



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

**IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIO DE  
RADIOCOMUNICACIONES TERRESTRES**

**Rodrigo Antonio Trinidad Ortega**  
Asesorado por el Ing. Guillermo Antonio Puente Romero

Guatemala, junio de 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIO DE  
RADIOCOMUNICACIONES TERRESTRES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**RODRIGO ANTONIO TRINIDAD ORTEGA**

ASESORADO POR EL ING. GUILLEMO ANTONIO PUENTE ROMERO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, JUNIO DE 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Romeo Neftalí López Orozco
EXAMINADOR	Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez
EXAMINADOR	Ing. José Antonio de León Escobar
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

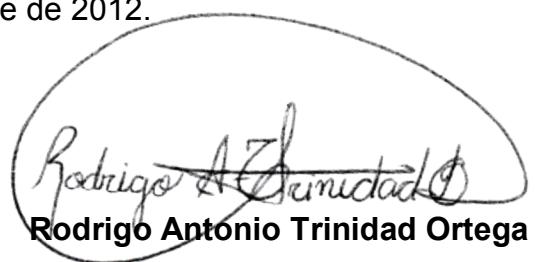


## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIO DE RADIOCOMUNICACIONES TERRESTRES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 30 de octubre de 2012.



Rodrigo Antonio Trinidad Ortega



Guatemala, 14 de mayo de 2013.

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador de Área de Electrónica  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Ingeniero Guzmán:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: "IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIO DE RADIOCOMUNICACIONES TERRESTRES", desarrollado por el estudiante Rodrigo Antonio Trinidad Ortega con carné No. 2007-14652, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos, por lo que el autor y mi persona somos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,



Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
ASESOR  
Colegiado 5898

*Guillermo A. Puente R.*  
INGENIERO ELECTRÓNICO  
COL. # 5898



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 28.2013  
Guatemala, 17 de MAYO 2013.

Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingenieria Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingenieria, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
“IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIO DE  
RADIOCOMUNICACIONES TERRESTRES”, del estudiante  
Rodrigo Antonio Trinidad Ortega que cumple con los requisitos  
establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
**ID Y ENSEÑADA TODOS**

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador Área Electrónica



sro



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 28. 2013.

**El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de  
conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de  
Área, al trabajo de Graduación del estudiante; RODRIGO ANTONIO  
TRINIDAD ORTEGA titulado: "IMPLEMENTACIÓN DE  
LABORATORIO DE RADIOCOMUNICACIONES TERRESTRES",  
procede a la autorización del mismo.**

  
**Ing. Guillermo Antonio Puente Romero**



GUATEMALA, 21 DE MAYO 2,013.



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 421 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado:  
**IMPLEMENTACIÓN DE LABORATORIO DE RADIOCOMUNICACIONES TERRESTRES**, presentado por el estudiante universitario: **Rodrigo Antonio Trinidad Ortega**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympia Palz Recinos  
Decano



Guatemala, 19 de junio de 2013

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Mi familia**

Por ayudarme a seguir adelante.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por guiar mis pasos y ayudarme en todo momento.
<b>Mi familia</b>	Por su apoyo incondicional.
<b>Mis amigos</b>	Por compartir sus conocimientos y amistad.
<b>Mi asesor</b>	Por su apoyo.
<b>Departamento de Física</b>	Por prestarme el equipo para la realización de las prácticas.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS .....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
 1. COMUNICACIONES INALÁMBRICAS .....	1
1.1. Sistemas de comunicación.....	1
1.1.1. Antecedente histórico.....	2
1.2. Conceptos básicos .....	3
1.2.1. Radiación electromagnética .....	3
1.2.2. Espectro electromagnético .....	4
1.2.2.1. Banda ISM.....	5
1.2.3. Ondas de radio.....	5
1.2.3.1. Propagación en el medio.....	7
1.2.4. Radiación electromagnética y la salud .....	8
1.2.4.1. Efecto térmico .....	8
1.2.4.2. Efectos no térmicos.....	9
1.2.4.3. Efectos atémicos.....	9
1.3. Antenas .....	10
1.3.1. Parámetros de las antenas.....	10
1.3.1.1. Ancho de banda .....	10
1.3.1.2. Diagrama de radiación .....	11
1.3.1.3. Directividad.....	12

1.3.1.4.	Ganancia.....	12
1.3.1.5.	Impedancia .....	13
1.3.1.6.	Eficiencia.....	14
1.3.1.7.	Polarización .....	14
1.3.2.	Tipos de antenas .....	14
1.3.2.1.	Antena de dipolo .....	15
1.3.2.2.	Antena de monopolio.....	16
1.3.2.3.	Antena yagi .....	16
1.3.2.4.	Antena parabólica .....	17
1.3.2.5.	Antena de ranura .....	19
1.3.2.6.	Antena microstrip .....	19
1.3.2.7.	Arreglo .....	20
2.	REDES .....	23
2.1.	¿Qué es una red?.....	23
2.1.1.	Modelo OSI.....	23
2.1.1.1.	Capa física.....	24
2.1.1.2.	Capa de enlace.....	24
2.1.1.3.	Capa de red .....	25
2.1.1.4.	Capa de transporte .....	25
2.1.1.5.	Capa de sesión .....	26
2.1.1.6.	Capa de presentación .....	26
2.1.1.7.	Capa de aplicación.....	26
2.1.2.	Modelo TCP/IP.....	27
2.2.	Tipos de redes .....	28
2.3.	Topologías de red .....	30
2.3.1.	Bus.....	30
2.3.2.	Anillo .....	31
2.3.3.	Estrella.....	32

2.3.4.	Árbol.....	33
2.3.5.	Malla.....	34
2.4.	Dispositivos de red.....	35
2.4.1.	Hub.....	35
2.4.2.	Switch.....	35
2.4.3.	Router .....	36
2.5.	Redes Wifi.....	36
2.5.1.	IEE802.11.....	37
2.5.2.	Canales .....	39
3.	ENLACES .....	41
3.1.	Presupuesto de potencia.....	41
3.1.1.	Cables y conectores.....	41
3.1.2.	Amplificador.....	42
3.1.3.	Ganancia de las antenas.....	42
3.1.4.	Pérdidas en el espacio libre .....	43
3.1.5.	Sensibilidad.....	43
3.2.	Balance general de potencia.....	43
3.3.	Consideraciones de montaje .....	45
3.3.1.	Caracterización del medio.....	45
3.3.2.	Consideraciones de instalación.....	45
3.3.2.1.	Línea de vista .....	46
3.3.2.2.	Zona de Fresnel .....	46
3.3.2.3.	Alineación de las antenas.....	48
3.3.2.4.	Sistema de alimentación .....	49
3.4.	Protección de equipo.....	49
3.4.1.	Protecciones físicas .....	49
3.4.2.	Fusibles y cortacircuitos .....	50
3.4.3.	Puesta a tierra.....	50

3.4.4.	Reguladores de tensión .....	51
<b>4.</b>	<b>EQUIPO, SOFTWARE Y MATERIALES .....</b>	<b>53</b>
4.1.	Dispositivos utilizados.....	53
4.1.1.	Partes del equipo .....	55
4.1.2.	Especificaciones técnicas .....	57
4.1.3.	Configuración del equipo .....	58
4.1.3.1.	Main .....	60
4.1.3.2.	Link setup.....	60
4.1.3.3.	Network.....	61
4.1.3.4.	Advanced.....	62
4.1.3.5.	Service .....	63
4.1.3.6.	System.....	63
4.1.4.	Reseteo de Equipo .....	64
4.1.5.	Configuración para radioenlace punto-multipunto...	64
4.2.	Software.....	69
4.2.1.	Instalación.....	70
4.2.2.	Creación de un mapa.....	72
4.2.3.	Creación de una red .....	73
4.2.4.	Configuración básica .....	74
4.2.4.1.	Parámetros de una red .....	74
4.2.4.2.	Topología de red.....	75
4.2.4.3.	Configuración de sistemas.....	75
4.2.4.4.	Configuración de unidades .....	76
4.2.5.	Herramientas .....	76
4.2.5.1.	Enlace de radio .....	76
4.2.5.2.	Cobertura de radio .....	77
4.3.	Materiales .....	77

5.	DESCRIPCIÓN DE PRÁCTICAS.....	81
5.1.	Práctica No. 1: Presupuesto de potencia .....	82
5.1.1.	Objetivos .....	82
5.1.2.	Tópicos de clase teórica.....	82
5.1.3.	Equipo, software y materiales .....	83
5.1.4.	Descripción de práctica .....	83
5.1.5.	Evaluación.....	83
5.2.	Práctica No. 2: Enlace 2.4 GHz.....	83
5.2.1.	Objetivos .....	84
5.2.2.	Tópicos de clase teórica.....	84
5.2.3.	Equipo, software y materiales .....	84
5.2.4.	Descripción de práctica .....	84
5.2.5.	Evaluación.....	85
5.3.	Práctica No. 3: Enlace 2.4-5.0 GHz.....	85
5.3.1.	Objetivos .....	85
5.3.2.	Tópicos de clase teórica.....	85
5.3.3.	Equipo, software y materiales .....	86
5.3.4.	Descripción de práctica .....	86
5.3.5.	Evaluación.....	87
5.4.	Práctica No. 4: Determinación del patrón de radiación de una antena .....	88
5.4.1.	Objetivos .....	88
5.4.2.	Tópicos de clase teórica.....	89
5.4.3.	Equipo, software y materiales .....	89
5.4.4.	Descripción de práctica .....	89
5.4.5.	Evaluación.....	91
5.5.	Práctica No. 5: Implementación de enlace .....	92
5.5.1.	Objetivos .....	92
5.5.2.	Tópicos de clase teórica.....	93

5.5.3.	Equipo, software y materiales .....	93
5.5.4.	Descripción de práctica.....	93
5.5.5.	Evaluación .....	94
5.6.	Trabajos de investigación .....	94
5.7.	Evaluación final.....	94
5.8.	Ponderación de actividades.....	94
CONCLUSIONES .....		97
RECOMENDACIONES .....		99
BIBLIOGRAFÍA .....		101
APÉNDICE.....		105
ANEXOS .....		109

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Esquema de comunicación .....	1
2.	Espectro electromagnético .....	4
3.	Ondas de radio generadas por un dipolo corto .....	6
4.	Antena de dipolo corto .....	15
5.	Antena de monopolio .....	16
6.	Antena yagi .....	17
7.	Antena parabólica con foco desplazado .....	18
8.	Antena de ranura .....	19
9.	Antena microstrip .....	20
10.	Arreglo conformado por dipolos cortos .....	21
11.	Comparación entre el modelo TCP/IP y el modelo OSI .....	28
12.	Ámbito de aplicación de los distintos tipos de redes .....	29
13.	Topología de bus .....	31
14.	Topología de anillo .....	32
15.	Topología de estrella .....	33
16.	Topología de árbol .....	34
17.	Topología de malla .....	34
18.	Distribución de canales, 2,4 MHz .....	40
19.	Esquema de radioenlace y curva de potencia .....	44
20.	Ejemplo de zona de Fresnel para una región urbana .....	47
21.	PicoStation2 .....	53
22.	NanoStation5 loco .....	54
23.	Vista frontal de PicoStation2 .....	55

24.	Vista en planta de PicoStation2.....	55
25.	Soporte de PicoStation2.....	56
26.	Fuente de alimentación de PicoStation2 .....	56
27.	Configuración de IP .....	58
28.	Pantalla de inicio .....	59
29.	Menú de configuración .....	59
30.	Esquema de red punto-multipunto.....	65
31.	Configuración inalámbrica básica.....	65
32.	Configuración de la seguridad inalámbrica.....	66
33.	Configuración de la red .....	66
34.	Configuración inalámbrica básica Inicial.....	67
35.	Elección de red.....	68
36.	Configuración inalámbrica básica final .....	68
37.	Esquema de conexión de equipos, Práctica No. 3 .....	88
38.	Disposición de los equipos en la Plaza de los Mártires .....	91
39.	Hoja de Datos: PicoStation2.....	109
40.	Hoja de Datos: NanoStation5 loco.....	110

## TABLAS

I.	Banda ISM.....	5
II.	Especificaciones técnicas: PicoStation2 y Nanostion5 loco .....	57
III.	Distribución porcentual de actividades .....	95

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<b>B</b>	Ancho de banda
<b>B%</b>	Ancho de banda porcentual
<b>cm</b>	Centímetro
<b>c</b>	Constante de la velocidad de la luz
<b>I</b>	Corriente
<b>dB</b>	Decibelio
<b>dB/m</b>	Decibelios por metro
<b>D</b>	Directividad
<b>d</b>	Distancia
<b>η</b>	Eficiencia de una antena
<b>f</b>	Frecuencia
<b>f<sub>c</sub></b>	Frecuencia central de operación
<b>f<sub>H</sub></b>	Frecuencia máxima de operación
<b>f<sub>L</sub></b>	Frecuencia mínima mínima de operación
<b>G</b>	Ganancia de antena
<b>Gbps</b>	Gigabit por segundo
<b>GHz</b>	GigaHerz
<b>Hz</b>	Hertz
<b>Z</b>	Impedancia
<b>kbps</b>	Kilobit por segundo
<b>kHz</b>	KiloHertz
<b>km</b>	Kilómetro
<b>λ</b>	Longitud de onda

<b>Mbps</b>	Megabit por segundo
<b>MB</b>	Megabyte
<b>MHz</b>	Megahertz
<b>m</b>	Metro
<b>n</b>	Número de zona de Fresnel
<b>P<sub>t</sub></b>	Potencia de transmisión
<b>U<sub>M</sub></b>	Potencia de una antena en dirección del maximo
<b>U<sub>i</sub></b>	Potencia de una antena isotropica
<b>U</b>	Potencia entregada a la antena
<b>P<sub>m</sub></b>	Potencia marginal
<b>r<sub>n</sub></b>	Radio de la n-esima zona de fresnel
<b>X<sub>a</sub></b>	Reactancia de la antena
<b>R<sub>Ω</sub></b>	Resistencia omhica
<b>R<sub>a</sub></b>	Resistencia de la antena
<b>R<sub>r</sub></b>	Resistencia de radiación
<b>V</b>	Tensión o voltaje
<b>φ</b>	Variación angular azimutal
<b>θ</b>	Variación angular polar

## GLOSARIO

<b>Amplitud</b>	Medida de la variación máxima del desplazamiento u otra magnitud física que varía periódica o cuasiperiódicamente en el tiempo.
<b>ARPANET</b>	Acrónimo de Advanced Research Projects Agency Network. Creada por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos como medio de comunicación para los diferentes organismos del país.
<b>Bit</b>	Unidad básica de información en el sistema binario.
<b>Byte</b>	Una unidad de información utilizada como un múltiplo del bit, equivale a 8 bits.
<b>Cifrado de datos</b>	Proceso por el que una información legible, se transforma mediante un algoritmo en información ilegible llamado criptograma.
<b>Clúster</b>	Conjuntos o conglomerados de computadoras construidos mediante la utilización de equipos comunes y que se comportan como si fuesen una única computadora.
<b>Compresión de datos</b>	Proceso por el cual se reduce el tamaño físico de bloques de información.

