     resultados(contador,2)=loss;
35 -     resultados(contador,3)=PotenciaRxDbm;
36 -     resultados(contador,4)=PotenciaRxW;
37 -     resultados(contador,5)=Poynting;
38 -     resultados(contador,6)=Campo;
39 -     resultados(contador,7)=SARSmFm;
40 -     resultados(contador,8)=SARSmRM;
41 -     resultados(contador,9)=SARSMFm;
42 -     resultados(contador,10)=SARSMRM;
43 -     contador=contador+1;
44 - end
```

**Figura 15.** Líneas de código con ciclo principal *WHILE*

**Fuente:** *Software MATLAB*

Se hizo uso de la función *FORMAT* para permitir que los resultados no fueran aproximados sino que sean dados con la mayor cantidad de decimales posibles.

A continuación el significado de cada una de las variables utilizadas en el código en orden de aparición.

Potencia: potencia de transmisión del *router*.

Gananciatax: ganancia de transmisión del *router*.

Distancia: distancia hasta la que se desean los cálculos.

Loss: pérdidas por espacio libre.

PotenciaRxDbm: potencia de recepción en Dbm.

PotenciaRxW: potencia de recepción en vatios.

Poynting: valor absoluto del vector de poynting.

Campo: valor del campo electromagnético.

SARSmRm: valor de *SAR* con conductividad y densidad del tejido humano mínimas.

SARSmRM: valor de *SAR* con conductividad mínima y densidad máxima del tejido humano

SARSMRm: valor de *SAR* con conductividad máxima y densidad mínima del tejido humano

SARSMRM: valor de *SAR* con conductividad y densidad del tejido humano máximas.

#### **IV.5 Descripción del *Router* utilizado**

Para realizar el cambio de configuración del *router* se utilizó un Linksys modelo WRT54G versión 8 el cual puede ser observado en la figura 16, dicho modelo

se utilizó debido a su fácil configuración, además Linksys corresponde a una de las marcas más utilizadas para redes domésticas y de oficinas.

Dicho equipo es un Gateway de red residencial de Linksys, este dispositivo es capaz de compartir la conexión a internet entre varios dispositivos a través de enlaces de datos inalámbricos. La versión 8 de este modelo posee antenas fijas con CPU Broadcom BCM5354 y 240 MHz de velocidad así como 8 MB de memoria RAM y 2 MB de memoria Flash, así como un prefijo de S/N CDFK.

La potencia de transmisión del mismo es de 15 dBm, una ganancia de transmisión de 2 dB. En el apéndice B se pueden observar las especificaciones detalladas del *router*.



**Figura 16.** Router Linksys modelo WRT54G V8

**Fuente:** Propia

Como se observa en la figura posee dos antenas, una se usa para la transmisión y otra para la recepción, dichas antenas en este modelo se encuentran fijas por lo cual no pueden ser reemplazadas con facilidad.

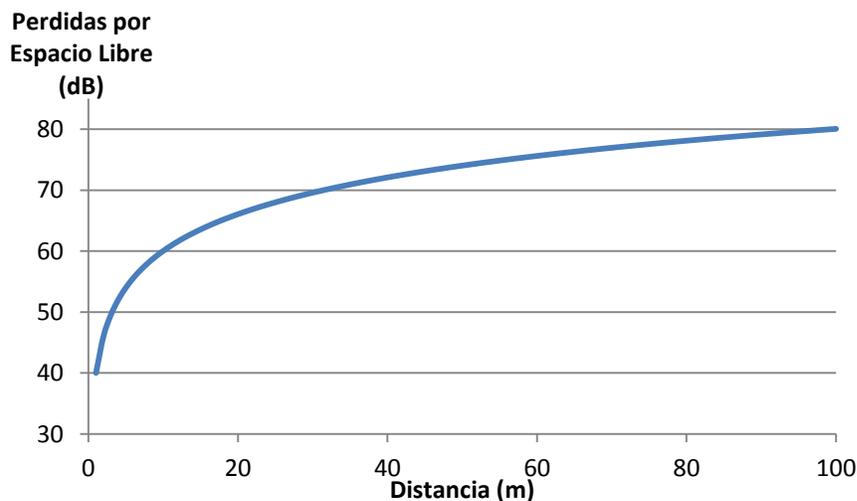
## CAPITULO V

### Análisis de resultados

En el presente capítulo se presenta el análisis de los resultados obtenidos tanto de los cálculos teóricos como de las simulaciones realizadas a lo largo del proyecto de investigación.

#### V.I Análisis de los cálculos teóricos

Desde la Figura 17 hasta la 25 se pueden observar las gráficas de los diversos valores que se obtuvieron a partir de los cálculos teóricos realizados.

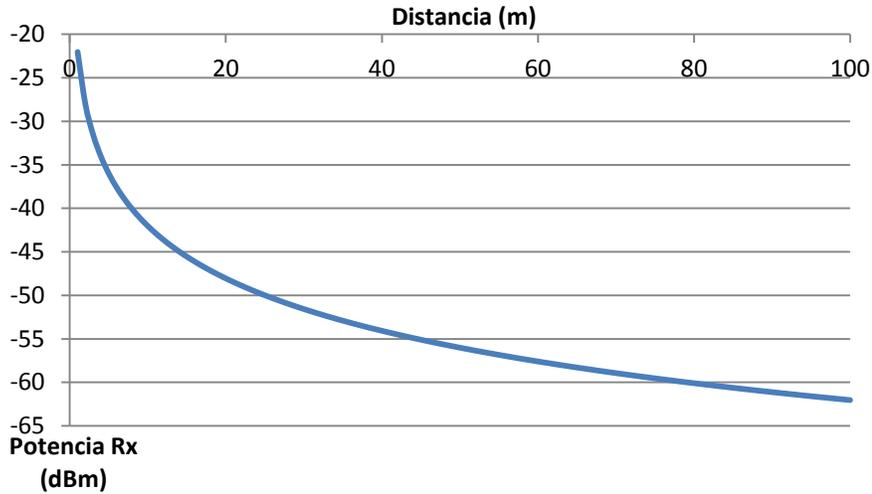


**Figura 17.** Gráfica Teórica Pérdidas por Espacio Libre vs Distancia

**Fuente:** Propia

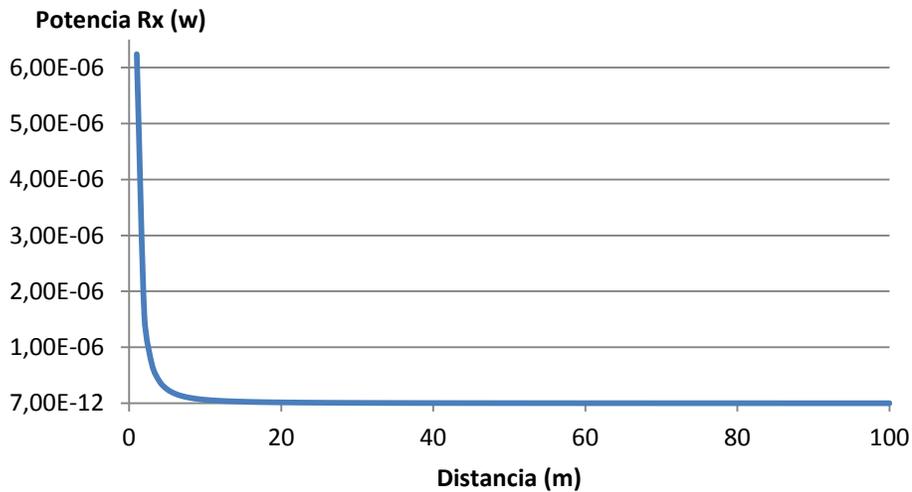
En la Figura 17 se puede observar como las pérdidas por espacio libre aumentan cuando la distancia también aumenta, estas pérdidas ocurren debido a que las ondas son transmitidas en el vacío lo que origina una dispersión de la onda causando lo que denominamos pérdidas sin que exista realmente una pérdida de

energía. Mientras mayor es la distancia que debe recorrer la onda existe una mayor dispersión de la misma.



**Figura 18.** Gráfica Teórica Potencia Recibida en dBm vs distancia

**Fuente:** Propia

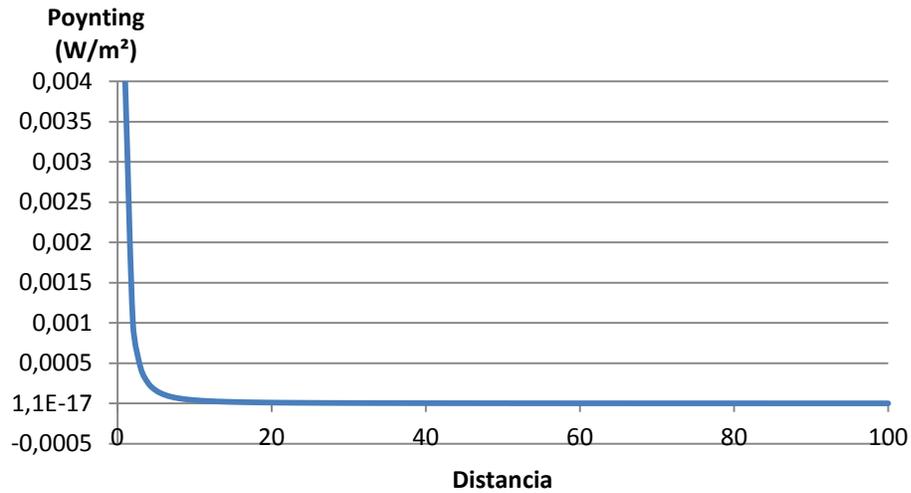


**Figura 19.** Gráfica Teórica Potencia Recibida en watts vs Distancia

**Fuente:** Propia

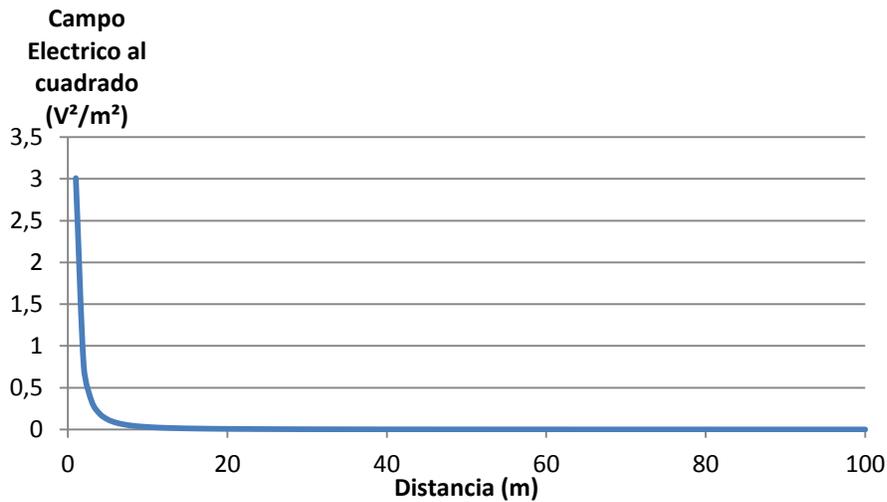
En las Figuras 18 y 19 se puede observar como la potencia recibida tanto en watts como en dBm disminuye cuando la distancia aumenta, mientras mayor es la

distancia que debe recorrer la onda existe una mayor dispersión de la misma, produciendo que la potencia que se recibe sea menor, es por esto que la potencia recibida decae en función de la distancia.



