



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE SUCRE  
ESCUELA DE CIENCIAS  
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS  
PROGRAMA DE LA LICENCIATURA EN INFORMÁTICA

DESARROLLO DE UNA ANTENA OMNIDIRECCIONAL PARA INTERIORES  
QUE SATISFAGA EL ESTÁNDAR DE TELECOMUNICACIONES IEEE-802.11g  
(Modalidad: Tesis de Grado)

MARÍA VICTORIA BLANCO LÓPEZ

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN INFORMÁTICA

CUMANÁ, 2012

DESARROLLO DE UNA ANTENA OMNIDIRECCIONAL PARA INTERIORES  
QUE SATISFAGA EL ESTÁNDAR DE TELECOMUNICACIONES IEEE-802.11g

APROBADO POR:

---

Prof. Daniel Geremia  
Asesor Académico

---

(Jurado)

---

(Jurado)

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
LISTA DE TABLAS .....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN .....	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I .....	4
PRESENTACIÓN .....	4
Planteamiento del problema.....	4
Alcance .....	4
Limitaciones.....	5
CAPÍTULO II .....	6
MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO .....	6
Marco teórico.....	6
Antecedentes de la investigación.....	6
Área de estudio .....	7
Área de investigación.....	13
Marco metodológico .....	29
Metodología de la investigación.....	29
Metodología del área aplicada.....	30
Identificación de problemas de las antenas.....	30
Determinación de los requerimientos de la antena omnidireccional .....	30
Análisis de las necesidades de la antena omnidireccional.....	31
Diseño del modelo de la antena omnidireccional .....	31
Construcción de la antena omnidireccional .....	31
Documentación de la antena omnidireccional .....	31
Pruebas de la antena omnidireccional.....	31
CAPÍTULO III.....	33
DESARROLLO .....	33
Identificación de problemas, oportunidades y objetivos de las antenas .....	33
Identificación del problema .....	33
Determinación de requisitos de la antena omnidireccional .....	34

Alcance .....	34
Ganancia .....	35
Polaridad .....	35
Costo .....	36
Análisis de las necesidades de la antena omnidireccional .....	39
Diseño del modelo de la antena omnidireccional .....	43
Construcción de la antena omnidireccional .....	45
Documentación de la antena omnidireccional .....	45
Características .....	45
Modo de empleo .....	48
Pruebas de la antena omnidireccional .....	49
Pruebas de Funcionamiento .....	49
Pruebas de Compatibilidad .....	53
CONCLUSIONES .....	55
RECOMENDACIONES .....	56
BIBLIOGRAFÍA .....	57
APÉNDICES .....	60
Apéndice A. Diseño estructural de la antena casera a fabricar .....	60
Apéndice B. Manual de Usuario para la construcción de la antena. ....	61
Materiales .....	61
Herramientas .....	62
Armado .....	64
Apéndice C. Gráficas de las pruebas con <i>inSSIDer</i> .....	71
ANEXOS .....	73
Anexo 1 .....	73
Anexo 2 .....	74
Anexo 3 .....	75

## DEDICATORIA

A.

Todos aquellos estudiantes, que no se rindieron ante las dificultades y que decidieron seguir un camino distinto al habitual, que se arriesgaron a pesar del tiempo, del sacrificio y del “*qué dirán*”.

Los que buscaron innovar sobre todo, entre ellos a mis Gabriel Rojas, Deivid, María Inés, María Vetancourt, Wladimir y Jacobo. Y sobre todo a mi gran amigo y consejero Juan Savignan que desde el anonimato aporta su granito de arena a estudiantes como ellos y a mí persona.

## **AGRADECIMIENTOS**

A.

Dios todopoderoso que me guió hasta estos momento y los que faltan.

A mi familia, mi mamá, mi papá y mis hermanos y hermanas que con todos los sacrificios y esfuerzos me educaron y permitieron lograr este triunfo.

A los amigos con los compartí momentos gratos y no tan gratos y aun sigo compartiendo: María Elena, Damarys, Raimary, Bricena.

Aquellos que según ellos inspiré a seguir adelante, mis primeros alumnos como Preparadora Docente: Deivid, María Inés, Wladimir.

Juan Savigñan, mi novio Rafael “Zurdo”, Jesús Maza, Alinson, Anita por todo el apoyo y amor que siempre me han brindado.

Los profesores y técnicos de los cuales aprendí no solo lo académico sino lo moral: Prof. Daniel Geremia, Prof. Lizbeth Fernández, Prof. Carlos Escobar, Prof. Ramón Gorrín, Prof. Rafael Caldera, Prof. Hugo Marcano, Prof. Eugenio Betancourt y la Técnico del Laboratorio, Clara.

Los profesores Carlos Cova y Carlos Balebona (IUT Cumaná), José Herrera y su hermano (Equimarco, C.A), José Mendoza (Departamento de Física - UDONS) que sin su inmensa ayuda a lo largo de toda la investigación, éste trabajo no hubiera sido posible, a los cuales considero Co-asesores del mismo.

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las antenas estudiadas, según el alcance. ....	34
Tabla 2. Clasificación de las antenas estudiadas, según la ganancia. ....	35
Tabla 3. Clasificación de uso de las antenas del estudio, según su polarización.....	36
Tabla 4. Listado de precios de los materiales de la antena .....	36
Tabla 5. Cuadro resumen de las antenas omnidireccionales que conforman el estudio..	36
Tabla 6. Cuadro resumen de las medidas de los segmentos, según la frecuencia. ....	39
Tabla 7. Estabilidad de los materiales que conforman las antenas.....	42
Tabla 8. Cuadro resumen de la estabilidad de los materiales que conforman las antenas. .....	43
Tabla 9. Datos de la prueba con el <i>software</i> WLAN Utility.....	51
Tabla 10. Mediciones de las variaciones de la señal de ambas antenas. ....	52

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cable par trenzado UTP (izquierda) y cable par trenzado STP (derecha) .....	10
Figura 2. Visión de los componentes de un cable coaxial .....	10
Figura 3. Estructura de un cable fibra óptica (izquierda) y estructura de un <i>backbone</i> de fibra óptica (derecha) .....	11
Figura 4. Cuadro de referencia para el estudio de las comunicaciones inalámbricas.....	11
Figura 5. El espectro electromagnético y sus usos para comunicaciones.....	13
Figura 6. Monopolo vertical. En la izquierda planos teórico y en la derecha modelo real. ....	15
Figura 7. Dipolo de media onda. En la izquierda esquema teórico y en la derecha dipolo construido manualmente.....	16
Figura 8. Modelo de diseño de una antena colineal de 4 elementos con espiras soldadas. ....	17
Figura 9. Antena colineal de espiras soldadas de cuatro elementos. ....	18
Figura 10. Antena colineal de espiras continuas de dos elementos. ....	18
Figura 11. Antena colineal con cobertura de tubo PVC. ....	19
Figura 13. Ejemplo de antena coaxial después de terminar las soldaduras. ....	19
Figura 14. Antena coaxial de ocho segmentos (elementos).....	20
Figura 15. Planos del diseño de una antena omni-jota .....	20
Figura 16. Extremo final de una antena omni-jota. ....	20
Figura 17. Tipos de polarización. De izquierda a derecha: Circular, Lineal y Elíptica....	21
Figura 18. Patrón de radiación en 2D de una antena omnidireccional, en la izquierda; vista eje horizontal y en la derecha; vista eje vertical.....	22
Figura 19. Patrón de radiación en 2D de una antena direccional, vista vertical.....	22
Figura 20. Patrón de radiación en 3D de una antena omnidireccional. ....	23
Figura 21. Parámetros de una onda electromagnética .....	26
Figura 22. Representación del espectro radioeléctrico o electromagnético.....	27
Figura 23. Clasificación de las bandas del espectro electromagnético .....	27

Figura 24. Características de las Señales Microondas.....	28
Figura 25. Espectro de canales de la frecuencia 2.4GHz de la banda ISM .....	29
Figura 26. Planos y medidas de una antena colineal de dos espiras.....	37
Figura 27. Medidas de los segmentos soldados de una antena coaxial. ....	38
Figura 28. Planos y medidas de una antena omni-jota de 4 elementos. ....	38
Figura 29. De izquierda a derecha. Conector N- hembra estándar, Conector N- hembra de chasis (4 tornillos) y Conector N- hembra de chasis (1 tornillo). ....	40
Figura 30. Ficha técnica de los cables coaxiales RG. ....	41
Figura 31. Cuadro de pérdidas de dB de los variados tipos de cable coaxial. ....	42
Figura 32. Patrón de la estructura de una antena colineal de dos elementos. ....	44
Figura 33. Modelos comerciales de antenas omnidireccionales con bases. ....	44
Figura 34. Patrón de radiación de la antena construida .....	48
Figura 35. <i>Pigtail</i> con conectores N-Macho y RP-SMA Macho para cable tipo RG58/LMR200 .....	48
Figura 36. <i>Pigtail</i> con conectores N-Macho y RP-TNC macho. ....	49
Figura 37. Vista de la interfaz de configuración del AP.....	51
Figura 38. Descarga de un archivo desde Internet con la antena comercial. ....	53
Figura 39. Descarga de un archivo desde Internet con la antena construida. ....	54

## LISTA DE ABREVIATURAS

AM	Amplitud Modulada
AP	Access Point
DB	Decibelio
DBI	Decibelio Isotrópico
FM	Frecuencia Modulada
HF	High Frequency
IEEE	Institute of Electrical And Electronics Engineers
ISM	Banda Electromagnética Universal Empleada para uso Industrial, <i>Scientific (Científico) And Medical(Médico)</i>
MF	Medium Frequency
PC	Personal Computer
PVC	Tubo Basado En PolyvinylChloride
SHF	Super High Frequency
STP	Cable de Red Par Trenzado Apantallado
UHF	Ultra High Frequency
UTP	Cable de Red Par Trenzado sin Blindaje
VHF	Very High Frequency
WLAN	Wireless Local Area Networks

## RESUMEN

Se construyó una antena omnidireccional del tipo colineal de dos elementos para ser utilizada en interiores. La cual funciona de la misma forma que una antena comercial equivalente, y tiene las siguientes características: ganancia de aproximadamente de 5dBi, opera con el estándar IEEE-802.11g, en la frecuencia 2.4 GHz, posee una base removible que permite cambiar el *pigtail*. Para elaborar esta antena se empleó la metodología de desarrollo de sistemas propuesta Kendall y Kendall, pero adaptada al objeto de estudio (una antena), constituida por las siguientes fases: identificación de problemas de las antenas, determinación de los requerimientos de la antena omnidireccional, análisis las necesidades de la antena omnidireccional, diseño del modelo de la antena omnidireccional, construcción de la antena omnidireccional, documentación de la antena omnidireccional y pruebas de la antena omnidireccional. En la primera fase, se realizó una investigación preliminar con la finalidad de identificar los problemas. En la fase determinación de los requerimientos de la antena omnidireccional, se hizo un estudio comparativo de las características de las antenas omnidireccionales más empleadas en base a los siguientes parámetros: ganancia, costo, alcance y polaridad; lo que determinó la selección de los requisitos mínimos necesarios que cumple la antena desarrollada. Se elaboró un análisis de los diversos tipos de antenas omnidireccionales para determinar que parámetros son los que debe cubrir el modelo a fabricar, en función de las características de los materiales y su durabilidad, análisis que se llevó a en la tercera fase de la metodología. Con la asistencia de herramientas computarizadas para el modelado, se diseñó en la cuarta fase (diseño del modelo de la antena omnidireccional) un prototipo que fuese compacto, que admite una sencilla instalación y un rápido mantenimiento, además de satisfacer los requerimientos mínimos establecidos. Tomando el modelo diseñado y los materiales seleccionados que forman parte de la antena, se inició la construcción durante la fase que lleva su nombre. En la fase de documentación, se cumplió con un resumen de las características que posee la antena y en última fase se realizaron las pruebas necesarias que confirmaron la elaboración de la misma. Esta antena se hizo con materiales simples, pero de calidad.

Palabras claves: antenas, estándar IEEE-802.11g, comunicación inalámbrica.

## INTRODUCCIÓN

Telecomunicaciones es un término que cubre todas las formas de comunicación a distancia, incluyendo radio, telegrafía, televisión, telefonía, transmisión de datos e interconexión de ordenadores a nivel de enlace [1]. Asimismo, los diversos dispositivos que operan para hacerlo posible requieren la organización de un conjunto de arquitecturas para que la información sea enviada de manera rápida y segura. Estas arquitecturas son las redes de datos, que están divididas en dos grandes grupos: las redes cableadas y las redes inalámbricas. Ambas se comunican digitalmente, bien sea, por cables, en el caso de las redes cableadas o por el aire en el caso de las redes inalámbricas [2].

Las redes inalámbricas, conocidas como WLAN (*Wireless Local Area Networks*), consisten en una serie de dispositivos locales (PC (*Personal Computer*), *workstations*, impresoras, servidores, y otros) que se conectan entre sí sin la necesidad de cables. La gran ventaja de éstas, es que ofrecen movilidad al usuario y requiere de una instalación muy sencilla [3]. Para la realización de la comunicación inalámbrica, se necesita un conjunto de dispositivos tales como: antenas, tarjetas de red inalámbricas, *Access Point*, entre otros [4].

Las antenas se encuentran regularizadas bajo una serie de estándares que permiten la interoperabilidad entre los diversos equipos y garantizan su correcto funcionamiento. El organismo encargado para emitir estos estándares es el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, IEEE (*The Institute of Electrical and Electronics Engineers*), una asociación internacional formada por profesionales de las nuevas tecnologías, como ingenieros eléctricos, ingenieros en electrónica, científicos de la computación, ingenieros en informática e ingenieros en telecomunicación; dedicada a la estandarización [5]. Este instituto estableció que el estándar 802.11 es el encargado de regular la fabricación de antenas, equipos o tecnologías usadas por las WLAN. Este

estándar establece la velocidad de transmisión de datos, la frecuencia a utilizar, la forma de modulación de la señal, entre otros aspectos [5]. Del mismo existen varias especificaciones: 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, entre otros, siendo los de mayor aceptación las especificaciones 802.11b y 802.11g, puesto que utilizan la banda de 2.4 GHz para la transmisión de las señales, frecuencia que está disponible casi universalmente de modo gratuito, con una velocidad de hasta 11 Mbps y 54 Mbps, respectivamente [6].

Actualmente, el rápido y creciente avance de la tecnología inalámbrica, ha traído como consecuencia la demanda y el desbordamiento del mercado de una gran cantidad de productos para casi todas las necesidades, permitiendo acoplar cada vez más artefactos los unos con los otros [7]. Sin embargo, el costo comercial de las antenas y otros productos es muy elevado por lo que a ciertas y determinadas comunidades les resulta difícil adquirirlas (Anexo 1), en vista de ello, algunos expertos en el área han elaborado antenas de fabricación casera con materiales de uso diario, que ofrecen las mismas, y en algunos casos capacidades superiores de conexión que sus rivales comerciales, a costos más accesibles. Entre los modelos caseros más desarrollados, se encuentran las antenas direccionales, tales como las C-antenas, las cuales están fabricadas con una lata metálica (Anexo 2), y las omnidireccionales (Anexo 2). Este tipo de antenas, aunque poseen una ganancia superior a los 6 dBi, puesto que están diseñadas para exteriores. Sin embargo, durante la investigación realizada, no se encontró suficiente evidencia de que se haya desarrollado antenas caseras para interiores, aunque en el mercado comercial existen modelos de éste uso (Anexo 1).

Por tal motivo, esta investigación persiguió el diseño y construcción de una antena WLAN omnidireccional, para ser utilizada en espacios cerrados que, a través de la selección y utilización de materiales de bajo costo, sea equivalente o superior a las existentes actualmente en el mercado o a las caseras desarrolladas para exteriores, además, debe satisfacer el estándar para telecomunicaciones inalámbricas IEEE-802.11g, con capacidad para transmitir 54 Mbps en la banda de 2.4 GHz, tomando como

parámetros de referencia la ganancia, polarización, resistencia de los materiales y costo.

Este trabajo está estructurado en tres (3) capítulos, como se especifica a continuación: Capítulo I. Presentación, está formado por el planteamiento del problema, donde se describe la situación problemática que motivó este trabajo de investigación; el alcance, el cual establece lo que la antena omnidireccional será capaz de hacer y las limitaciones, que son los inconvenientes u obstáculos presentes durante el desarrollo de la investigación. Capítulo II. Marco de referencia, conformado por dos secciones principales: el marco teórico, el cual presenta los fundamentos teóricos necesarios para soportar la investigación, describiendo los antecedentes de la investigación, además del área de estudio e investigación, en el cual está enmarcado el trabajo propuesto. El marco metodológico, presenta la metodología aplicada para elaborar la solución al problema planteado. Capítulo III. Desarrollo, aquí se expone de forma detallada la aplicación de los procedimientos en el marco metodológico para el logro de los objetivos planteados, explicando cada uno de los pasos realizados en el desarrollo de la antena omnidireccional con descripciones, figuras y diagramas que permiten una mejor visualización y entendimiento, en este capítulo también se presentan las conclusiones obtenidas durante el desarrollo del trabajo y las recomendaciones para mejorar el desempeño de la antena elaborada; se enseña la bibliografía consultada para complementar las bases de la investigación y también los anexos correspondientes.

# CAPÍTULO I

## PRESENTACIÓN

### **Planteamiento del problema**

Actualmente con el crecimiento de la tecnología inalámbrica, la demanda de esta tecnología ha traído como consecuencia el desbordamiento del mercado de una gran cantidad de productos para casi todas las necesidades, permitiendo acoplar cada vez más artefactos los unos con los otros, con la salvedad que muchos de estos productos tiene elevados costos, que usuarios comunes muchas veces no pueden adquirir, esta situación ha originado el surgimiento de *Comunidades Wireless*, en varios países de Latinoamérica tales como: Chile, Argentina, México y en Europa, España; formadas por profesionales en el área (ingenieros mecánicos, de electrónica, físicos, entre otros) y estudiantes que se dedican a difundir sus conocimientos sobre la construcción de antenas caseras, montajes de las mismas, configuración de *Access Point*, material didáctico sobre el mundo inalámbrico, incluso la creación de una red inalámbrica pública con antenas caseras.

Estas antenas caseras son creadas con los mismos principios teóricos que las antenas comerciales, incluso muchas de esas antenas funcionan perfectamente con dispositivos comerciales (antenas, *Access Point*), la complejidad de la construcción depende del modelo que se elabore y la facilidad para conseguir los materiales. Las antenas están hechas con materiales cotidianos como latas de alimentos, tubos PVC (del inglés *polyvinylchloride*, y en español *policloruro de vinilo*), ollas, sartenes, envases de plásticos, *CD*, etc. Con la elaboración de estas antenas caseras muchos usuarios han logrado expandir cada vez el alcance de esta tecnología, y solventar sus necesidades.

### **Alcance**

El alcance de esta investigación viene dado por el estudio de las antenas microondas,

permitiendo conocer como se definen, sus elementos y diversas categorías; el análisis conlleva a estar al corriente de sus usos y aplicaciones en la vida diaria; con la construcción se lleva a cabo la confección de una antena omnidireccional de fabricación casera que opere en interiores y sus consecuentes pruebas, demuestran el funcionamiento de la antena fabricada.