<b>Corriente</b>	Flujo de carga por unidad de tiempo que recorre un material, razón entre voltaje y resistencia.
<b>Datagrama</b>	Fragmento de un paquete que es enviado con la suficiente información para que la red pueda encaminar el fragmento hacia el equipo terminal de datos receptor.
<b>Decibelio</b>	Unidad relativa empleada en acústica, electricidad, telecomunicaciones y otras especialidades para expresar la relación entre dos magnitudes: la magnitud que se estudia y una magnitud de referencia.
<b>Dirección IP</b>	Etiqueta numérica que identifica, de manera lógica y jerárquica, a un interfaz de un dispositivo dentro de una red que utilice el protocolo de Internet.
<b>Dirección MAC</b>	Es un identificador de 48 bits que corresponde de forma única a una tarjeta o dispositivo de red.
<b>DNS</b>	Sistema de nomenclatura jerárquica para computadoras, servicios o cualquier recurso conectado a Internet o a una red privada.
<b>DOS</b>	Conjunto de programas que permiten ejecutar ciertas funciones a través de comandos en línea de texto.

<b>Electroimán</b>	Tipo de imán en el que el campo magnético se produce mediante el flujo de una corriente eléctrica, desapareciendo en cuanto cesa dicha corriente.
<b>ESSID</b>	Nombre incluido en todos los paquetes de una red inalámbrica para identificarlos como parte de esa red.
<b>Ethernet</b>	Estándar de redes de área local para computadores con acceso al medio por contienda. Define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI.
<b>Fase</b>	Indica la situación instantánea en el ciclo, de una magnitud que varía cíclicamente.
<b>Firmware</b>	Bloque de instrucciones de máquina para propósitos específicos, es el encargado de controlarlo para ejecutar correctamente las instrucciones externas.
<b>Formateo de datos</b>	Proceso por el cual se da un formato específico a los datos.
<b>Fotovoltaico</b>	Material o dispositivo que convierte la energía luminosa en electricidad.

<b>Full-duplex</b>	Capacidad de mantener una comunicación bidireccional, enviando y recibiendo mensajes de forma simultánea, en un sistema de comunicación.
<b>GPS</b>	Acrónimo de Global Positioning System, Sistema de posicionamiento global. Utiliza satélites para determinar la posición de un objeto, una persona en el globo terrestre.
<b>Hardware</b>	Conjunto de todas las partes tangibles de un sistema informático.
<b>Internet</b>	Conjunto descentralizado de redes de comunicación interconectadas que utilizan la familia de protocolos TCP/IP, garantizando que las redes físicas heterogéneas que la componen funcionen como una red lógica única, de alcance mundial.
<b>Medio homogéneo</b>	Medio que mantiene las mismas propiedades físicas y químicas en todos sus puntos.
<b>Medio isotrópico</b>	Medio en el cual las propiedades físicas no dependen de la dirección.
<b>Medio lineal</b>	Medio que simultáneamente cumple las condiciones de ser homogéneo e isotrópico.

<b>Microondas</b>	Conjunto de ondas electromagnéticas definidas en un rango de frecuencias que va de 300 MHz a 300GHz, sinónimo de onda de radio.
<b>Modulación</b>	Conjunto de técnicas que se usan para transportar información sobre una onda portadora, permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación.
<b>Omh</b>	Unidad derivada de la resistencia eléctrica en el Sistema Internacional de Unidades.
<b>Pila de protocolos</b>	Colección ordenada de protocolos organizados en capas que se ponen unas encima de otras y en donde cada protocolo implementa una abstracción encuadrada en la abstracción que proporciona la capa sobre la que está encuadrada.
<b>Pixel</b>	Menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital.
<b>Protocolo</b>	Conjunto de estándares que controlan la secuencia de mensajes que ocurren durante una comunicación entre entidades que forman una red.
<b>Reactancia</b>	Oposición ofrecida al paso de la corriente alterna por bobinas y condensadores.
<b>Red virtual</b>	Tecnología de red que permite una extensión segura de la red local sobre una red pública.

<b>Resistencia</b>	Oposición que presenta un material al ser atravesado por una corriente eléctrica.
<b>Schuko</b>	Nombre coloquial de un sistema de toma de corriente con clavijas cilíndricas.
<b>Software</b>	Conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas en un sistema informático.
<b>STMR</b>	Proyecto de la NASA que provee datos de altitud con una precisión de 3 segundos de arco.
<b>TCP</b>	Protocolo de comunicación orientado a conexión fiable del nivel de transporte.
<b>Transductor</b>	Dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra diferente a la salida.
<b>UDP</b>	Protocolo mínimo de nivel de transporte orientado a mensajes.
<b>Voltaje</b>	Es el trabajo por unidad de carga, ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones determinadas. Cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.

<b>WDS</b>	Acrónimo inglés Wireless Distribution System, Sistema de Distribución Inalámbrico. Permite la interconexión inalámbrica de puntos de acceso en una red IEEE 802.11 ampliada mediante multiples puntos de acceso.
<b>Wine</b>	Aplicación que permite instalar programas nativos de Windows en Linux.
<b>Wine-Bottler</b>	Aplicación que permite instalar programas nativos de Windows en Mac OS.
<b>WLAN</b>	Del acrónimo Wireless Local Area Network, Red de área local inalámbrica.
<b>WPA2</b>	Sistema que permite proteger las redes inalámbricas, está basado en el estándar 802.11i.
<b>WPAN</b>	Del acrónimo Wireless Personal Area Networks, Red inalámbrica de área personal.



## **RESUMEN**

El presente trabajo de graduación es una propuesta para la implementación del laboratorio para el curso Radiocomunicaciones Terrestres, el cual pertenece al décimo semestre de la carrera de Ingeniería Electrónica.

El trabajo está estructurado en cinco capítulos cuyo contenido se describe a continuación:

El primer capítulo contiene toda la información referente a los conceptos básicos de comunicación inalámbrica, se da una pequeña reseña histórica de la misma y se describe a detalle el elemento principal de estos sistemas, la antena.

En el segundo capítulo se desarrolla una descripción sobre los fundamentos de las redes, describiendo los tipos, topologías y dispositivos que la conforman. Además se presenta una exposición sobre Wifi y el estándar que la regula.

El tercer capítulo corresponde al estudio de la implementación de radioenlaces. Se describen los factores que se deben de tomar en cuenta para un presupuesto de potencia y las consideraciones de montaje y protección para los equipos.

En cuarto capítulo se describe el programa y equipos utilizados en cada una de las prácticas. Se dan las configuraciones básicas para los mismos y se exemplifica su uso a través de una aplicación.

Finalmente en el quinto capítulo se presentan las prácticas propuestas para el laboratorio, especificando los objetivos, equipo, procedimiento y evaluación para las mismas. También se describen las actividades adicionales que se tienen contempladas y por último expone una tabla con la distribución propuesta para la ponderación del curso.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Elaborar una propuesta para desarrollo de prácticas del laboratorio de Radiocomunicaciones Terrestres.

### **Específicos**

1. Exponer los temas teóricos que servirán como base para el desarrollo de las prácticas.
2. Exponer el funcionamiento del hardware y software utilizado para cada una de las prácticas.
3. Describir cada una de las prácticas del laboratorio así como la evaluación de las mismas.



## INTRODUCCIÓN

La comunicación es el proceso a través del cual se intercambia información entre dos o más entes. Según los mecanismos utilizados en dicho proceso se da origen a diversos tipos de sistemas, siendo uno de los más importantes en la actualidad el Sistema Eléctrico Inalámbrico, que desde sus inicios, a finales del siglo XIX, ha tenido un gran impacto en el desarrollo de la humanidad, llegando a ocupar la tercera parte del mercado de comunicaciones.

En este sistema el emisor y receptor, denominados estaciones, no se encuentran enlazados por un medio físico, sino que utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio para la transmisión del mensaje, otorgando al sistema una gran flexibilidad y movilidad en la comunicación. Una estación, básicamente está conformada de un transmisor de radio, un amplificador, cables, conectores y su elemento principal: la antena, que basa su funcionamiento en el principio de la radiación que se produce al circular una corriente eléctrica por un conductor.

La disposición física de cada una de las estaciones y los enlaces formados entre ellas, denominado topología de red, junto con el equipo utilizado da origen al radioenlace, cuya implementación requiere del estudio de una serie de factores para determinar la viabilidad y funcionamiento de éste. Una herramienta de la cual se debe de hacer uso para ello es el presupuesto de potencia, el cual consiste en realizar cálculos para las ganancias y pérdidas en potencia en un enlace. La elaboración de un buen presupuesto permite determinar el diseño y equipo adecuado. Otros factores importantes a considerar son las condiciones geográficas y meteorológicas de la región en la

que se va a llevar a cabo la implementación del radioenlace, por tal razón se debe de contar con una buena documentación sobre el lugar.

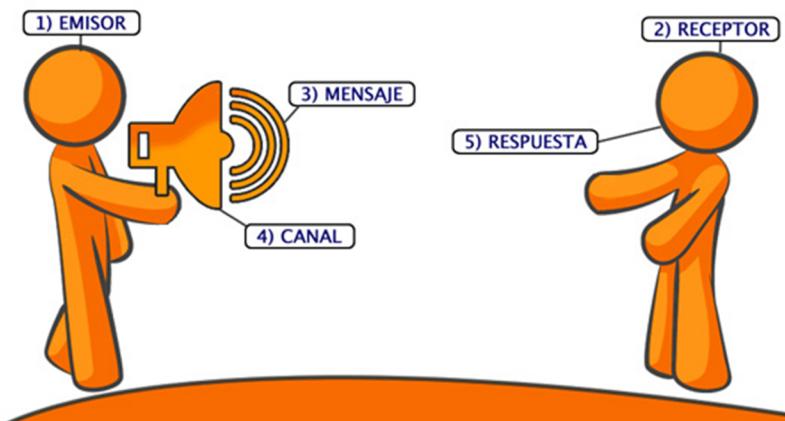
Estos conceptos son desarrollados con detalle en la asignatura de Radiocomunicaciones Terrestres, curso del décimo semestre de la carrera de Ingeniería Electrónica, pero lamentablemente al no contar con un laboratorio este estudio se queda solamente en papel. Por lo tanto en el presente documento se desarrolla un texto para dicho laboratorio, de forma que se ofrezca al estudiante un entrenamiento previo que consolide su conocimiento y le brinde experiencia en el manejo de sistemas de comunicación inalámbricos básicos.

# 1. COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

## 1.1. Sistemas de comunicación

La comunicación es el proceso a través del cual se intercambia información entre dos o más entes, dicho intercambio puede ser en una o ambas direcciones. Un sistema de comunicación provee los mecanismos para que este proceso se pueda realizar. Básicamente se puede ilustrar de la siguiente forma:

Figura 1. Esquema de comunicación



Fuente: Fundamentos de Telecomunicaciones. <http://telecomunicaciones-abasolo-jcrr.blogspot.com/2012/10/unidad-1-fdt.html>. Consulta: 10 de diciembre de 2012.

El emisor es el ente encargado de emitir el mensaje, que es el objeto de la comunicación, codificando la información en un lenguaje determinado por el sistema. Luego el mensaje es transmitido a través del medio o canal de

comunicación para que éste sea captado e interpretado por el receptor. En el proceso de respuesta, los papeles entre el emisor y receptor se intercambian.

De acuerdo a los mecanismos y factores que afectan la comunicación existen diversos tipos de sistemas, uno de ellos es el Sistema Eléctrico Inalámbrico, en éste el emisor y receptor no se encuentran unidos por un medio físico, sino que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio para la transmisión del mensaje.