**Figura 20.** Gráfica Teórica Poynting vs Distancia

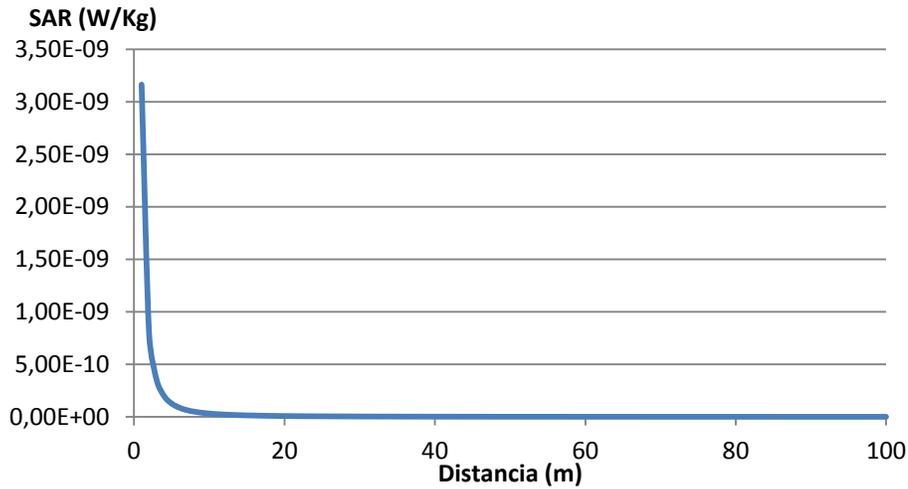
**Fuente:** Propia



**Figura 21.** Gráfica Teórica Campo Eléctrico al cuadrado vs Distancia

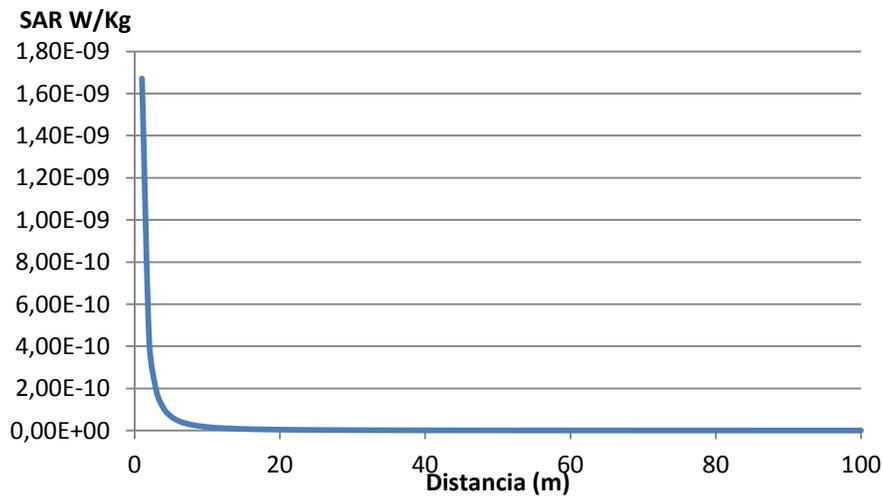
**Fuente:** Propia

En las Figuras 20 y 21 se puede observar cómo tanto Poynting como el campo eléctrico decrece con la distancia, esto debido a que el campo eléctrico es inversamente proporcional a la distancia, si la misma aumenta el campo eléctrico disminuye, es debido a esto que Poynting también disminuye con la distancia.



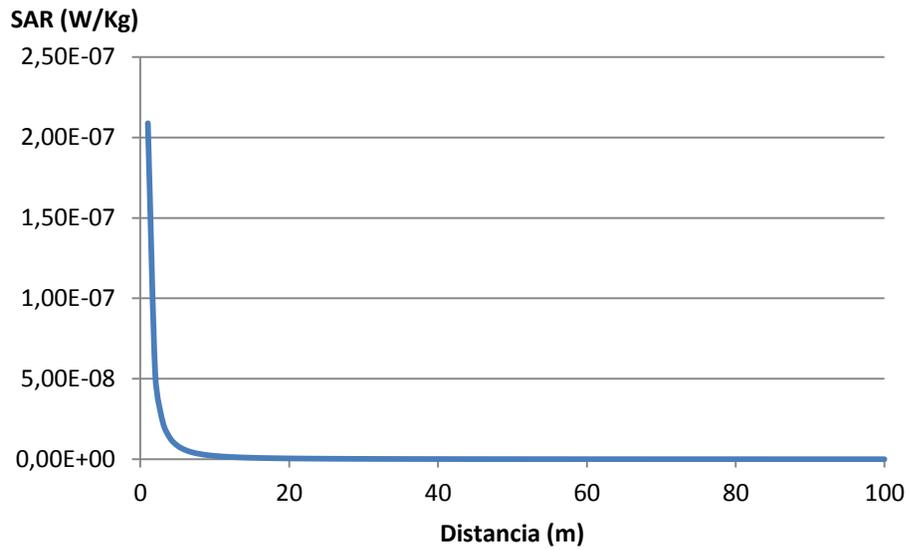
**Figura 22.** Gráfica Teórica SAR vs Distancia con densidad y conductividad del tejido mínimas

**Fuente:** Propia



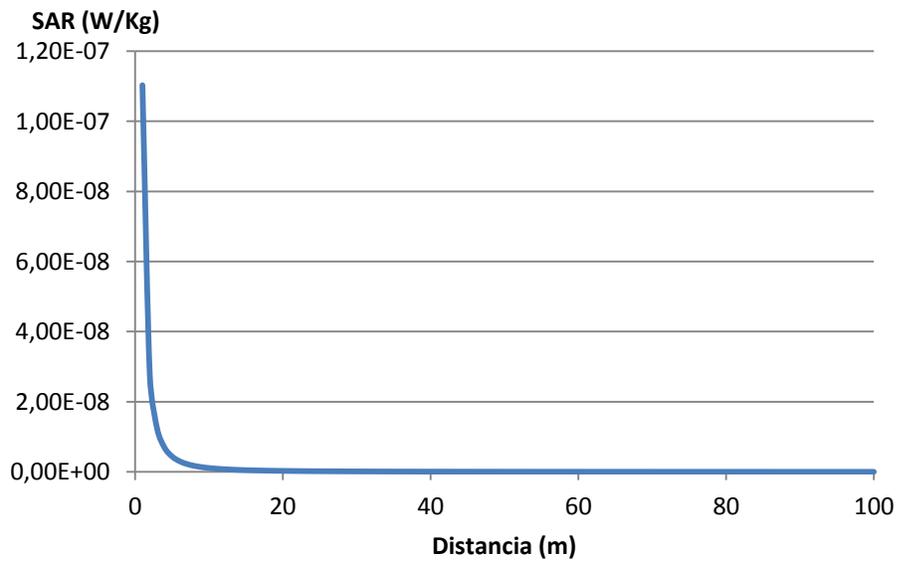
**Figura 23.** Gráfica Teórica SAR vs Distancia con conductividad mínima y densidad máxima del tejido

**Fuente:** Propia



**Figura 24.** Gráfica Teórica SAR vs Distancia con conductividad máxima y densidad mínima del tejido

**Fuente:** Propia



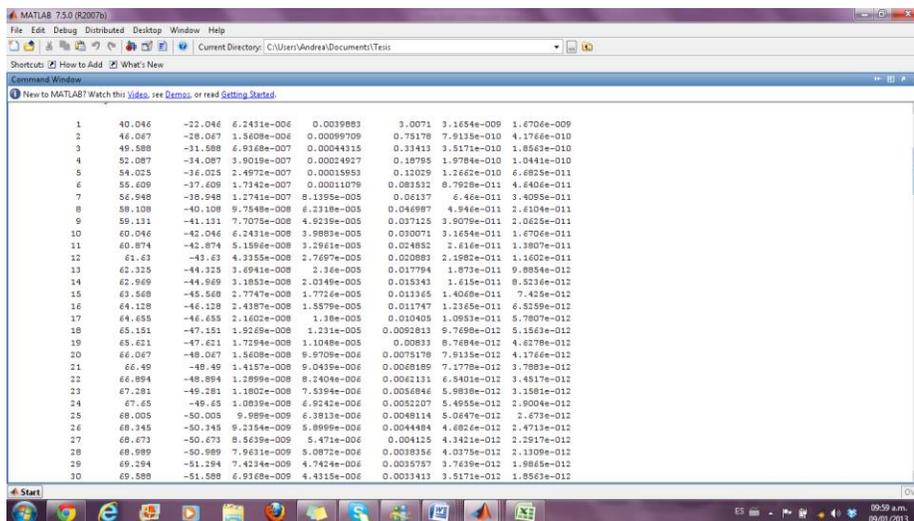
**Figura 25.** Gráfica Teórica SAR vs Distancia con densidad y conductividad del tejido máximas

**Fuente:** Propia

En las Figuras 22, 23, 24 y 25 se observa como el índice *SAR* disminuye cuando la distancia aumenta, sin embargo en ninguno de los casos el índice es igual o mayor al 0,4 establecido como límite por el *ICNIRP* para seguridad de los seres humanos. Son cuatro gráficas diferentes ya que se tomo en cuenta los valores máximos y mínimos encontrados para la conductividad y densidad del tejido humano, así como sus posibles combinaciones.

## V.2 Análisis de los resultados obtenidos en la simulación

Para la simulación, se corrió el código explicado en el capítulo anterior, se obtuvieron los resultados en el *command window* tal como se muestra en la figura 26. Y en el *workspace* tal como se muestra en la figura 27.

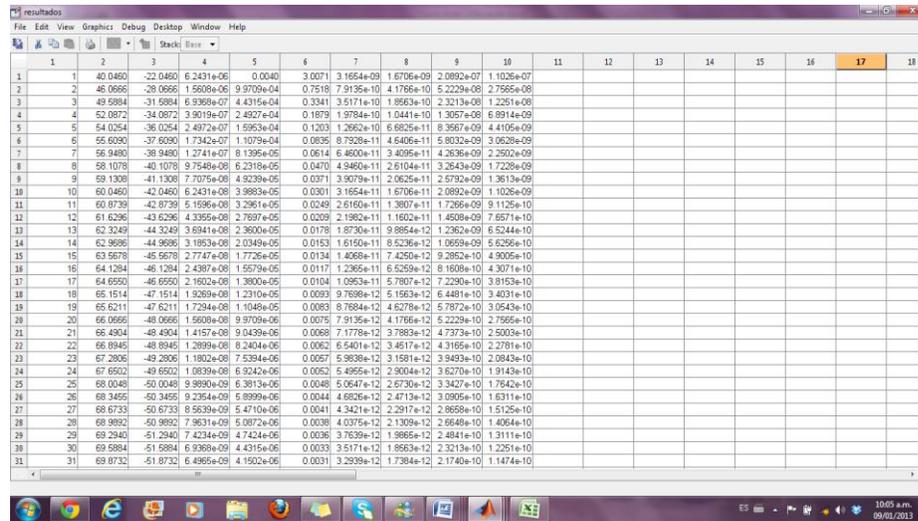


```
1 40.046 -22.046 6.2431e-006 0.0039983 3.0071 3.1654e-009 1.6706e-009
2 46.047 -28.047 1.5609e-006 0.00099709 0.75178 7.9135e-010 4.1766e-010
3 49.588 -31.588 6.9328e-007 0.00043115 0.33413 3.5171e-010 1.8552e-010
4 52.087 -34.087 3.9019e-007 0.00024927 0.18785 1.9784e-010 1.0441e-010
5 54.025 -36.025 2.4972e-007 0.00015953 0.12029 1.2662e-010 6.6825e-011
6 55.609 -37.609 1.7342e-007 0.00011079 0.083532 8.7928e-011 4.6406e-011
7 56.949 -39.049 1.2741e-007 8.1335e-005 0.06137 2.46e-011 3.4055e-011
8 58.108 -40.108 9.7548e-008 6.2338e-005 0.046987 4.846e-011 2.6104e-011
9 59.131 -41.131 7.7079e-008 4.9239e-005 0.037125 3.8079e-011 2.0625e-011
10 60.046 -42.046 6.2431e-008 3.9993e-005 0.030071 3.1654e-011 1.6706e-011
11 60.874 -42.874 5.1596e-008 3.2961e-005 0.024882 2.616e-011 1.3807e-011
12 61.63 -43.63 4.3355e-008 2.7697e-005 0.020893 2.1981e-011 1.1602e-011
13 62.325 -44.325 3.6941e-008 2.36e-005 0.017794 1.8731e-011 9.8854e-012
14 62.969 -44.969 3.1853e-008 2.0349e-005 0.015343 1.615e-011 8.5236e-012
15 63.568 -45.568 2.7747e-008 1.7726e-005 0.013365 1.4069e-011 7.4259e-012
16 64.128 -46.128 2.4387e-008 1.5579e-005 0.011747 1.2365e-011 6.5259e-012
17 64.655 -46.655 2.1602e-008 1.38e-005 0.010405 1.0953e-011 5.7807e-012
18 65.151 -47.151 1.9269e-008 1.231e-005 0.0092813 9.7698e-012 5.1563e-012
19 65.621 -47.621 1.7294e-008 1.1049e-005 0.00893 8.7494e-012 4.6279e-012
20 66.067 -48.067 1.5609e-008 9.9709e-006 0.0075178 7.9135e-012 4.1766e-012
21 66.49 -48.49 1.4157e-008 9.0435e-006 0.0069189 6.1778e-012 3.7983e-012
22 66.894 -48.894 1.2899e-008 8.2404e-006 0.0062131 5.6401e-012 3.4517e-012
23 67.281 -49.281 1.1802e-008 7.5394e-006 0.0056846 5.0939e-012 3.1581e-012
24 67.65 -49.65 1.0839e-008 6.9243e-006 0.0052207 4.6555e-012 2.9004e-012
25 68.005 -50.005 9.9899e-009 6.3933e-006 0.0048114 4.2647e-012 2.673e-012
26 68.345 -50.345 9.2354e-009 5.8999e-006 0.0044484 3.8826e-012 2.4713e-012
27 68.673 -50.673 8.5639e-009 5.471e-006 0.004125 3.5421e-012 2.2917e-012
28 68.989 -50.989 7.9631e-009 5.0972e-006 0.0038336 3.2376e-012 2.1309e-012
29 69.294 -51.294 7.4234e-009 4.7454e-006 0.0035757 2.9639e-012 1.9816e-012
30 69.588 -51.588 6.9328e-009 4.4315e-006 0.0033413 2.7171e-012 1.8563e-012
```

Figura 26. Resultados de *MATLAB* en el *Command Window*

Fuente: *Software MATLAB*

## NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES



**Figura 27.** Resultados de *MATLAB* en el *Workspace*

**Fuente:** *Software MATLAB*

A continuación se presenta los valores obtenidos en esta simulación en la Tabla 7 y 8, dichos valores serán analizados posteriormente utilizando gráficas para facilitar dicho análisis.