### **Limitaciones**

Durante el desarrollo de esta investigación se presentó la dificultad del material bibliográfico sobre el tema, en su mayoría eran fragmentos y algunas fuentes para las bases teóricas fueron de libros digitales en inglés en el área de la Física y Electrónica, de acceso restringidos en lo concerniente al tipo de antena de estudio (una adaptación de antena helicoidal catalogada en el grupo de las colineales). También se presentó la incompatibilidad en los términos técnicos entre las bibliografías en inglés y su equivalente en español, por lo que fue muy arduo hallar una semejanza que no comprometiera el significado. Por ejemplo, *End-fire mode* y radiación longitudinal, son términos que se refieren a lo mismo.

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

### Marco teórico

#### Antecedentes de la investigación

Las antenas son componentes indispensables de cualquier sistema de comunicación inalámbrica, debido a la importancia y también por la creciente demanda de las ofertas en los sistemas de telecomunicaciones. Especialistas en el área han realizado investigaciones para el estudio de las antenas, donde se observan sus propiedades generales y también por cada tipo, de acuerdo a su clasificación. Siempre buscando de mejorar el alcance y la recepción de la señal.

En la comunidad *Wireless* de Bilbao, España, *Bilbowireless*, tenían un gran problema con las antenas (como en muchas otras comunidades) ya que podían pagar los altos costos de una antena comercial, lo que los llevo a buscar una solución. Investigado en Internet y en bibliotecas encontraron cierta cantidad de información que les sirvió de base. Pero, para una comprensión profunda del funcionamiento de ciertos tipos de antenas hay que tener un mayor conocimiento. Con la adhesión de miembros a *Bilbowireless* con experiencia en materia de telecomunicaciones y radiofrecuencia, permitió ir un poco más allá de construir los modelos obtenidos. Y hacer sus pequeñas modificaciones propias en diseño de antenas, así como de facilitar el acceso a sus experiencias en esta área. Experiencias y conocimientos que sirvieron de aporte para la investigación sobre todo en el área de diseño y construcción [8].

Otras comunidades *Wireless* que sirvieron de contribuyeron a la investigación fueron: FRARS (*Flight Refuelling Amateur Radio Society*) de EEUU, que además de ofrecer artículos en materia del mundo de la radio frecuencia y un foro virtual, también brindan servicio de conexión gratuita a través de su red inalámbrica; red que nutren con antenas

fabricadas por ellos mismos [9]. Los miembros de Seguridad *Wireless* de Chile, que tratan fundamentalmente aspectos relacionados con la seguridad en las conexiones inalámbricas, sin dejar de lado el análisis de materiales y componentes de los diversos tipos de tarjetas y antenas inalámbricas comerciales [10].

Los libros; Antenas, IV temas de telecomunicaciones en su primera edición de 1976 por Connor; F.R., Sistemas Electrónicos de Comunicaciones de Roy Blake; *Antenna Theory Analysis And Design* de Constantine A. Balanis en su tercera edición y Antenas de Ángel Cardama Aznar en su segunda edición, fueron de mucha ayuda en el basamento teórico en general.

El trabajo titulado, Análisis, Diseño, Construcción y Medición de Antenas Helicoidales para 2.4 GHz sobre Aeroplataforma de Comunicaciones Globo-Antena (HAPS) de Hugo Durney W, Jean-Yves Gautier C y Fernando Ulloa V de la Universidad Tecnológica Metropolitana, Departamento de Electricidad; sirvió como referencia en materia de las antenas helicoidales [11].

#### Área de estudio

El área de estudio se ubica en el área de las telecomunicaciones, porque busca construir un dispositivo inalámbrico para la conexión en redes de datos ya existentes y/o la creación de una nueva, usando las ondas electromagnéticas como medio de transmisión y que funcione bajo los estándares IEEE 802.11.

Sistema de telecomunicación: está conformado por un transmisor, medio de transmisión propios del medio, un canal y un receptor. Todos estos elementos son los necesarios para establecer una comunicación a distancia [12].

El transmisor: es el dispositivo que transforma o codifica los mensajes en una señal [12].

Canal: es un camino para el transporte de señales eléctricas o electromagnéticas, cada canal de transmisión es adecuado para algunas señales concretas. Tal es el caso de la señal eléctrica que se propaga bien por canales conductores, pero no ocurre lo mismo con las señales luminosas [13].

Medio de transmisión: también llamado línea de transmisión, constituye la vía por la cual se envía y recibe la información entre dos terminales en un sistema de telecomunicaciones. Es posible utilizar varios medios físicos para la transmisión. Cada uno tiene su propio nicho en términos de ancho de banda, retardo, costo y facilidad de instalación y mantenimiento. Los medios se clasifican de manera general en medios guiados, como el cable de red, el coaxial y la fibra óptica, y medios no guiados, como radio, el satélite, las microondas, el láser a través del aire [2].

Clasificación de los medios de transmisión: de acuerdo a la forma de conducir la señal a través del medio, los medios de transmisión se pueden clasificar en dos grandes grupos, medios de transmisión guiados y medios de transmisión no guiados. Los medios de transmisión guiados están conformado por un cable que se encarga de la conducción (o guiado) de las señales desde un extremo al otro, entre ellos tenemos: el cable par trenzado, el cable coaxial y el cable de fibra óptica, existe una gran cantidad de cables con diferentes características que tienen diversas utilidades en el mundo de las telecomunicaciones. Los medios de transmisión no guiados: son los que no confinan las señales a ningún tipo de cable, sino que propagan las señales libremente a través del medio. Estos medios no guiados son el aire y el vacío. La radio, el satélite, las microondas pertenecen a éste grupo [14].

Medios guiados: los medios de transmisión guiados están constituidos por un cable que se encarga de la conducción de las señales desde un extremo al otro. Las principales características de los medios guiados son el tipo de conductor utilizado, la velocidad máxima de transmisión, las distancias máximas que puede ofrecer entre repetidores, la inmunidad frente a interferencias electromagnéticas, la facilidad de instalación y la

capacidad de soportar diferentes tecnologías de nivel de enlace. La velocidad de transmisión depende directamente de la distancia entre los terminales, y de si se va a realizar un enlace punto a punto o un enlace multipunto; un enlace punto a punto, es una conexión “directa” entre dos antenas (transmisora y receptoras respectivamente) el cual es muy común utilizarlo como extensión una red (ej. de una sucursal a otra); el enlace multipunto es utilizado para distribución de información (ej. una estación de radio), para ello se coloca una antena que envíe y reciba señal de muchos puntos. Por lo que acusa de la diferencia entre los tipos de enlaces, los medios de transmisión tendrán diferentes velocidades de conexión que se adaptarán a las variadas utilizaciones de los mismos [15].

Uno de los medios de transmisión más viejos, y todavía el más común, es el cable de par trenzado. Éste consiste en dos alambres de cobre aislados, por lo regular de 1 mm de grueso. Los alambres se trenzan en forma helicoidal, igual que una molécula de DNA [2]. La aplicación más común del cable de par trenzado es en el sistema telefónico. Casi todos los teléfonos están conectados a la compañía telefónica mediante un cable de par trenzado, estos cables se pueden utilizar para transmisión tanto analógica como digital. Hay varios tipos de cableado de par trenzado, dos de los cuales son importantes para las redes: el cable categoría 3 y el cable categoría 5, todos estos tipos de cableado comúnmente se conocen como UTP (Par Trenzado sin Blindaje, sus siglas en inglés), en comparación con los cables de par trenzado STP (Par trenzado apantallado por sus siglas en inglés) costosos, blindados y voluminosos que IBM (*International Business Machines*) introdujo a principios de la década de 1980, los cuales no ganaron popularidad fuera de las instalaciones de IBM [2].

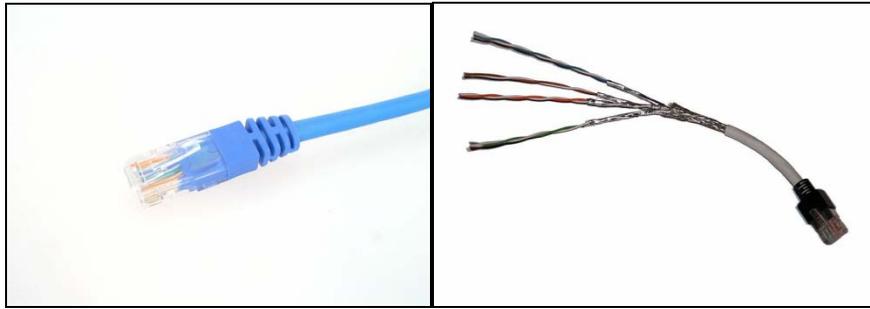


Figura 1. Cable par trenzado UTP (izquierda) y cable par trenzado STP (derecha)

Otro medio común de transmisión es el cable coaxial. Éste consiste en un alambre de cobre rígido como núcleo, rodeado por un material aislante y un blindaje (mejor que el blindaje que tiene el de par trenzado), así que puede abarcar tramos más largos a velocidades mayores. De los diversos tipos de cable coaxial que existen, los mayormente empleados son: el cable de  $50\ \text{ohms}$  que se usa por lo general para transmisión digital y el cable de  $75\ \text{ohms}$ , que se utiliza comúnmente para la transmisión analógica y la televisión por cable, e internet [2].

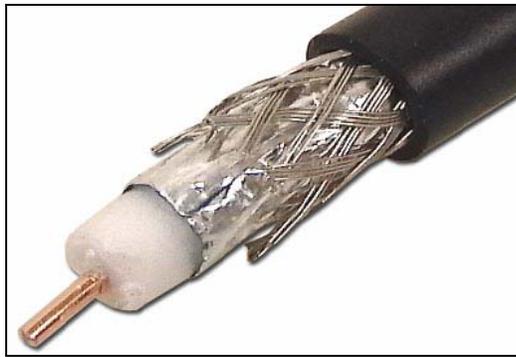


Figura 2. Visión de los componentes de un cable coaxial

La fibra óptica es un medio de transmisión empleado habitualmente en redes de datos, consiste en un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. Las fibras ópticas se utilizan ampliamente en telecomunicaciones, son el medio de transmisión por excelencia al ser inmune a las interferencias electromagnéticas y las altas velocidades que alcanza con respecto a los otros medios, también se utilizan para redes locales, en

donde se necesite aprovechar las ventajas de la fibra óptica sobre otros medios de transmisión [16].

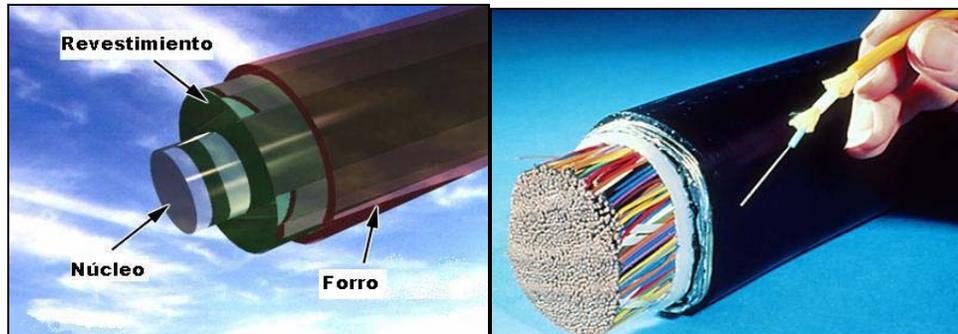


Figura 3. Estructura de un cable fibra óptica (izquierda) y estructura de un *backbone* de fibra óptica (derecha)

Medios no guiados: los medios no guiados proporcionan un soporte para que las ondas electromagnéticas se transmitan pero no las dirigen [16]. La transmisión inalámbrica está asociada a estos medios. Este tipo de comunicación es la respuesta para los usuarios que están limitados a la infraestructura de comunicaciones terrestres (les permite movilidad) [2], pero añade problemas adicionales provocados por la reflexión que sufre la señal en los distintos obstáculos existentes en el medio (el agua, atmósfera, edificios, y demás). Resultando más importante el espectro de frecuencias de la señal transmitida que el medio de transmisión en sí mismo (aire o vacío). Según el rango de frecuencias de trabajo, las transmisiones no guiadas se pueden clasificar en tres tipos: radio, microondas y luz (infrarrojos/láser) [17].

<b>TRANSMISIÓN INALÁMBRICA</b>	<b>BANDA</b>
Radio Frecuencia	10 KHz a 300 Mhz
Micro Ondas	300 Mhz a 300 Ghz
Infra Rojo	300 Ghz a 400 Thz

Figura 4. Cuadro de referencia para el estudio de las comunicaciones inalámbricas

Las ondas de radio son fáciles de generar, pueden viajar distancias largas y penetrar edificios sin problemas, y por ello su uso está muy generalizado en la comunicación,

tanto en interiores como en exteriores [2]. Aunque se emplea la palabra *radio*, las transmisiones de televisión, radio, radar y telefonía móvil están incluidas en esta clase de emisiones de radiofrecuencia, que es el termino para denominar al espectro de radiofrecuencia o RF (también conocido como espectro electromagnético), se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3Hz y unos 300GHz [18]. La radio, AM (amplitud modulada) y FM (frecuencia modulada) que se escucha en casa y el trabajo opera en la banda MF.

El intervalo que va desde los 2GHz hasta los 40GHz se denomina de frecuencia microondas. En estas frecuencias de trabajo se pueden conseguir *haces* altamente direccionales, por lo que las microondas son adecuadas para enlaces punto a punto. Estas también se usan para las comunicaciones vía satélite. Las microondas cubren parte de la banda de UHF (*Ultra High Frequency*) y cubren totalmente la banda SHF (*Super High Frequency*) [14].

La radiación infrarroja, o radiación térmica es un tipo de radiación electromagnética de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas. Su rango de longitudes de onda va desde unos 0,7 hasta los 300 micrómetros [19]. Los infrarrojos son útiles para las conexiones locales punto a punto así como para aplicaciones multipunto dentro de área de cobertura limitada (transmisiones a muy corta distancia, en una misma habitación)[14], como por ejemplo los controles remotos de los televisores, grabadoras de vídeo y estéreos. Estos controles son relativamente direccionales, económicos y fáciles de construir, pero tienen un inconveniente importante: no atraviesan los objetos sólidos (por ello al pararse entre un televisor y el control remoto, no funciona) [2].

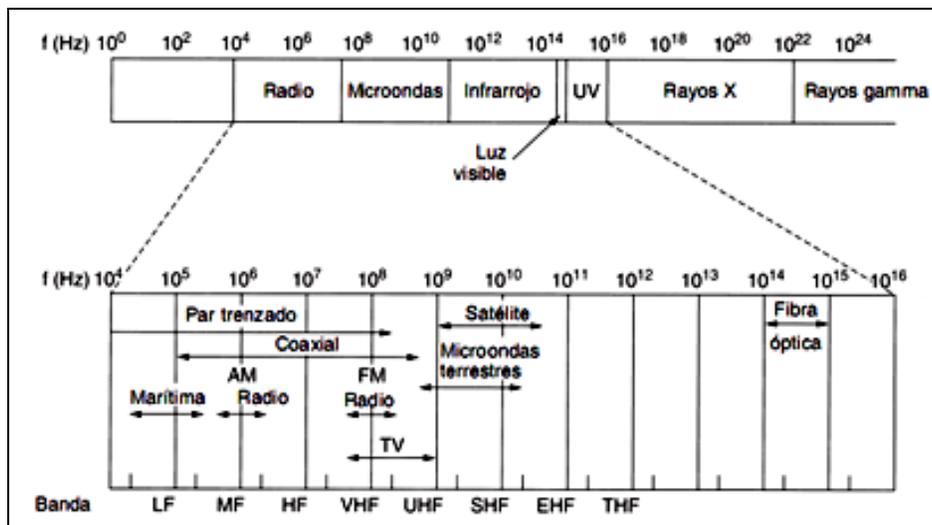


Figura 5. El espectro electromagnético y sus usos para comunicaciones.

### Área de investigación

La investigación se sitúa dentro del área de las comunicaciones de medios inalámbricos, debido a que se busca una forma de conexión inalámbrica como vía para la transmisión de datos (construcción de una antena omnidireccional). Entre los conceptos asociados al área de investigación tenemos:

### Antena

Dispositivo para la emisión y recepción de ondas electromagnéticas, las diferencias fundamentales entre los diferentes tipos de antenas, depende de los principios básicos que caracterizan a dichos tipos y del uso de las mismas [20]. Así pues las antenas inalámbricas tienen muchas clasificaciones que difieren del parámetro que se elija para ello. El aspecto más común y por lo tanto la clasificación más difundida, es la directividad de la señal. Esto no es más que la forma en la cual la antena irradia la señal, es de suma importancia conocer este parámetro, porque él indica el posible uso que tendrá esa antena, ya sea en un enlace punto a punto o uno multipunto.

Tomando como elemento clasificador, la directividad, tenemos tres grandes grupos de antenas inalámbricas, estos grupos son: las antenas omnidireccionales, denominadas así

porque emiten su señal en un ángulo de  $360^\circ$  respecto a la vertical de la antena. Gracias a ello este grupo de antenas es utilizado mayormente para difundir información, los modelos más populares de antenas omnidireccionales son los dipolos y las de plano de tierra. El siguiente grupo pertenece a las antenas direccionales, se caracteriza por irradiar la señal en un ángulo estrecho por lo cual su señal puede direccionarse, de allí viene su nombre, a causa de ello estas antenas son utilizadas para realizar la comunicación punto a punto, algunos ejemplos de estos tipos de antenas son: las *Yagi*, las *biquad*, las de bocina, las helicoidales, los platos parabólicos, y muchas otras. El último grupo pertenece a las antenas sectoriales, sin embargo, algunos autores no consideran estas antenas como un grupo por sí solo, sino como parte del grupo anterior [20], ya que estas emiten su señal en un ángulo mayor a las antenas direccionales pero menor a las antenas omnidireccionales, es decir, en un área específica. Este último grupo es utilizado para el monitoreo y la infraestructura de telefonía celular, las antenas *patch* o panel pertenecen a este grupo [21].

La antena a construir es una antena omnidireccional, la cual emite la radiación de la energía en múltiples direcciones, por lo que varios dispositivos u otras antenas pueden captarla [13]. Este tipo de antenas por lo general pertenecen al tipo de antenas hilos o antena de alambre, llamadas así porque su elemento radiante es un hilo conductor de alambre, que tienen una sección despreciable respecto a la longitud de onda de trabajo. Las dimensiones suelen ser como máximo de una longitud de onda o un múltiplo de ella. Se utilizan extensamente en las bandas de MF (*Medium Frequency*), HF (*High Frequency*), VHF (*Very High Frequency*) y UHF [22], ejemplares de este tipo de antenas son el monopolo vertical y el dipolo principalmente. El primero también conocido como antena vertical, es la antena más sencilla y está constituida por un solo brazo rectilíneo irradiante en posición vertical, se considerada como una antena incompleta, y que necesita ser completada con un plano de masa para poder funcionar correctamente. Ese plano de masa puede ser natural (por ejemplo, una superficie de agua salada), o bien artificial (una serie de conductores que se unen en la base del monopolo); esto es, porque en ausencia del plano de masa, el mismo, es reemplazado por cualquier

objeto circundante, incluyendo la tierra. Eso hace a la antena dependiente de calidad de los planos de masa, por ello se crea un plano metálico ficticio, enterrando conductores por debajo de la antena, lo que aumenta la eficiencia, en las aplicaciones de radio móvil en los vehículos, el cuerpo metálico del vehículo sirve de plano de masa [23].

Las antenas verticales (otro de los nombres para el monopolo) radian uniformemente alrededor del horizonte, producen campos polarizados verticalmente (el campo eléctrico está en la dirección del hilo y, por lo tanto, la denominación vertical se aplica también a la polarización del campo eléctrico producido) y tienen, por lo general, ángulos de salida bajos que las hacen adecuadas para cubrir larga distancia en HF, o para ser utilizadas en áreas urbanas en VHF (en las aplicaciones de radio móvil en vehículos) y UHF en la televisión (local o nacional, que no pertenece a la televisión por suscripción); así como en las expediciones de radioaficionados, sobre todo desde islas o costas [24].