### **1.1.1. Antecedente histórico**

La base fundamental de la comunicación inalámbrica se dio en 1860, cuando Maxwell postula las ondas electromagnéticas a través de sus cuatro leyes. Luego en 1888 Hertz realizó la primera transmisión de este tipo mediante un oscilador que usó como emisor y un resonador como receptor, demostrando así la existencia de las ondas. Once años después Marconi consiguió establecer comunicación inalámbrica a través del canal de la Mancha, y luego 1907 que se logró transmitir los primeros mensajes completos a través del Atlántico.

El desarrollo de este sistema de comunicación continúo a lo largo de los años, alcanzando un avance significativo en 1971 con la aparición del primer sistema de conmutación de paquetes mediante una red de área local (WLAN), denominado ALOHA. Este sistema constaba de siete computadoras situadas en distintas islas, las cuales se comunicaban a una central, pero se tenía el problema que de no contar con un control de acceso al medio (MAC), por lo que los mensajes se solapaban entre sí. Esto se solucionó haciendo que la estación central emitiera una señal con una frecuencia distinta mientras estuviera libre, de tal forma que cuando una de las computadoras se disponía a

transmitir, antes verificaba que el canal estuviera libre. Un año después esta red se conectó mediante ARPANET al continente Americano.

En 1979 IBM publica los resultados obtenidos de un experimento en el cual se utilizaron enlaces infrarrojos para crear una red local en una fábrica. Los estudios prosiguieron pero solamente en laboratorios, trabajando a altas frecuencias, hasta que en 1985 la Comisión Federal de Comunicaciones asigna una serie de bandas al uso de IMS. Dicha asignación se tradujo a una mayor actividad en la industria y la investigación de las redes inalámbricas de alcance local (LAN) empezaba a enfocarse al mercado, alcanzando buenos resultados seis años más tarde debido a su presencia en la industria. A pesar de que se había obtenido un gran avance, existía una limitante de este tipo de red hacia el público en general, esto que hizo que los principales proveedores de sistemas inalámbricos se unieran y estableciera un nuevo estándar para uso doméstico de oficina denominando WIFI.

## **1.2. Conceptos básicos**

A continuación se describen los principales conceptos sobre las ondas electromagnéticas.

### **1.2.1. Radiación electromagnética**

Es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro en forma de ondas electromagnéticas sin necesidad de un medio material para propagarse. Por ejemplo: la luz visible, los rayos x, rayos gama, etc., son maneras de manifestarse.

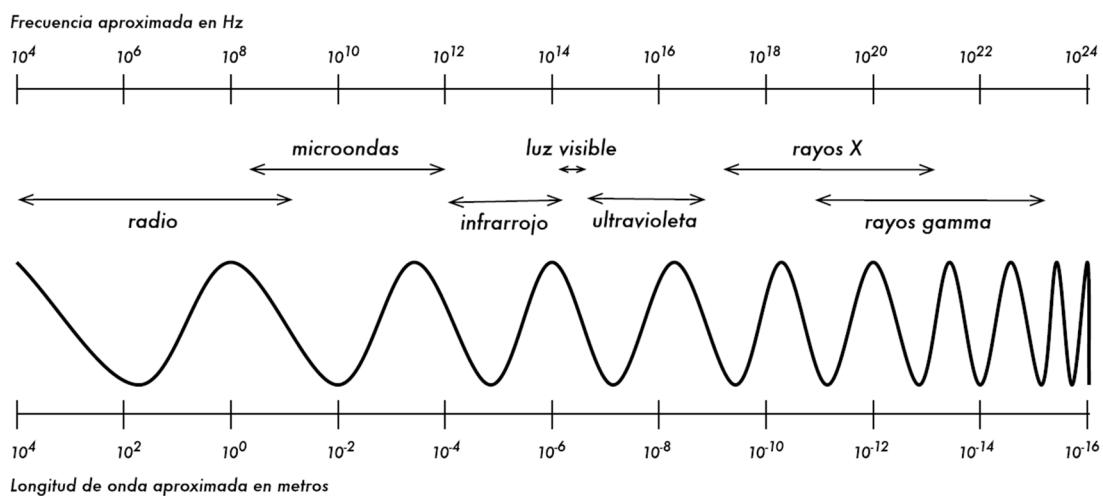
A pesar de que todas ondas electromagnéticas son de la misma naturaleza y se propagan en el vacío a la misma velocidad,  $c = 3 \times 10^8$  m/s cada tipo se caracteriza por su longitud de onda,  $\lambda$ , y su frecuencia,  $f$ , cantidades que se relacionan de la siguiente manera:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.1)$$

### 1.2.2. Espectro electromagnético

Al conjunto de radiaciones electromagnéticas, debidas a la relación (1.1), se le denomina espectro electromagnético y se divide en diferentes regiones según se muestra en la figura.

Figura 2. Espectro electromagnético



Fuente: Redes Inalámbricas en los países en desarrollo. <http://wndw.net/pdf/wndw3-es/wndw3-es-ebook.pdf>. Consulta: 5 de diciembre de 2012

### **1.2.2.1. Banda ISM**

La mayor parte del espectro electromagnético que es utilizado para comunicación es controlado por la legislación a través de licencias. ISM, (acrónimo en inglés de Industrial, Scientific and Medical), son regiones abiertas del espectro utilizadas para aplicaciones de alguna de las tres actividades que su nombre indica, sin requerimiento de licencia. Sin embargo muchos dispositivos comerciales trabajan en esa banda, ejemplo de ello son las tecnologías WLAN y WPAN, los teléfonos inalámbricos domésticos, los microondas, entre otros.

**Tabla I. Banda ISM**

<b>Unidades</b>	<b>Rango de Frecuencia</b>	
MHz	6.765	6.795
	13.553	13.567
	26.957	27.286
	40.660	40.700
	433.050	434.790
	902.000	928.000
GHz.	2.400	2.500
	5.725	5.875
	24.000	24.250
	61.000	61.500
	122.000	123.000
	244.000	246.000

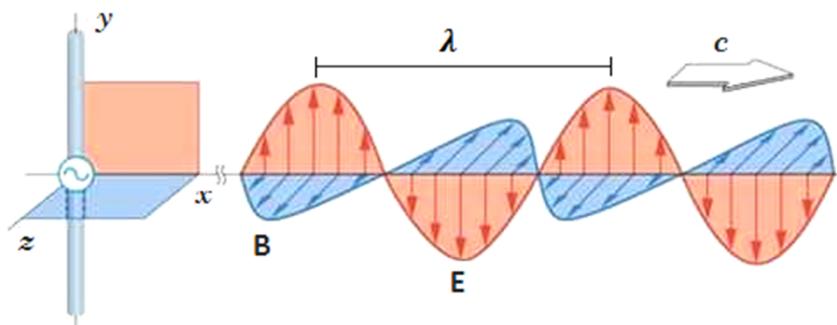
Fuente: elaboración propia.

### **1.2.3. Ondas de radio**

Una carga eléctrica en reposo produce un campo eléctrico, si ésta carga se mueve, como en el caso de una antena, además del campo eléctrico

produce también un campo magnético a su alrededor. Ambos campos se propagan en forma de ondas transversales perpendiculares entre sí, definiendo una onda electromagnética. Su longitud de onda se encuentra en el intervalo de 3KHz a 300 GHz.

Figura 3. **Ondas de radio generadas por un dipolo corto**



Fuente: Campos Electromagnéticos y Medios de Enlace. <http://ayudaelectronica.com/campos-electromagneticos-y-medios-de-enlace/>. Consulta: 14 de diciembre de 2012.

Para hacer uso de las ondas de radio en una red inalámbrica es importante considerar las siguientes características:

- Cuanto más larga la longitud de onda, más lejos llega.
- Cuanto más larga la longitud de onda, mejor viaja a través y alrededor de los obstáculos.
- Cuanto más corta la longitud de onda, puede transportar mayor cantidad de datos.

### **1.2.3.1. Propagación en el medio**

En el desplazamiento de las ondas a través del medio se pueden dar los siguientes fenómenos:

- Absorción: cuando las ondas electromagnéticas atraviesan algún material, generalmente se debilitan o atenuan. La cantidad de potencia perdida depende de su frecuencia y del material a través del cual se desplaza. Generalmente se utiliza el coeficiente de absorción para describir el impacto de un material en la radiación. Para las microondas, los dos materiales más absorbentes son metal y agua. En el metal los electrones pueden moverse libremente, y son capaces de oscilar y por tanto de absorber la energía de una onda que los atraviesa. Para el caso del agua las microondas provocan que las moléculas de agua se agiten, capturando algo de energía de las ondas.
- Reflexión: al igual que la luz visible, las ondas de radio son reflejadas cuando entran en contacto con materiales que son apropiados para eso. Para las ondas de radio, las principales fuentes de reflexión son el metal y las superficies de agua. El ángulo en el cual una onda incide en una superficie es el mismo ángulo en el cual es desviada.
- Difracción: es un fenómeno característico basado en el curvado y esparcido de las ondas cuando encuentran un obstáculo o atraviesan una rendija. A través de este fenómeno se explica el hecho de que al observar las ondas en un objeto dan la impresión de doblarse.
- Interferencia: este fenómeno se debe a la simultaneidad de las ondas en el espacio, siguiendo algunas la misma trayectoria lo cual provoca un

aumento o disminución de la amplitud. Se tienen dos tipos de inferencia: constructiva, ondas en fase, y destructiva, ondas desfasadas 180°.

#### **1.2.4. Radiación electromagnética y la salud**

Con relación con la salud humana, el espectro electromagnético se divide en radiaciones ionizantes y no ionizantes. Las primeras son ondas de elevada frecuencia, superior al ultravioleta, contienen una energía fotónica suficiente para romper enlaces químicos a nivel molecular en las células. En las segundas, aunque la energía fotónica es débil para romper enlaces químicos, se tienen efectos biológicos como calentamiento e inducción de corrientes eléctricas en los tejidos y células. Por tanto una prolongada exposición a este tipo de radiación conlleva efectos biológicos que pueden desembocar en consecuencias adversas para la salud, dichos efectos son:

##### **1.2.4.1. Efecto térmico**

Se refiere al aumento en la temperatura corporal. La intensidad de la radiación, al actuar particularmente en el organismo humano, provoca un incremento de temperatura y produce un cambio en la orientación espacial de las moléculas bipolares, principalmente en las de agua y de los iones en los tejidos. Los órganos más afectados son los ojos, los órganos parenquimatosos y glándulas como el hígado, páncreas, ganglios linfáticos, las gónadas, órganos huecos como el estómago, vejiga y vesícula biliar. También puede provocar dilatación de los poros de la barrera hematoencefálica, la que a su vez hace permeable a determinadas sustancias que no deberían entrar en las neuronas, es por ello que las radiaciones se relacionan con tumores cerebrales, enfermedad de Alzheimer y pérdida de la memoria, así como las alteraciones

de los procesos de sueño y vigilia que pueden llevar a la depresión, cansancio e incluso propensión al suicidio.

Niveles muy bajos de radiaciones producen pequeños aumentos de la temperatura local de la parte sometida a dicha radiación; pero este calentamiento es compensado por los centros termorreguladores normales del cuerpo humano.

#### **1.2.4.2. Efectos no térmicos**

Se producen cuando la energía de la onda es insuficiente para elevar la temperatura por encima de las fluctuaciones de temperatura normales del sistema biológico. Hay evidencias de que exposiciones prolongadas a radiaciones de baja intensidad sean potencialmente nocivas, por el efecto no térmico de la exposición a radiaciones.

En las frecuencias por debajo de 1 MHz no se produce calentamiento significativo, sino que inducen corrientes y campos eléctricos en los tejidos, se observan en alteraciones del electroencefalograma.

#### **1.2.4.3. Efectos atérmicos**

Se producen cuando hay energía suficiente para causar un aumento de la temperatura corporal sin que se observen cambios en la temperatura debido al enfriamiento ambiental.

Los efectos biológicos observados por este tipo de radiación son principalmente inducir corrientes eléctricas que pueden estimular las células nerviosas y musculares.

## **1.3. Antenas**

Una antena es un dispositivo eléctrico constituido por un conductor metálico a través del cual se puede emitir o recibir ondas de radio, transformando la onda guiada por una línea de transmisión en una onda electromagnética.

### **1.3.1. Parámetros de las antenas**

Una antena es descrita por completo a través de la especificación de cada uno de los siguientes parámetros:

#### **1.3.1.1. Ancho de banda**

Rango de frecuencias para los cuales una antena puede funcionar de forma correcta, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$B = f_H - f_L$$

donde  $f_H$  corresponde a la frecuencia máxima de trabajo y  $f_L$  es la frecuencia mínima.

Otra forma de representarlo, denominada ancho de banda porcentual,  $B\%$ , y se calcula en términos de porcentaje de la frecuencia central de la banda,  $f_c$ , de la forma:

$$B\% = \frac{f_H - f_L}{f_c}$$

El término puede ser utilizado también para definir un ancho de banda en referencia a otros parámetros como la impedancia, de polarización, de ganancia o de otros parámetros, en cuyo caso debe de ser especificado.

### 1.3.1.2. Diagrama de radiación

Describe la intensidad relativa del campo radiado en función de la dirección angular a una distancia constante. Para su construcción se coloca la antena como punto de origen del sistema, luego se expresa el campo en función de las variables  $\theta$  y  $\varphi$ , los cuales corresponden a la variación angular vertical y horizontal. Debido a la relación entre el campo eléctrico y magnético es indiferente la elección del campo para su construcción, sin embargo es habitual que se utilice le campo eléctrico.