Distancia (m)	PEspacioLibre (dB)	PRX (dBm)	PRX (w)	S (W/m <sup>2</sup> )	E  <sup>2</sup> (V <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
1	40,045997	-22,045997	6,24E-06	0,00398834	3,00713859
2	46,0665969	-28,0665969	1,56E-06	0,00099709	0,75178465
3	49,5884221	-31,5884221	6,94E-07	0,00044315	0,33412651
4	52,0871968	-34,0871968	3,90E-07	0,00024927	0,18794616
5	54,0253971	-36,0253971	2,50E-07	0,00015953	0,12028554
6	55,609022	-37,609022	1,73E-07	0,00011079	0,08353163
7	56,9479578	-38,9479578	1,27E-07	8,14E-05	0,06137018
8	58,1077968	-40,1077968	9,75E-08	6,23E-05	0,04698654
9	59,1308472	-41,1308472	7,71E-08	4,92E-05	0,03712517
10	60,045997	-42,045997	6,24E-08	3,99E-05	0,03007139
11	60,8738507	-42,8738507	5,16E-08	3,30E-05	0,02485239
12	61,6296219	-43,6296219	4,34E-08	2,77E-05	0,02088291
13	62,3248641	-44,3248641	3,69E-08	2,36E-05	0,01779372
14	62,9685577	-44,9685577	3,19E-08	2,03E-05	0,01534254
15	63,5678222	-45,5678222	2,77E-08	1,77E-05	0,01336506
16	64,1283967	-46,1283967	2,44E-08	1,56E-05	0,01174664

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

Distancia (m)	PEspacioLibre (dB)	PRX (dBm)	PRX (w)	S (W/m <sup>2</sup> )	E  <sup>2</sup> (V <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
17	64,6549754	-46,6549754	2,16E-08	1,38E-05	0,01040532
18	65,1514471	-47,1514471	1,93E-08	1,23E-05	0,00928129
19	65,621069	-47,621069	1,73E-08	1,10E-05	0,00833002
20	66,0665969	-48,0665969	1,56E-08	9,97E-06	0,00751785
21	66,4903829	-48,4903829	1,42E-08	9,04E-06	0,00681891
22	66,8944506	-48,8944506	1,29E-08	8,24E-06	0,0062131
23	67,2805537	-49,2805537	1,18E-08	7,54E-06	0,00568457
24	67,6502219	-49,6502219	1,08E-08	6,92E-06	0,00522073
25	68,0047972	-50,0047972	9,99E-09	6,38E-06	0,00481142
26	68,345464	-50,345464	9,24E-09	5,90E-06	0,00444843
27	68,6732723	-50,6732723	8,56E-09	5,47E-06	0,00412502
28	68,9891576	-50,9891576	7,96E-09	5,09E-06	0,00383564
29	69,293957	-51,293957	7,42E-09	4,74E-06	0,00357567
30	69,5884221	-51,5884221	6,94E-09	4,43E-06	0,00334127
31	69,8732309	-51,8732309	6,50E-09	4,15E-06	0,00312918
32	70,1489966	-52,1489966	6,10E-09	3,89E-06	0,00293666
33	70,4162758	-52,4162758	5,73E-09	3,66E-06	0,00276138
34	70,6755754	-52,6755754	5,40E-09	3,45E-06	0,00260133
35	70,9273579	-52,9273579	5,10E-09	3,26E-06	0,00245481
36	71,172047	-53,172047	4,82E-09	3,08E-06	0,00232032
37	71,4100315	-53,4100315	4,56E-09	2,91E-06	0,0021966
38	71,641669	-53,641669	4,32E-09	2,76E-06	0,00208251
39	71,8672892	-53,8672892	4,10E-09	2,62E-06	0,00197708
40	72,0871968	-54,0871968	3,90E-09	2,49E-06	0,00187946
41	72,3016742	-54,3016742	3,71E-09	2,37E-06	0,0017889
42	72,5109828	-54,5109828	3,54E-09	2,26E-06	0,00170473
43	72,7153661	-54,7153661	3,38E-09	2,16E-06	0,00162636
44	72,9150506	-54,9150506	3,22E-09	2,06E-06	0,00155327
45	73,1102473	-55,1102473	3,08E-09	1,97E-06	0,00148501
46	73,3011537	-55,3011537	2,95E-09	1,88E-06	0,00142114
47	73,4879542	-55,4879542	2,83E-09	1,81E-06	0,00136131
48	73,6708218	-55,6708218	2,71E-09	1,73E-06	0,00130518
49	73,8499186	-55,8499186	2,60E-09	1,66E-06	0,00125245
50	74,0253971	-56,0253971	2,50E-09	1,60E-06	0,00120286
51	74,1974005	-56,1974005	2,40E-09	1,53E-06	0,00115615
52	74,3660639	-56,3660639	2,31E-09	1,47E-06	0,00111211
53	74,5315144	-56,5315144	2,22E-09	1,42E-06	0,00107054

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

Distancia (m)	PEspacioLibre (dB)	PRX (dBm)	PRX (w)	S (W/m <sup>2</sup> )	E  <sup>2</sup> (V <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
54	74,6938722	-56,6938722	2,14E-09	1,37E-06	0,00103125
55	74,8532508	-56,8532508	2,06E-09	1,32E-06	0,0009941
56	75,0097576	-57,0097576	1,99E-09	1,27E-06	0,00095891
57	75,1634941	-57,1634941	1,92E-09	1,23E-06	0,00092556
58	75,3145569	-57,3145569	1,86E-09	1,19E-06	0,00089392
59	75,4630373	-57,4630373	1,79E-09	1,15E-06	0,00086387
60	75,609022	-57,609022	1,73E-09	1,11E-06	0,00083532
61	75,7525937	-57,7525937	1,68E-09	1,07E-06	0,00080815
62	75,8938308	-57,8938308	1,62E-09	1,04E-06	0,00078229
63	76,032808	-58,032808	1,57E-09	1,00E-06	0,00075766
64	76,1695965	-58,1695965	1,52E-09	9,74E-07	0,00073416
65	76,3042642	-58,3042642	1,48E-09	9,44E-07	0,00071175
66	76,4368757	-58,4368757	1,43E-09	9,16E-07	0,00069034
67	76,5674931	-58,5674931	1,39E-09	8,88E-07	0,00066989
68	76,6961753	-58,6961753	1,35E-09	8,63E-07	0,00065033
69	76,8229788	-58,8229788	1,31E-09	8,38E-07	0,00063162
70	76,9479578	-58,9479578	1,27E-09	8,14E-07	0,0006137
71	77,071164	-59,071164	1,24E-09	7,91E-07	0,00059654
72	77,1926469	-59,1926469	1,20E-09	7,69E-07	0,00058008
73	77,3124542	-59,3124542	1,17E-09	7,48E-07	0,0005643
74	77,4306314	-59,4306314	1,14E-09	7,28E-07	0,00054915
75	77,5472223	-59,5472223	1,11E-09	7,09E-07	0,0005346
76	77,6622689	-59,6622689	1,08E-09	6,91E-07	0,00052063
77	77,7758115	-59,7758115	1,05E-09	6,73E-07	0,00050719
78	77,8878891	-59,8878891	1,03E-09	6,56E-07	0,00049427
79	77,9985388	-59,9985388	1,00E-09	6,39E-07	0,00048184
80	78,1077968	-60,1077968	9,75E-10	6,23E-07	0,00046987
81	78,2156974	-60,2156974	9,52E-10	6,08E-07	0,00045834
82	78,3222741	-60,3222741	9,28E-10	5,93E-07	0,00044722
83	78,4275589	-60,4275589	9,06E-10	5,79E-07	0,00043651
84	78,5315827	-60,5315827	8,85E-10	5,65E-07	0,00042618
85	78,6343755	-60,6343755	8,64E-10	5,52E-07	0,00041621
86	78,735966	-60,735966	8,44E-10	5,39E-07	0,00040659
87	78,8363821	-60,8363821	8,25E-10	5,27E-07	0,0003973
88	78,9356505	-60,9356505	8,06E-10	5,15E-07	0,00038832
89	79,0337972	-61,0337972	7,88E-10	5,04E-07	0,00037964
90	79,1308472	-61,1308472	7,71E-10	4,92E-07	0,00037125

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

Distancia (m)	PEspacioLibre (dB)	PRX (dBm)	PRX (w)	S (W/m <sup>2</sup> )	E  <sup>2</sup> (V <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
91	79,2268249	-61,2268249	7,54E-10	4,82E-07	0,00036314
92	79,3217536	-61,3217536	7,38E-10	4,71E-07	0,00035529
93	79,415656	-61,415656	7,22E-10	4,61E-07	0,00034769
94	79,5085541	-61,5085541	7,07E-10	4,51E-07	0,00034033
95	79,6004691	-61,6004691	6,92E-10	4,42E-07	0,0003332
96	79,6914217	-61,6914217	6,77E-10	4,33E-07	0,0003263
97	79,7814317	-61,7814317	6,64E-10	4,24E-07	0,0003196
98	79,8705185	-61,8705185	6,50E-10	4,15E-07	0,00031311
99	79,9587009	-61,9587009	6,37E-10	4,07E-07	0,00030682