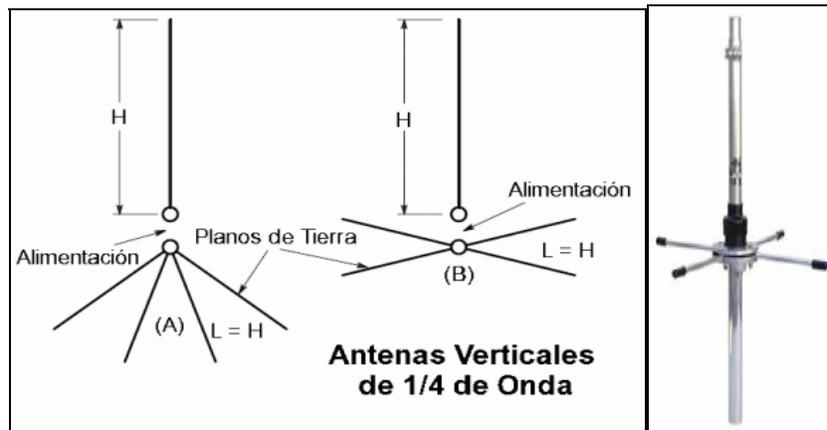


Figura 6. Monopolo vertical. En la izquierda planos teórico y en la derecha modelo real.

El dipolo es la antena más elemental (considerada completa), aunque es la más popular a través de los tiempos, debido a su extrema sencillez de manufactura y en el punto de vista teórico [25]. Existen muchos tipos de dipolos, cada cual con características propias pero que de igual forma tienen otras en común. Entre los diversos tipos, tenemos: dipolo en v invertida, dipolo doblado, dipolo elemental, dipolo de brazos plegados y el dipolo media onda ( $\lambda/2$ ), este último es el más conocido y el más estudiado. Éste dipolo

está formado por dos conductores de longitud total igual a la mitad de una longitud de onda. El dipolo de media onda proporciona buena cobertura para distancias cortas y medias siempre que este despejado y elevado por lo menos un  $\frac{1}{4}$  de onda sobre cualquier obstáculo [26]. Cada brazo debe medir  $\frac{1}{4}$  de onda con respecto a la frecuencia central de trabajo, pero ambos brazos juntos hacen la media onda (de allí su nombre). La longitud del cable coaxial deberá ser igualmente un múltiplo aproximado de  $\frac{1}{4}$  de onda [26].

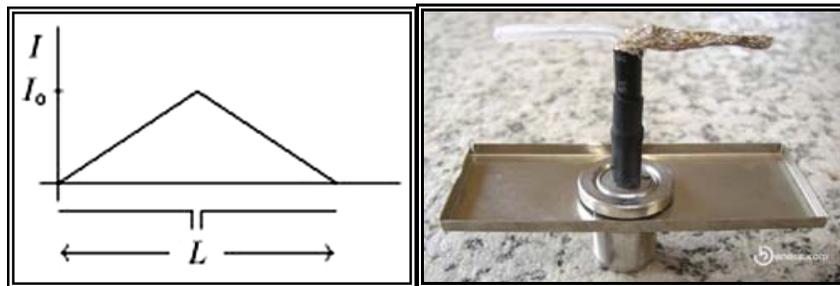


Figura 7. Dipolo de media onda. En la izquierda esquema teórico y en la derecha dipolo construido manualmente.

Además de los dipolos y los monopolos existen otros tipos de antenas que también pertenecen a las antenas de hilos [25], pero que no son ni verticales ni horizontales (sí a una antena se le cambia la posición, también cambia su ángulo de radiación y cambia la polarización), como las antenas colineales, las coaxiales, la antena jota (omni-jota), L invertida, de anillo, en T, y otros, que participan en cierto modo de las características de ambas. Se agrupan algunas antenas bajo esa clasificación genérica atendiendo a la posición de sus alambres o conductores radiantes [25].

Antenas colineales: están conformadas por elementos radiantes apilados y funcionando juntos, concentrando así la radiación en el horizonte [26]. Estos segmentos de alambre se unen entre sí, bien sea por soldadura o por espiras, estas antenas son estudiadas en base a los dipolos y a los monopolos. Los segmentos son del tamaño de la longitud de la onda que transmiten o un múltiplo de ella ( $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{3}{4}$  de onda), como sucede en los dipolos y los monopolos. A diferencia de los monopolos, estas no necesitan de un plano de masa [26]. Este “apilamiento” se trata de un “enfasamiento” que permite aumentar la ganancia

de una antena (mientras más segmentos más ganancia) como podría ser el monopolo, un primer elemento que irradia como una antena dipolo simple. El segundo elemento estaría conectado como una línea de transmisión y si posee  $\frac{1}{2}$  de la longitud de onda, más la media longitud de onda del primer elemento, alimenta el tercer elemento con la señal en la misma fase que la señal que ataca al primer elemento y así siguiendo hacia arriba, todos los elementos impares irradian en fase un frente de onda más plano de lo que irradiaría cada uno de ellos por separado, vamos para simplificar casi 2 antenas en una sola [28].

Es una de las antenas omnidireccionales más utilizadas y en países como España y Chile, existen modelos prefabricados de este tipo de antena que son vendidos comercialmente.

“...esta antena también la venden en [www.aerialix.com/](http://www.aerialix.com/), ya armada o como kit. Las instrucciones de armado del kit también os servirán de mucha ayuda...” [28].

Su fabricación es sencilla y requiere que el tamaño y forma de los desfases sean exactos. La polaridad de este tipo de antena es vertical. Los materiales usados para realizarlas son muy simples: alambre de cobre, conectores y cable coaxial para el *pigtail* (segmento de cable que conecta la antena a la tarjeta inalámbrica o al *Access Point*). Pero se utiliza tubo de PVC para la protección, sobre todo si se va utilizar en exteriores. Además de herramientas simples para la realización: alicate, escalímetro y soldador. [27 y 28].

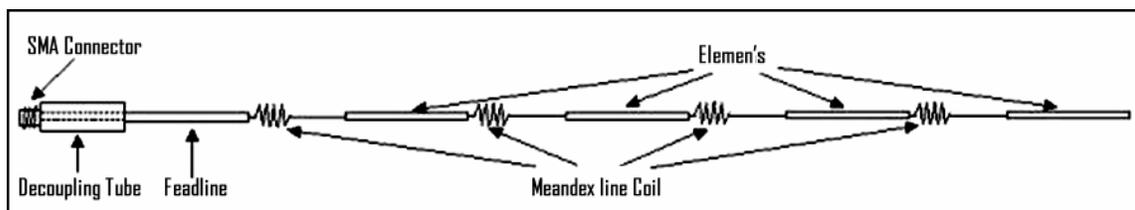


Figura 8. Modelo de diseño de una antena colineal de 4 elementos con espiras soldadas.

Existen dos modelos de este tipo de antena; espiras soldadas (modelo que venden como *kit*), que se puede observar en la figura arriba o el de espiras continuas, donde el alambre se dobla haciendo las espiras. El modelo más elaborado, es el que corresponde a las espiras soldadas, porque se puede modificar para más de 4 elementos, con un funcionamiento estable y una ganancia de hasta 12 dBi. Este modelo tiene poca resistencia al clima por sí solo, así como la posibilidad de mantenerse rígida. Con el fin de reforzar el modelo, se utiliza tubo PVC para electricidad, que le da firmeza y la hace resistente para su uso en exteriores (su mayor uso difundido). Claro para evitar el movimiento de la antena dentro del tubo plástico, se colocan pequeños trozo de aislante (goma espuma) como puede observarse en la figura abajo.

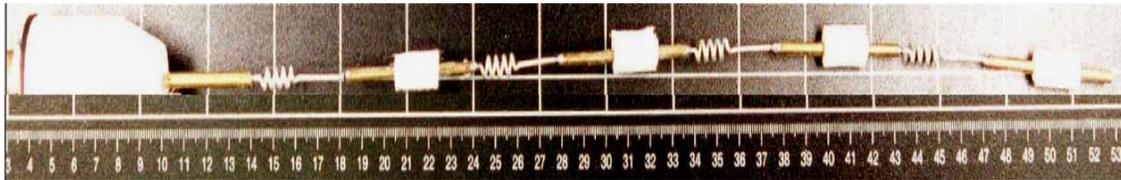


Figura 9. Antena colineal de espiras soldadas de cuatro elementos.

El segundo modelo correspondiente a las espiras continuas, que por ser de alambre de cobre rígido puede mantenerse firme por sí solo, pero requiere de una cobertura para protegerla de los elementos del clima, por lo que una cubierta PVC de  $\frac{1}{2}$  pulgada para electricidad resuelve el problema.

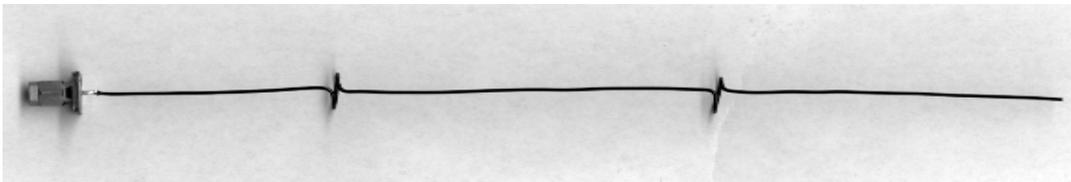


Figura 10. Antena colineal de espiras continuas de dos elementos.



Figura 11. Antena colineal con cobertura de tubo PVC.

Coaxial (una agrupación de dipolos): su funcionamiento es idéntico a la colineal, con la particularidad de cambiar las bobinas (espiras) por trozos de coaxial soldados, al igual, el tamaño de los trozos de cable y las soldaduras deben ser exactos. Su fabricación es delicada por la manipulación de las soldaduras. Como material principal tenemos: cable coaxial (RG213), una herramienta de corte y tubo PVC de 1 pulgada para el recubrimiento en la antena finalizada. Presenta el detalle que las soldaduras pueden incrementar la pérdida si no se hacen eficientemente, y que se requiere más cable de lo normal, porque hay que añadir el cable que formará el *pigtail*. Posee una polarización vertical [28].



Figura 13. Ejemplo de antena coaxial después de terminar las soldaduras.

Este modelo que consiste en trozos de cable coaxial soldados entre sí, puede mantenerse rígido y protegido en su mayoría con el aislante propio del cable coaxial, sin embargo, las soldaduras quedan expuestas, por lo que deben cubrirse sobre todo al usarse en exteriores (su mayor uso) con un tubo PVC para electricidad de unas dos pulgadas o más de diámetro interno.



Figura 14. Antena coaxial de ocho segmentos (elementos).

Omni Pole (onni-jota, también una agrupación de dipolos): es una antena al estilo de la colineal y la coaxial. La fabricación es sencilla. Los materiales requeridos son: alambre de cobre, cable coaxial para la unión al conector y emplea herramientas sencillas para doblar el hilo de cobre a medidas concretas. Se pueden lograr hasta 5 dBi con pocos elementos [30].

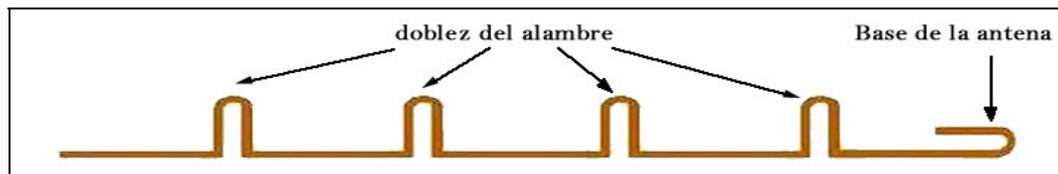


Figura 15. Planos del diseño de una antena omni-jota



Figura 16. Extremo final de una antena omni-jota.

Como se observa en la figura arriba, la omni-jota deja el alambre de cobre así como la unión con el cable coaxial expuestas, a causa de esto, se sugiere encapsularla en un tubo PVC de más de 3 cm de diámetro interno, 1 ½ pulgadas o envolverla en teipe eléctrico (el popular teipe negro).

Polarización: principio básico de las antenas que consiste en la dirección del vector

campo eléctrico, o la figura geométrica que traza el extremo del vector campo eléctrico a una cierta distancia de la antena. La polarización puede ser lineal, circular y elíptica [31]. Siendo lineal puede tomar distintas orientaciones (horizontal, vertical,  $+45^\circ$ ,  $-45^\circ$ ). Las polarizaciones circular o elíptica pueden ser a derechas o izquierdas (dextrógiras o levógiras), según el sentido de giro del campo (observado alejándose desde la antena), la mayoría de las antenas poseen una polarización vertical [31].

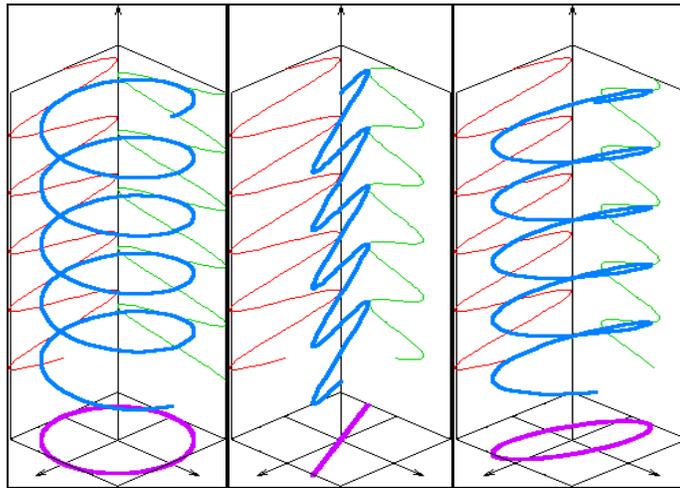


Figura 17. Tipos de polarización. De izquierda a derecha: Circular, Lineal y Elíptica

Diagrama o patrón de radiación: este es una representación gráfica de la potencia o intensidad del campo radiado por una antena en varias direcciones, y es una de las propiedades importantes de una antena, pues indica el radio de cobertura de la señal emitida [22]. Éste puede realizarse en dos dimensiones trabajando en el sistema de coordenadas polares teniendo dos vista para un dispositivo, una vista en función del eje horizontal y otra respecto al eje vertical.

En algunos casos, se utiliza únicamente el diagrama 2D desde la vista vertical, puesto que en el otro eje la antena no tendría ninguna funcionalidad comercial (antenas direccionales). También puede realizarse un patrón de radiación en 3D, lo que permite tener ambas vistas en un solo diagrama [29].

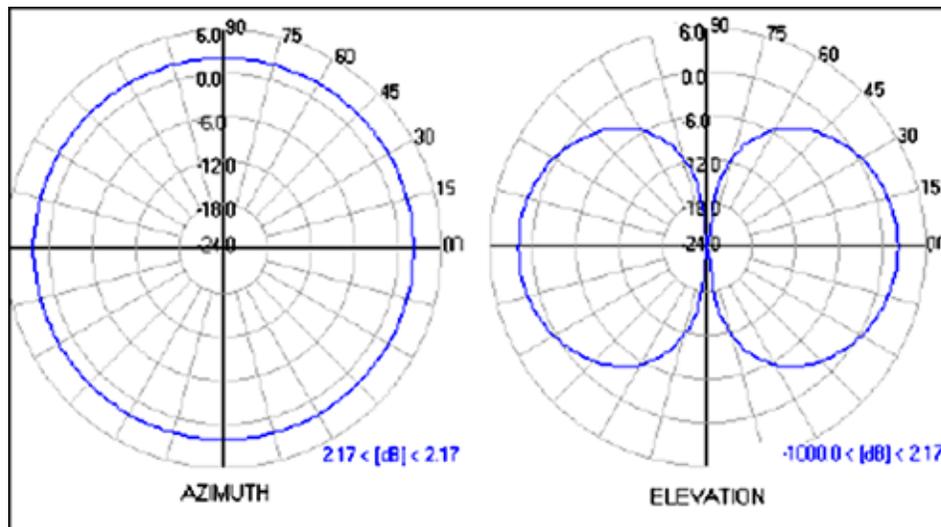


Figura 18. Patrón de radiación en 2D de una antena omnidireccional, en la izquierda; vista eje horizontal y en la derecha; vista eje vertical.

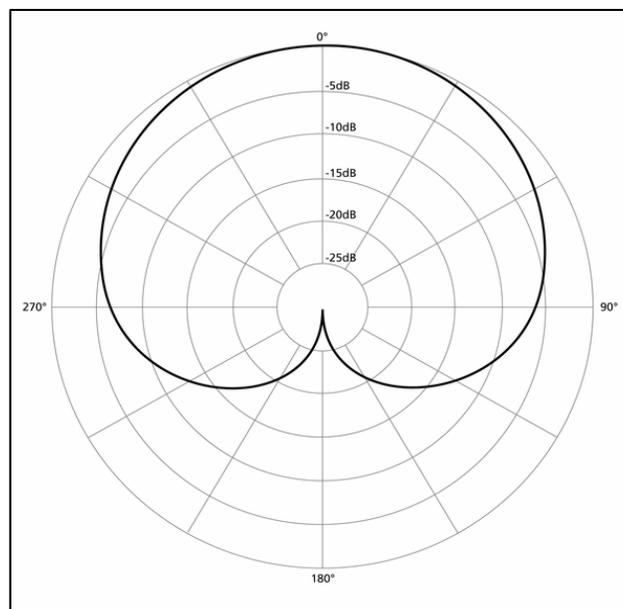


Figura 19. Patrón de radiación en 2D de una antena direccional, vista vertical.

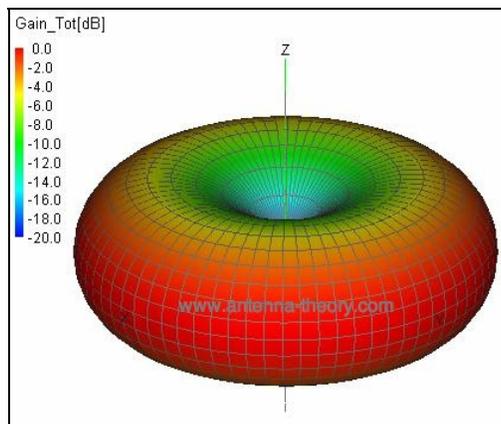


Figura 20. Patrón de radiación en 3D de una antena omnidireccional.

Ganancia de la antena: así como el patrón de radiación es importante para conocer el uso posible de la antena, también la ganancia es otro aspecto a tomar en cuenta, la misma se produce por el efecto de la directividad al concentrarse la potencia en las zonas indicadas en el diagrama de radiación. Es una propiedad que corresponde con la relación entre la potencia total radiada y la potencia entregada a la antena, viene dada por la cantidad de energía (potencia) concentrada en la antena que emite su radiación hacia cierta dirección. Se expresa en dB (decibelios) y se simboliza con la letra  $G$ . Sin embargo, en algunos documentos o libros se utilizan otras medidas derivadas de ésta, como son el caso de dBi, decibelio isotrópico, donde se toma como referencia una antena isotrópica que radia igualmente en todas las direcciones también se utiliza la unidad dBm [20] y en dBd [29], por lo tanto mientras más potente sea la antena más lejos puede llegar la señal, en teoría, pues existen algunos factores adicionales que son de suma importancia para realizar un enlace.