Un factor importante de estos diagramas, es que regularmente son representados de forma bidimensional utilizando coordenadas rectangulares o polares, dependiendo del nivel de detalle o la facilidad para la visualización que se requiera.

Dentro de las principales partes que caracterizan un diagrama de radiación están:

- Lóbulos: son las direcciones preferenciales de radiación
  - Lóbulo principal: es el margen angular en torno a la dirección de máxima radiación.
  - Lóbulos laterales: máximos relativos, menores al lóbulo principal
  - Lóbulos secundarios: lóbulos laterales de mayor amplitud
  - Lóbulo posterior: lóbulo diametralmente opuesto al lóbulo principal.

- Relación entre lóbulos principal-secundario (SLL): cociente entre el valor máximo del lóbulo principal y el valor máximo del lóbulo secundario.
- Relación de late-atrás (FRB): cociente entre el valor máximo del lóbulo principal y el valor máximo del lóbulo posterior.
- Nulo: punto en el cual la potencia efectiva radiada está en un mínimo
- Ancho del haz a media potencia: diferencia angular entre los puntos en donde se tiene la mitad de potencia máxima, esto es 3dB, debajo del máximo.
- Ancho del haz entre ceros: diferencia angular entre los puntos en donde el lóbulo principal toma un valor nulo.

#### **1.3.1.3. Directividad**

Es la relación entre la densidad de potencia de una antena en la dirección del máximo,  $U_M$ , y la densidad de potencia de una antena isotrópica,  $U_i$ , que radia con la misma potencia. Se expresa de la siguiente forma:

$$D = \frac{U_L}{U_i}$$

#### **1.3.1.4. Ganancia**

Se define como la cantidad de energía radiada en alguna dirección comparada con la energía que podría radiar una antena isotrópica en la misma dirección.

La ganancia máxima está dada en relación de la dirección máxima de radiación. Su definición es similar a la de directividad, pero la comparación no

se establece con la potencia radiada, si no con la potencia  $U$  entregada a la antena:

$$G = \frac{U}{U_i}$$

### 1.3.1.5. Impedancia

La impedancia de una antena se establece como la relación entre la tensión y la corriente en sus terminales de entrada:

$$Z = \frac{V}{I}$$

Generalmente ésta relación es de forma compleja:

$$Z = R_a + jX_a$$

donde  $R_a$  representa la resistencia y  $X_a$  la reactancia de la antena. La resistencia se constituye por dos partes de la forma:

$$R_a = R_r + R_\Omega$$

donde  $R_r$  es la resistencia de radiación, la cual se define como la relación entre la potencia total radiada y el valor eficaz de la corriente en sus terminales de entrada, y  $R_\Omega$  es resistencia óhmica, que se define como la relación entre la potencia disipada por efecto de pérdidas resistivas y la corriente en sus terminales al cuadrado.

### **1.3.1.6. Eficiencia**

Es la relación entre la potencia radiada y la potencia entregada a la antena. Para calcular dicha relación se toma en cuenta solamente la parte resistiva de la antena, de lo cual resulta:

$$\eta = \frac{R_r}{R_r + R_\Omega}$$

### **1.3.1.7. Polarización**

Se refiere a la orientación del campo eléctrico radiado por la antena, la cual puede ser polarizada en forma lineal, generalmente horizontal o vertical, en forma elíptica o circular.

## **1.3.2. Tipos de antenas**

Las antenas se pueden clasificar de acuerdo a las siguientes características:

- Patrón de radiación: está relacionado con la directividad de una antena, parámetro por el cual se pueden clasificar como:
  - Omnidireccionales: irradian aproximadamente con la misma potencia en todas las direcciones del plano horizontal o vertical, según la polarización.
  - Sectoriales: irradian en un área específica
  - Directivas: son antenas sectoriales pero con un haz mucho más angosto que éstas, además de tener mayor ganancia.

- Geometría y construcción: se debe a la forma física o la disposición de los elementos de la antena. El tamaño de la antena se debe a la relación (1.1).

Esta clasificación es útil para determinar diferenciar los tipos de antenas, siendo los principales los descritos a continuación.

#### **1.3.2.1. Antena de dipolo**

Es la antena más simple de todas, consiste en dos elementos conductores rectilíneos colineales de igual longitud alimentados en el centro. Su diagrama de radiación, en general, es onmidireccional presentando la potencia mayor sobre el plano tangente al centro del dipolo y el menor valor en dirección paralela al mismo. Su polarización es igual a la posición en la cual se coloque la antena y en el espacio ideal, a una distancia de la tierra mayor a varias longitudes de onda, la impedancia del dipolo simple es de 73 Ohm. Existen algunas variantes para éste que resultan de la posición geométrica o la alimentación de los elementos de la antena.

**Figura 4. Antena de dipolo corto**



Fuente: Antenas. <http://redcin.blogspot.com/p/antenas.html>.

Consulta: 23 de diciembre de 2012.

### **1.3.2.2. Antena de monopolio**

Es una antena constituida de un solo elemento rectilíneo colocado en posición vertical. Debido a esta situación se le considera como una antena de dipolo incompleta, y por tal razón se complementa con un plano de tierra, natural o artificial, para su correcto funcionamiento. La alimentación del monopolio es en la base y de forma asimétrica.

En comparación en el dipolo, los parámetros del monopolio son la mitad que los de éste, siendo la única excepción la directividad, la cual es el doble ya que la potencia irradiada se concentra solamente sobre la región del plano.

**Figura 5. Antena de monopolio**



Fuente: Redes Inalámbricas en los países en desarrollo. <http://wndw.net/pdf/wndw3-es/wndw3-es-ebook.pdf>. Consulta: 5 de diciembre de 2012.

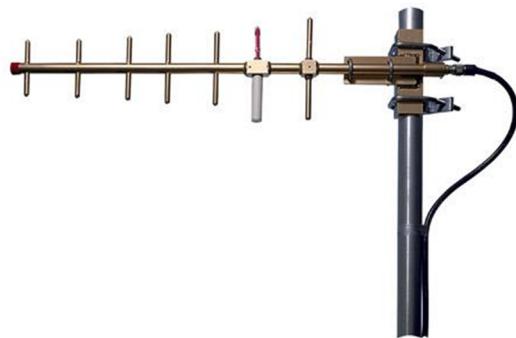
### **1.3.2.3. Antena yagi**

Consiste en una estructura simple de dipolo combinado con elementos parásitos, uno denominado elemento director y los demás denominados elementos reflectores. El director se coloca delante de la antena y refuerza la

señal en el sentido de emisión. Los elementos reflectores se colocan detrás y bloquean la captación de señales en la dirección opuesta al emisor.

Su funcionamiento es el siguiente: la radiación del dipolo induce corrientes en los elementos parásitos los cuales a su vez también irradian campo electromagnético y provocan corrientes en los demás, de tal forma que el campo resultante es la combinación del campo generado por cada uno de los elementos. La disposición física de los elementos hacen que la antena sea más directiva, pero con menor potencia que el dipolo simple debido a una reducción significativa en la resistencia de radiación de éste.

Figura 6. **Antena yagi**



Fuente: MEDAK, Medak. Antena Yagi-Uda.

<http://antenasulat2012.blogspot.com/p/funcionamiento-de-la-antena-yagi.html>. Consulta: 24 de diciembre de 2012.

#### 1.3.2.4. **Antena parabólica**

Es una antena de gran ganancia y directividad, constituida por un plato reflector con forma de paraboloides, en el cual se reflejan las ondas de radio recibidas o transmitidas por una antena a un punto focal. Cuando la antena

transmite, los frentes de onda irradiados por el elemento en el foco son inicialmente esféricos y al reflejarse en la superficie del paraboloide éstos se convierten en frentes de onda planos, produciendo así ondas más coherentes que otras antenas. En el caso de que la antena sea receptora, el paraboloide concentra los frentes de onda recibidos hacia el foco. Una ventaja significativa de este tipo de antena es que a través de ellas se puede establecer una comunicación *full-duplex*.

Debido a la posición del foco se pueden diferenciar los siguientes tipos:

- Foco centrado: el reflector se encuentra centrado respecto al foco
- Foco desplazado: el reflector se encuentra desplazado respecto al centro, esto se hace para evitar sombra del alimentador lo que las hace más eficientes.
- Cassegrain: tiene un segundo reflector cercano al foco para reflejar la onda transmitida o recibida al foco principal.

Figura 7. **Antena parabólica con foco desplazado**



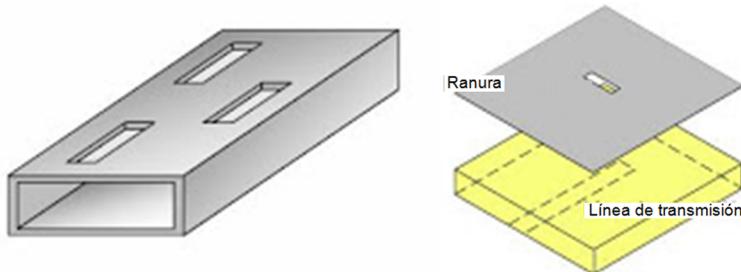
Fuente: Antena parabólica. <http://lizzi-nicole.wikispaces.com/4.3+Antena+parabólica>.

Consulta: 26 de diciembre de 2012.

### **1.3.2.5. Antena de ranura**

Consiste en una placa del metal con una o más ranuras con una disposición, forma y tamaño que determina la frecuencia y desempeño de la antena. Básicamente sus características de radiación son bastante similares a las del dipolo, además son fáciles de construir e integrar en diseños existentes, con un bajo costo. Es utilizada normalmente en las frecuencias entre 300 MHz y 24 GHz.

Figura 8. **Antena de ranura**



Fuente: VILLENA, Rafa. Antenas para todos.

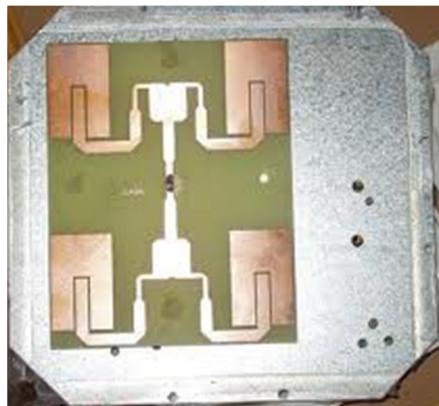
<http://antenasparatodos.blogspot.com/2008/06/antenas-planas-alimentacion-de-ranuras.html>.

Consulta: 27 de diciembre 2012.

### **1.3.2.6. Antena microstrip**

Está constituida por un parche metálico, con dimensiones comparables con la longitud de onda, un sustrato dieléctrico sin pérdidas y un plano de tierra. Este tipo de antena es muy liviana y puede emular en cierto porcentaje cualquiera de las antenas descritas anteriormente, con la salvedad de que debido a su construcción no son muy potentes y funcionan para frecuencias muy específicas.

Figura 9. **Antena microstrip**



Fuente: 14dbi 18dbi and 20.5dbi pcb panel wifi antenna for 2.4ghz and 23dbi for 5ghz band.  
<http://www.digdice.com/2007/07/14dbi-18dbi-and-205dbi-pcb-panel-wifi-antenna-for-24ghz-and-23dbi-for-5ghz-band/>. Consulta: 29 de diciembre 2012.

### 1.3.2.7. Arreglo

Es un conjunto de antenas, generalmente iguales, unidas bajo ciertas condiciones y orientadas en la misma dirección. En un arreglo, cada antena tiene una disposición física determinada y la alimentación de cada una es controlada en amplitud y fase, de forma que se puede concentrar la radiación en las direcciones deseadas.

De acuerdo a estas características existen dos clasificaciones para los arreglos, una debida a la dispersión física de las antenas:

- Arreglos lineales: los elementos están dispuestos sobre una línea
- Arreglos planos: los elementos están dispuestos sobre un plano
- Arreglos conformados: los elementos están dispuestos sobre una superficie curva.

Y la segunda se debe a la separación y fase de cada elemento:

- Broadside: la separación entre las antenas es de media longitud de onda y las corrientes de éstas se encuentran en fase.
- Endfire: la separación entre las antenas es un cuarto de la longitud de onda, y las corrientes no se están en fase.

Figura 10. **Arreglo conformado por dipolos cortos**



Fuente: DF Antenna Arrays. [http://ka7oei.com/emm2a\\_ant.html](http://ka7oei.com/emm2a_ant.html).

Consulta: 29 de diciembre de 2012



## **2. REDES**

### **2.1. ¿Qué es una red?**

Es un conjunto de dispositivos interconectados con la finalidad de compartir información, recursos o servicios entre sus terminales. Este intercambio se da a través de la transmisión de impulsos eléctricos o de ondas electromagnéticas.

#### **2.1.1. Modelo OSI**

El Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos OSI, (Open Systems Interconnection), es un modelo de referencia para las comunicaciones de red. En sus inicios se utilizaba como un marco de trabajo conceptual, llegando a ser el estándar internacional para las comunicaciones de red, y aunque es puramente conceptual, en la actualidad sigue siendo utilizado para describir y explicar protocolos reales.

Su origen se debe al enorme crecimiento de las redes a principios de 1980, ya que éstas utilizaban distintas especificaciones y al implementarlas se tenían dificultades para establecer comunicación entre redes que utilizarán dispositivos que no fueran del mismo fabricante. Por esta razón la Organización Internacional para la Estandarización ISO, (International Standard Organization), se dio a la tarea de desarrollar un modelo de red que ayudará a los fabricantes, normalizando las características mínimas con las que los dispositivos de red deben contar, siendo éste el Modelo OSI.