100	80,045997	-62,045997	6,24E-10	3,99E-07	0,00030071

**Tabla 7.** Valores Simulados obtenidos (Parte I)

**Fuente:** Propia

Distancia (m)	SAR con smin y rmin (W/Kg)	SAR con smin y rmax (W/Kg)	SAR con smax y rmin (W/Kg)	SAR con smax y rmax (W/Kg)
	1	3,17E-09	1,67E-09	2,09E-07
2	7,91E-10	4,18E-10	5,22E-08	2,76E-08
3	3,52E-10	1,86E-10	2,32E-08	1,23E-08
4	1,98E-10	1,04E-10	1,31E-08	6,89E-09
5	1,27E-10	6,68E-11	8,36E-09	4,41E-09
6	8,79E-11	4,64E-11	5,80E-09	3,06E-09
7	6,46E-11	3,41E-11	4,26E-09	2,25E-09
8	4,95E-11	2,61E-11	3,26E-09	1,72E-09
9	3,91E-11	2,06E-11	2,58E-09	1,36E-09
10	3,17E-11	1,67E-11	2,09E-09	1,10E-09
11	2,62E-11	1,38E-11	1,73E-09	9,11E-10
12	2,20E-11	1,16E-11	1,45E-09	7,66E-10
13	1,87E-11	9,89E-12	1,24E-09	6,52E-10
14	1,62E-11	8,52E-12	1,07E-09	5,63E-10
15	1,41E-11	7,43E-12	9,29E-10	4,90E-10
16	1,24E-11	6,53E-12	8,16E-10	4,31E-10
17	1,10E-11	5,78E-12	7,23E-10	3,82E-10
18	9,77E-12	5,16E-12	6,45E-10	3,40E-10
19	8,77E-12	4,63E-12	5,79E-10	3,05E-10
20	7,91E-12	4,18E-12	5,22E-10	2,76E-10
21	7,18E-12	3,79E-12	4,74E-10	2,50E-10

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

Distancia (m)	SAR con smin y rmin (W/Kg)	SAR con smin y rmax (W/Kg)	SAR con smax y rmin (W/Kg)	SAR con smax y rmax (W/Kg)
22	6,54E-12	3,45E-12	4,32E-10	2,28E-10
23	5,98E-12	3,16E-12	3,95E-10	2,08E-10
24	5,50E-12	2,90E-12	3,63E-10	1,91E-10
25	5,06E-12	2,67E-12	3,34E-10	1,76E-10
26	4,68E-12	2,47E-12	3,09E-10	1,63E-10
27	4,34E-12	2,29E-12	2,87E-10	1,51E-10
28	4,04E-12	2,13E-12	2,66E-10	1,41E-10
29	3,76E-12	1,99E-12	2,48E-10	1,31E-10
30	3,52E-12	1,86E-12	2,32E-10	1,23E-10
31	3,29E-12	1,74E-12	2,17E-10	1,15E-10
32	3,09E-12	1,63E-12	2,04E-10	1,08E-10
33	2,91E-12	1,53E-12	1,92E-10	1,01E-10
34	2,74E-12	1,45E-12	1,81E-10	9,54E-11
35	2,58E-12	1,36E-12	1,71E-10	9,00E-11
36	2,44E-12	1,29E-12	1,61E-10	8,51E-11
37	2,31E-12	1,22E-12	1,53E-10	8,05E-11
38	2,19E-12	1,16E-12	1,45E-10	7,64E-11
39	2,08E-12	1,10E-12	1,37E-10	7,25E-11
40	1,98E-12	1,04E-12	1,31E-10	6,89E-11
41	1,88E-12	9,94E-13	1,24E-10	6,56E-11
42	1,79E-12	9,47E-13	1,18E-10	6,25E-11
43	1,71E-12	9,04E-13	1,13E-10	5,96E-11
44	1,64E-12	8,63E-13	1,08E-10	5,70E-11
45	1,56E-12	8,25E-13	1,03E-10	5,45E-11
46	1,50E-12	7,90E-13	9,87E-11	5,21E-11
47	1,43E-12	7,56E-13	9,46E-11	4,99E-11
48	1,37E-12	7,25E-13	9,07E-11	4,79E-11
49	1,32E-12	6,96E-13	8,70E-11	4,59E-11
50	1,27E-12	6,68E-13	8,36E-11	4,41E-11
51	1,22E-12	6,42E-13	8,03E-11	4,24E-11
52	1,17E-12	6,18E-13	7,73E-11	4,08E-11
53	1,13E-12	5,95E-13	7,44E-11	3,93E-11
54	1,09E-12	5,73E-13	7,16E-11	3,78E-11
55	1,05E-12	5,52E-13	6,91E-11	3,65E-11
56	1,01E-12	5,33E-13	6,66E-11	3,52E-11
57	9,74E-13	5,14E-13	6,43E-11	3,39E-11
58	9,41E-13	4,97E-13	6,21E-11	3,28E-11

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

Distancia (m)	SAR con smin y rmin (W/Kg)	SAR con smin y rmax (W/Kg)	SAR con smax y rmin (W/Kg)	SAR con smax y rmax (W/Kg)
59	9,09E-13	4,80E-13	6,00E-11	3,17E-11
60	8,79E-13	4,64E-13	5,80E-11	3,06E-11
61	8,51E-13	4,49E-13	5,61E-11	2,96E-11
62	8,23E-13	4,35E-13	5,43E-11	2,87E-11
63	7,98E-13	4,21E-13	5,26E-11	2,78E-11
64	7,73E-13	4,08E-13	5,10E-11	2,69E-11
65	7,49E-13	3,95E-13	4,94E-11	2,61E-11
66	7,27E-13	3,84E-13	4,80E-11	2,53E-11
67	7,05E-13	3,72E-13	4,65E-11	2,46E-11
68	6,85E-13	3,61E-13	4,52E-11	2,38E-11
69	6,65E-13	3,51E-13	4,39E-11	2,32E-11
70	6,46E-13	3,41E-13	4,26E-11	2,25E-11
71	6,28E-13	3,31E-13	4,14E-11	2,19E-11
72	6,11E-13	3,22E-13	4,03E-11	2,13E-11
73	5,94E-13	3,13E-13	3,92E-11	2,07E-11
74	5,78E-13	3,05E-13	3,82E-11	2,01E-11
75	5,63E-13	2,97E-13	3,71E-11	1,96E-11
76	5,48E-13	2,89E-13	3,62E-11	1,91E-11
77	5,34E-13	2,82E-13	3,52E-11	1,86E-11
78	5,20E-13	2,75E-13	3,43E-11	1,81E-11
79	5,07E-13	2,68E-13	3,35E-11	1,77E-11
80	4,95E-13	2,61E-13	3,26E-11	1,72E-11
81	4,82E-13	2,55E-13	3,18E-11	1,68E-11
82	4,71E-13	2,48E-13	3,11E-11	1,64E-11
83	4,59E-13	2,43E-13	3,03E-11	1,60E-11
84	4,49E-13	2,37E-13	2,96E-11	1,56E-11
85	4,38E-13	2,31E-13	2,89E-11	1,53E-11
86	4,28E-13	2,26E-13	2,82E-11	1,49E-11
87	4,18E-13	2,21E-13	2,76E-11	1,46E-11
88	4,09E-13	2,16E-13	2,70E-11	1,42E-11
89	4,00E-13	2,11E-13	2,64E-11	1,39E-11
90	3,91E-13	2,06E-13	2,58E-11	1,36E-11
91	3,82E-13	2,02E-13	2,52E-11	1,33E-11
92	3,74E-13	1,97E-13	2,47E-11	1,30E-11
93	3,66E-13	1,93E-13	2,42E-11	1,27E-11
94	3,58E-13	1,89E-13	2,36E-11	1,25E-11
95	3,51E-13	1,85E-13	2,31E-11	1,22E-11

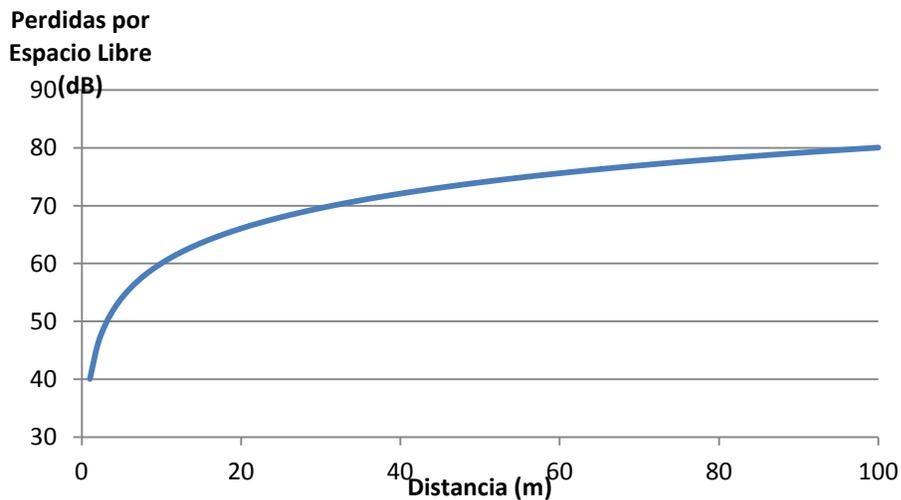
NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

Distancia (m)	SAR con smin y rmin (W/Kg)	SAR con smin y rmax (W/Kg)	SAR con smax y rmin (W/Kg)	SAR con smax y rmax (W/Kg)
96	3,43E-13	1,81E-13	2,27E-11	1,20E-11
97	3,36E-13	1,78E-13	2,22E-11	1,17E-11
98	3,30E-13	1,74E-13	2,18E-11	1,15E-11
99	3,23E-13	1,70E-13	2,13E-11	1,13E-11
100	3,17E-13	1,67E-13	2,09E-11	1,10E-11

**Tabla 8.** Valores simulados obtenidos (Parte II)

Fuente: Propia

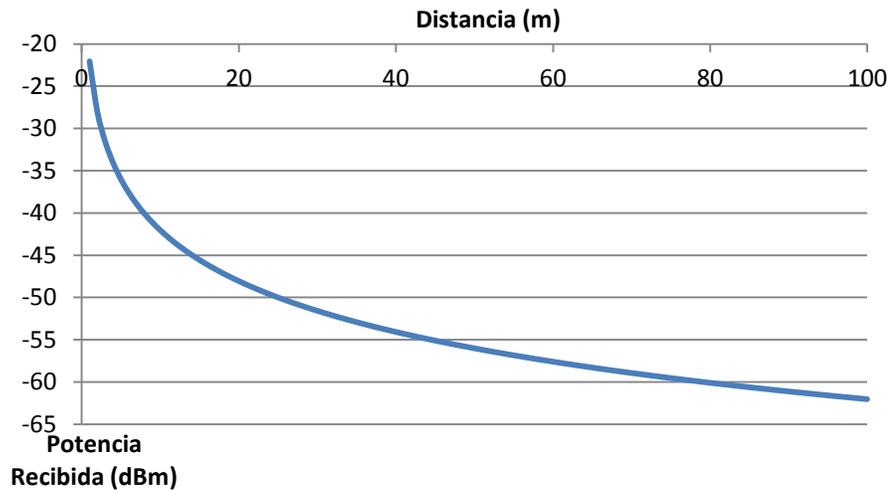
A continuación se presentarán las gráficas correspondientes a los resultados obtenidos por medio de la simulación. Las cuales serán analizadas y posteriormente comparadas con las gráficas de los cálculos teóricas obtenidas.



**Figura 28.** Gráfica Simulación Pérdidas por Espacio Libre vs Distancia

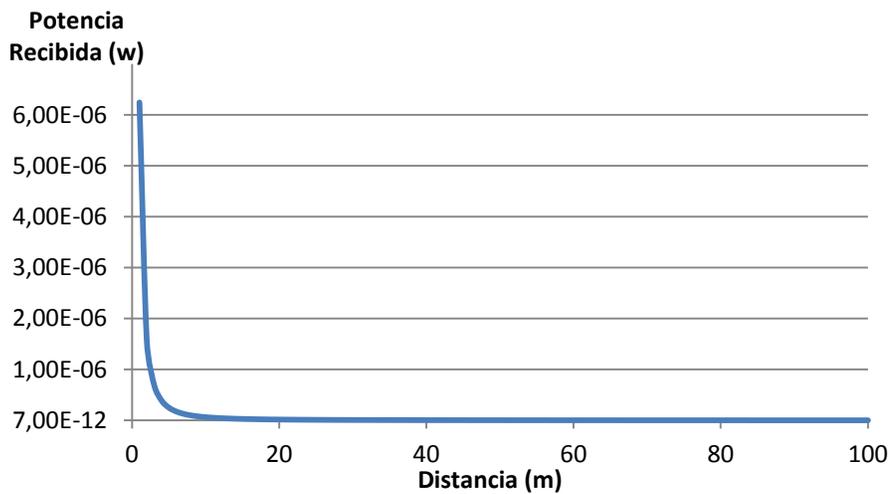
Fuente: Propia

En la Figura 30 se puede observar la relación entre la distancia y las pérdidas por espacio libre, las cuales aumentan a medida que aumenta la distancia, esto tal como se explicó en la gráfica teórica obtenida es debido a que la dispersión de la onda que se transmite en el vacío la cual causa una pérdida de energía.



**Figura 29.** Gráfica Simulada Potencia Recibida en dBm vs distancia

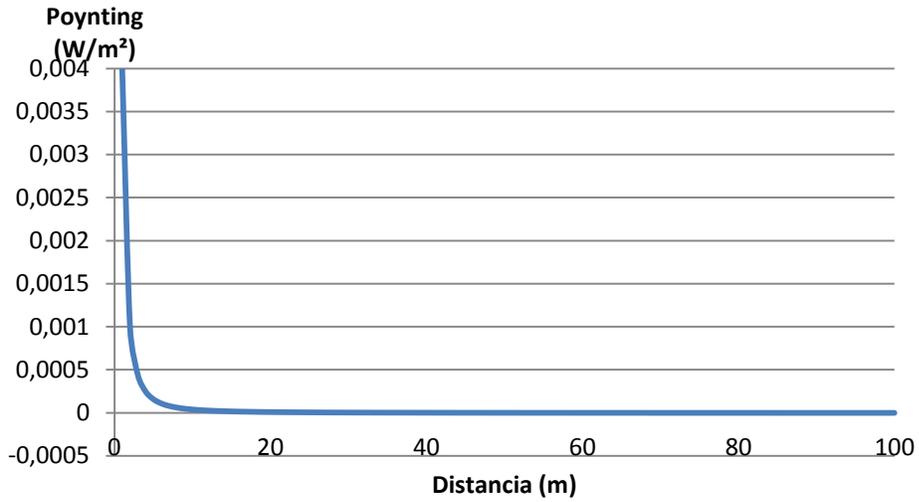
**Fuente:** Propia



**Figura 30.** Gráfica Teórica Potencia Recibida en watts vs distancia

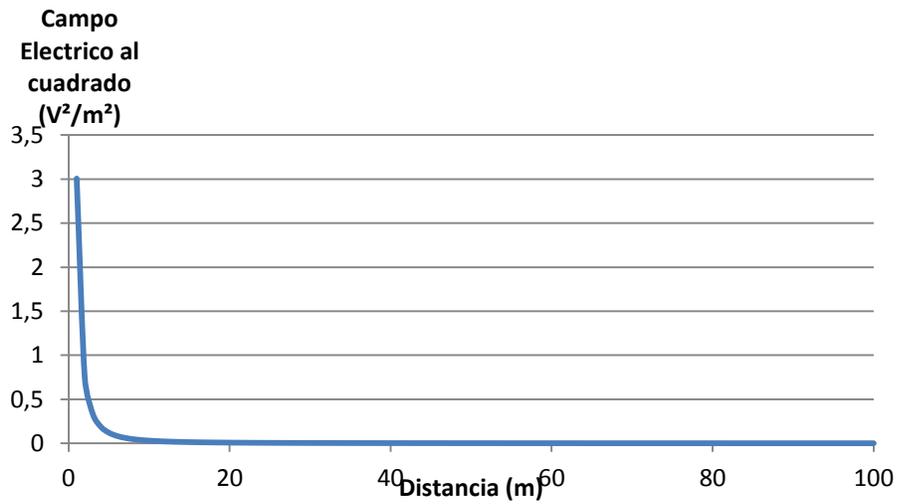
**Fuente:** Propia

En las Figuras 31 y 32, se observan las curvas representativas de la potencia recibida tanto en watts como en dBm en relación a la distancia, es notable como la potencia recibida disminuye cuando la distancia aumenta, esto se debe a que la potencia recibida es dependiente de la distancia, implicando una mayor dispersión de la onda a medida que la distancia aumenta.