Decibelio: un decibelio (dB) equivale a la décima parte de un *bel*. Esta es una unidad de referencia para medir la potencia de una señal o la intensidad de un sonido. El nombre *bel* viene del físico norteamericano *Alexander Graham Bell* (1847-1922) quien realizó muchos aportes en la telefonía [30].

Equivalencia entre medidas: aunque los decibeles o decibelios se usan generalmente con la ganancia de potencia, a veces se emplean para indicar el nivel de potencia respecto a 1

mW (*miliWatt*). En este caso, se usa el símbolo dBm, donde dB se refiere a los decibelios y la m significa que la referencia es a 1 mW. [29].

La ganancia de potencia es la razón entre la potencia de salida y la potencia de entrada (para un amplificador).

$$G = P(\text{sal})/P(\text{ent}), \text{ donde}$$

P(sal) = Potencia de salida

P(ent) = Potencia de entrada

La ganancia de potencia (para un amplificador) en decibeles se define por:

$$GdE = 10\log(P_{\text{sal}}/P_{\text{ent}}), \text{ donde}$$

P(sal) = Potencia de salida

P(ent) = Potencia de entrada

En el caso de usar como medida los dBm, se tiene:

$$GdBm = 10 \log(P_{\text{sal}}/1mW), \text{ donde}$$

GdBm = ganancia en dBm

Psal = potencia salida en *Watts* [29]

También existen los dBi, los cuales es la relación entre la potencia que irradia una antena ideal (isotrópica o un dipolo de media onda) orientada de forma que la antena real irradia en esa misma dirección, quedando

$$G = P(A_{\text{ideal}})/P(A_{\text{real}}), \text{ donde}$$

P(Aideal) = potencia de la antena ideal

P(Areal) = potencia de la antena real

Por lo que, la ganancia de una antena puede expresarse en decibelios isotrópicos como:

$$G_{dBi} = 10 \log P(A_{ideal})/P(A_{real}), \text{ donde}$$

$G_{dBi}$  = ganancia en dBi

$P(A_{ideal})$  = potencia de la antena ideal

$P(A_{real})$  = potencia de la antena real [21]

Si la relación de potencia se duplica, vale decir:

$$G = P_{real} / P_{ent} = 2$$

$$G_{dB} = 10 * \log(2) \text{ dB} = 3.01 \text{ dB}$$

En otras palabras si tengo un equipo que duplica la potencia de salida respecto de la potencia de entrada gano 3 dB [29]

Algunas antenas dan su ganancia expresada en dBd, que es la ganancia comparada con una antena dipolo de media onda. En este caso hay que sumar 2,14 para obtener la ganancia correspondiente en dBi o en caso contrario restarle 2.14 a la ganancia en dBi para convertirla [29].

$$G_{dBd} = G_{dBi} - 2.14, \text{ donde}$$

$G_{dBd}$  = ganancia respecto a un dipolo

$G_{dBi}$  = ganancia en dBi [32]

·  
Onda Electromagnética: es la forma de propagación de la radiación electromagnética a través del espacio, tales ondas viajan a la velocidad de la luz, y poseen un campo eléctrico y otro magnético. Los parámetros básicos de una onda electromagnética son los que siguen: longitud de onda; es la distancia existente entre dos crestas consecutivas, lo

que describe lo larga que es la onda, definida con la letra ( $\lambda$ ), suele medirse en metros. La amplitud de una onda, es la distancia máxima desde el punto más alto de la cresta al equilibrio, se designa con la letra ( $\gamma$ ), las unidades de amplitud dependen del tipo de onda, en el caso de las ondas electromagnéticas se expresan en voltios/metros [33].

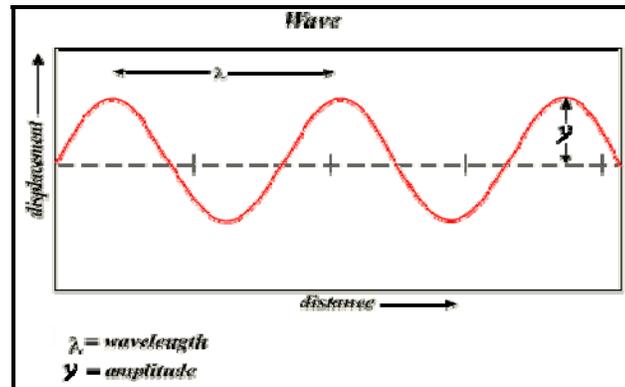


Figura 21. Parámetros de una onda electromagnética

Espectro Electromagnético: atendiendo a su longitud de onda, la radiación electromagnética recibe diferentes nombres, y varía desde los rayos gamma (con una longitud de onda del orden de picómetros) hasta las ondas de radio (longitudes de onda del orden de kilómetros), pasando por el espectro visible (cuya longitud de onda está en el rango de las décimas de micrómetros). El rango completo de las longitudes de onda, se encuentra dividido en bandas, es lo que se denomina el espectro electromagnético [34].

Microondas: son las ondas electromagnéticas definidas en un rango de frecuencias determinado; generalmente de entre 300 MHz y 300 GHz, otras definiciones, como las de los estándares IEC 60050 y IEEE 100 sitúan su rango de frecuencias entre 1 GHz y 300 GHz, este rango está incluido en las bandas de radiofrecuencia, concretamente en las UHF (0.3 – 3 GHz), SHF (3 – 30 GHz) y EHF (*extremely high frequency*, frecuencia extremadamente alta) (30 – 300 GHz) [35].

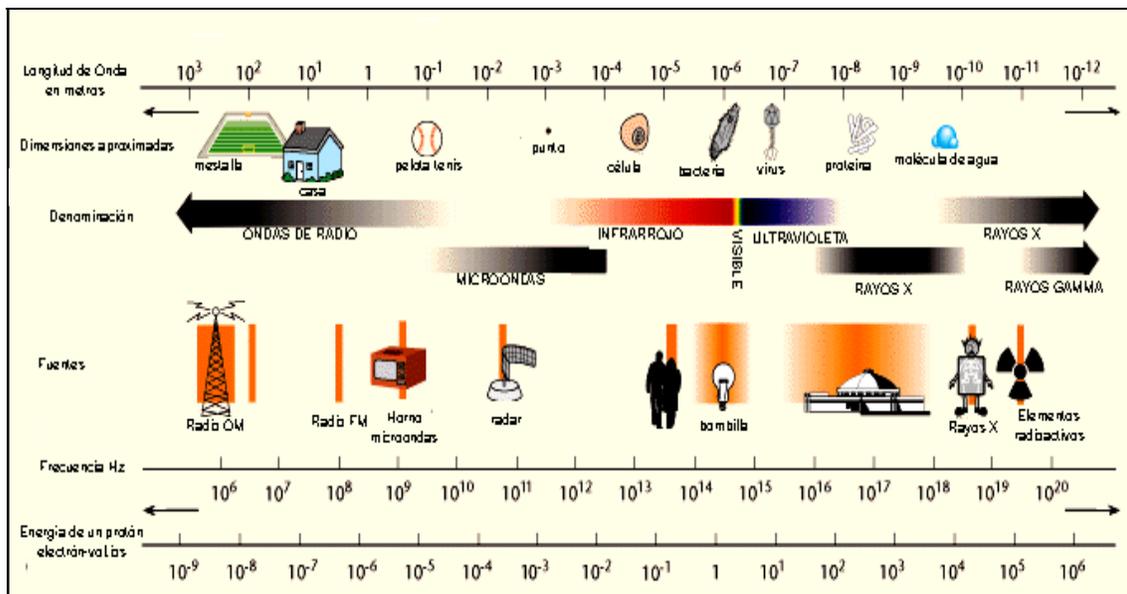


Figura 22. Representación del espectro radioeléctrico o electromagnético

Sigla	Rango	Denominación	Empleo
VLF	10 kHz a 30 kHz	Muy baja frecuencia	Radio gran alcance
LF	30 kHz a 300 kHz	Baja frecuencia	Radio, navegación
MF	300 kHz a 3 MHz	Frecuencia media	Radio de onda media
HF	3 MHz a 30 MHz	Alta frecuencia	Radio de onda corta
VHF	30 MHz a 300 MHz	Muy alta frecuencia	TV, radio
UHF	300 MHz a 3 GHz	Ultra alta frecuencia	TV, radar, telefonía móvil
SHF	3 GHz a 30 GHz	Super alta frecuencia	Radar
EHF	30 GHz a 300 GHz	Extra alta frecuencia	Radar

Figura 23. Clasificación de las bandas del espectro electromagnético

Estándar IEEE 802.11: las redes inalámbricas, WLAN o *Wireless* como son más conocidas, son un nuevo tipo de redes surgidas por la necesidad de aumentar la movilidad de los trabajadores de una empresa sin los impedimentos actuales de continuos cambios en el cableado de datos de dicha empresa [36]. Gracias a esta tecnología, los usuarios son autónomos y sobre todo móviles, porque no existen cables que nos obliguen a permanecer conectados físicamente a la red. Todo ello basándonos en el estándar el IEEE 802.11, desarrollado por el Instituto de Ingeniería Eléctrica y

Electrónica (IEEE por sus siglas en inglés), que describe las normas a seguir por cualquier fabricante de dispositivos *Wireless* para que puedan ser compatibles entre sí.

Banda de Frecuencia	Nombre	Modulación	Razón de Datos	Aplicaciones Principales
30-300 kHz	LF (low frequency)	ASK, FSK, MSK	0,1-100 bps	Navegación
300-3000 kHz	MF (medium frequency)	ASK, FSK, MSK	10-1000 bps	Radio AM Comercial
3-30 MHz	HF (high frequency)	ASK, FSK, MSK	10-3000 bps	Radio de onda corta
30-300 MHz	VHF (very high frequency)	FSK, PSK	Hasta 100 kbps	Television VHF, Radio FM
300-3000 MHz	UHF (ultra high frequency)	PSK	Hasta 10 Mbps	Television UHF, Microondas Terrestres
3-30 GHz	SHF (super high frequency)	PSK	Hasta 100Mbps	Microondas terrestres y por satélite
30-300 GHz	EHF (extremely high frequency)	PSK	Hasta 750 Mbps	Enlaces cercanos con punto a punto experimentales

Figura 24. Características de las Señales Microondas

Los más importantes estándares para *Wireless* son:

IEEE802.11a: hasta 54 Mbps (*megabits por segundo*) de ancho de banda disponible, trabajando en la frecuencia de 5GHz.

IEEE802.11b: hasta 11 Mbps, trabajando en la frecuencia de 2,4GHz [36].

IEEE802.11g: hasta 54 Mbps, en la frecuencia de 2,4GHz como 802.11b. Siendo ambos compatibles entre sí [37].

IEEE802.11n: conocido como *Wifi N* ó 802.11n, hace uso simultáneo de ambas bandas, 2,4Ghz y 5,4Ghz y sube el límite teórico hasta los 600 Mbps. Sin embargo, ya existen varios productos que cumplen el estándar N con un máximo de 300 Mbps (80-100 estables) [37]. Muchos fabricantes están creando equipos *Wireless* para poder conectar ordenadores, y utilizarlo en otras aplicaciones como pueden ser: servidores de impresión o cámaras *Web*.

Características IEEE802.11: a mediados de los años 80, el FCC (*Federal Communications Commission*) asignó las bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*, por sus siglas en inglés) 902-928 MHz, 2,4-2,4835 GHz, 5,725-5,85 GHz a las redes inalámbricas. Las bandas ISM son bandas de frecuencias para uso comercial y sin licencia, por lo cual no se paga ningún tipo de impuesto por su uso (son las utilizadas por los teléfonos inalámbricos domésticos, los teléfonos celulares, los microondas, los dispositivos *BlueTooth*, entre otros). Cada uno de los 14 canales asignados al IEEE 802.11 tiene un ancho de banda de 22 MHz, y la gama de frecuencias disponible va de los 2.412 GHz hasta los 2.484 GHz [27].

Canal	Frecuencia
1	2.412 MHz
2	2.417 MHz
3	2.422 MHz
4	2.427 MHz
5	2.432 MHz
6	2.437 MHz
7	2.442 MHz
8	2.447 MHz
9	2.452 MHz
10	2.457 MHz
11	2.462 MHz
12	2.467 MHz
13	2.472 MHz
14	2.484 MHz

Figura 25. Espectro de canales de la frecuencia 2.4GHz de la banda ISM

### Marco metodológico

Metodología de la investigación

Forma de investigación: la investigación a realizar fue de tipo aplicada, debido a que la antena omnidireccional a construir busca resolver una problemática en particular y no la

formulación de leyes o teorías en general [38].

Tipo de investigación: la investigación es de campo, porque la construcción de la antena omnidireccional se basa en los estudios realizados en otros modelos de antenas similares [38].

Metodología del área aplicada.

Para la realización de esta investigación se utilizará la metodología del ciclo de vida desarrollo de sistemas propuesta por Kendall y Kendall [39], pero adaptada al objeto de estudio de esta investigación, adaptación que se hizo tomando la esencia de cada fase sin profundar en los detalles de las misma, partiendo de que la antena fabricada no es un sistema de información organizacional (un software) sino un dispositivo tangible; la cual consta de las siguientes fases:

Identificación de problemas de las antenas

En esta primera fase se realizará una investigación preliminar basada en la revisión bibliográfica sobre los conceptos básicos en lo referente a antenas microondas y con la finalidad de identificar los problemas por lo cual se realiza el presente trabajo.

Determinación de los requerimientos de la antena omnidireccional

En esta fase se hará un estudio comparativo de las características de las antenas omnidireccionales más empleadas, en base a los siguientes parámetros: ganancia, costo, alcance y polaridad. En función del análisis, se determinará la selección de los requisitos mínimos necesarios que deberá cumplir la antena a desarrollar, basado en los parámetros previamente señalados.

### Análisis de las necesidades de la antena omnidireccional

En esta fase se realizará un análisis de los diversos tipos de antenas omnidireccionales para determinar que parámetros son los que debe cubrir la antena a fabricar, en función de las características de los materiales y su durabilidad.

### Diseño del modelo de la antena omnidireccional

Se diseñara un modelo de la antena, con la asistencia de herramientas computarizadas para el modelado, el cual debe ser compacto, que admita una sencilla instalación, un rápido mantenimiento, que ofrezca un libre funcionamiento y además debe satisfacer los requerimientos mínimos establecidos.

### Construcción de la antena omnidireccional

Se tomará el modelo diseñado y los materiales seleccionados que formarán parte de la antena, y de esta forma se iniciará la construcción de la misma, haciendo uso de herramientas que manipularán los materiales.

### Documentación de la antena omnidireccional

En esta fase se creará un manual que contiene una descripción detallada de las características y modo de empleo de la antena desarrollada.

### Pruebas de la antena omnidireccional

En esta etapa, se ejecutarán diversas pruebas que confirmarán la elaboración de la antena omnidireccional. Estas pruebas son las siguientes: Pruebas de Funcionamiento, por medio de la utilización de dos *software* (*WLAN Utility e inSSIDer*), se comprobará el desempeño de la antena que arrojará los detalles necesarios, en caso de ajustes, para garantizar su operatividad; Pruebas de Compatibilidad, las cuales servirán para verificar la interoperabilidad de la antena desarrollada con dispositivos inalámbricos compatibles

con los estándares IEEE 802.11b/g. Interoperabilidad que exige el estándar IEEE 802.11g y que la antena desarrollada deberá cumplir.

## **CAPÍTULO III DESARROLLO**

### **Identificación de problemas, oportunidades y objetivos de las antenas**

Partiendo de una investigación preliminar basada en la revisión bibliográfica sobre los conceptos básicos en lo referente a las antenas microondas y con ello se consigue identificar los problemas por lo cual se efectuó la investigación.

#### Identificación del problema

Durante la revisión bibliografía se encontró documentación de que en otras latitudes (México, España, Chile, Argentina, entre otros) el estudio de la comunicación inalámbrica, las antenas y sus múltiples aplicaciones es difundido, de hecho se encontró material sobre la construcción casera de antenas microondas. El problema surge debido al hecho de que dicha fabricación no está bien documentada, es su mayoría se limitan sólo a elaborarla, por lo que el sustento documental y bibliográfico es reducido, además de que las mismas les permiten tener acceso a la comunicación inalámbrica de modo más económico. Sin embargo, estos modelos fabricados son para operar en exteriores, donde brindan conectividad muy parecida a la suministrada por las antenas comerciales de elevados costos, pero los modelos para interiores son muy escasos.

Para la realidad de nuestro país, estas antenas caseras serían una solución para sitios y comunidades que requieran conectividad y que no puedan costear una antena comercial. Además que permitiría realizar múltiples estudios que las involucren, sin requerir del desarme de un dispositivo comercial costoso.

Es por ello, que se busca con la construcción de esta antena, otorgar un aporte para futuras investigaciones que permita impulsar el estudio y la investigación en el área de

telecomunicaciones de la carrera de informática, de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.

### **Determinación de requisitos de la antena omnidireccional**

En esta fase se hizo un estudio comparativo de las características de las antenas omnidireccionales más empleadas, en base a los siguientes parámetros: ganancia, costo, alcance y polaridad. En función del análisis de las antenas, se determinará la selección de los requisitos mínimos necesarios que debe cumplir la antena a desarrollar, basado en los parámetros previamente señalados. Los tipos de antenas mencionados en el capítulo anterior (colineal, coaxial y omni-jota) son los que forman parte del análisis.

#### **Alcance**

Representa la distancia de cobertura de la señal que posee la antena (en referencia a su uso en exteriores); buen alcance, una antena que tenga entre 30 y 100 metros de cobertura; bajo alcance, si es inferior a 30 metros, de 29 a 100 metros, y un excelente alcance si está por encima de los 101 metros en adelante.

Tabla 1. Clasificación de las antenas estudiadas, según el alcance.

<b>Parámetro / Tipo de antena</b>	<b>Colineal</b>	<b>Coaxial</b>	<b>Omni-jota</b>
<b>Alcance teórico en metros*</b>	100+	100+	80+
<b>Clasificación</b>	Buena	Buena	Buena

\* Se están tomando en cuenta para hacer el estudio, los modelos más básicos; para la colineal: 2 elementos (espiras), coaxial: 4 elementos y la omni-jota: 4 elementos. Su uso en interiores queda cubierto con un alcance de 100 m.

La diferencia de cobertura entre ellas depende de factores como la precisión en la fabricación (pérdidas por malas soldaduras y los conectores), los materiales utilizados (la calidad de los materiales) y las condiciones que existen en el lugar de establecer el enlace como el clima, los obstáculos, potencia de las tarjetas, entre otras.

## Ganancia

Buena ganancia cuando tiene entre 4 dBi a 6 dBi. Si tiene una ganancia mayor entre 7 dBi-9 dBi es excelente. Y si la antena cuenta con una ganancia de entre 1 dBi y 3 dBi, se toma como baja ganancia.

Tabla 2. Clasificación de las antenas estudiadas, según la ganancia.

Parámetro / Tipo de antena	Colineal	Coaxial	Omni-jota
Ganancia teórica en dBi	6	5	5
Clasificación	Buena	Buena	Buena

## Polaridad

Los modelos de antenas que forman parte del estudio tienen una polaridad vertical. Sin embargo, hay modelos que funcionan mejor en una polaridad determinada.

“...las antenas guía-ondas transmiten la mayor parte de su energía hacia el horizonte...”

“las guía-ondas ranuradas transmiten su energía utilizando polarización HORIZONTAL, que es la mejor para transmisión a distancia...” [40].