El modelo divide en siete capas el proceso de comunicación entre equipos informáticos, delegando a cada capa un trabajo específico bajo una jerarquía bien definida, facilitando así el diseño de pilas de protocolos. A pesar de que la función en cada capa es independiente, cada una se apoya de los servicios prestados por la anterior. A continuación se describen cada una de las capas.

#### **2.1.1.1. Capa física**

Es la capa más baja del modelo, se encarga de la transmisión y recepción de bits a través de un medio físico. En ella se describen las condiciones eléctricas, mecánicas y funcionales de la comunicación. Sus principales funciones son:

- Transmisión de los bits en el medio
- Especificar los niveles eléctricos de transmisión
- Especificar las funciones que van a realizar cada uno de los pines de los conectores.
- Definir el medio a través del cual se van a transmitir los datos
- Garantizar la conexión física
- Definir la modulación de la señal
- Amplificar y retemporizar la señal

#### **2.1.1.2. Capa de enlace**

Es la encargada de proporcionar una transferencia de datos de un nodo a otro sin errores en la trama. Sus principales funciones son:

- Direccionamiento físico
- Establecimiento y finalización de vínculo

- Control de tráfico y acceso al medio
- Comprobación de errores
- Confirmación, secuencia y comprobación de trama

#### **2.1.1.3. Capa de red**

Es la encargada de proporcionar la conectividad y enrutamiento de paquetes entre redes, aunque éstas no tengan conexión directa. Sus principales funciones son:

- Enrutamiento
- Control de tráfico de red
- Fragmentación de tramas
- Asignación de direcciones lógico/físico

#### **2.1.1.4. Capa de transporte**

Proporciona un método para obtener un servicio particular en un nodo de red específico, su unidad de mensaje se denomina datagrama. Sus funciones son:

- Garantizar que el mensaje sea entregado sin errores
- Segmentación del mensaje
- Confirmación de recepción de mensaje
- Control de tráfico de mensajes
- Multiplicación de sesión

Si se cumple con la tercera característica, el protocolo tiene conexión con redundancia TCP, y si no la cumple el protocolo está orientado para la transmisión continua de datos UDP.

#### **2.1.1.5. Capa de sesión**

Al proceso mediante el cual dos equipos ejecutan una misma aplicación a través de un enlace se denomina sesión. Sus principales funciones son:

- Establecer, mantener, controlar y finalizar la sesión
- Control de diálogo
- Agrupamiento y recuperación de datos

#### **2.1.1.6. Capa de presentación**

Es la encargada de la representación de datos, su función es similar a la de un traductor ya que aunque los datos se pueden representar de distintas formas para cada equipo el significado debe de ser el mismo. Sus principales funciones son:

- Formateo de datos
- Cifrado de datos
- Conversión y compresión de datos

#### **2.1.1.7. Capa de aplicación**

Esta capa define los protocolos que utilizan las aplicaciones para intercambiar datos y así poder acceder a los servicios de las demás capas. Los programas con los que el usuario interactúa generalmente no se encuentran en

esta capa, sin embargo tienen una relación directa con ella. Sus principales funciones son:

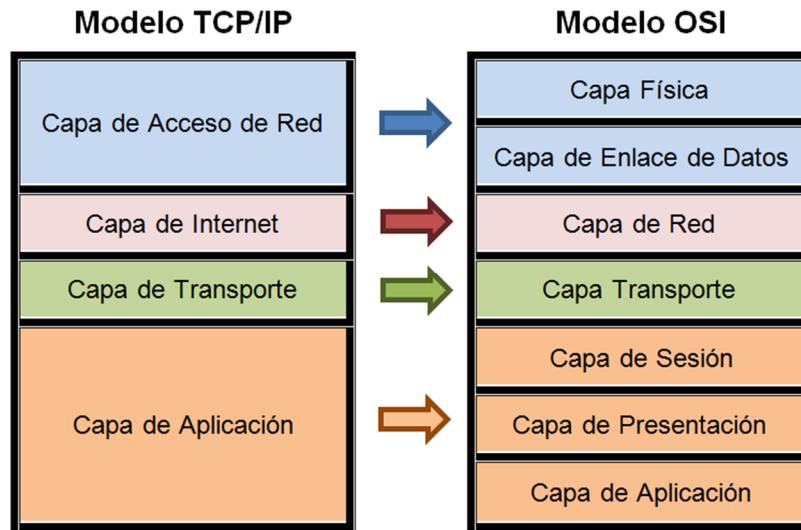
- Redireccionamiento de dispositivos
- Uso compartido de recursos
- Administración y control de red
- Mensajería electrónica
- Terminales de red virtual

### **2.1.2.      Modelo TCP/IP**

Describe un conjunto de guías para el diseño e implementación de protocolos de red específicos. A diferencia del modelo OSI no constituye un estándar internacional, sin embargo su estudio es de vital importancia ya que este modelo es la base sobre la cual se desarrolló el internet.

De forma análoga al modelo OSI, TCP/IP provee conectividad de extremo a extremo con la misma secuencia, es decir, los datos descienden por la pila de protocolos del emisor y escalan en el extremo del receptor, especificando cómo deben ser formateados, direccionados, transmitidos, enrutados y recibidos los datos por el destinatario. La gran diferencia entre los modelos radica en el número de capas y como estas se distribuyen, ya que a pesar de que algunas llevan el mismo nombre del modelo OSI, sus funciones y servicios son variables con cada tipo de red. La siguiente figura muestra la comparación entre los dos modelos.

Figura 11. Comparación entre el modelo TCP/IP y el modelo OSI



Fuente: elaboración propia, con programa de Paint.

## 2.2. Tipos de redes

Las redes se clasifican según tres parámetros:

- Velocidad de acceso
- Distancia cubierta
- Tipo de propiedad/explotación

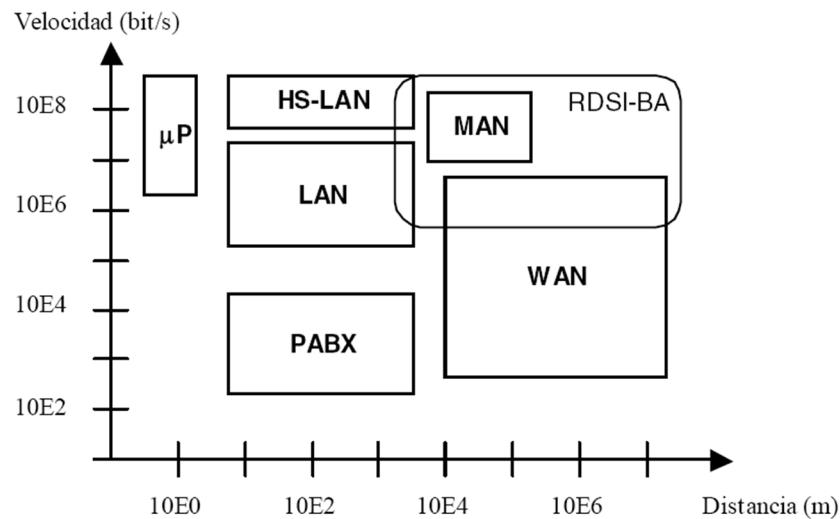
Según esta clasificación se dividen los tipos de redes en:

- Redes de Área Local, LAN (Local Área Network): son redes con una reducida distancia de cobertura (200 m a 5 Km), altas velocidades de acceso (0.2 a 16 Mbps, actualmente hasta 1 Gbps) y propiedad/explotación privada en el sentido que generalmente la

infraestructura de red pertenece a una organización que presta sus servicios.

- Redes de Área Metropolitana, MAN (Metropolitan Área Network): distancia de cobertura mediana (10 a 50 km), velocidades de acceso muy elevadas (30 a 150 Mbps, actualmente hasta 10 Gbps) y propiedad/explotación público y privado.
- Redes de Área Amplia, WAN (Wide Area Network): son redes con una amplia distancia de cobertura (100 a 20,000 km), moderadas velocidades de acceso (1 a 64 Kbps, actualmente hasta 2 Mbps) y propiedad/explotación pública.

Figura 12. Ámbito de aplicación de los distintos tipos de redes



Fuente: HESSELBACH, Xavier; BOSCH, Jordi Altés. Análisis de redes y sistemas de comunicaciones. p. 27.

## **2.3. Topologías de red**

Una topología de red se refiere a la disposición física de los elementos de dicha red, es decir, la forma en que se interconectan estos elementos mediante recursos de comunicación. Cada topología se clasifica de acuerdo a los siguientes parámetros comparativos:

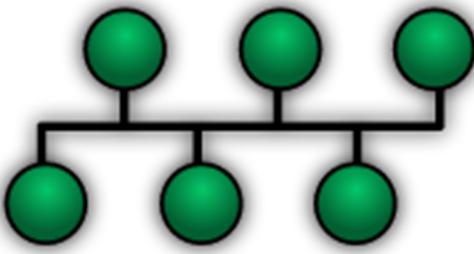
- Costo-Modularidad: valor de los elementos, sencillez y mantenimiento de los mismos.
- Flexibilidad-Complejidad: dificultad de agregar o eliminar elementos de la red.
- Fiabilidad-Adaptabilidad: estabilidad y respuesta al fallo a través de procedimientos alternativos.
- Dispersión-Concentración: separación relativa entre los elementos de la red.
- Retardo Caudal: capacidad para manejar grandes flujos de información sin tener bloqueos o congestiones.

A continuación se describen los principales tipos de topología.

### **2.3.1. Bus**

Todos los nodos se encuentran unidos por un único enlace común, es fácil de implementar, manejar y expandir, pero se debe de considerar que la calidad de la señal depende del número de elementos de la red. Su principal desventaja es que al dañarse el bus principal en algún punto la red deja de funcionar.

Figura 13. **Topología de bus**



Fuente: Topología de Red. [http://es.wikipedia.org/wiki/Topolog%C3%ADa\\_de\\_red](http://es.wikipedia.org/wiki/Topolog%C3%ADa_de_red).

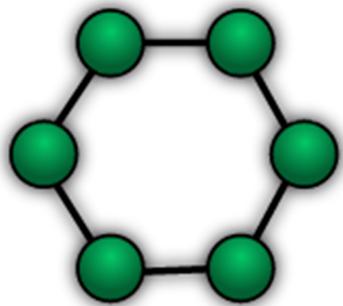
Consulta: 12 de enero de 2013.

### 2.3.2. Anillo

Los elementos de la red son conectados de forma consecutiva, cada uno de ellos tiene un puerto de entrada y salida, operando como un transductor de la información, remitiéndola hacia el siguiente elemento de la red, lo cual hace que se mantenga un nivel óptimo de la señal. Esta característica permite incrementar el número de elementos en la red sin que decaiga el rendimiento.

Debido a que el flujo de datos se da en una sola dirección una avería en algún equipo o una interrupción en el conductor provoca que se pierda la red, por ello se suele utilizar un anillo doble, de forma que se puedan enviar datos en ambas direcciones. Esto también evita colisiones, la desventaja es que el costo se incrementa.

Figura 14. **Topología de anillo**



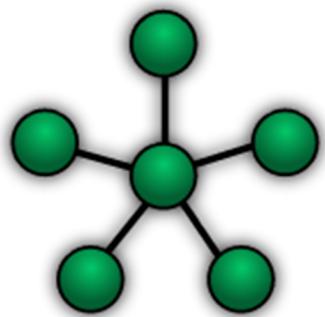
Fuente: Topología de Red. [http://es.wikipedia.org/wiki/Topolog%C3%ADa\\_de\\_red](http://es.wikipedia.org/wiki/Topolog%C3%ADa_de_red).  
Consulta: 12 de enero de 2013.

### 2.3.3. **Estrella**

Todos los elementos de la red están conectados a un dispositivo de distribución central. La capacidad, calidad y funcionamiento de la red está determinado directamente por las características de este dispositivo.

En relación con las topologías anteriores es mucho más costosa, pero se elimina la dependencia sobre todos los elementos de la red para garantizar funcionamiento de la misma, ya que si un extremo falla solamente éste se desconecta de la red, sin perjudicar a los demás.

Figura 15. **Topología de estrella**



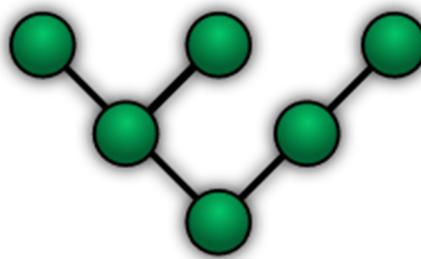
Fuente: Topología de Red. [http://es.wikipedia.org/wiki/Topolog%C3%ADa\\_de\\_red](http://es.wikipedia.org/wiki/Topolog%C3%ADa_de_red).  
Consulta: 12 de enero de 2013.

#### 2.3.4. Árbol

Se puede considerar como un conjunto de redes tipo estrella, interconectadas a través de cada uno de sus elementos centrales con un concentrador general, el cual controla el tráfico de la red. Su principal característica es la segmentación de la red pero a un costo mucho mayor que la estrella.

Cada una las ramas integran las redes secundarias de esta topología, una avería en el concentrador general provoca un fallo global en la red, pero cada red secundaria puede seguir funcionando localmente. Si la avería se da en un dispositivo central secundario, solamente se verá afectada la red local que controla este dispositivo, sin afectar el funcionamiento global.