**Figura 31.** Gráfica Simulada Poynting vs distancia

**Fuente:** Propia

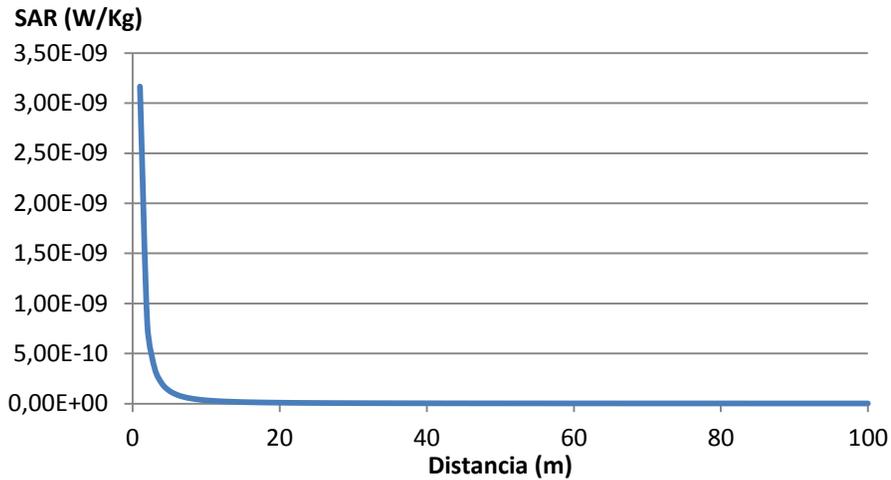


**Figura 32.** Gráfica Simulada Campo Eléctrico al cuadrado vs distancia

**Fuente:** Propia

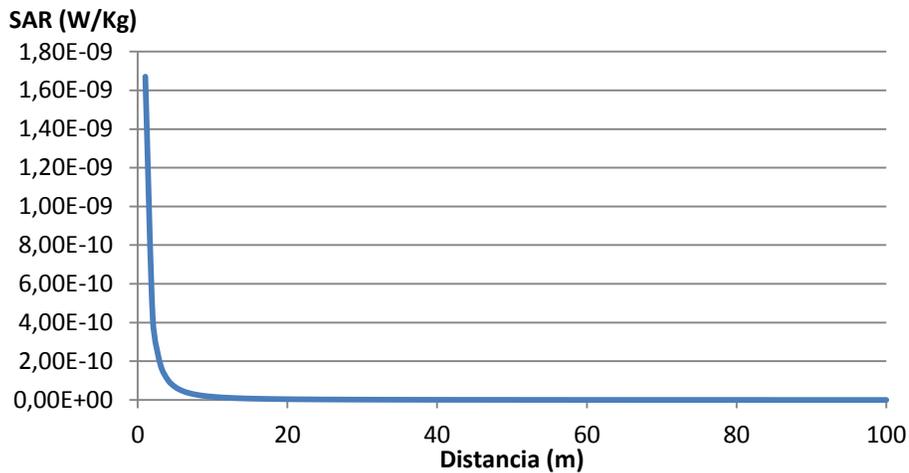
En las Figuras 33, se observa la intensidad de la onda en una superficie perpendicular a su trayectoria representada por el módulo del vector de Poynting, es notable como este módulo disminuye cuando la distancia aumenta, esto a causa de que posee una relación inversa respecto a la misma.

Por otra parte en la Figura 34 se muestra la relación directa que posee el módulo de Poynting con el campo eléctrico, ya que depende del mismo únicamente, tomando en cuenta que se utilizaron las características del vacío para realizar los cálculos.



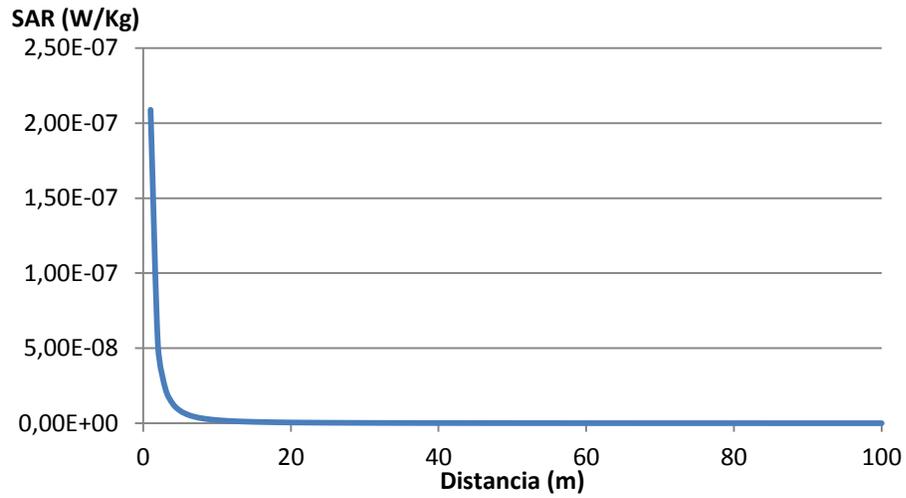
**Figura 33.** Gráfica Simulación SAR vs Distancia con densidad y conductividad del tejido mínimas

**Fuente:** Propia



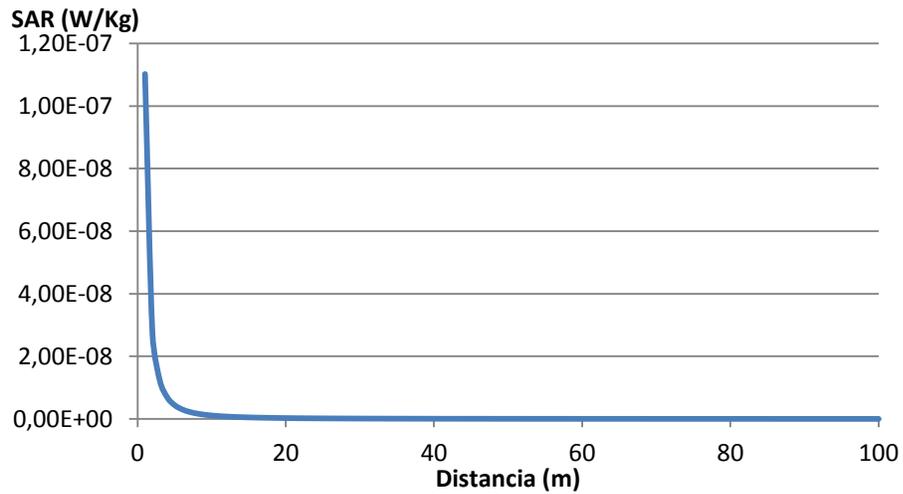
**Figura 34.** Gráfica Simulación SAR vs distancia con conductividad mínima y densidad máxima del tejido

**Fuente:** Propia



**Figura 35.** Gráfica Simulación SAR vs distancia con conductividad máxima y densidad mínima del tejido

**Fuente:** Propia



**Figura 36.** Gráfica Simulación SAR vs distancia con densidad y conductividad del tejido máximas

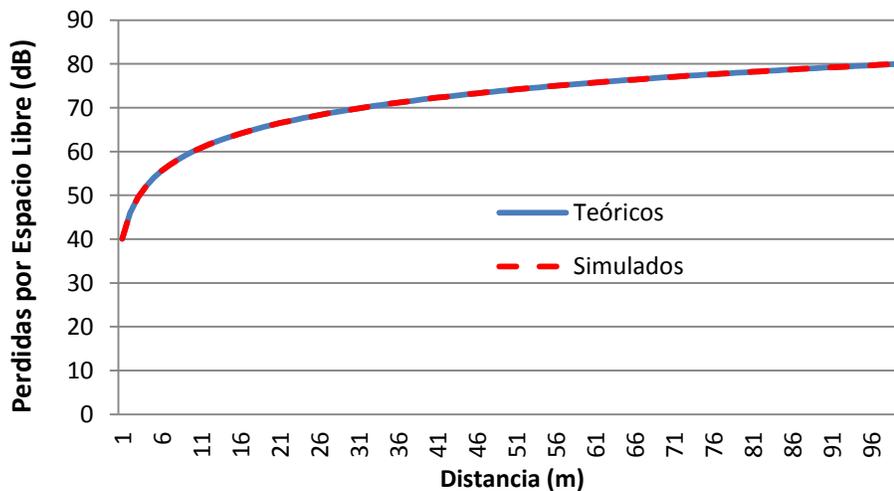
**Fuente:** Propia

En las Figuras 35, 36, 37 y 38 mostradas anteriormente se observa que independientemente de cuáles sea los valores de conductividad y densidad de tejido usado, el valor del SAR desciende rápidamente en los primero metros de distancia,

siendo casi despreciable después de estos. Se representaron cuatro gráficas ya que se tomaron en cuenta los valores máximos y mínimos de la conductividad y la densidad del tejido humano, incluyendo las posibles combinaciones.

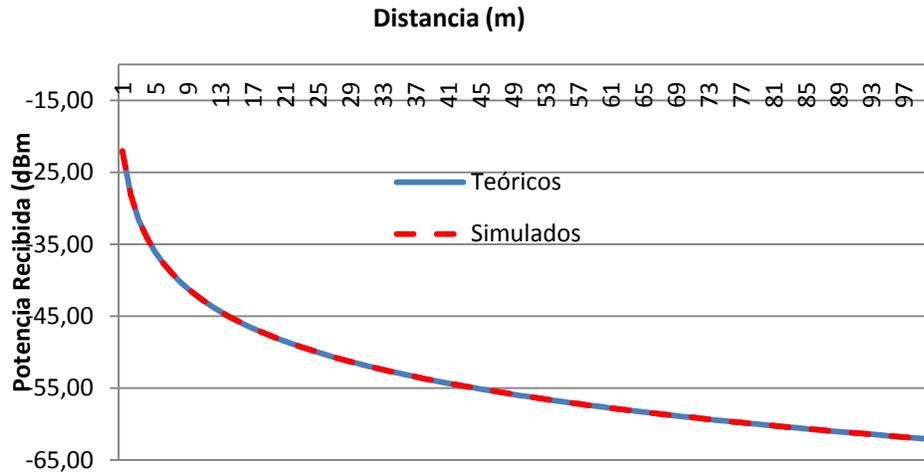
### V.3 Comparación de los resultados

A continuación se presentan las gráficas en donde se compararon los valores teóricos y simulados de las diferentes variables que posee el *router*, como lo son la potencia, pérdidas, campo eléctrico y demás características estudiadas hasta ahora dentro del rango de los 100m<sup>2</sup>.