La polarización horizontal permite normalmente doblar el número de usuarios que se pueden conectar a una red de área local inalámbrica sin que se produzcan interferencias. Cuando se utilizan antenas de polarización horizontal como las *biquad*, o antenas *Patch* (siempre y cuando funcionen con polarización cruzada, la antena que envía es horizontal y la que recibe es vertical y viceversa) en el sitio del cliente, estas omnis serán 20 dBi más fuertes que la señal proveniente de una antena colineal similar [41]. Esta polarización es más ligada a las antenas direccionales u omnidireccionales de uso externo, porque esto les permite abarcar una mayor distancia (aéreas urbanas) concentrando la energía en un solo punto o en varios puntos uniformemente (cubrir un área de 2 cuadras es muy diferente a abarcar todo un barrio).

Tabla 3. Clasificación de uso de las antenas del estudio, según su polarización.

<b>Parámetro / Tipo de antena</b>	<b>Colineal</b>	<b>Coaxial</b>	<b>Omni-jota</b>
<b>Polarización</b>	Vertical	Vertical	Vertical
<b>Clasificación de uso según polarización</b>	Interiores	Interiores	Interiores

### Costo

Todas las antenas requieren un conector N-hembra, la colineal de dos elementos necesita 0.50 cm de alambre de cobre esmaltado, para una coaxial de cuatro elementos son 0.70 cm de cable coaxial RG213 o LMR400 y finalmente para omni-jota se tienen 0.65 cm de alambre de cobre esmaltado. En base a esos detalles se hace una estimación del costo de la antena, a causa que los otros materiales son estaño empleado para las uniones silicón frío para autos como sellador de la conexión.

Tabla 4. Listado de precios de los materiales de la antena

<b>Materiales que conforman una antena</b>	<b>Precio por unidad (Bs)</b>
<b>Alambre de cobre esmaltado (metro)</b>	15,00
<b>Cable coaxial RG213 (metro)</b>	12,00
<b>Cable coaxial LMR400 (metro)</b>	15,00
<b>Conector N-hembra*</b>	40,00

Fuente: Tienda LED Electrónica, C.A, ubicada en la ciudad de Puerto la Cruz, Estado Anzoátegui. En su listado para el mes de febrero 2011

\*Cualquiera de los tres tipos

Tabla 5. Cuadro resumen de las antenas omnidireccionales que conforman el estudio.

<b>Parámetros / Tipo de antena</b>	<b>Colineal</b>	<b>Coaxial</b>	<b>Omni-jota</b>
<b>Costo en Bs*.</b>	48,00	60,00	65,00
<b>Polarización</b>	Vertical	Vertical	Vertical
<b>Alcance teórico en metros</b>	Buena	Buena	Buena
<b>Ganancia teórica en dBi</b>	Buena	Buena	Buena

\*no se incluye el precio de los *pigtail*

Además de los requisitos anteriores, la antena a construir debe cumplir con ciertos lineamientos asociados al estándar IEEE 802.11g; como el hecho que debe operar en la frecuencia 2.4 Ghz, ser compatible con otros equipos comerciales (interoperabilidad) y transmitir en la velocidad que establece el estándar hasta unos 54 Mbps. El primer lineamiento se evidencia con el estudio de las medidas que tienen las antenas en sus

segmentos, puesto que estos segmentos deben tener medidas que sean múltiplos impares de la longitud de onda en la cual va a operar,  $\frac{1}{2}\lambda$ ,  $\frac{1}{4}\lambda$ ,  $\frac{3}{4}\lambda$ ,  $\frac{5}{4}\lambda$ ,  $\frac{7}{4}\lambda$ , ... [42].

Para realizar las medidas se toma 0.125 m, que es la longitud de onda  $\lambda$  (2.4 Ghz) en metros [32]. El modelo colineal de dos espiras posee una configuración de sus segmentos de  $\frac{1}{2}\lambda$ ,  $\frac{3}{4}\lambda$ ,  $\frac{3}{4}\lambda$ , que se observa en la figura abajo. Dichos cálculos se de la siguiente forma:  $d_{seg} = \frac{1}{2} * 0.125 \text{ m} = 0.0625 \text{ m}$ , y luego esa medida se convierte a milímetros para mayor comodidad al momento de construir el plano, se toma una aproximación del resultado para no afectar el rendimiento, causar pérdidas y producir ondas parasitas (capacitancia) [32 y 43]. En la ecuación se muestra el resultado de un segmento de  $\frac{1}{2}\lambda$ . Siendo análoga para los demás segmentos.

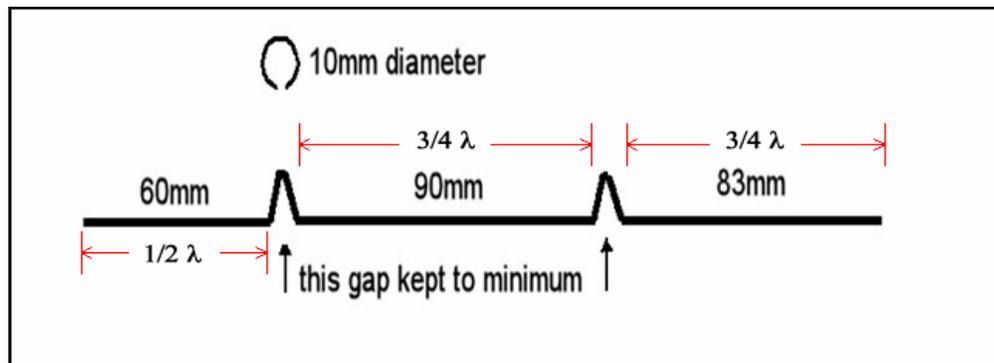


Figura 26. Planos y medidas de una antena colineal de dos espiras.

La coaxial presenta una configuración de la siguiente manera: un desacoplador (segmento de cable unido al conector N) con una medida de 90 mm ( $\frac{3}{4}\lambda$ ), seguido de una serie de elementos en defase de  $\frac{1}{4}\lambda$  multiplicado por el factor de velocidad del cable que poseen una medida de 40.5 mm c/u, observe la tabla resumen de los cables (Figura 30) para ver el valor, y el último elemento, es una sección de cable pelado (sin cubierta exterior) de  $\frac{1}{4}\lambda$  de longitud, unos 30 mm [44].

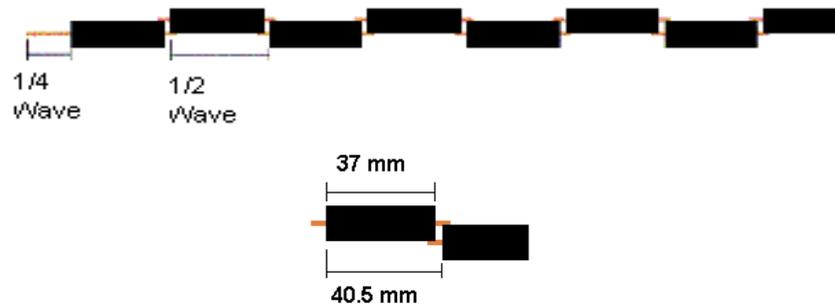


Figura 27. Medidas de los segmentos soldados de una antena coaxial.

Como se muestra en la figura, los segmentos de 40.5 mm (aproximadamente) se separan en 37 mm de cable con protección y 4 mm de cable sin protección que permitirá hacer la posterior soldadura [44].

En el caso de la omni-jota, su configuración se muestra en la figura abajo.

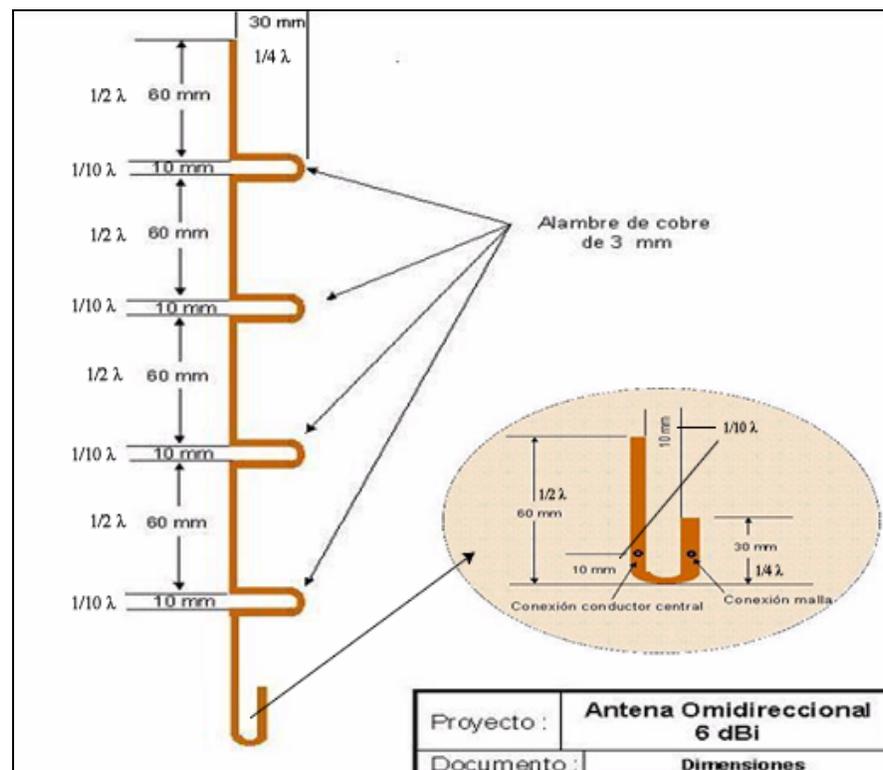


Figura 28. Planos y medidas de una antena omni-jota de 4 elementos.

Tabla 6. Cuadro resumen de las medidas de los segmentos, según la frecuencia.

Parámetros / Tipo de antena	Colineal	Coaxial	Omni-jota
Medidas de los segmentos*	$\frac{1}{2}\lambda, \frac{3}{4}\lambda, \frac{3}{4}\lambda$	$\frac{3}{4}\lambda, \frac{1}{2}\lambda, \frac{1}{4}\lambda$	$\frac{1}{2}\lambda, \frac{1}{10}\lambda, \frac{1}{4}\lambda$
Frecuencia de 2.4Ghz	si	si	si

\* Estudio de los modelos más básicos; para la colineal: 2 elementos, coaxial: 4 elementos y la omni-jota: 4 elementos.

El análisis de las medidas, nos permiten comprobar que las antenas estudiadas sí pueden operar en la frecuencia 2.4 GHz que establece el estándar IEEE 802.11g. Los lineamientos restantes del estándar se comprueban en la fase de pruebas, ya que se escapan del alcance de ésta fase, debido a la naturaleza de los mismos.

### **Análisis de las necesidades de la antena omnidireccional**

En esta fase se realizó el análisis de los diversos tipos de antenas omnidireccionales para determinar que parámetros son los que debe cubrir la antena omnidireccional fabricada, en función de las características de los materiales y su durabilidad. La antena a construir es una antena omnidireccional, la cual emite la radiación de la energía en múltiples direcciones, por lo que varios dispositivos u otras antenas pueden captarla [24].

Ahora bien, se procede a estudiar los materiales componentes de las antenas para comparar la estabilidad que poseen y facilitar la determinación del modelo de antena más idóneo a fabricar.

Colineal: como materiales principales utiliza, alambre de cobre esmaltado de 1 a 1,5 mm de diámetro y un conector tipo N hembra estándar. Este tipo de alambre es resistente y maleable por lo que es capaz de mantener su forma una vez que ha sido doblado a su estado definitivo. Las características de este alambre lo hacen apto para ser utilizado en la fabricación.

“...Es el alambre cuyo cobre es trefilado en frío y tiene una pureza del

99% (cobre electrolítico, norma UNE 20 003) y el esmalte es resinoso (poliuretano modificado con poliéster, poliuretano, poliesteramida-theic, poliesteremida-theic Amida-Imida), lo que le da al aislamiento eléctrico posibilidades de mejorar sus características. El alambre de hilo de cobre se utiliza para fabricar cables eléctricos y cuando está esmaltado puede tener otra aplicación..."[45].

Entre las propiedades del alambre esmaltado se encuentran:

- Posee una excelente conductividad eléctrica,
- Posee una alta ductilidad.
- Posee una maleabilidad.
- Posee una conductibilidad del calor y electricidad.
- Puede usarse cables y líneas de alta tensión exteriores como en el cableado eléctrico en interiores.
- Son capaces de unir un tramo con otro mediante una soldadura sin perder su aislamiento.
- Permite enrollarse en porciones o rollos y bobinas de diferentes longitudes que facilitan su manipulación [45].

El conector N hembra es el más utilizado por los diferentes fabricantes de antenas comerciales. Entre los conectores N-Hembra hay tres subclases: Conector N-Hembra estándar (sin sujeción física), Conector N-Hembra de chasis (sujeción 4 tornillos), Conector N-Hembra de chasis (sujeción solo 1 tuerca), todos serán N-Hembra pero mantienen particularidades respecto a su sujeción física [46].



Figura 29. De izquierda a derecha. Conector N- hembra estándar, Conector N- hembra de chasis (4 tornillos) y Conector N- hembra de chasis (1 tornillo).

Coaxial: emplea el cable del tipo RG213 como material base para la fabricación y el conector N-hembra de chasis (4 tornillos), del conector N-hembra ya se tienen sus características arriba mencionadas. Sin embargo, del cable coaxial RG213 se tiene lo siguiente:

Tipo	Impedancia [Ω]	Núcleo	dieléctrico			Diámetro		Trenzado	Velocidad
			tipo	[in]	[mm]	[in]	[mm]		
RG-6/U	75	1.0 mm	Sólido PE	0.185	4.7	0.332	8.4	doble	0.75
RG-6/UQ	75		Sólido PE			0.298	7.62		
RG-8/U	50	2.17 mm	Sólido PE	0.285	7.2	0.405	10.3		
RG-9/U	51		Sólido PE			0.420	10.7		
RG-11/U	75	1.63 mm	Sólido PE	0.285	7.2	0.412	10.5		0.66
RG-58	50	0.9 mm	Sólido PE	0.116	2.9	0.195	5.0	simple	0.66
RG-59	75	0.81 mm	Sólido PE	0.146	3.7	0.242	6.1	simple	0.66
RG-62/U	92		Sólido PE			0.242	6.1	simple	0.84
RG-62A	93		ASP			0.242	6.1	simple	
RG-174/U	50	0.48 mm	Sólido PE	0.100	2.5	0.100	2.55	simple	
RG-178/U	50	7x0.1 mm Ag pltd Cu clad Steel	PTFE	0.033	0.84	0.071	1.8	simple	0.69
RG-179/U	75	7x0.1 mm Ag pltd Cu	PTFE	0.063	1.6	0.098	2.5	simple	0.67
RG-213/U	50	7x0.0296 en Cu	Sólido PE	0.285	7.2	0.405	10.3	simple	0.66
RG-214/U	50	7x0.0296 en	PTFE	0.285	7.2	0.425	10.8	doble	0.66
RG-218	50	0.195 en Cu	Sólido PE	0.660 (0.680?)	16.76 (17.27?)	0.870	22	simple	0.66
RG-223	50	2.74mm	PE Foam	.285	7.24	.405	10.29	doble	
RG-316/U	50	7x0.0067 in	PTFE	0.060	1.5	0.102	2.6	simple	

PE es Polietileno; PTFE es Politetrafluoroetileno; ASP es Espacio de Aire de Polietileno

Figura 30. Ficha técnica de los cables coaxiales RG.

Además que es especial para instalaciones radioeléctricas de gran de calidad. Y es de uso ideal en estaciones Radio *Amateurs* [45]. Por lo que, el cable RG213 sea el indicado para disminuir las pérdidas y por ende para la fabricación de una antena coaxial.

Tipo de cable	Perdida 802.11b/g (2.4GHz) dB/1m
LMR-100	1.3 dB por metro
LMR-195	0.62 dB por metro
LMR-200	0.542 dB por metro
LMR-240	0.415 dB por metro
LMR-300	0.34 dB por metro
LMR-400	0.217 dB por metro
LMR-500	0.18 dB por metro
LMR-600	0.142 dB por metro
LMR-900	0.096 dB por metro
LMR-1200	0.073 dB por metro
LMR-1700	0.055 dB por metro
RG-58	1.056 dB por metro
RG-8X	0.758 dB por metro
RG-213/214	0.499dB por metro
9913	0.253 dB por metro
3/8" LDF	0.194 dB por metro
1/2" LDF	0.128 dB por metro
7/8" LDF	0.075 dB por metro
1 1/4" LDF	0.056 dB por metro
1 5/8" LDF	0.046 dB por metro

Figura 31. Cuadro de pérdidas de dB de los variados tipos de cable coaxial.

Omni-jota: utiliza alambre de cobre de 2.5 mm o 3 mm de diámetro, cable coaxial preferiblemente LMR-200, 100, 195 y en el peor de los casos RG58 tipo U y un conector N-hembra estándar. Ya que tienen las características de los elementos que conforman esta antena.

También se resalta la importancia de la estabilidad que estos poseían, y en vista que los mismos son de uso cotidiano (caseros), se tomaron como límites: frágil, duradero y firme. Siendo frágil un material poco resistente que se pueda dañar fácilmente con algún golpe; duradero un material resistente y maleable y firme, el material resistente y no maleable.

Tabla 7. Estabilidad de los materiales que conforman las antenas.

Material	Estabilidad
Cable coaxial	Duradero
Alambre de cobre	Duradero
Conector N	Firme
Tubo PVC	Firme

Tabla 8. Cuadro resumen de la estabilidad de los materiales que conforman las antenas.

<b>Materiales / Tipo de antena</b>	<b>Colineal</b>	<b>Coaxial</b>	<b>Omni-jota</b>
<b>Cable coaxial</b>	No	Si	No
<b>Alambre de cobre</b>	Si	No	Si
<b>Conector N</b>	Si	Si	Si
<b>Tubo PVC</b>	Si	Si	Si
<b>Estabilidad</b>	Duradero/Firme	Duradero/Firme	Duradero/Firme

Teniendo las características y estabilidad de los materiales que conforman a las antenas estudiadas, se tienen dos candidatos, la omni-jota y la antena colineal, a ser electo para su posterior construcción. Para la selección, se toma el aspecto de la estética como indicador, el primer candidato requiere de un recubrimiento con un tubo PVC de 1 ½ pulgadas a causa de su estructura interna (Figura 15) y resulta ser un tubo más ancho que el tubo de ½ pulgada usado con las antenas colineales, y como consecuencia es inadecuado para el uso en interiores estéticamente hablando; lo cual lo descarta de inmediato. Tomando en cuenta todos los detalles estudiados se evidencia que el modelo a construir corresponde a la antena colineal de dos espiras.

### **Diseño del modelo de la antena omnidireccional**

Se diseña un modelo de la antena, con la asistencia de herramientas computarizadas para el modelado, el cual debe ser compacto, que admita una sencilla instalación, un rápido mantenimiento, que ofrezca un buen funcionamiento y además debe satisfacer los requerimientos mínimos establecidos.

La antena elegida siguiendo los estudios de las fases previas es una antena colineal de 2 elementos, esta antena tiene una estructura como la mostrada en la figura abajo.

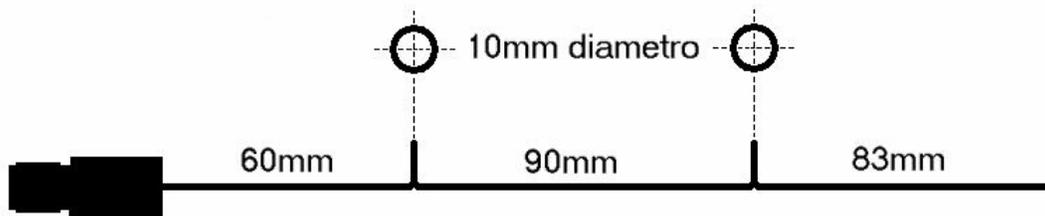


Figura 32. Patrón de la estructura de una antena colineal de dos elementos.