Figura 16. **Topología de árbol**



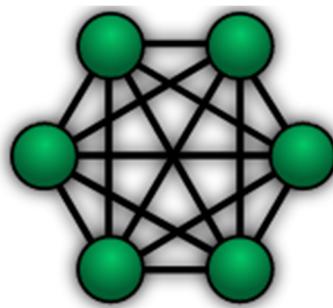
Fuente: Topología de Red. [http://es.wikipedia.org/wiki/Topolog%C3%ADa\\_de\\_red](http://es.wikipedia.org/wiki/Topolog%C3%ADa_de_red).

Consulta: 12 de enero de 2013.

#### 2.3.5. **Malla**

Todos los elementos de la red se encuentran interconectados entre sí, por lo que no existe una dependencia sobre algún elemento en particular, lo que permite mantener un enlace utilizando una gran combinación de caminos. Con esto se consigue eliminar absolutamente la interrupción en la comunicación.

Figura 17. **Topología de malla**



Fuente: Topología de Red. [http://es.wikipedia.org/wiki/Topolog%C3%ADa\\_de\\_red](http://es.wikipedia.org/wiki/Topolog%C3%ADa_de_red).

Consulta: 12 de enero de 2013.

## **2.4. Dispositivos de red**

Cada elemento que conforma la red constituye un dispositivo de red, sin embargo usualmente se utiliza este término para denominar así a los concentradores de red, los cuales permiten estructurar la red en cada una de las topologías. A continuación se describe cada uno de ellos.

### **2.4.1. Hub**

Es un dispositivo que permite centralizar el cableado Ethernet en una red local, trabajando en la parte física del modelo OSI. Un Hub repite las señales recibida en alguno de sus puertos en todos los demás, por lo que solamente uno de éstos puede transmitir a la vez. En el momento en que dos dispositivos intentan transmitir simultáneamente se produce una colisión, por lo que se intenta transmitir nuevamente después de un tiempo.

La cantidad de puertos varía de acuerdo con el modelo y fabricante del dispositivo. Actualmente se prefiere utilizar un Switch debido a que su diferencia en costo mínima y se obtiene mejor rendimiento en la red.

### **2.4.2. Switch**

Su función es la misma que la de un Hub, pero la forma en que lo hace diferente en gran medida, debido a que proporciona una conexión dedicada entre puertos. Esto significa que no repite toda la señal en todos los puerto, sino que determina a través de un direccionamiento MAC cuales puerto se están comunicando directamente y los interconecta de forma lógica temporalmente. Por esta razón se pueden generar varias transmisiones de forma simultánea.

Estos dispositivos trabajan en la capa de enlace del modelo OSI, para su funcionamiento almacenan las direcciones MAC de los dispositivos conectados en sus puertos, esto permite que la información dirigida a un dispositivo vaya desde el puerto origen al puerto destino.

#### **2.4.3. Router**

Es un dispositivo que proporciona conectividad en la capa de red del modelo OSI, su principal función es la de interconectar redes encaminando los datos entre éstas.

Para realizar el encaminamiento o enrutamiento cada dispositivo de red es identificada mediante su dirección IP y almacenadas en el Router. Para realizar una conexión se almacenan los paquetes se verifica ruta de la dirección destino y se reenvía, en el proceso se puede pasar por varios Routers hasta llegar al destinatario.

### **2.5. Redes Wifi**

Wifi (Wireless fidelity) constituyen un tipo de red en que los dispositivos se comunican utilizando de forma inalámbrica, normalizadas por el estándar 802.11. Se conforma por un sistema de distribución (Routers, Access Point, etc), terminales o estaciones finales (computadoras, impresoras, etc.) y un conjunto de servicios. Sus principales ventajas son:

- Bajo costo
- Alta flexibilidad
- Alta movilidad
- Alta comodidad para el usuario

Y sus principales desventajas:

- Baja fiabilidad
- Velocidades bajas
- Distancia de cobertura limitada
- Nivel de seguridad bajo
- Distribución de frecuencias normalizadas
- Incompatibilidad con otros tipos de sistema inalámbricos

#### **2.5.1. IEE802.11**

Define el uso de los niveles inferiores del modelo OSI para las Red de Área Local inalámbrica (WLAN), de la siguiente forma:

- Capa física: define la modulación de las ondas de radio y las características de señalización para la transmisión de datos, ofrece tres tipos de codificación de información,
  - Infrarrojo (IR)
  - Espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS)
  - Espectro ensanchado por frecuencia directa (DSSS)
- Capa de enlace de datos: define la interfaz entre el bus del equipo y la capa física y las reglas para la comunicación entre las estaciones de la red, está compuesta por dos subcapas:
  - Control de enlace lógico (LLC)
  - Control de acceso al medio (MAC)

En su versión original, IEEE 802.11 legacy, el estándar permite dos velocidades teóricas de transmisión, 1 y 2 Mbps, a través de señales

infrarrojas. A partir de éste se han realizado muchas modificaciones, a continuación se describen las principales:

- IEEE 802.11a: admite un ancho de banda con una velocidad máxima de 54 Mbps (30 Mbps en la práctica), provee doce canales en la banda de frecuencia de 5 GHz, ocho para red inalámbrica y cuatro para conexiones punto a punto.
- IEEE 802.11b: es el más utilizado actualmente, ofrece un rendimiento total máximo de 11 Mbps (6 Mbps en la práctica) y tiene un alcance de hasta 300 metros en un espacio abierto. Utiliza el rango de frecuencia de 2,4 GHz.
- IEEE 802.11d: complemento del estándar 802.11, considerado para permitir el uso internacional de las redes 802.11 locales. Permite que distintos dispositivos intercambien información en rangos de frecuencia según lo que se permite en el país de origen del dispositivo.
- IEEE 802.11e: destinado a mejorar la calidad del servicio en la capa de enlace de datos. Define los requisitos de diferentes paquetes en cuanto a la velocidad y al retardo de transmisión para permitir mejores transmisiones de audio y vídeo.
- IEEE 802.11f: es una recomendación para proveedores de puntos de acceso, para mejorar la compatibilidad de los dispositivos. Determina un protocolo para proveer al usuario conectividad mientras se encuentra en movimiento, pasando de un punto de acceso a otro.

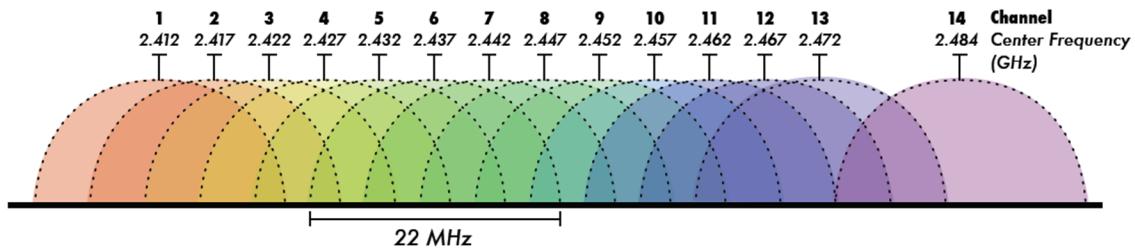
- IEEE 802.11g: mejora del 802.11b, opera en el mismo rango de frecuencia pero ofrece una velocidad máxima de 54 Mbps (30 Mbps en la práctica) en el rango de frecuencia de 2,4 GHz.
- IEEE 802.11i: destinado a mejorar la seguridad en la transferencia de datos, se basa en el Estándar de Cifrado Avanzado (AES) y puede cifrar transmisiones que se ejecutan en las tecnologías 802.11a, 802.11b y 802.11g.
- IEEE 802.11k: permite a los conmutadores y puntos de acceso inalámbricos calcular y valorar los recursos de radiofrecuencia de los clientes de una red WLAN, mejorando así su gestión.
- IEEE 802.11n: ofrece una velocidad real de transmisión de 300 Mbps, además de poder trabajar en dos bandas de frecuencias: 2,4 GHz y 5 GHz, de forma que es compatible con todas las versiones anteriores.

### **2.5.2. Canales**

Son subdivisiones en el espectro electromagnético para los rangos utilizados por WiFi según el estándar 802.11. Usualmente se hace referencia a estos rangos como: 2.4 GHz y 5 GHz.

Para 2.4 GHz, se tienen 14 canales separados por 5 MHz. El problema de esta distribución es que cada canal necesita 22MHz de ancho de banda para operar, por lo que se produce solapamiento entre canales contiguos.

Figura 18. Distribución de canales, 2,4 MHz.



Fuente: Redes Inalámbricas en los países en desarrollo. <http://wndw.net/pdf/wndw3-es/wndw3-es-ebook.pdf>. Consulta 5 de diciembre de 2012.

Como se puede observar en la figura, el canal uno se traslapa con los canales del dos al cinco, por lo que los dispositivos que emitan en ese rango de frecuencias pueden generar interferencias. De forma que cualquier canal que se elija tiene solapamiento, por lo que un procedimiento ha de realizar, en el momento de implementar una red Wifi, es estudiar cómo están distribuidas las demás redes en la región. Una vez conocido esto se debe utilizar el canal con menor interferencia.

En la actualidad la mayor parte de dispositivos operan en el primer rango mencionado debido a que a banda de 5 GHz ha sido recientemente habilitada. Es importante destacar que cada país y zona geográfica aplica sus propias restricciones al número de canales disponibles, por lo que este es otro factor que se debe de considerar.

### **3. ENLACES**

#### **3.1. Presupuesto de potencia**

Un presupuesto de potencia consiste en realizar los cálculos para las ganancias y pérdidas en un enlace, con la finalidad de garantizar el funcionamiento de éste. La elaboración de un presupuesto permite determinar el diseño y equipo adecuado para el radioenlace. Su estudio se divide en tres partes:

- El lado de transmisor
- Pérdidas en la propagación
- El lado del receptor

De acuerdo a esta división se pueden considerar los siguientes factores:

##### **3.1.1. Cables y conectores**

Se encuentran presentes en ambos extremos del enlace. Las pérdidas en ellos se deben a la atenuación de la señal al propagarse en el medio conductor que conecta el transmisor/receptor con la antena. Sus principales características son:

- El cable debe ser lo más corto posible, generalmente la pérdida en por cable varía desde 0.1 dB/m hasta 1.0 dB/m.

- Se debe de minimizar el número de uniones entre cables, se manejan valores típicos de pérdida de 0.25 dB por conector.
- Se debe evitar doblar el cable en ángulos agudos
- Su eficiencia depende de la frecuencia, generalmente existe una proporcionalidad directa entre pérdida y frecuencia.
- Menores pérdidas significa mayor costo, además no existe un cable o conector en el cual no se tenga ninguna pérdida.

### **3.1.2. Amplificador**

Es utilizado para incrementar la amplitud de la señal en el transmisor o receptor a través de una fuente de alimentación externa. Generalmente su uso se limita a compensar las pérdidas en la señal debidas al cable y conectores dado que puede presentar los siguientes problemas:

- Puede cambiar características en la frecuencia de la señal
- Incrementa la señal y el ruido en ella, un amplificador que minimice el ruido de la señal mucho más costoso.
- Al ser un dispositivo electrónico adiciona ruido a la señal

### **3.1.3. Ganancia de las antenas**

Aunque en un radioenlace todos los parámetros de las antenas descritos en el capítulo uno son importantes, el de mayor consideración para el presupuesto de potencia es la ganancia. No se debe de confundir este con la amplificación, ya que la ganancia caracteriza a la antena, mientras que la amplificación forma parte de la circuitería interna de la estación, pudiendo ser omitido del sistema.

### **3.1.4. Pérdidas en el espacio libre**

También llamadas pérdidas de dispersión, se deben al simple hecho de la propagación de las ondas en el espacio. En un medio isotrópico, lineal y homogéneo realmente no existe una pérdida de energía, sino un efecto de dispersión de la señal según se aleja del transmisor. La pérdida en el espacio libre es proporcional con:

- El inverso de la distancia al cuadrado
- El inverso de la frecuencia al cuadrado

### **3.1.5. Sensibilidad**

Es un factor que se encuentra solamente en el lado de la recepción, establece el valor mínimo de señal necesario que se necesita para poder diferenciar entre un uno o cero lógicos, es decir para poder decodificar la señal. Cuanto más bajo sea este factor, mejor será la recepción del radio.