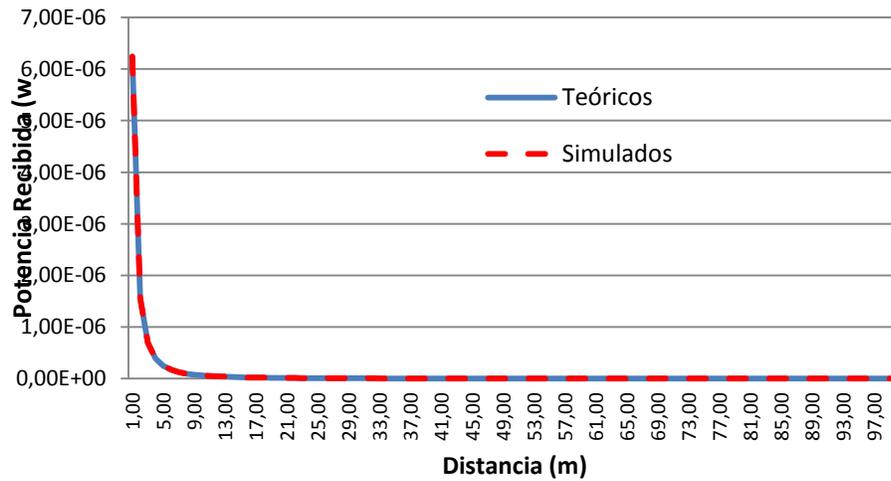
**Figura 37.** Comparación de las Pérdidas por Espacio Libre vs Distancia, valor teórico y simulado por *MATLAB*.

**Fuente:** Propia



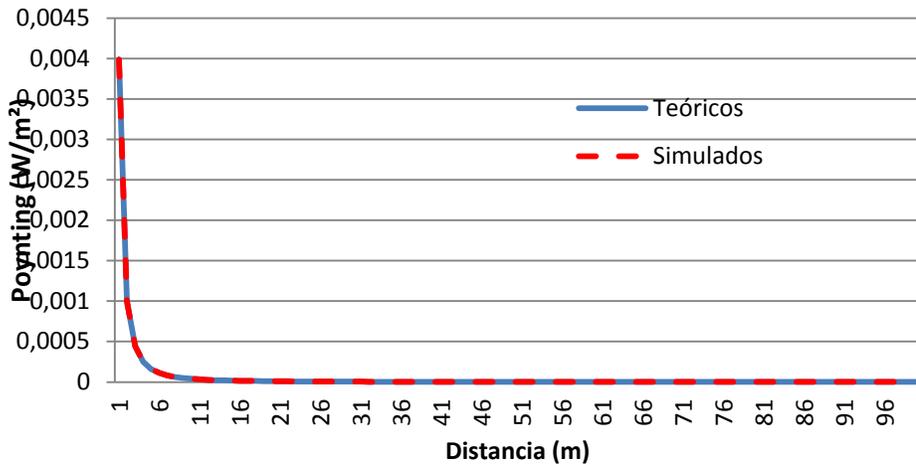
**Figura 38.** Comparación de la Potencia Recibida en dBm vs distancia, valor teórico y simulado por *MATLAB*.

**Fuente:** Propia



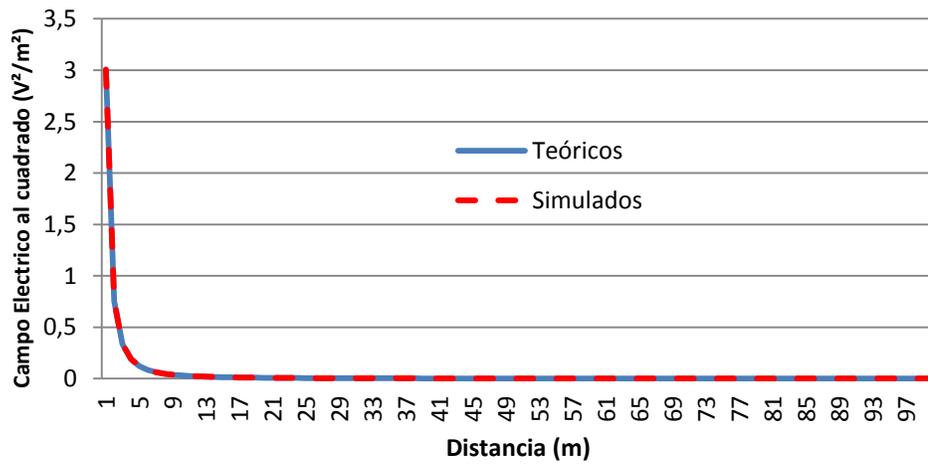
**Figura 39.** Comparación de la Potencia Recibida en watts vs Distancia, valor teórico y simulado por *MATLAB*.

**Fuente:** Propia



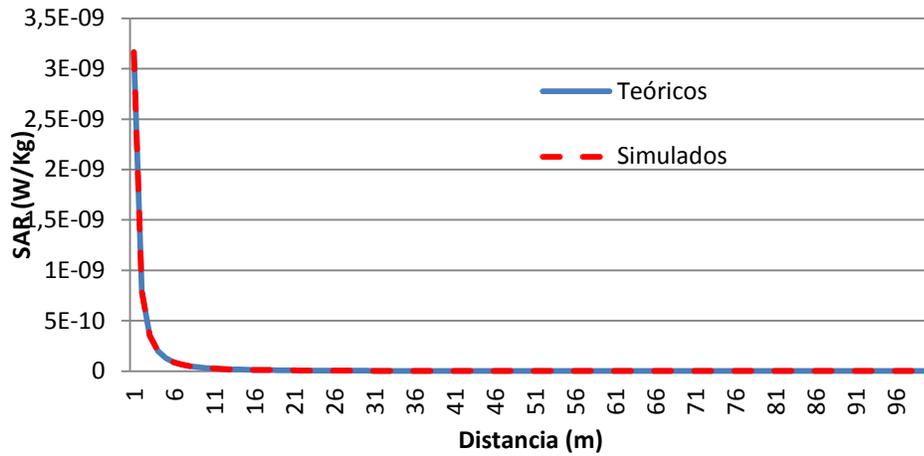
**Figura 40.** Comparación de Poynting vs Distancia, valor teórico y simulado por *MATLAB*.

**Fuente:** Propia



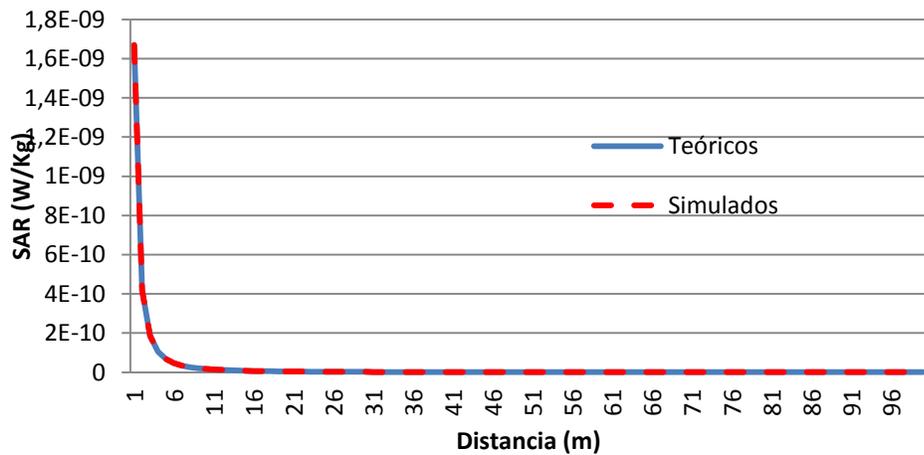
**Figura 41.** Comparación del Campo Eléctrico al cuadrado vs Distancia, valor teórico y simulado por *MATLAB*.

**Fuente:** Propia



**Figura 42.** Comparación del *SAR* vs Distancia con densidad y conductividad del tejido mínimas, valor teórico y simulado por *MATLAB*

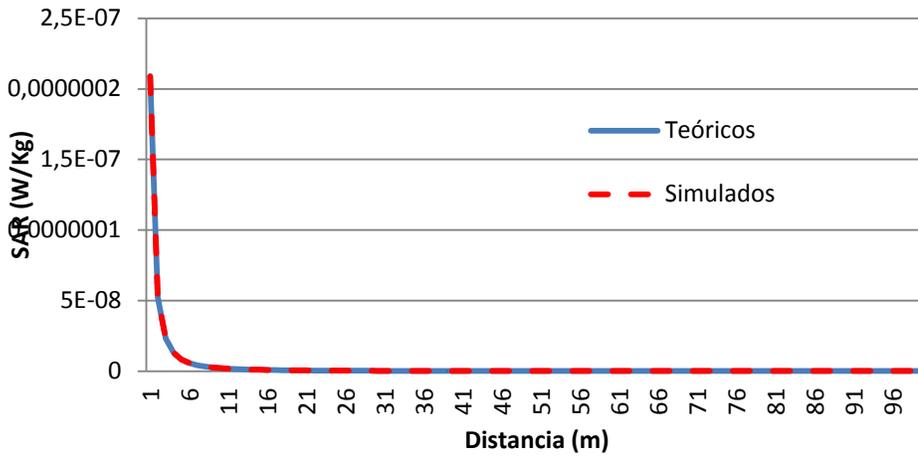
**Fuente:** Propia



**Figura 43.** Comparación del *SAR* vs Distancia con conductividad mínima y densidad máxima del tejido, valor teórico y simulado por *MATLAB*

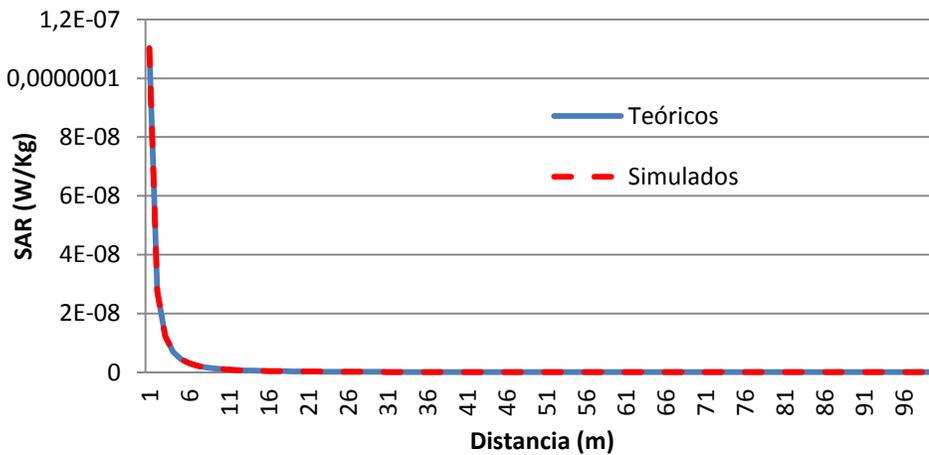
**Fuente:** Propia

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES



**Figura 44.** Comparación del *SAR* vs Distancia con conductividad máxima y densidad mínima del tejido, valor teórico y simulado por *MATLAB*

**Fuente:** Propia



**Figura 45.** Comparación del *SAR* vs Distancia con densidad y conductividad del tejido máximas, valor teórico y simulado por *MATLAB*

**Fuente:** Propia

Al observar las graficas 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46 y 47, es notable que ambos cálculos (teóricos y simulados) siguen la misma tendencia, es decir, los datos arrojados por la simulación en *MATLAB* corroboran los cálculos realizados inicialmente y en los pocos casos en donde difieren los valores es debido a la

diferencia en el octavo dígito en los decimales, por lo que, los mismos pueden ser despreciables para el análisis.

#### **V.4 Análisis de la tasa de absorción específica (SAR)**

El índice *SAR* permitido por el *ICNIRP* para la exposición al público en general es de 0,08 W/Kg tal como se muestra en la tabla 1, considerando que los valores obtenidos mediante la comparación de los resultados teóricos y simulados se encuentran por debajo de  $2,09E-07$  W/Kg, valor obtenido utilizando conductividad del tejido del cuerpo máxima y densidad del tejido del cuerpo humano mínima, se puede observar como el público se encuentra expuesto a un índice correspondiente al 0,00026% del permitido.

Al comparar estos cálculos se pudo observar que tomando en cuenta los valores estudiados, los cuales determinan el efecto que la radiación tiene en los seres humanos (*ICNIRP*, 1998), no existen motivos para pensar que la radiación de este tipo de antenas utilizadas en *routers* para redes domésticas u oficinas con un área de cobertura no mayor a  $100 \text{ m}^2$  pueda afectar de alguna manera a los seres humanos. Sin embargo la exposición continua a niveles de radiación producidos por altas frecuencias puede tener efectos adversos en la salud.

En el apéndice A se profundizan algunos efectos que la radiación tiene en los seres humanos.

#### **V.5 Configuración del *router***

En el presente proyecto se planteó cambiar la configuración del *router* Linksys WRT54G, esto con el fin de modificar la potencia de transmisión según el área que se desea cubrir y así disminuir los niveles de radiación de la antena así como la exposición del usuario a la misma.

Aún cuando los resultados obtenidos arrojaron valores que sugieren la ausencia de efectos en la salud de los seres humanos según lo establecido por el *ICNIRP*,

pueden modificarse las características del *router* para un mejor aprovechamiento de la potencia de transmisión y disminuir aún más los niveles de radiación. Sin embargo en este caso no se realizaron modificaciones, debido a que los resultados se encuentran muy por debajo del valor máximo recomendado.

Para realizar el cambio de configuración del *router* existen diversos programas, para efectos del proyecto se escogió *DD-WRT* por ser un *firmware* libre que funciona para el modelo de *router* utilizado.

Este *firmware* ejecuta un pequeño sistema operativo, el cual está basado en *Linux*, incluye controles avanzados de calidad de servicio que permiten asignar el ancho de banda así como realizar el control de potencia del *router*.

Para la instalación primero se debe descargar el *firmware* de su página web: [www.dd-wrt.com](http://www.dd-wrt.com). A continuación se resetea el router a los valores de fábrica o predeterminados a través de la interfaz web del mismo, para esto se accede a la interfaz del router mediante la dirección IP del mismo, y se hace *click* en la pestaña *Administration*, a continuación *Factory Defaults* y se selecciona *yes*, por último se debe salvar la configuración. Posteriormente también en la pestaña *Administration* dentro de la interfaz se hace *click* en *Firmware Upgrade* y se selecciona *Browse*, a continuación se debe seleccionar el archivo *.bin* de *DD-WRT* que se descargó y se selecciona *Upgrade*. En este momento se abrirá la interfaz web de *DD-WRT* en la cual se podrá modificar las características del router.