Este patrón carece de protección externa, así como de una base adaptada para el uso de interiores. Por lo que en esta fase se modeló una cobertura externa de protección tomando como ejemplo los modelos comerciales, se buscaron materiales que brindaron la resistencia y la estética, así como también la comodidad de mantenimiento y movilidad.



Figura 33. Modelos comerciales de antenas omnidireccionales con bases.

Para una apariencia similar, se eligió un tubo PVC, idóneo como cubierta externa, es liviano y económico, y brindó un aspecto más estético y rígido a la antena.

Como su uso es de interiores, debe tener una base como se observa en los modelos arriba mencionados. Para ello se utilizó un embudo plástico cuya abertura más delgada coincida con el grosor del conector. Para mantener la antena en posición vertical, al embudo se le añadió una base que sirve de contrapeso. Por lo que el aspecto de la antena quedó de esta forma (Apéndice A).

### **Construcción de la antena omnidireccional**

Tomando el modelo diseñado y los materiales seleccionados que forman parte de la antena, se inició la construcción de la misma haciendo uso de herramientas que manipulan los materiales. El proceso detallado de cada paso se encuentra descrito en el Apéndice B.

### **Documentación de la antena omnidireccional**

Esta fase consiste en la creación de un manual que contiene una descripción detallada de las características y modo de empleo de la antena desarrollada.

#### Características

La colineal también es conocida como helicoidal, una antena de hélice, a causa de las espiras, de hecho es un modelo equivalente al modelo helicoidal o modelo hélice original [43], el modelo original es mucho más largo y suelen usarse para las transmisiones por satélite de VHF, puesto que responden a cualquier ángulo de polarización [29]. Pero otros autores, como los expuestos en el capítulo anterior, las toman como un arreglo de dipolos. Cualquiera que sea el enfoque se llega a la misma antena, la misma es las dos cosas a la vez, es un arreglo de dipolos donde se mezclan un dipolo con una *loop* (antena circular, comúnmente conocida como antena de aro, otro de los tantos tipos de antenas que existen) colocados “linealmente” para formar una antena equivalente a la antena hélice o helicoidal. Por esta razón para su estudio y su análisis se deben tomar los dos puntos de vistas.

Tomando el enfoque helicoidal se tienen las ecuaciones para determinar sus características fundamentales, tales como ganancia, campo eléctrico, usado para determinar el patrón de radiación, polarización, directividad, apertura de haz, entre otras. Sin embargo, no se debe olvidar el punto de vista arreglo de dipolos, para no dejar de lado aspectos importantes.

## Ganancia

La ganancia de la antena helicoidal es proporcional al número de espiras, en éste caso en particular al número de elementos, por lo que la expresión de ganancia respecto a un radiador isotrópico (antena de referencia) viene dada;

$$G = \frac{15N^2(\pi D)^2}{\lambda^2}, \text{ donde}$$

G = ganancia de la antena en dBi, respecto a un radiador isotrópico

N = número de espiras

S = separación entre espiras (en metros)

D = diámetro de la espira (en metros)

$\lambda$  = longitud de onda (en metros), recuérdese que la frecuencia en este caso es 2.4 Ghz por lo que la longitud de la onda en metros es 0.125 metros [32].

Ésta fórmula tiene ciertas condiciones para los valores,

$$N > 3$$

$$S \equiv \lambda/4$$

$$D \equiv \lambda/\pi$$

La razón de que la fórmula exige más de 3 espiras, responde a lo siguiente; la antena hélice se utiliza en la transmisión satelital y para alcanzar distancias tan grandes precisa mucha ganancia (aproximadamente de 15 dBi o superior) la cual no se puede lograr con una cantidad de espiras tan pequeña[43].

La antena construida no cumple con la primera condición ( $N > 3$ ), por lo que para calcular la ganancia debe usarse el enfoque de arreglo de dipolos, donde establece que la ganancia total es equivalente a la sumatoria de la ganancia de los elementos que la conforman, de allí que mientras más elementos más ganancia posee el arreglo [43]. Por lo tanto, se tiene que un dipolo de media onda tiene 2.14 dBi [29], y la antena tiene tres dipolos separados por dos *loops* entonces,

$$G_{total} = nG(dBd), \text{ donde}$$

$n$  = número de dipolos

$G(dBd)$  = ganancia del dipolo de media onda, 2.14 dBi [47].

Sustituyendo los valores en la fórmula tenemos, una ganancia teórica  $G_{total}$  de 6.42 dBi. En la fase de pruebas, se obtendrá mediante la utilización de *software* la ganancia real que posee.

### Polarización

Para el estudio de la polarización se toma el enfoque de arreglos de dipolos, puesto que se debe tomar en cuenta que hay dipolos y *loops*. La antena construida tiene dos tipos de polarización tiene polarización lineal en los segmentos conformados por dipolos y una polarización horizontal en las espiras, debido a ello puede captar las señal en distintos ángulos y ser compatible con diversos tipos de antenas [47].

### Diagrama de radiación

El patrón de radiación o diagrama de radiación es un grafico que sirve para ilustrar el comportamiento de la antena y obtener información cuantitativa acerca de dicho desempeño [32 y 43]. La mayoría de los fabricantes utilizan el diagrama polar, puesto que se evidencia la región de campo lejano (*far-field region*), que se traduce como la región más lejana donde un observador debe estar para ser insignificante a la antena. e igual forma se evidencia la región de campo cercano (*near-field region*) que sería el caso contrario [32]. Ambas regiones son de vital importancia para elegir la antena y conocer en cual ángulo una antena receptora debe ser colocada para captar la señal de la antena transmisora.

En la figura abajo, se muestra el patrón de radiación de la antena elaborada, se comprueba que cumple con el patrón de radiación de una antena helicoidal y para obtener dicho patrón se hizo uso de las fórmulas expuestas en el Anexo 3. El diagrama

muestra una separación de 0.05, separación que corresponde a 2 dBi, lo que evidencia que la antena tiene aproximadamente 5 dBi de ganancia, valor menor al calculado teóricamente. El valor teórico es un valor que no está sujeto a condiciones sino que es un puntaje ideal. Sin embargo, con la ayuda de software (fase de prueba) se observa el desempeño de la antena respecto al modelo comercial.

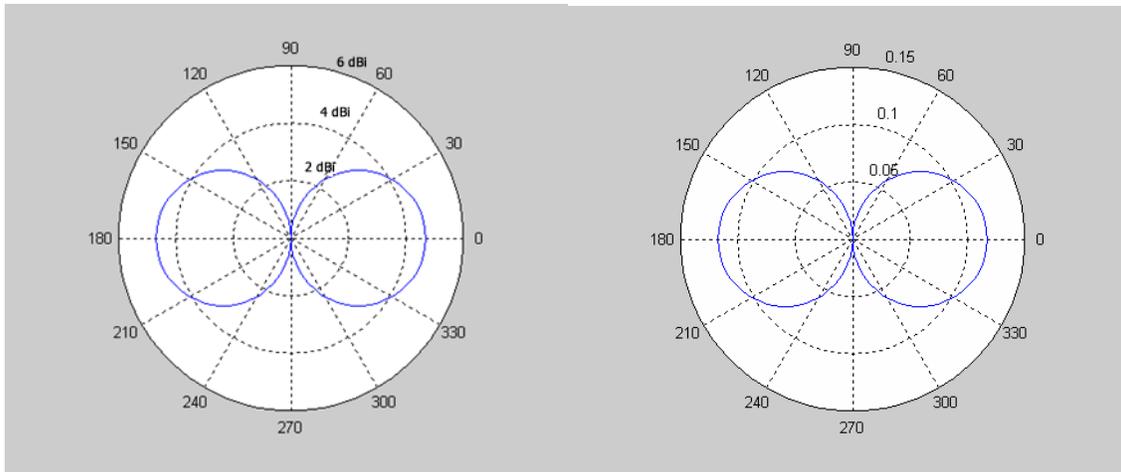


Figura 34. Patrón de radiación de la antena construida

#### Modo de empleo

Se conecta al dispositivo por medio de un *pigtail*, el cual puede ser de las combinaciones: conectores N-Macho y RP-SMA Macho, conectores N-Macho y RP-TNC macho, conector MC-Card Macho y conector N-Macho.



Figura 35. *Pigtail* con conectores N-Macho y RP-SMA Macho para cable tipo RG58/LMR200



Figura 36. *Pigtail* con conectores N-Macho y RP-TNC macho.

### **Pruebas de la antena omnidireccional.**

En esta etapa, se ejecutarán diversas pruebas que confirmarán la elaboración de la antena omnidireccional. Estas pruebas son las siguientes: pruebas de funcionamiento, por medio de la utilización de dos *software* *WLAN Utility* y *inSSIDer*, se comprueba el desempeño de la antena ya que arroja los detalles necesarios, en caso de ajustes, para garantizar su operatividad; pruebas de compatibilidad, las cuales servirán para verificar la interoperabilidad que posee con otros dispositivos inalámbricos compatibles con los estándares IEEE 802.11b/g que la antena desarrollada debe cumplir para satisfacer el estándar.

#### Pruebas de Funcionamiento

Aquí se procede a conectar la antena al *Access Point* para ser utilizada. El *Access Point* a utilizar fue un *LinkSys WAP54G* que tiene las siguientes características:

#### Especificaciones técnicas

Modelo: WAP54G

Estándares: IEEE 802.11g, IEEE 802.11b, IEEE 802.3, IEEE 802.3u.

Puertos/botones: un puerto cruzado automático (MDI/MDI-X) 10/100, puerto de alimentación, botones de reinicio y SES.

Tipo de cables: categoría 5 (con conectores RJ-45).

Luces: alimentación, actividad, enlace.

Potencia de transmisión: 802.11g; habitualmente 13,5 +/- 2 dBm a temperatura normal, 802.11b; habitualmente 16,5 +/- 2 dBm a un intervalo de temperatura normal.

Funciones de seguridad: WPA, *Linksys Wireless Guard* (disponible sólo en EE. UU. y Canadá), encriptación WEP, filtrado de direcciones MAC, activación/desactivación de difusión de SSID.

Bits de clave WEP: 64/128 bits.

#### Características clave

IEEE 802.11g admite velocidades de transferencia de datos de hasta 54 Mbps.

Compatible con versiones anteriores de los dispositivos IEEE 802.11b existentes.

Configuración inalámbrica sencilla con el botón *SecureEasySetup*.

Admite seguridad WPA y encriptación WEP de 64/128 bits.

Interfaz de usuario *web* incorporada para una configuración sencilla desde cualquier explorador *Web*.

*Firmware* actualizable mediante explorador web.

Admite las funciones de puente inalámbrico, repetidor inalámbrico, filtrado de direcciones MAC y registro de sucesos.

Fuente: tomado de Linksysby Cisco. <http://www.linksysbycisco.com/EU/es/products/WAP54G>

#### Preparación del equipo AP (Access Point).

Reiniciar el AP: Con la ayuda de un clip se presiona el botón de reinicio del AP por unos segundos hasta que las tres luces del equipo enciendan simultáneamente.

The screenshot shows the configuration interface for an AP, divided into three main sections: Internet Setup, Network Setup, and Time Setting. The Internet Setup section includes options for Internet Connection Type (Automatic Configuration - DHCP), Router Name (WRT54G), Host Name, Domain Name, MTU (Auto), and Size (1500). The Network Setup section includes Router IP (Local IP Address: 192.168.1.1, Subnet Mask: 255.255.255.0), DHCP Server (Enable/Disable), Starting IP Address (192.168.1.100), Maximum Number of DHCP Users (50), Client Lease Time (0 minutes), and Static DNS 1, 2, and 3. The Time Setting section includes Time Zone ((GMT-08:00) Pacific Time (USA & Canada)) and a checkbox for Automatically adjust clock for daylight saving changes. A right-hand sidebar provides detailed help text for each section. At the bottom, there are buttons for Save Settings and Cancel Changes.

Figura 37. Vista de la interfaz de configuración del AP.

Configurar el equipo: Aquí se procede a elegir una serie de parámetros necesarios para realizar la operación. Para entrar en la BIOS del equipo se coloca la IP de prueba, IP que trae predefinida, en la pantalla principal. Una vez dentro, indique cual es el estándar a trabajar, la IP para hacer la conexión, la máscara de subred, el encriptado, la antena a trabajar, sea izquierda o derecha, la frecuencia de trabajo. Una vez configurado se guardan los cambios y se sale de la BIOS.

*Datos de la prueba con el software WLAN Utility:*

Tabla 9. Datos de la prueba con el *software* WLAN Utility

Parámetros / Tipo de antena	Comercial	Casera
Canal	6	6
Señal (dBm) *	-40/0, -25/0	-43/0, -38/0
Estado	Good	Good

\* Intervalo entre valores mínimos y máximos.

Los valores de la señal oscilan entre los siguientes valores:

Tabla 10. Mediciones de las variaciones de la señal de ambas antenas.

<b>Medidas de la señal / Tipo de antena</b>	<b>Comercial</b>	<b>Casera</b>
<b>Señal (dBm)</b>	-24	-23
	-21	-25
	-15	-25
	-20	-24
	-18	-21
	-23	-18
	-23	-20
	-15	-23
	-20	-21
	22	-20
	-17	-20
	-23	-25
	-19	-18
	-40	-40
<b>Promedio</b>	<b>-23,076 (-23 )</b>	<b>-24,846 (-25)</b>

*Datos de la prueba con el software inSSIDer:*

Para esta prueba se observó el comportamiento de la señal en dos situaciones distintas, en primer lugar se estudió la señal de un AP donde se conectó la antena construida y luego se empleó la antena comercial que viene incluida en el dispositivo. Obteniéndose las siguientes gráficas (Apéndice C).

Para el primer caso, que se refiere a la antena construida, en la imagen se puede observar el cambio en la señal (línea roja), llegando en su punto más alto a -22 dBm y en su punto más bajo a -46 dBm (valor más bajo distinto de cero que ocurre en fragmentos muy pequeños, por fluctuaciones comunes de la señal), y teniendo un promedio de -24 dBm. También se nota que tiene una velocidad de 54 Mbps.

En el caso de la antena comercial, se evidencia en la variación de la señal, la cual va

desde -42 dBm hasta -20 dBm con un promedio de -26 dBm y una velocidad de 54 Mbps.

Lo anterior demuestra que ambas antenas son semejantes en cuanto a funcionalidad, hecho se evidencia al comparar los valores arrojados por ambos *software*.

La línea de color verde que se observa en las imágenes corresponde al AP que se encuentra fuera de la habitación de prueba y el cual ofrece el servicio de Internet al recinto (instalación del IUT Cumaná).

La computadora donde se realizaron las pruebas de funcionalidad con *inSSIDer* fue en una Sigaron *Core2Duo*, 2.00GHz, 2GB de RAM (*laptop*), y las pruebas con el WLAN *Utility* fueron en una *Dell X51AXIM*. Las condiciones fueron: cuarto cerrado, tiempo atmosférico soleado, 28 °C de temperatura.

Pruebas de Compatibilidad.

Estas pruebas consisten en hacer transmisiones de datos para comprobar la velocidad de transmisión. Esto solo requiere descargar un archivo desde Internet o transferir un archivo desde PC a PC. En este caso se utiliza *Mozilla Firefox 3.5.015* para mostrar la velocidad del ancho de banda al momento de la descarga.

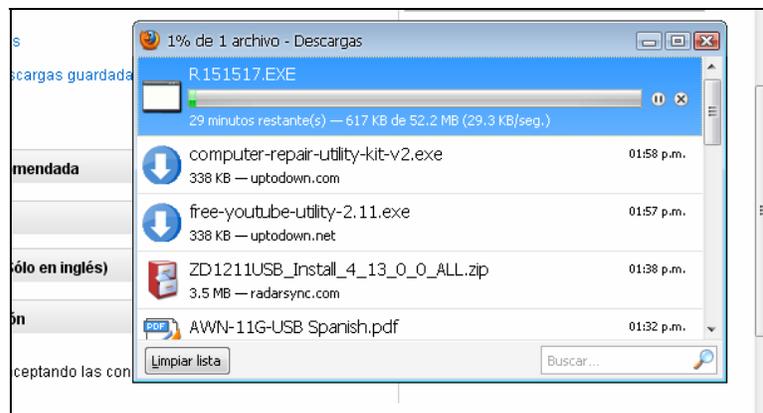


Figura 38. Descarga de un archivo desde Internet con la antena comercial.

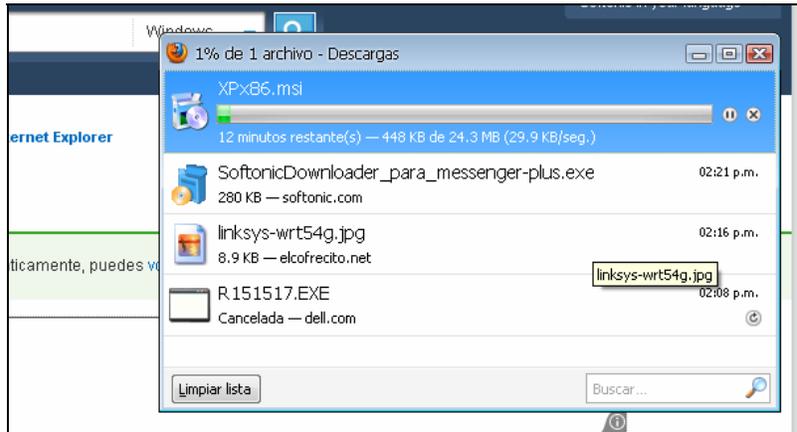


Figura 39. Descarga de un archivo desde Internet con la antena construida.

En las imágenes de arriba se visualiza que el ancho de banda no varió significativamente de antena en antena, por lo que ambas son compatibles entre sí, y también son compatibles entre los sistemas *AP-Palm*, y *AP-Laptop*. Las mediciones hechas durante las pruebas de funcionamiento también sirven para demostrar la interoperabilidad de la antena construida, a causa que se necesitó de dos computadoras distintas para ello, una *Laptop* y una *Palm* (ambas mencionadas anteriormente), indispensables para garantizar el funcionamiento y operatividad con dispositivos comerciales.

Finalmente con las pruebas hechas y con el análisis de las mismas se concluye que la antena construida cumple con los lineamientos del estándar IEEE 802.11g establecidos en la fase de determinación de requisitos.

## CONCLUSIONES

La antena elaborada cumple con el estándar IEEE 802.11g, puesto que funciona en la frecuencia de 2.4 GHz, opera a una velocidad de 54 Mbps y es totalmente compatible con equipos comerciales de distintos fabricantes (*Dell, Linkys, Siragon*).

El estudio de los aspectos generales de las antenas, tales como sus características y su funcionamiento, específicamente sobre las antenas colineales (objeto de estudio de la investigación) brinda un basamento para futuras investigaciones.

Los materiales se pudieron encontrar sin ningún problema, pero requirieron de tiendas especializadas, que se encuentran fuera de la ciudad.

Las acciones críticas durante el proceso de fabricación, son la unión del alambre con el conector N-hembra y el doblado del alambre en las medidas justas. Un error en esas acciones compromete el buen desempeño y funcionamiento de la antena. Sin embargo, es una antena fácil de fabricar.

Durante la construcción se deben tomar las medidas mínimas de seguridad para evitar accidentes, pues se trabaja con herramientas de corte y soldadura.

## **RECOMENDACIONES**

La utilización de textos y bibliografía en inglés, a razón de evitar confusiones de los términos que no pueden ser traducidos con los traducidos.