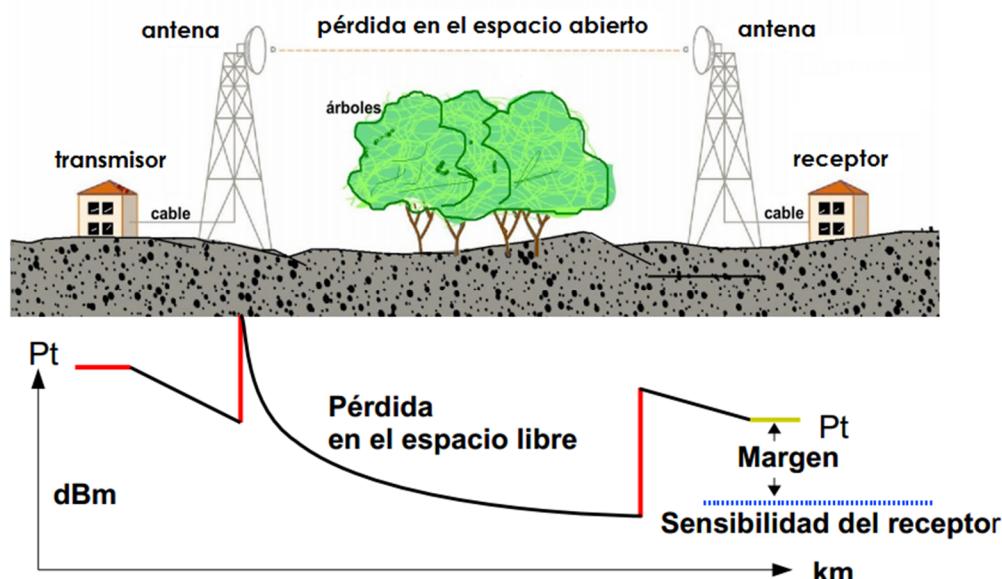
## **3.2. Balance general de potencia**

El presupuesto general de potencia constituye la adición de todos los factores anteriormente mencionados y se sintetiza a través de la ecuación denominada: balance general de potencia, también referido como Fórmula de Friis. A continuación se presenta dicha fórmula, aunque se ha de advertir que no se consideran todos los factores que en realidad contiene, debido a que la extensión de la misma implica un desarrollo más riguroso y detallado de forma matemática.

$$P_m = P_t + (G_t + G_r) - (L_t + L_r) + (A_t + A_r) - 20\log_{10}(d) - 20\log_{10}(f) - 32.44$$

Cada uno de los subíndices t y r hacen referencia al sistema transmisor y receptor.  $P_m$  es la potencia marginal, la cual debe ser mayor o igual a la sensibilidad del receptor para que el enlace funcione,  $P_t$  es la potencia de transmisión, por lo que una vez conocida la sensibilidad del receptor, es muy común resolver la ecuación para esta variable en lugar de la potencia marginal. Las letras G hacen referencia a la ganancia de cada antena, L son las pérdidas en cables y conductores, d es la distancia del radioenlace en kilómetros, f es la frecuencia de transmisión en Megahertz y la constante se debe a un arreglo dimensional. Todas las variables que constituyen la expresión, a excepción de las tres últimas, están dadas en decibelios. La siguiente figura muestra un esquema básico de cómo se distribuye la potencia en un sistema de comunicación punto a punto.

Figura 19. Esquema de radioenlace y curva de potencia



Fuente: [http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless\\_es/files/06\\_es\\_calculo-de-radioenlace\\_presentacion\\_v02.pdf](http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/06_es_calculo-de-radioenlace_presentacion_v02.pdf). Consulta: 30 de enero 2013.

### **3.3. Consideraciones de montaje**

Son el conjunto de factores para evaluar la factibilidad e implementación de un radioenlace. Debido a su naturaleza se pueden dividir en dos grupos, uno relacionado con el todo que integra los sistemas de comunicación y otro que considera específicamente a las antenas, dichos grupos son:

- Caracterización del medio
- Consideraciones de instalación

#### **3.3.1. Caracterización del medio**

Describe las condiciones físicas y meteorológicas de los lugares en donde se llevaran a cabo la instalación de los equipos. Es muy importante contar con una documentación adecuada del lugar antes de llegar a realizar la instalación. Un buen conocimiento previo de las circunstancias permitirá una elección óptima de equipo y protección para el mismo. En muchas ocasiones será necesario colocar torres o soportes para las antenas, por lo que debe de contar con un terrón sólido para su instalación. También se debe investigar los lugares y condiciones sobre los cuales se propagará la señal, para evitar distorsiones o interferencias en la misma.

#### **3.3.2. Consideraciones de instalación**

A continuación se describen las consideraciones básicas que se deben de tener en cuenta en el momento de realizar el montaje de un sistema de comunicación inalámbrico.

### **3.3.2.1. Línea de vista**

Para la luz visible, la línea de vista es un concepto fácil de entender y comprobar y constituye una trayectoria de vista directa entre dos puntos. Aunque en los radioenlaces parece ser más sofisticado, el concepto es el mismo. La complejidad radica en hecho de que las distancias entre los dos puntos es tan grande, que en ocasiones no es posible, estando situado en el transmisor, ver al receptor, aunque se utilicen instrumentos de visión a largo alcance. Debido a esto se deben utilizar otro método para determinar si existe una trayectoria directa entre las dos antenas, para ellos se hace uso de mapas en relieve y del Sistema de Posicionamiento Global, GPS. El uso de mapas en relieve toma mayor importancia cuando se consideran las zonas de Fresnel.

### **3.3.2.2. Zona de Fresnel**

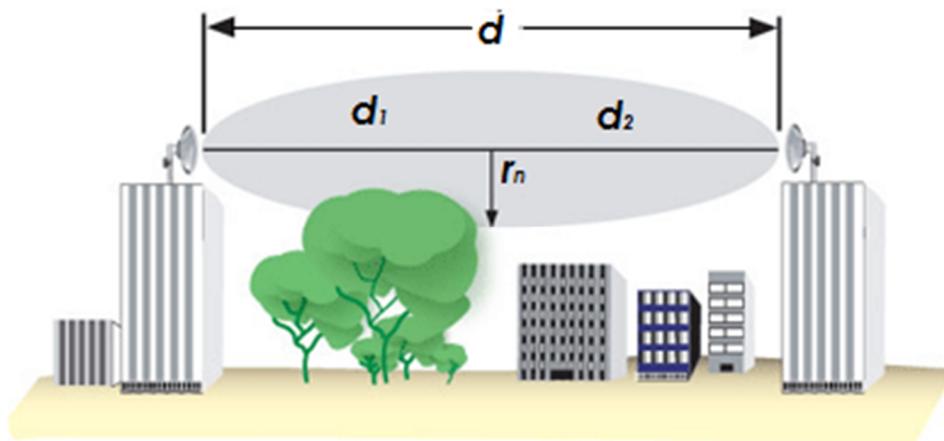
El tener una línea directa entre los dos transmisores no garantiza un enlace óptimo. Según el principio de Huygens los puntos que no están en dicha línea también radian potencia hacia el receptor, es decir, las ondas viajan en zonas con forma de elipsoide de revolución, a la cuales se denominan zonas de Fresnel. Además de obstrucciones directas también se debe evitar la difracción, causada por la obstrucción parcial de cualquier objeto fijo. Cada zona comprende una difracción máxima, la cual es un múltiplo de  $180^\circ$ .

De forma general el radio para la  $n$ -ésima zona,  $r_n$ , para una frecuencia de transmisión  $\lambda$ , está dada por la expresión:

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

donde  $n$  es la zona para la cual se quiere determinar el radio,  $d_1$  es la distancia de una antena hacia algún punto sobre la línea de trayectoria directa y  $d_2$  el complemento, es decir la distancia de dicho punto hacia la otra antena.

Figura 20. **Ejemplo de zona de Fresnel para una región urbana**



Fuente: <http://asterion.almadark.com/2008/11/30/las-zonas-fresnel-y-el-alcance-de-los-equipos-de-radio-frecuencia/>. Consulta: 2 de febrero de 2013.

La fase de una onda en el trayecto directo es de  $0^\circ$ , la primera zona abarca hasta que la fase llegue a  $180^\circ$ , la segunda zona hasta  $360^\circ$ , y así sucesivamente, además las zonas impares contribuyen constructivamente y las pares lo hacen de forma destructiva. En un enlace se trabaja solamente con la primera zona y se admite una obstrucción máxima de 40% para la misma. En enlaces en zonas urbanas se debe de tener en cuenta que la mayor parte de los edificios no se encuentran registrados en los mapas en relieve, por lo que debe de estudiar la región con mayor detalle.

### **3.3.2.3. Alineación de las antenas**

Constituye la parte más difícil de la instalación. Dependiendo de la distancia del enlace es necesario contar con instrumentos adicionales como brújulas, dispositivos GPS, mapas, cámaras, etc. Para una que el proceso de alineación se lleve a cabo de la mejor forma, es necesario tener en cuenta lo siguiente:

- Probar todo el equipo con anterioridad
- Contar con un equipo de comunicación de respaldo
- Las antenas deben de tener misma polarización
- Colocar las antenas según la orientación y elevación estimada
- No mover los equipos durante la lectura de datos
- Para el ajuste de posición, no se deben de mover las dos antenas de forma simultánea, aunque es posible realizarlo en ambas direcciones, pero solamente una a la vez.
- Se debe de establecer un sistema de referencia local, para conocer la orientación de la antena en cada medición.
- Las antenas no son dispositivos perfectos, por lo que puede que el ángulo con el que se obtenga el máximo parezca errado.

Es importante destacar de que este es el paso final de la instalación, por lo que todos las condiciones anteriores, debe de ser óptimas. Además se deben de tener las siguientes precauciones:

- Durante la instalación y manipulación del equipo previo al trabajo de alineación, éste debe de estar apagado.
- Se debe de evitar posicionarse justo delante de las antenas de forma que no se reciba directamente la radiación.

### **3.3.2.4. Sistema de alimentación**

Todo equipo de comunicación necesita para su funcionamiento de energía eléctrica, por lo que se debe contar un proveedor de la misma o de un mecanismo autosostenible de energía, por ejemplo los sistemas fotovoltaicos.

Básicamente el sistema consiste de un panel solar, baterías y de un regulador de voltaje que se conecta a la carga. La energía es recolectada a través de los paneles, los cuales se componen de celdas solares que recolectan la radiación solar transformándola en energía eléctrica, la cual es almacenada en las baterías. Este sistema proporciona una fuente de alimentación de corriente directa, por lo que para el funcionamiento del equipo es necesario de algún tipo de convertidor. Para el buen funcionamiento del sistema es necesario realizar una buena estimación de la carga que será conectada al mismo.

## **3.4. Protección de equipo**

Se refiere a las medidas físicas y eléctricas que se deben de tomar para garantizar la protección del equipo que conforma el sistema de comunicación.

### **3.4.1. Protecciones físicas**

Conjunto de materiales y mecanismos de protección para los elementos del sistema contra las variaciones climáticas. Generalmente el equipo de comunicación es instalado en exteriores, por lo que este debe de ser provisto de un encapsulado adecuado que le permita soportar desde altas temperaturas, lluvias, nieve, viento, etc.

### **3.4.2. Fusibles y cortacircuitos**

Son dispositivos utilizados para la protección contra sobrecargas de corriente eléctrica, diseñados para conducir una corriente máxima, de forma que cuando esta es superada se interrumpe la alimentación del circuito.

El fusible consiste en un filamento o lámina que se funde al excederse dicho nivel máximo de corriente para el cual está diseñado, de forma que interrumpe permanentemente la alimentación del circuito.

Un conrtacicuto o interruptor automático termomagnético es un dispositivo que está constituido por dos mecanismos de seguridad: un electroimán y una lámina bimetálica, los cuales se encuentran conectados en serie. Cuando se produce una sobrecorriente instantánea, corto circuito, el electroimán acciona un dispositivo mecánico que interrumpe el paso de la corriente, el tiempo de reacción es de aproximadamente 25 milisegundos. El funcionamiento de la lámina bimetálica es similar al del fusible, al calentarse por encima de determinado límite se deforma provocando la apertura del circuito, la reacción de esta parte es mucho más lenta que el electroimán, por lo que su función es la de protección contra sobrecargas.

### **3.4.3. Puesta a tierra**

Consiste en una conexión eléctrica directa de todas las partes metálicas de una instalación, sin fusibles ni otros sistemas de protección, con uno o varios electrodos enterrados en el suelo. Sus principales funciones son:

- Proporcionar una baja impedancia para circulación de corrientes de falla

- Proporcionar una plataforma equipotencial, sobre la cual pueda operar equipo electrónico.
- Proporcionar una trayectoria, para las señales de interferencia electromagnética y radiofrecuencia.

A pesar de que una antena y su estructura no incrementan significativamente la probabilidad de que caiga un rayo en una localización en particular, algún punto cercano puede ser alcanzado por uno y la antena junto con su estructura pueden convertirse en el punto focal del rayo. Por lo tanto las consideraciones de puesta a tierra, para protección de las estaciones radio eléctricas son extremadamente importantes. Para ello deben colocarse puntas de pararrayos en la parte más alta de las torres y soportes, las mismas serán de un material adecuado que permitan atraer al rayo sin que este cause algún daño físico a las antenas y equipos que se encuentren en la estructura.

#### **3.4.4. Reguladores de tensión**

Es un dispositivo diseñado para mantener un nivel de voltaje constante ante problemas de variaciones de tensión, sobretensiones, picos de tensión y ruido eléctrico, que están presentes en la red de energía eléctrica. Está constituido por una serie de bloques funcionales que permiten estabilizar la tensión de salida.

Existe una gran variedad de marcas y tipos de reguladores, los más eficientes son los digitales, los cuales controlan la energía utilizando resistencias y otros componentes de estado sólido. La protección que garantiza este tipo de regulador justifica su costo.



## **4. EQUIPO, SOFTWARE Y MATERIALES**

### **4.1. Dispositivos utilizados**

Para la mayoría de las prácticas del laboratorio serán empleados dos dispositivos Wifi de marca Ubiquiti, estos son:

- PicoSatition2
- NanoStatio5 loco

Figura 21. **PicoStation2**



Fuente: Laboratorio de Electrónica, T-1, Facultad de Ingeniería.

La elección de los equipos se debe a su bajo costo, \$50.00 y \$59.00 respectivamente<sup>1</sup>, alto rendimiento de su antena y a la gran variedad de prestaciones que presentan. Otra característica importante es el soporte que tienen los equipos, ya que la empresa emite actualizaciones de *firmware* periódicamente.