Para determinar la potencia de transmisión que se debe colocar, se selecciona la mayor distancia que se desea cubrir y la potencia de recepción que se desea en la misma, con estos valores y la ecuación de Friis (14) se obtiene la potencia de transmisión.

## CAPÍTULO VI

### Conclusiones

Para llevar a cabo el presente proyecto se realizaron los cálculos teóricos referidos al índice *SAR*, así como la simulación de los mismos cálculos con ayuda del software matemático *MATLAB*, para posteriormente comparar unos con otros. Estos cálculos se realizaron tomando en cuenta las antenas *Wi-Fi* Omnidireccionales presentes en los routers utilizados en pequeñas oficinas y en los hogares, lo que implica una frecuencia de 2.4 GHz y una distancia de 1 a 100 m<sup>2</sup>.

Así mismo se encontró una forma para modificar los valores de potencia de transmisión del *router*, esto con la finalidad de disminuir al mínimo la radiación utilizando la potencia necesaria para cubrir el área deseada. Para dicha modificación se debe utilizar un programa libre basado en *Linux*, el cual permite acceder a las opciones avanzadas del router.

Además a partir de los datos obtenidos en la comparación, y basándose en estudios realizados previamente se pudo llegar a dos importantes conclusiones. La primera de ellas acerca de los efectos que los niveles de radiación obtenidos tienen en la salud de los seres humanos; la segunda acerca de la necesidad de modificar la configuración del *router* y cómo lograr dicha modificación.

Cuando se habla de los efectos que los niveles de radiación obtenidos tienen en la salud, se pudo concluir que al ser dichos niveles mucho menores al valor máximo recomendado por en *ICNIRP* los efectos que estos pueden ocasionar son mínimos o en muchos casos ningún efecto sobre la salud de las personas.

En lo referente a la modificación del *router*, se pudo concluir como la misma no fue necesaria, esto debido a los bajos niveles de radiación obtenidos. Sin embargo, la modificación se puede llevar a cabo para disminuir aún más estos niveles. Para esta se

toma en cuenta el área que se desea cubrir y la potencia de recepción deseada en la misma, así se obtiene la nueva potencia de transmisión necesaria para cumplir con dichos requisitos. Es esta la potencia que se modificará con la ayuda del programa mencionado anteriormente.

Así se puede llegar a la conclusión final de que sí bien los niveles de radiación que los routers utilizados en los hogares y en las pequeñas oficinas con áreas de cobertura menor a  $100 \text{ m}^2$  son valores mucho menores al valor máximo recomendado, lo que significaría la ausencia de efectos sobre la salud de las personas, sin embargo, existen estudios donde indican que puede no haber un límite inferior en donde el ser humano no perciba daño alguno de estas radiaciones así como lo indica el Apéndice C de este trabajo de investigación. Aunque los valores obtenidos durante la investigación sean bajos, se puede modificar los valores del router para no solo disminuir aún más los niveles de radiación sino también para un mejor aprovechamiento de la potencia transmitida.

## RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se realizan a este Trabajo Especial de Grado son las siguientes:

Para mayor objetividad de la investigación y obtener resultados más precisos y concluyentes se recomienda conseguir un gaussímetro que funcione a la frecuencia de 2.4 GHz y utilizarlo para realizar las mediciones de los niveles de radiación del router y con estos valores determinar el índice *SAR* práctico.

Así mismo realizar estudios con diversos modelos de *routers* existentes, según la ganancia y potencia de transmisión de los mismos, esto con la finalidad de poder establecer los efectos que cada *router* tiene según su área de cobertura y utilización en la salud de las personas.

Por otra parte, profundizar en los efectos que la exposición continua y prolongada a niveles muy bajos de índice *SAR* tiene en los seres humanos, esto para poder concluir en lo referente al uso de los routers en la vida cotidiana a lo largo de toda esta.

Por último, profundizar en el tema del cambio de configuración de diversos routers, estableciendo las diversas potencias de transmisión necesarias según el área que se desea cubrir. Esto para lograr una mejor utilización de la potencia de transmisión generada por los *routers*.



## BIBLIOGRAFÍA

- Ana Mastrodonato, Lesmes Mora. (2012). *Propuesta para prevenir la contaminación por radiación no ionizante*. San Cristóbal: Universidad Nacional Experimental del Táchira.
- Bermúdez Jiménez, L. (s.f.). *Radiaciones Ionizantes - Recursos Educativos en Español para la Medicina de Emergencia*. Universidad de Arizona. Recuperado el 03 de Junio de 2012, de <http://www.reeme.arizona.edu/materials/Radiacion%20Ionizante.pdf>
- BioInitiative. (2007). *fundamento sobre los estándares de exposición pública de los campos electromagnéticos basándose en la biología (ELF–frecuencias extremadamente bajas- y RF –radiofrecuencias-)*.
- Cardama, Á. (1998). *Antenas*. Barcelona: Edicions UPC.
- Cheng, D. K. (1993). *Fundamentals of Engineering Electromagnetics*. United States of America: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- COVENIN. (1995). *Radiaciones Ionizantes. Límites anuales de dosis*. Caracas: Ministerio de Fomento.
- Escalona, H. (02 de Junio de 2011). *Noticias24*. Obtenido de <http://www.noticias24.com/tecnologia/noticia/8769/conozca-los-niveles-de-radiacion-de-los-telefonos-mas-usados-en-venezuela/>
- Escudero, A. (octubre de 2007). *EsLaRed Fundación Escuela Latinoamericana de Redes*. Recuperado el 18 de febrero de 2012, de Antenas y Cables: [http://www.eslared.org.ve/tricalcar/08\\_es\\_antenas\\_y\\_cables\\_guia\\_v01%5B1%5D.pdf](http://www.eslared.org.ve/tricalcar/08_es_antenas_y_cables_guia_v01%5B1%5D.pdf)
- Ferrando, M. (s.f.). *Universidad Politécnica de Valencia*. Recuperado el 18 de febrero de 2012, de Antenas: [http://www.upv.es/antenas/Documentos\\_PDF/Notas\\_clase/Tema\\_1.PDF](http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Tema_1.PDF)
- FONDONORMA. (13 de Diciembre de 2000). *Norma Venezolana Radiaciones No Ionizantes Sencamer*. Obtenido de <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/2238-00.pdf>

- ICNIRP, I. C.-I. (1998). *RECOMENDACIONES PARA LIMITAR LA EXPOSICION A CAMPOS ELÉCTRICOS, MAGNETICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS ( hasta 300 GHz)*.
- IEEE. (1983). *Definitions of Terms for Antennas*.
- Instituto Universitario de Tecnología de La Victoria. (2010). *Efectos de la radiación no ionizante en la salud*. La Victoria.
- Pardell, X. (29 de Diciembre de 2011). *Specific Absorption Rate*. Recuperado el 09 de Junio de 2012, de <http://www.pardell.es/sar.html>
- Rodríguez Delgado, J. M., Bardasano Rubio, J. L., Gómez-Perretta, C., & Azanza, M. J. (2002). Contaminación Electromagnética y Salud. *Declaración de Alcalá*, (pág. 61). Alcalá de Henares.
- Rodríguez, J. (2002). *CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNÉTICA Y SALUD*. Alcalá De Henares.
- Tanyá, Fermí. (17 de Diciembre de 2006). *Conceptos básicos sobre antenas*. Recuperado el 18 de Febrero de 2012, de Cordobawireless: [http://www.cordobawireless.net/portal/descargas/Conceptos\\_basicos\\_sobre\\_antenas.pdf](http://www.cordobawireless.net/portal/descargas/Conceptos_basicos_sobre_antenas.pdf)
- Universidad Experimental del Tachira. (2002). *Efectos de las ondas electromagnéticas en el cuerpo humano*. San Cristóbal.
- Universidad Nacional de Entre Ríos. (2009). *Bioingeniería*. Recuperado el 20 de enero de 2013, de <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/radiaciones/Descargas/Universidad2.pdf>
- Universidad Politécnica Salesiana. (s.f.). Capitulo 1 Fundamentos de Antenas. Ecuador.
- Vega, C. P. (2007). *Sistemas de telecomunicaciones*. España: Universidad de Cantabria.
- Wayne, T. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. México: Prentice Hall.

## **APENDICE A**

### **EFFECTOS EN LA SALUD DE LOS SERES HUMANOS**



## EFFECTOS EN LA SALUD DE LOS SERES HUMANOS

La salud se define como un estado de bienestar físico, mental y social y no solo como la ausencia de enfermedades o trastornos, esto de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Así cuando se buscan los efectos que las radiaciones tienen en la salud de los seres humanos, se refiere a la búsqueda de alteraciones que afecten el bienestar de los mismos, más allá de enfermedades o trastornos que dichas radiaciones puedan causar.

Por otra parte la exposición a radiaciones no ionizantes puede causar diferentes efectos biológicos. Estos efectos pueden no tener alguna consecuencia adversa o beneficiosa conocida, otros pueden producir condiciones patológicas o enfermedades, mientras otros tienen consecuencias beneficiosas para una persona. (Universidad Nacional de Entre Ríos, 2009)

A continuación se presentan una serie de efectos que según una serie de estudios tiene la exposición continua y prolongada a radiaciones de campo electromagnético en el cuerpo humano, dichas radiaciones tienen un índice *SAR* mayores a 0,08 W/Kg esto de acuerdo con el *ICNIRP*.

La intensidad de campo electromagnético disminuye a medida que la persona se aleja de la fuente de radiación, así mismo mientras mayor sea la intensidad del campo, mayores serán los efectos que tendrá la misma sobre el cuerpo humano. De esto se puede determinar la existencia de mayores efectos mientras más cerca se encuentre la persona de la fuente de radiación de ondas electromagnéticas.

El efecto más notable es que los campos electromagnéticos de alta frecuencia generan energía calórica en el cuerpo humano, esto origina que el mismo se caliente. Tal como se estudió en el presente proyecto el grado de absorción de las ondas electromagnéticas, el cual se determina por medio del índice *SAR*, depende tanto de la frecuencia que tienen las ondas como de la intensidad del campo que las produce, así como del tipo de tejido en el que las mismas inciden.

Frente a la radiación de ondas electromagnéticas los órganos con menor flujo sanguíneo como los ojos o los testículos, son los que mayor riesgo presentan, esto debido a las dificultades que presentan para disipar el exceso de calor. Por otro lado los órganos como el corazón y el cerebro soportan mejor el aumento de la temperatura. (Pardell, 2011)

La interacción de campos eléctricos variables en el tiempo con los tejidos biológicos en los que también existe una diferencia de carga eléctrica entre el interior y el exterior de la membrana celular tiene como consecuencia un aumento de flujo de dichas cargas, la formación de dipolos y la reorientación de los dipolos presentes en la membrana.

Las magnitudes relativas de estos efectos dependen de las propiedades de la estructura sobre la que incide el campo, así como la conductividad y permitividad de los tejidos sobre los que incide (ICNIRP, 1998).

Las consecuencias funcionales sobre algunos componentes como el calcio, el cual actúa como segundo mensajero en la transducción de las señales biológicas, puede producir cambios significativos en la función celular.

Los campos *RF* de frecuencias entre 0 y 300 GHz originan alteraciones en la bomba de  $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP-asa}$  en los glóbulos rojos, dichas alteraciones se atribuyen a la interacción de los campos de radiofrecuencia con moléculas en la membrana que contienen estos iones.

Así mismo la exposición a radiaciones disminuye la frecuencia de apertura de los canales de acetilcolina dependientes del  $\text{Na}^+$ , indicando que los efectos de los campos constantes a bajas intensidades de SAR pueden ser directamente dependientes del medio de la membrana o del sistema biológico implicado. (Rodríguez Delgado, Bardasano Rubio, Gómez-Perretta, & Azanza, 2002)

Si bien la mayoría de las evidencias experimentales de laboratorio citadas por los comités de la *ICNIRP* indican que bajas intensidades de campos de

radiofrecuencia por debajo de los umbrales del efecto térmico, no tienen efectos mutagénicos ni siquiera actúan como iniciadores de la carcinogénesis. Existen estudios de laboratorio realizados desde los años 1985 los cuales encontraron relación entre exposición a radiofrecuencias y promoción de determinados tipos de cáncer Balcer-Kubiczek, citando "... nuestros datos son consistentes con los de Smigielski 1982 donde frecuencias de 2.45 GHz aparecen como iniciadores o carcinógenos o como promotores de una transformación maligna" (Rodríguez Delgado, Bardasano Rubio, Gómez-Perretta, & Azanza, 2002).

Así mismo existen estudios epidemiológicos los cuales en su mayoría indican posibles relaciones entre la exposición a radiofrecuencia y un aumento en el riesgo de cáncer. Entre los hallazgos positivos se encuentran la leucemia y algunos tumores cerebrales. Sin embargo en su mayoría se refieren a exposición a altos niveles de radiación.