Incentivar e incrementar el estudio sobre electromagnético y sus aplicaciones (rama de la Física), a causa de su importancia en el basamento teórico para el área de las telecomunicaciones y para el desarrollo de futuras investigaciones en el tema.

Realizar un estudio más profundo para mejorar el modelo ya realizado y así elaborar uno más óptimo del mismo.

Ampliar la investigación hacia otros tipos de antenas y hacer comparaciones de modelos.

Con ligeros cambios en el diseño de recubrimiento protector de la antena construida puede hacerse que la antena sea utilizada en exteriores.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Diccionario Informático. “Definición de Telecomunicación”. “ALEGSA”. <<http://www.alegsa.com.ar/Dic/telecomunicacion.php>>. (20/10/2007).
2. Tanenbaum, A. 2003. Redes de computadoras. Cuarta edición. Editorial Prentice Hall.
3. Alcatel para Fundación AUNA. “Tecnologías y actividades de estandarización para la interconexión de Home Networks”. “Fundación Orange - AUNA” <<http://www.fundacion.orange.es/areas/historico/pdf/3.pdf>>. (10/09/2007).
4. Vielma, M. 2005. “Introducción a las antenas”. “e-oss. astrónomos”. <<http://www.astronomos.cl/conocimientos/avanzado/Presentacion-antenas.pdf>>. (1/10/2007).
5. “IEEE”. “Wikipedia, la enciclopedia libre”. <<http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE>>. (15/07/2008).
6. “Estándares Inalámbricos”. “Departamento de Electrónica :: UAM-A”. <[http://zeus.uam.mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=87&Itemid=172](http://zeus.uam.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=87&Itemid=172)>. (16/06/2008).
7. Martínez, E. 2000. “Comienza el boom del Internet inalámbrico”. “Universidad Sergio Arboleda”. <[http://www.usergioarboleda.edu.co/telecomunicaciones/inter\\_net\\_inalambricas.htm](http://www.usergioarboleda.edu.co/telecomunicaciones/inter_net_inalambricas.htm)>. (18/10/2007).
8. Pérez Urruchi, Diego. “Bilbowireless”. “Bilbao Abierto, *La Comunidad Wireless de Bilbao*”. <<http://bilbaoabierto.blogspot.com/2006/02/bilbowireless.html>>. (22/01/2009).
9. G4RFR (administrador *Website*). “*FRARS Wireless lan working group*”. <<http://www.frars.org.uk/cgi-bin/render.pl?action=link&url=999999&goback=1071>>. (15/08/2009).
10. Mambostar (administrador *Website*). “Seguridad *Wireless*, Manuales, tutoriales y herramientas”. <<http://www.seguridadwireless.net/contenido.php>>. (04/02/2009).
11. Durney W, Yves Gautier y Ulloa V. “Análisis, Diseño, Construcción y Medición de Antenas Helicoidales para 2.4 GHz sobre Aeroplataforma de Comunicaciones Globo-Antena (HAPS)”. “Línea de investigación HAPS. Universidad Metropolitana de Tecnología”. <<http://www.haps.cl/documentos/05.pdf>>. (15/08/2009).
12. “Telecomunicación”. “Wikipedia, la enciclopedia libre”. <<http://es.wikipedia.org/wiki/Telecomunicaci%C3%B3n>>. (18/10/2007).
13. “Canal de comunicaciones”. “Wikipedia, la enciclopedia libre”. <[http://es.wikipedia.org/wiki/Canal\\_de\\_comunicaciones](http://es.wikipedia.org/wiki/Canal_de_comunicaciones)>. (03/08/2009).
14. “Medios de Transmision”.2 “El rincón del vago”. <<http://pdf.rincondelvago.com/>>

medios-de-transmision\_2.html>. (16/10/2007).

15. “Medios de transmisión”. “Wikipedia, la enciclopedia libre”. <[http://es.wikipedia.org/wiki/Medio\\_de\\_transmisi%C3%B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Medio_de_transmisi%C3%B3n)>. (18/10/2007).

16. “Fibra óptica”. “Wikipedia, la enciclopedia libre”.<[http://es.wikipedia.org/wiki/Fibra\\_%C3%B3ptica](http://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_%C3%B3ptica)>. (16/10/2007).

17. “El modelo físico / Medios de transmisión”. “Herramientas *Web* para la enseñanza de protocolos de comunicación”.<<http://neo.lcc.uma.es/evirtual/cdd/tutorial/fisico/Mtransm.html>>. (25/10/2009).

18. “Radiofrecuencia”. “Wikipedia, la enciclopedia libre”.<<http://es.wikipedia.org/wiki/Radiofrecuencia>>. (16/10/2007).

19. “Infrarrojos”. “Wikipedia, la enciclopedia libre”.<<http://es.wikipedia.org/wiki/Infrarrojos>>. (16/10/2007)

20. Connor, F.R. 1976. Antenas, IV temas de telecomunicaciones. Primera edición. Editorial Labor, S.A.

21. “¿Cuál Antena Escoger?”. “Calabozo-Wireless. Zona WiFi”. <[http://www.calabozowireless.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=22&Itemid=2](http://www.calabozowireless.com/index.php?option=com_content&task=view&id=22&Itemid=2)>. (30/08/2007).

22. “Capítulo 4. Antenas y Diagramas”. “Montevideo libre”.<[http://montevideolibre.org/manuales/libros/wndw/capitulo\\_4:antenas\\_y\\_diagramas](http://montevideolibre.org/manuales/libros/wndw/capitulo_4:antenas_y_diagramas)>. (30/08/2007).

23. “La antena algo fundamental”. ”Red de radioenlace CB a través de Internet”. <<http://eqso.blogcindario.com/2005/04/00034-la-antena-algo-fundamental.html>>. (12/10/2007).

24. “Monopolo vertical”. “Wikipedia, la enciclopedia libre”. <[http://es.wikipedia.org/wiki/Monopolo\\_vertical](http://es.wikipedia.org/wiki/Monopolo_vertical)>. (15/09/2008).

25. “Antena”. “Wikipedia, la enciclopedia libre”.<<http://es.wikipedia.org/wiki/Antena>>. (15/09/2008).

26. “Teoría de los dipolos”. “usuarios.lycos.es”. <<http://usuarios.lycos.es/radiomascot/TEORIA%20DE%20LOS%20DIPOLOS.htm>>. (30/08/2007).

27. Pérez, I. 2007. “WIRELESS, Redes inalámbricas, WIFI, WLAN”. “Cossio”. <[www.cossio.net/online/materiales\\_didacticos/arquitectura/wireless.pdf](http://www.cossio.net/online/materiales_didacticos/arquitectura/wireless.pdf)>. (20/08/2007).

28. Granada, R, G. “Construcción de una antena Wireless Omnidireccional de 5 DBi (¿u 8 DBi?)”. “Bulma.net”. <<http://bulma.net/body.phtml?nIdNoticia=1463&nIdPage=3>>. (12/10/2007).

29. Pulpo (administrador foro). “ChileSinCables.org”. <<http://download390.mediafire.com/icjhctavbiwg/hegd7ziad0ql8u2/Los+dB%2C+dBW+y+dBm.pdf>>. (11/01/2007).

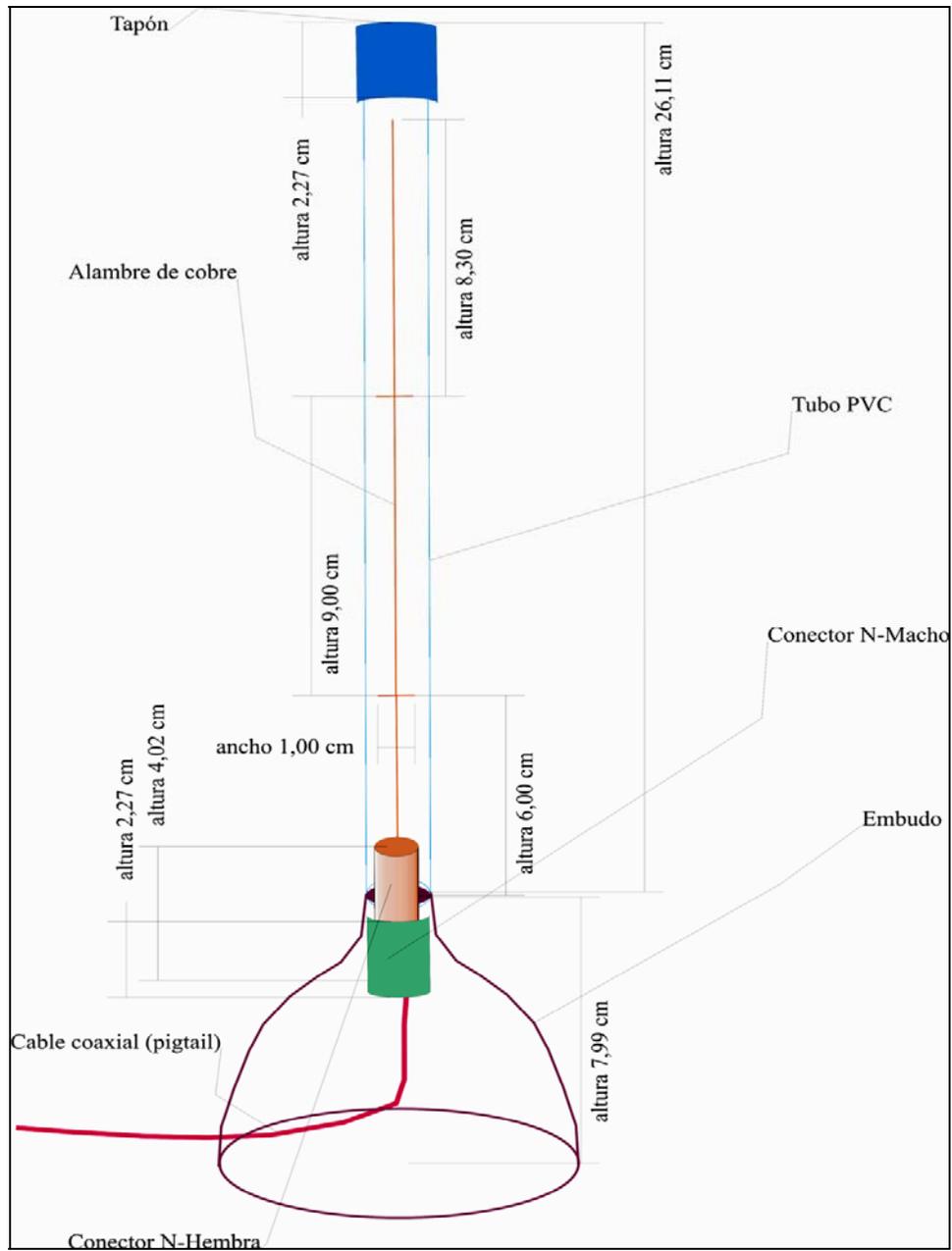
30. Martínez, J. L. “Taller de Antenas”. “*Bilbowireless*, La Comunidad *Wireless* de Bilbao”. <<http://www.etxea.net/docu/wifi/taller-antenas/teoria.html>>. (22/01/2009).

31. "Polarización Electromagnética". "Wikipedia, la enciclopedia libre". <[http://es.wikipedia.org/wiki/Polarizaci%C3%B3n\\_electromagn%C3%A9tica](http://es.wikipedia.org/wiki/Polarizaci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica)>. (15/09/2008).
32. Blake, R. 2005. Sistemas Electrónicos de Comunicaciones. Segunda Edición. Editorial Thomson Paraninfo. México.
33. "Onda Electromagnética". "Wikipedia, la enciclopedia libre". <[http://es.wikipedia.org/wiki/Onda\\_electromagn%C3%A9tica](http://es.wikipedia.org/wiki/Onda_electromagn%C3%A9tica)>. (15/09/2008).
34. "Espectro electromagnético". "Wikipedia, la enciclopedia libre". <[http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro\\_electromagn%C3%A9tico](http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagn%C3%A9tico)>. (20/09/2008).
35. "Microondas". "Wikipedia, la enciclopedia libre". <<http://es.wikipedia.org/wiki/Microondas>>. (16/09/2008).
36. "IEEE 802.11". "Wikipedia, la enciclopedia libre". <[http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11](http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11)>. (15/09/2008).
37. "IEEE 802.11n". "Wikipedia, la enciclopedia libre". <[http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11n](http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11n)>. (12/06/2010).
38. Tamayo y Tamayo, M. 2004. El proceso de la investigación científica. Cuarta edición. Limusa Noriega Editoriales. México.
39. Kendall, K; Kendall, J; Ruiz, F. y Sergio, M. 1997. Análisis y diseño de sistemas. Tercera edición. Editorial Prentice Hall. México.
40. Trevol Marshal, traducido por Inco (administrador en español). "Antenas guía-ondas para redes 802.11b". "Paramowifix.net". <[http://www.paramowifix.net/antenas/guiaondas\\_marshall.html](http://www.paramowifix.net/antenas/guiaondas_marshall.html)>. (10/06/2010).
41. "Practica 1- Líneas de transmisión". "scribd.com". <<http://es.scribd.com/doc/21399955/Practica-1-Lineas-de-TX>>. (04/05/2010).
42. Pietrosevoli, E. "Conceptos Básicos de Antenas - Walc 2005, Mérida, Venezuela". "ws.edu.isoc.org". <<https://ws.edu.isoc.org/trac/wirelessu/raw-attachment/wiki/WALC2009/antenas-c.pdf>>. (04/05/2010).
43. Balanis, Constantine A. 2005. Antenna Theory Analysis And Design . ThirdEdition. A John Wiley&Sons, Inc., Publication. Canada.
44. "Easy Homemade 2.4Ghz Omni Antenna". "Wireless.gumph.org". <<http://wireless.gumph.org/articles/homemadeomni.html>>. (04/05/2010).
45. "Alambre de cobre". "sni.org". <[http://www.sni.org.pe/downloads/fichas\\_tecnicas/ALAMBRE%20DE%20COBRE%20ESMALTADO.doc](http://www.sni.org.pe/downloads/fichas_tecnicas/ALAMBRE%20DE%20COBRE%20ESMALTADO.doc)>. (04/05/2010).
46. "Conectores". "Seguridad Wireless.net". <<http://www.seguridadwireless.net/hwagm/galeria-conectores.html>>. (04/05/2010).
47. Cardama A, Ángel. 2002. Antenas. Segunda edición. Edicions UPC, Ediciones de la Universidad Politècnica de Catalunya. España.

# APÉNDICES

## Apéndice A. Diseño estructural de la antena casera a fabricar.

Figura A1. Estructura de la antena realizada.



## Apéndice B. Manual de Usuario para la construcción de la antena.

### Materiales

#### Para la antena

50 cm de alambre de cobre esmaltado de 1 a 1,5 mm de diámetro.

1 conector tipo N hembra estándar.

1 goma de borrar blanca.

10 cm de alambre de estaño para soldar aproximadamente.

Tabla B1. Galería de materiales para la antena.



Alambre de cobre esmaltado



conector tipo N hembra estándar



Goma de borrar



Alambre de estaño para soldar

#### Para el recubrimiento protector

50 cm de Tubo PVC de 1 cm de diámetro interno.

1 tapón para Tubo PVC de 1,5 cm de diámetro interno (por lo general viene en junto al tubo PVC).

1 embudo plástico pequeño con las siguientes medidas: 8 cm de alto, 10 cm de circunferencia inferior y 1.5 cm de circunferencia superior (tomando como referencia al

embudo colocado verticalmente con la boquilla hacia arriba).

1 tapa de plástico que encaje en el embudo.

Yeso blanco.

4 tornillos de 0.5 cm de largo sin tuerca (tirafondo).

Tabla B2. Galería de materiales para recubrimiento protector.



Sierra de mano



Tapón para Tubo PVC



Embudo plástico



Tapa de plástico



Yeso en polvo



Tornillos sin tuerca

### Herramientas

Sierra de mano.

Cautín de punta delgada de 30 a 60 W.

Alicate de presión.

Tenaza.

Tubo cilíndrico duro de 8mm de diámetro.

Regla o escalímetro.

Lima para metales.

Un marcador.

Cuchillo.

Pinza de punta delgada.

Sellador de silicón de uso profesional.

Taladro con mecha delgada.

Tabla B3. Galería de Herramientas



Sierra de mano



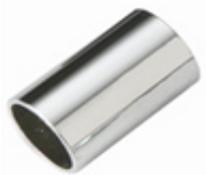
Cautín de punta delgada



Alicate de presión



Tenaza



Tubo cilíndrico duro



Regla

Tabla B3. Galería de Herramientas. Continuación



Lima para metal



Pinza de punta delgada



Marcador



Cuchillo



Sellador de silicón



Taladro con mecha delgada

## Armado

Paso 1: Desarmar el conector N-Hembra estándar.

Se desarma el conector N-Hembra y sujete el pin central del mismo con el alicate de presión en una posición lo más vertical posible con el lado donde se suelda hacia arriba. Calentar con el cautín, el hueco donde iría el alambre, y colocar estaño hasta que todo el interior quede estañado.

Ahora se endereza el alambre de cobre y en un extremo, se lima suavemente la punta del mismo, unos 3mm hasta quitar el esmalte. Con el alambre horizontal sobre la mesa, calentar con el cautín la punta limada y colocar estaño hasta que toda la punta limada quede estañada.

Sostener el alambre lo más verticalmente posible apoyando la punta estañada en el hueco del pin central todavía aguantado con el alicate de presión. Calentar con el cautín, el pin central del conector hasta que se derrita el estaño y se unan las 2 piezas.

Figura B1. Pin central sujetado



Paso 2: Rearmado del conector N-Hembra estándar.

Colocar la arandela de goma y unos pedazos de goma de borrar, cortados previamente con la cuchilla, para lograr que presionen el alambre y obstruyan la salida del pin central hacia arriba. Evitar sobrepasar la altura de la arandela de goma con los pedazos de goma de borrar y vaciar algo de silicón frío entre los espacios vacíos de los trozos de goma para asegurar la firmeza del interior.

Colocar las arandelas metálicas y la rosca final apretándola suavemente con el alicate. Seguir rellenado con trozos de goma de borrar hasta dejar el alambre centrado y al ras de la rosca del conector.

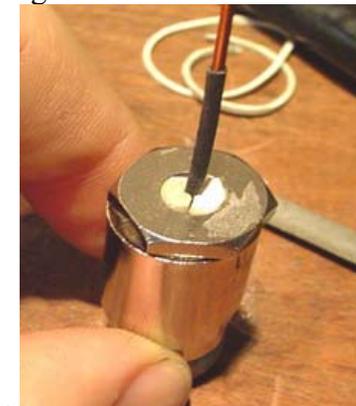
Figura B2 . Conector N-hembra, rearmado y con el pin central soldado al alambre de cobre.



Figura B3. Conector N-Hembra rearmado y con trozos de goma de borrar sujetando el alambre de cobre y la pin central soldados.



Figura B4. Conector N-Hembra rearmado, aspecto final

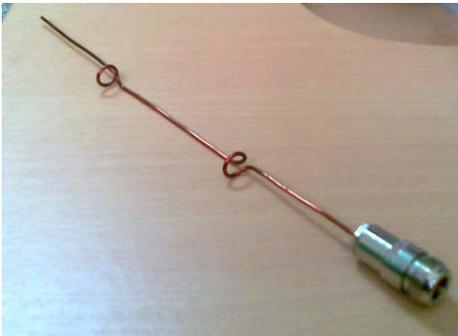


Paso 3: Doblado del alambre.