La barrera hematoencefálica es un complejo neurovascular que actúa como un filtro que permite el paso selectivo de moléculas desde la sangre al cerebro. Existen estudios que indican que si la exposición a radiofrecuencias causa suficiente calor se incrementa la permeabilidad de la barrera hematoencefálica a ciertas sustancias habitualmente excluidas del parénquima cerebral. En algunos estudios se ha comprobado un aumento de la permeabilidad ante la exposición a radiofrecuencia con un SAR de 0,016 W/Kg.

Por otra parte la exposición a bajos niveles de radiofrecuencias pulsantes puede afectar a la neuroquímica del cerebro de manera que coincide con las respuestas al estrés. Existen estudios que determinan que la secreción de la melatonina (hormona fundamental para diferentes procesos regulatorios, antioxidantes y oncoestáticos) puede verse afectada por la presencia de campos electromagnéticos, viéndose disminuida su producción incluso en presencia de campos electromagnéticos de muy baja intensidad (Rodríguez Delgado, Bardasano Rubio, Gómez-Perretta, & Azanza, 2002).

Así mismo Reiter en 1994 propuso los mecanismos por el cual los pinealocitos, células de la glándula pineal responsables más importantes de la secreción de la hormona melatonina, podrían verse alterados en presencia de campos electromagnéticos incluso de baja intensidad, esta hormona es fundamental para diferentes procesos regulatorios, antioxidantes y oncoestáticos. Por otra parte el descenso de la melatonina puede relacionarse con la disminución de la calidad del sueño, afectando la fase *REM* del mismo.

También se han desarrollado investigaciones sobre la aparición de trastornos posteriores a la exposición a radiofrecuencias, como dolores de cabeza, malestar general, pérdidas de memoria, náuseas y otras funciones del sistema nervioso central. Si bien la exposición a radiofrecuencias puede causar efectos, para estos efectos no existen evidencias científicas ni mecanismos de acción probados que expliquen este fenómeno aunque quizás estos se deban al aumento de la presión sanguínea por exposición a radiofrecuencias. Esto podría vincular los síntomas descritos con cefaleas, ampliamente manifestado por la población expuesta a sistemas de emisión-remisión de telecomunicaciones (Rodríguez Delgado, Bardasano Rubio, Gómez-Perretta, & Azanza, 2002).

La exposición a niveles inferiores de pulsos de radiofrecuencia puede afectar al metabolismo de los neurotransmisores y en algunos receptores implicados en las respuestas de estrés y ansiedad en diferentes partes del cerebro humano. Existen también estudios que relacionan la exposición a campos electromagnéticos de bajas frecuencias a una disminución de la calidad del sueño.

A continuación se presentan unas tablas en la cual se puede observar los mecanismos relevantes de interacción, los efectos adversos, las cantidades físicas biológicamente efectivas, así como los niveles de referencia usados.

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

8

Zona del espectro RNI	Mecanismos relevantes de Interacción	Efectos adversos
Campos eléctricos estáticos	Cargas eléctricas superficiales	Molestia de los efectos superficiales, shock.
Campos magnéticos estáticos	Inducción de campos eléctricos en fluidos en movimiento y tejidos.	Efectos en el sistema cardiovascular y en el sistema nervioso central.
Campos eléctricos variables en el tiempo (hasta 10 MHz)	Cargas eléctricas superficiales Inducción de campos eléctricos y corrientes	Molestia de los efectos superficiales, electro-shock y quemaduras. Estimulación de células nerviosas y musculares; efectos en las funciones del sistema nervioso
Campos magnéticos variables en el tiempo (hasta 10 MHz)	Inducción de campos eléctricos y corrientes	Estimulación de las células nerviosas y musculares; efectos en las funciones del sistema nervioso
Campos electromagnéticos(100 kHz a 300GHz)	Inducción de campos eléctricos y corrientes; absorción de energía dentro del cuerpo > 10 GHz: Absorción superficial de energía. Pulsos < 30μs, 300 MHz a 6 GHz, propagación de onda termo-acústica	Excesivo calentamiento, electro-shock y quemaduras. Excesivo calentamiento, electro-shock y quemaduras Molestias por los efectos audibles de microondas

**Tabla 9.** Relación entre las zonas del espectro y los efectos adversos en la salud (parte I).

**Fuente:** (Universidad Nacional de Entre Ríos, 2009)

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

Zona del espectro RN	Cantidades físicas biológicamente efectivas	Exposición, niveles de referencia
Campos eléctricos estáticos	Intensidad de campo eléctrico externo.	Intensidad de campo eléctrico.
Campos magnéticos estáticos	Densidad de flujo magnético externo	Densidad de flujo magnético.
Campos eléctricos variables en el tiempo (hasta 10 MHz)	Intensidad de campo eléctrico externo.	Intensidad de campo eléctrico.
	Intensidad de campo eléctrico o densidad de corriente.	Intensidad de campo eléctrico.
Campos magnéticos variables en el tiempo (hasta 10 MHz)	Tejido expuesto a intensidad de campo eléctrico o densidad de corriente en los tejidos.	Densidad de flujo magnético.
Campos electromagnéticos(100 kHz a 300GHz)	Tasa de absorción específica de energía.	Intensidad de campo eléctrico, Intensidad de campo magnético; densidad de potencia.
	Densidad de potencia.	Densidad de potencia.
	Absorción específica de energía.	Densidad de potencia pico.

**Tabla 10.** Relación entre las zonas del espectro y los efectos adversos en la salud (parte II).

**Fuente:** (Universidad Nacional de Entre Ríos, 2009)

Por último se muestra la figura 48 en la cual se puede observar de forma resumida los diversos efectos que producen las radiaciones en la salud de los seres humanos, relacionado con la densidad de corriente de los mismos.

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

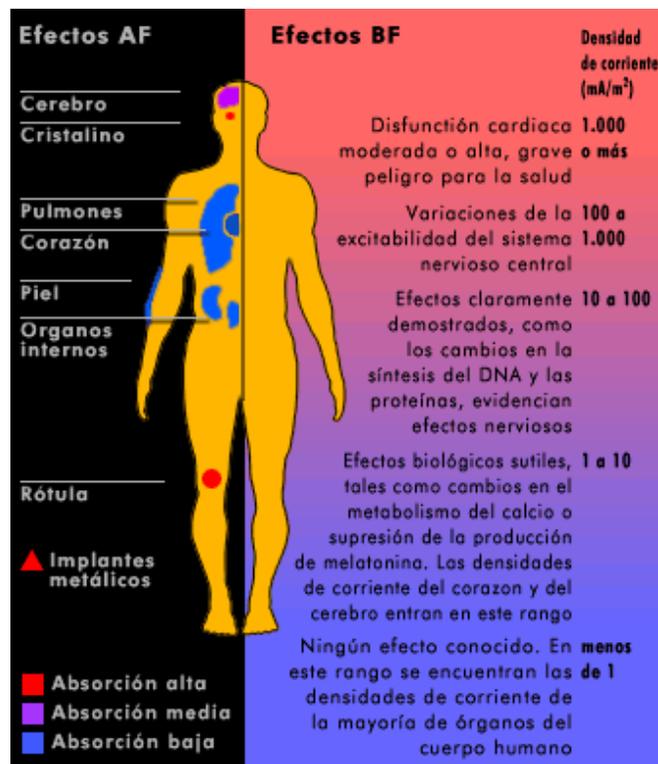


Figura 46. Efectos de los Campos Electromagnéticos en el Cuerpo Humano

Fuente: (Pardell, 2011)



## **APENDICE B**

### **ASPECTOS TÉCNICOS DEL *ROUTER* LINKSYS WRT54G**

NIVELES DE RADIACIÓN DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO PRESENTES EN LAS  
ANTENAS WIFI OMNIDIRECCIONALES

---

## ASPECTOS TÉCNICOS DEL *ROUTER LINKSYS WRT54G*

A continuación se presenta las especificaciones del *router* utilizado para realizar los cálculos del índice de absorción, así como para la búsqueda de la nueva configuración del mismo.

### Especificaciones:

- Estándares: *IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.11b, IEEE draft 802.11g*

- Canales: 11 canales en USA y Canadá

13 canales en Europa.

14 canales en Japón.

- Puertos: cuatro puertos 10/100 RJ-45.

Un puerto RJ-45 para cable o Modem *DSL*.

Un puerto para alimentación

- Tipo de cable: cable de red tipo 5 o mejor

- Tasa de datos: más de 54 Mbps (*wireless*)

10/100 Mbps (*Ethernet*)

- Potencia de Transmisión: 15 dBm.

- Ganancia de las Antenas: 2dB.

- Modulación: 802.11b *CCK, DQPSK, DBPSK*.

Draft 802.11g *OFDM*

- Protocolos de red: *TCP/IP*

### Características:

- Dimensiones: 7.32" x 6.89" x 1.89"

- Peso: 0,482 Kg.

- Certificaciones: *FCC Clase B*

- Temperatura de operación: 0°C a 40°C

- Humedad de operación: 10% a 85%, sin condensación.

**Requerimientos mínimos:**

Una computadora con procesador de 200MHz o más rápida con:

- 64MB de *RAM*
- Internet Explorer 4.0 o superior para configuración basada en WEB.
- Lector de *CD-ROM*.
- Microsoft Windows 98, Me, 2000 o XP.
- Adaptador *wireless* con protocolo *TCP/IP* instalado o adaptador de red con cable *Ethernet* categoría 5 y protocolo *TCP/IP* instalado.

## **APENDICE C**

### **ESTÁNDARES DE EXPOSICIÓN PÚBLICA DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS BASÁNDOSE EN LA BIOLOGÍA**



## **ESTÁNDARES DE EXPOSICIÓN PÚBLICA DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS BASÁNDOSE EN LA BIOLOGÍA**

Los estándares son normas establecidas por un órgano para ser usadas consistentemente para asegurar que cierto producto, investigación o servicio se ajuste a su propósito. Dentro del mundo de las ondas electromagnéticas existe la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones No Ionizantes, conocida por sus siglas en inglés *ICNIRP*. Este organismo establece estándares para regular los niveles de intensidad de las ondas electromagnéticas, implantando el límite adecuado para la exposición de los seres humanos frente a este tipo de radiación.

El grupo *BioInitiative*, anualmente realiza informes relacionados con el estudio de dichos estándares, en estos realizan una justificación de las normas tomando la base biológica para la exposición pública de campos electromagnéticos. A finales del 2007 realizaron un informe que fue escrito por catorce científicos, expertos en salud pública y en políticas públicas, para documentar las pruebas científicas existentes sobre campos electromagnéticos. (BioInitiative, 2007)

El propósito de este reporte es evaluar las pruebas científicas de los impactos en la salud de radiaciones electromagnéticas de niveles más bajos que las actuales normas de exposición al público, y evaluar los cambios que deberían aplicarse hoy para reducir posibles riesgos para la salud pública en el futuro, este grupo de científicos y expertos llegó al consenso de que los límites de seguridad pública existentes para ambas *ELF* y *RF* son inadecuados.

*BioInitiative* indica en su reporte del 2007 que los límites actuales de exposición a las telecomunicaciones están basados en el supuesto de que el calentamiento de los tejidos (por la *RF*) o la corriente eléctrica inducida en el cuerpo (por *ELF*) es lo único que importa cuando los organismos vivientes son expuestos a radiofrecuencias. Dicha exposición puede producir calentamiento de los tejidos, cuya peligrosidad es bien conocida inclusive en dosis muy breves. En este sentido, los límites térmicos cumplen una función. Por ejemplo, para personas cuyas ocupaciones

les exigen trabajar cerca de radares o selladores de calor *RF*, o para personas que instalan y atienden a torres de antenas inalámbricas, los límites basados en la temperatura son necesarios para prevenir daños por calentamiento (o, en el caso de radiaciones de *ELF*, del daño producido por corrientes inducidas en los tejidos)

En las últimas décadas se ha establecido, más allá de toda duda razonable, que los efectos biológicos y algunos efectos adversos de salud ocurren a niveles de exposición *RF* y *ELF* bastante más bajos, en los que no se produce en absoluto calor (o corrientes inducidas); se ha mostrado que ocurren algunos efectos en niveles de exposición varios cientos de miles inferiores a los límites de seguridad pública existentes, donde el calentamiento no es posible (BioInitiative, 2007)

Este grupo de científicos indican que, puede no haber un límite inferior por debajo del cual la exposición no nos afecta. Hasta que sepamos si existe el límite por debajo del cual no hay efectos biológicos ni consecuencias perjudiciales para la salud, es poco prudente, desde el punto de vista de la salud pública, persistir en actitud de "aquí no pasa nada" y seguir difundiendo nuevas tecnologías que aumentan la exposición a las radiaciones de *ELF* y *RF*, especialmente las involuntarias.