Con el alicate de presión sujete el conector N y colóquelo en posición horizontal. Con ayuda del escalímetro mida la primera sección de 60 mm tomados desde la base del conector (rosca) con ayuda del tubo cilíndrico (si no posee uno, mida el diámetro del tubo del cautín, si tiene el diámetro correcto, úselo) y marque con el marcador.

Luego haga una espira alrededor del tubo hasta completar en el punto marcado, hacer la espira de manera perpendicular a la horizontal del tubo cilíndrico, luego con la pinza apretar y unir lo más posible la espira. Tomar el escalímetro y desde la base de la primera espira mida 90 mm, marque con el marcador y realice otra espira (repetir lo hecho con la primera espira). Finalmente mida 83 mm desde la base de la última espira y corte el alambre con la tenaza. Retirar el tubo cilíndrico.

Figura B5. Espiras realizadas en el alambre de cobre, antena terminada en su forma bruta.



Paso 4: Pegado al embudo.

Tomar el embudo y meter la punta del alambre por el lado de mayor abertura y sacarlo por el extremo más estrecho lo más que se pueda o hasta que solo quede libre la rosca por el lado interno.

Voltrear el embudo y ayudarse con la gravedad. Colocar sellador de silicón alrededor por el lado interno (evitar echar silicón en la parte enroscada del conector). En una superficie

de apoyo que ayude a conservar la posición mantener firme hasta que seque completamente, también evitar que el conector se deslice hacia arriba o hacia abajo mientras se seca. Luego colocar sellador de silicón por el lado exterior para asegurar completamente.

Figura B6. Vista interior del embudo.

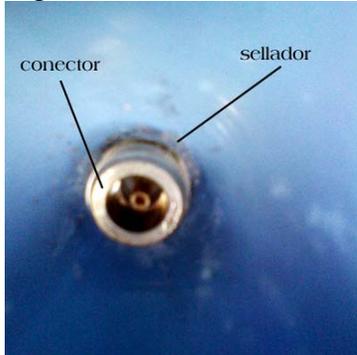
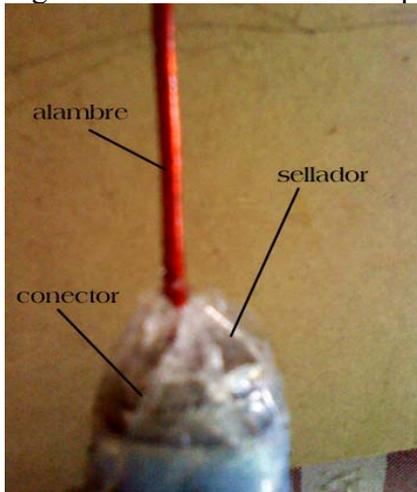


Figura B7. Vista exterior de la punta del embudo.



#### Paso 5: Entubando la antena

Tome el tubo PVC, mida 26 cm. desde la base del tubo y haga un corte recto con la sierra. Introduzca la antena por el embudo hasta llegar al tope del embudo, poner el tapón del tubo. Con un envase de pintura en aerosol, pintar toda la superficie externa, embudo, tubo y tapón, para dar un acabado más estético.

Figura B8. Aspecto final del entubado de la antena



Paso 6. Creando la base sólida.

Con ayuda del marcador, marcar en el embudo una línea vertical en el borde amplio, tome la tapa y hacer una marca similar que coincidan. Con el caudín realizar una abertura del grosor del cable de un *pigtail* (o utilizar un lápiz como referencia de grosor para hacer la abertura) en ambas marcas. Luego preparar un poco de yeso en la tapa plástica sin que obstruya la abertura creada y dejar secar.

Con el marcador, hacer 4 puntos en forma de cruz, tanto en la embudo como en la tapa, haciendo que estos coincidan. Con el taladro de punta fina, taladrar la base en los puntos ya marcados, y en el embudo utilizar el caudín para ello. Conecte la antena con el *pigtail* a utilizar y una la base con el embudo haciendo coincidir las aberturas antes realizadas. Introduzca los tornillos en los orificios y asegure la antena a la base.

Figura B9. Patrón del embudo donde se muestran los agujeros a realizar.

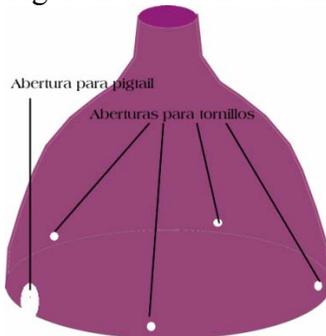


Figura B10. Patrón de cómo se alinean los agujeros a realizar en el embudo y en la tapa.

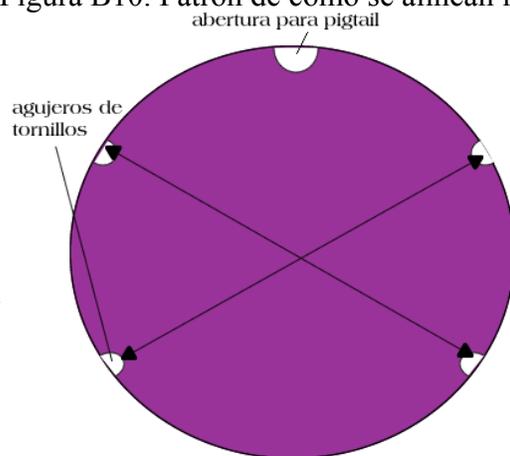


Figura B11. Base de la antena, tapa rellena de yeso



Figura B12. Aspecto final de la antena creada.



## Apéndice C. Gráficas de las pruebas con *inSSIDer*

Figura C1. Gráfica de la antena construida.

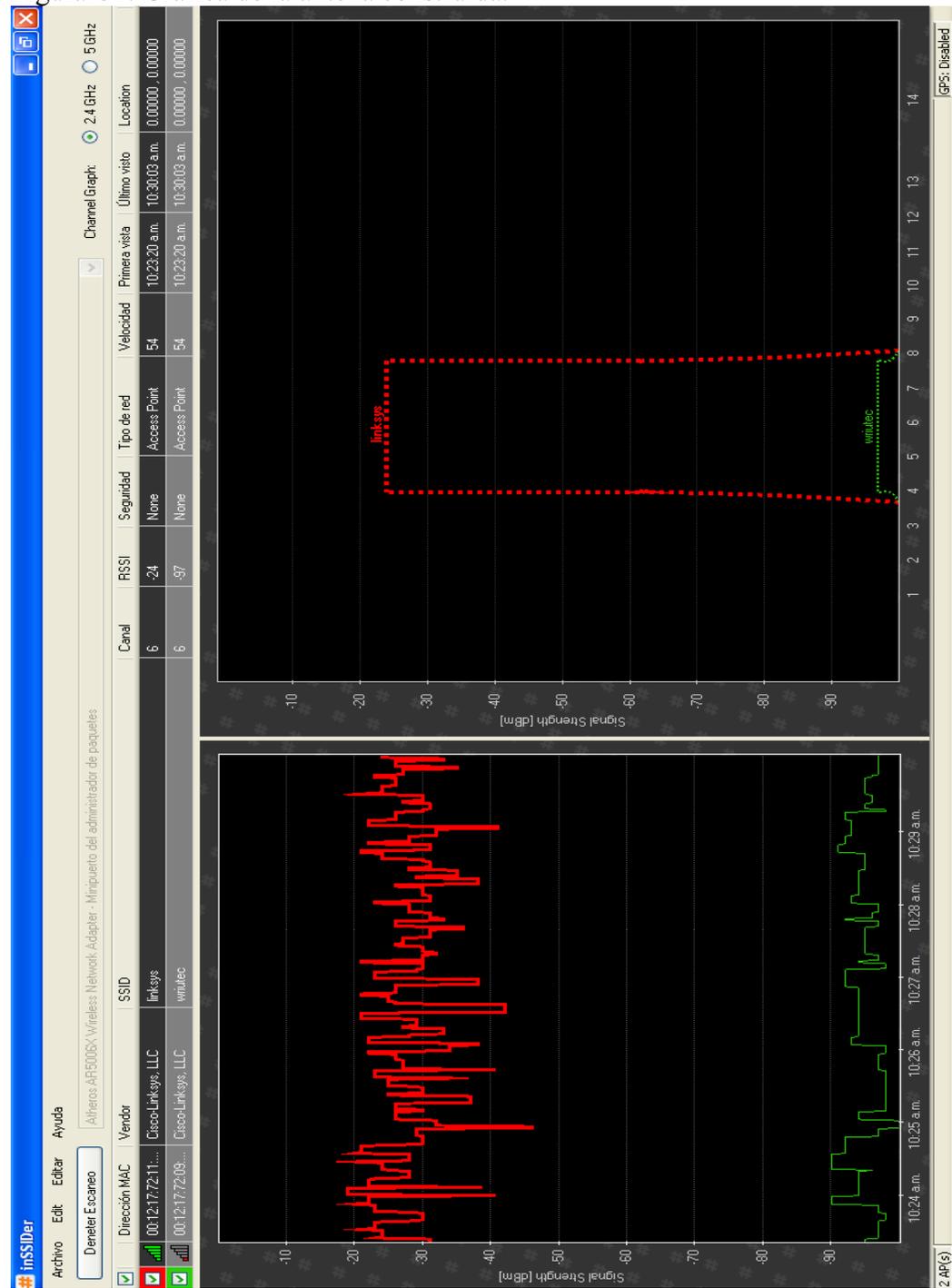
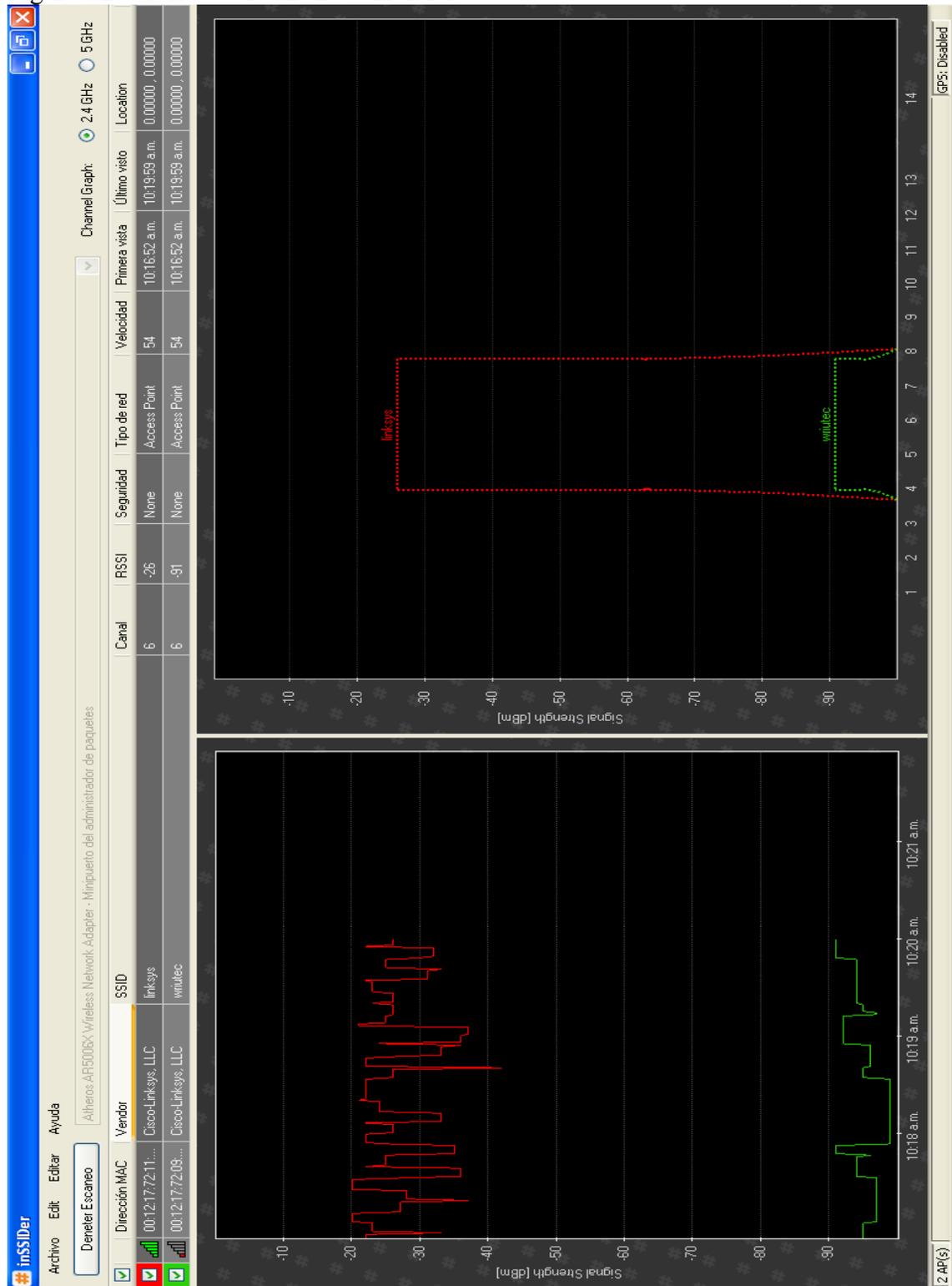


Figura C2. Gráfica de la antena comercial.



## ANEXOS

### Anexo 1

Figura AI. Antena omnidireccional, modelo HG2458CU-NF



Figura AII. Antena omnidireccional, modelo: ant24-0700



Figura AIII. Antena omnidireccional, modelo: HGV2409U



Figura AIV. Antena omnidireccional para interiores



## Anexo 2

Figura BI. C-antena, antena con base de lata metálica



Figura BII. Dipolo de media onda



### Anexo 3

Figura CI. Ejemplos diagrama de radiación de antenas helicoidal en sus distintos modos de operación

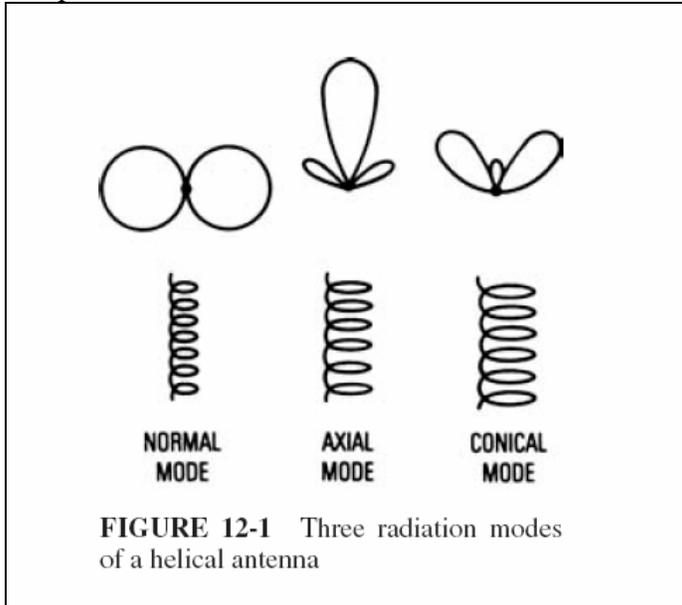


Figura CII. Ecuación del campo eléctrico de una antena helicoidal.

$$E(\theta) = A \frac{\sin(N\psi/2)}{\sin(\psi/2)} \cos\theta \quad (12-1)$$

where

$A$  = normalization factor

$$\psi = \frac{2\pi}{\lambda} S \cos\theta - \delta \quad (12-2)$$

$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\ell}{v/c}$  = progressive phase between turns  
 $\ell$  = length of one turn  
 $v$  = phase velocity along helical conductor  
 $c$  = velocity of light in free space

$$P = \frac{(\ell/\lambda)}{(S/\lambda) + (2N+1)/2N} \quad (12-3)$$

Thus, for the increased-directivity condition, the quantity  $\psi$  may be written as

$$\psi = \frac{2\pi}{\lambda} S (\cos\theta - 1) - \frac{\pi}{N} \quad (12-4)$$

and

$$A = \sin(\pi/2N) \quad (12-5)$$

## **HOJA DE METADATOS**

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

<b>Título</b>	DESARROLLO DE UNA ANTENA OMNIDIRECCIONAL PARA INTERIORES QUE SATISFAGA EL ESTÁNDAR DE TELECOMUNICACIONES IEEE-802.11g
<b>Subtítulo</b>	

### Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
BLANCO L, MARIA VICTORIA	CVLAC	16.315.522
	e-mail	marycelest@hotmai.com
	e-mail	mw_designerweb@hotmai.com

### Palabras o frases claves:

Antenas
Estándar IEEE 802.11g
Comunicación inalámbrica

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sub-líneas de investigación:

Área	Sub-área
Ciencias	Informática

Resumen (abstract):

Se construyó una antena omnidireccional del tipo colineal de dos elementos para ser utilizada en interiores. La cual funciona de la misma forma que una antena comercial equivalente, y tiene las siguientes características: ganancia de aproximadamente de 5dBi, opera con el estándar IEEE-802.11g, en la frecuencia 2.4 GHz, posee una base removible que permite cambiar el *pigtail*. Para elaborar esta antena se empleó la metodología de desarrollo de sistemas propuesta Kendall y Kendall, pero adaptada al objeto de estudio (una antena), constituida por las siguientes fases: identificación de problemas de las antenas, determinación de los requerimientos de la antena omnidireccional, análisis las necesidades de la antena omnidireccional, diseño del modelo de la antena omnidireccional, construcción de la antena omnidireccional, documentación de la antena omnidireccional y pruebas de la antena omnidireccional. En la primera fase, se realizó una investigación preliminar con la finalidad de identificar los problemas. En la fase determinación de los requerimientos de la antena omnidireccional, se hizo un estudio comparativo de las características de las antenas omnidireccionales más empleadas en base a los siguientes parámetros: ganancia, costo, alcance y polaridad; lo que determinó la selección de los requisitos mínimos necesarios que cumple la antena desarrollada. Se elaboró un análisis de los diversos tipos de antenas omnidireccionales para determinar que parámetros son los que debe cubrir el modelo a fabricar, en función de las características de los materiales y su durabilidad, análisis que se llevó a en la tercera fase de la metodología. Con la asistencia de herramientas computarizadas para el modelado, se diseñó en la cuarta fase (diseño del modelo de la antena omnidireccional) un prototipo que fuese compacto, que admite una sencilla instalación y un rápido mantenimiento, además de satisfacer los requerimientos mínimos establecidos. Tomando el modelo diseñado y los materiales seleccionados que forman parte de la antena, se inició la construcción durante la fase que lleva su nombre. En la fase de documentación, se cumplió con un resumen de las características que posee la antena y en última fase se realizaron las pruebas necesarias que confirmaron la elaboración de la misma. Esta antena se hizo con materiales simples, pero de calidad.

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

### Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Geremias, Daniel	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	8.645.325
	e-mail	dgeremias@cantv.net
	e-mail	
Pagliarulo, Miguel	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	11.828.178
	e-mail	mianpa22@hotmail.com
	e-mail	
Sifonte, José	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	12.123.953
	e-mail	joesifontes@yahoo.com
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

2012	03	16
------	----	----

Lenguaje: SPA

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

### Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
TM_revision_jurado_final.doc	Application/word

### Alcance:

Espacial: NACIONAL (Opcional)

Temporal: TEMPORAL (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo: LICENCIADA EN INFORMÁTICA

Nivel Asociado con el Trabajo: LICENCIADA

Área de Estudio: INFORMÁTICA

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano  
**Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ**  
Vicerrector Académico  
Universidad de Oriente  
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.



Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

**JUAN A. BOLAÑOS CUNVELO**  
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/manuja

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso- 6/6

**Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) :** "los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario para su autorización".



Maria Victoria Blanco L.

AUTOR