Figura 22. **NanoStation5 loco**



Fuente: Laboratorio de Electrónica, T-1, Facultad de Ingeniería.

Cada *kit* incluye: un transformador con el cable y un soporte para ser instalado en la pared. Los cables de red que se van a utilizar, dos por cada uno, deben de ser fabricados, ya que el equipo no los incluye. También se debe adquirir un adaptador para la clavija del transformador debido a que esta es de tipo schuko.

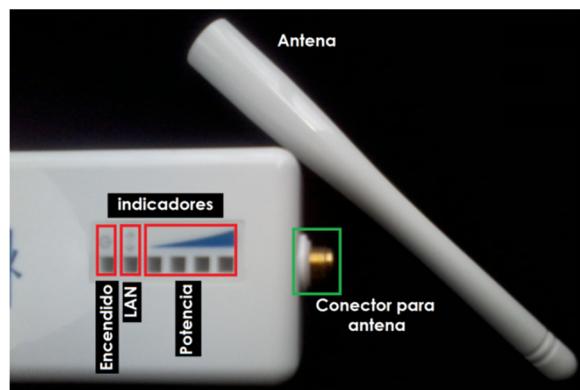
---

<sup>1</sup> Con base en precios de <http://www.microcom.us/browse-by-brand--ubiquitinetworks.html> y <http://www.streakwave.com/product-ubiquiti.asp>. Consulta: el 10 de febrero de 2013.

#### **4.1.1. Partes del equipo**

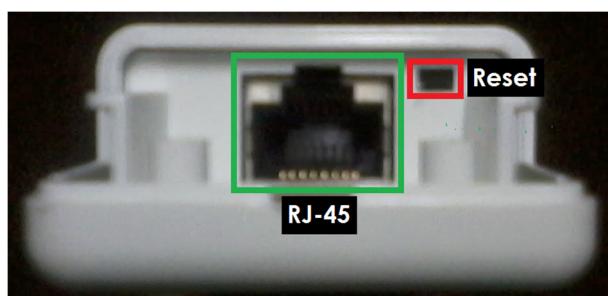
Las siguientes imágenes muestran las partes y accesorios para el PicoStation2. Sin embargo todas las partes, con excepción de la antena, son iguales para el otro equipo.

**Figura 23. Vista frontal de PicoStation2**



Fuente: Laboratorio de Electrónica, T-1, Facultad de Ingeniería, modificada con programa de Paint.

**Figura 24. Vista en planta de PicoStation2**



Fuente: Laboratorio de Electrónica, T-1, Facultad de Ingeniería, modificada con programa de Paint.

**Figura 25. Soporte de PicoStation2**



Fuente: Laboratorio de Electrónica, T-1, Facultad de Ingeniería.

**Figura 26. Fuente de alimentación de PicoStation2**



Fuente: Laboratorio de Electrónica, T-1, Facultad de Ingeniería.

#### **4.1.2. Especificaciones técnicas**

En la siguiente tabla se describen las principales especificaciones técnicas para cada equipo. Las demás especificaciones pueden ser consultadas en las hojas de datos que se encuentran en el anexo.

**Tabla II. Especificaciones técnicas: PicoStation2 y Nanostation5 loco**

Característica	PicoStatio2	NanoStatio5 loco
<b>Procesador</b>	Atheros MIPS 4KC, 180MHz	
<b>Memoria</b>	32MB SDRAM 8MB Flash	16MB SDRAM 4MB Flash
<b>Sistema operativo</b>		AirOS
<b>Frecuencia de Operación [GHz]</b>	5.475-5.825	2.412-2.462
<b>Antena</b>	RP-SMA antena omnidireccional	Arreglo de antenas integrado
<b>Potencia máxima configurable</b>	20 dBm	22 dBm
<b>Radio de cobertura [m]</b>	150	5000
<b>Interface de Red</b>	1 X 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Interfaz Ethernet	
<b>Fuente de Energía</b>	12V, 1A DC	
<b>Método de alimentación</b>	Alimentación pasiva sobre Ethernet (pares 4,5+; 7,8 retorno)	
<b>Temperatura de Operación</b>	-20C a +70C	
<b>Dimensiones de encapsulado [cm]</b>	13.6x2.0x3.9	16.3x3.1x8.0
<b>Peso [kg]</b>	0.10	0.18

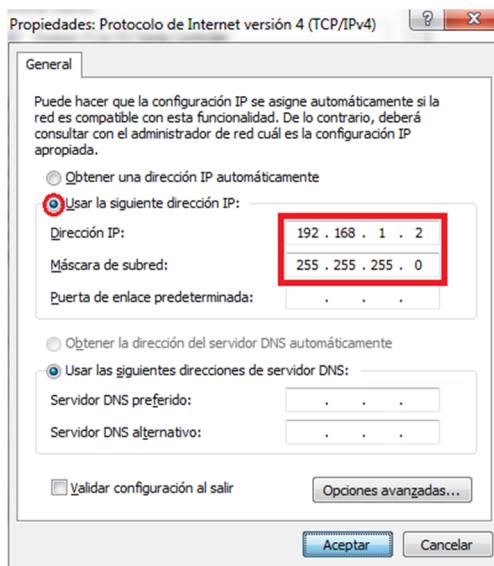
Fuente: elaboración propia.

Debido a la gran similitud entre los equipos, en las secciones posteriores se va a tratar a cada uno de ellos de forma indiferente, haciendo hincapié cuando exista una discrepancia.

#### 4.1.3. Configuración del equipo

Lo primero que se debe de realizar es asignar una dirección IP fija a la computadora que se va a utilizar para la configuración, esto se puede hacer siguiendo la siguiente ruta: Inicio>Panel de Control>Centro de Redes y Recursos Compartidos>Conexión de área local >Propiedades, ahora se selecciona Protocolo de Internet versión 4 (TCP/IPv4)>Propiedades y se configuran, según se muestra en la siguiente imagen:

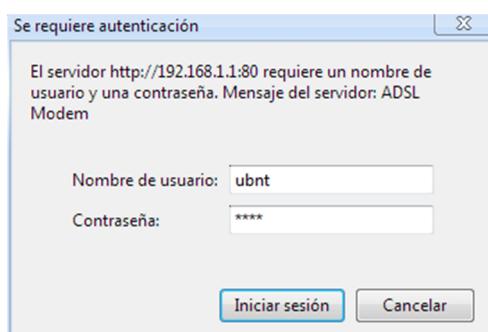
Figura 27. Configuración de IP



Fuente: elaboración propia, con programa de Paint.

Una vez conectado el equipo se puede acceder al menú de configuraciones de éste, ingresando la dirección 192.168.1.20, y como usuario y contraseña ubnt. Es posible hacer uso de cualquier navegador de internet para realizar este proceso.

Figura 28. **Pantalla de inicio**



Fuente: elaboración propia, con programa de Paint.

Una vez iniciada la sesión, se accede al menú de configuración para el equipo.

Figura 29. **Menú de configuración**



Fuente: elaboración propia, con programa de Paint.

Cada uno de los apartados contiene una serie de configuraciones, a continuación se describen de forma básica cada una de ellas, dando mayor importancia a las configuraciones que van a ser utilizadas en las prácticas.

#### **4.1.3.1. Main**

Permite conocer el estado general del dispositivo, es solamente de lectura. Dentro de la información importante que muestra este apartado se tiene:

- ESSID estación base, seguridad, frecuencia y canal de la red
- Nombre, dirección MAC, MAC WLAN, IP e IP WLAN del dispositivo
- Fuerza de la señal recibida
- Número de bytes transmitidos y recibidos
- Estadística de errores en WLAN

#### **4.1.3.2. Link setup**

Permite la configuración del dispositivo para cuatro modos inalámbricos distintos:

- Estación: configura el equipo como una terminal de la red
- Estación WDS: además de ser una terminal de red, el equipo es utilizado como repetidor.
- Punto de Acceso: hace una conexión entre la red cableada y Wifi permitiendo que clientes sean agregados a la red.
- Punto de Acceso WDS: permite la conexión con otros dispositivos de puntos de acceso WDS o estaciones WDS.

No es recomendable utilizar las variantes WDS ya que, aunque permiten extender el alcance de la red, afectan directamente la velocidad de la misma. Debido a esto solamente se va a trabajar con las modalidades que no incluyen esta función, no obstante la configuración del equipo es la misma.

En el modo de punto de acceso, el ESSID corresponde al nombre que se quiera dar a la red, estableciendo el tipo de seguridad y contraseña para la misma. Asimismo se debe especificar la anchura máxima para el espectro del canal y definir la habilitación de cambio de canal, así como el que va a ser utilizado por defecto. Además se debe de configurar la potencia de salida de la unidad, la velocidad de datos, el modo IEEE 802.11 que se va a trabajar y el código del país.

Al elegir la modalidad estación, el dispositivo debe de ser integrado a una red seleccionada a través de su ESSID o la dirección MAC del punto de acceso. Al confirmar el enlace todos los demás datos serán especificados automáticamente, con excepción de la contraseña, la cual debe de ser ingresada manualmente.

#### **4.1.3.3. Network**

Permite la configuración en dos modalidades de red:

- Bridge
- Router

En prácticas se empleará solamente la primera modalidad, sin embargo la configuración y funcionamiento para la segunda es la misma que para cualquier otro Router.

Al utilizar el dispositivo en Bridge, este funciona como un medio de conexión entre el sistema inalámbrico y alámbrico. En esta modalidad se debe de especificar la configuración red que el dispositivo va a utilizar, definiendo si el direccionamiento IP va ser estático o dinámico, cabe destacar que en un radioenlace se opta por la primera opción, por lo que se debe de introducir los valores para la dirección, máscara de red y puerta de enlace.

Para la configuración como modo Router adicional a los pasos de la modalidad anterior se configura la WLAN especificando la dirección IP, máscara de red, IP DNS Primario e IP DNS secundario.

#### **4.1.3.4. Advanced**

En este apartado se debe elegir el algoritmo de velocidad que se va a utilizar, las opciones son:

- Conservativo
- Optimista
- EWMA

Estos algoritmos están directamente relacionados con la calidad de la señal. En las prácticas se va a trabajar con la tercera opción, la cual es una combinación entre las dos primeras. Otro parámetro que se debe de especificar es el tiempo máximo de respuesta para los paquetes, esto se puede hacer de forma automática especificando la distancia del enlace o ingresando un valor determinado.

En esta sección se deben elegir también los valores umbrales para los led que los dispositivos utilizan para indicar la potencia de la señal recibida. En el

caso del Nanostation2 se debe elegir la polarización de la antena, teniendo tres opciones disponibles:

- Horizontal
- Vertical
- Adaptable

Finalmente se debe especificar la calidad de servicio del dispositivo, esto es para priorizar la transmisión de un tipo determinado de paquetes. Esta opción puede ser o no activada; de serlo se debe elegir entre las siguientes variantes:

- Auto prioridad
- Prioridad de video
- Prioridad de voz

#### **4.1.3.5. Service**

Permite configuraciones para servicios propios de red:

- Alerta de ping
- Agente SNMP
- Cliente NTP
- Habilitar el tipo de servidor: Web, Telnet, SSH

#### **4.1.3.6. System**

En este apartado es posible configurar las características generales del equipo, como: nombre, idioma, usuario y contraseña, logo, etc. Permite

también la opción de actualizar el *firmware* del equipo, reiniciarlo o reajustar los valores por defecto para el mismo.

#### **4.1.4. Reseteo de Equipo**

Constituye un procedimiento fundamental antes o durante la configuración de los equipos. Se puede realizar a través de software o hardware, siendo la segunda opción la más recomendable, debido a que en muchas ocasiones se modifica el usuario y contraseña.

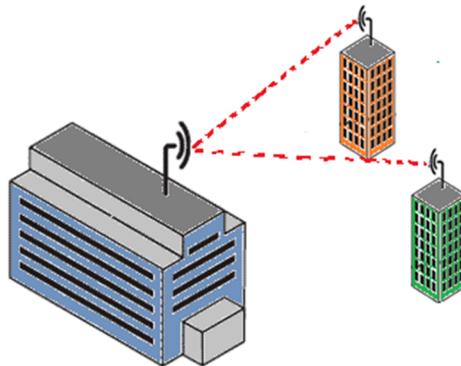
Para realizarlo a través de hardware primero se debe de apagar el dispositivo, luego presionar el botón de reset, utilizando algún desarmador pequeño, después se enciende y hasta que los leds de indicación de potencia dejan de parpadear se suelta el botón. El tiempo que lleva este procedimiento es de aproximadamente 30 segundos.

#### **4.1.5. Configuración para radioenlace punto-multipunto**

Esta sección presenta un ejemplo de configuración del uso de los equipos. La situación es la siguiente: se desea implementar una red tipo estrella con dos terminales y seguridad WPA2, utilizando para ello cuatro unidades NanoStationLoco5.

A continuación de describirá el procedimiento básico que se debe de realizar en cada uno de los dispositivos. Se debe de tomar en cuenta que antes de configurar los equipos es necesario realizar un reseteo de los mismos, por lo que las opciones que en el procedimiento no se modifiquen, utilizarán los valores predeterminados para las mismas. Los datos especificados en cada menú de configuración constituyen parte de este ejemplo.

Figura 30. **Esquema de red punto-multipunto**



Fuente: elaboración propia, con programa de Paint.

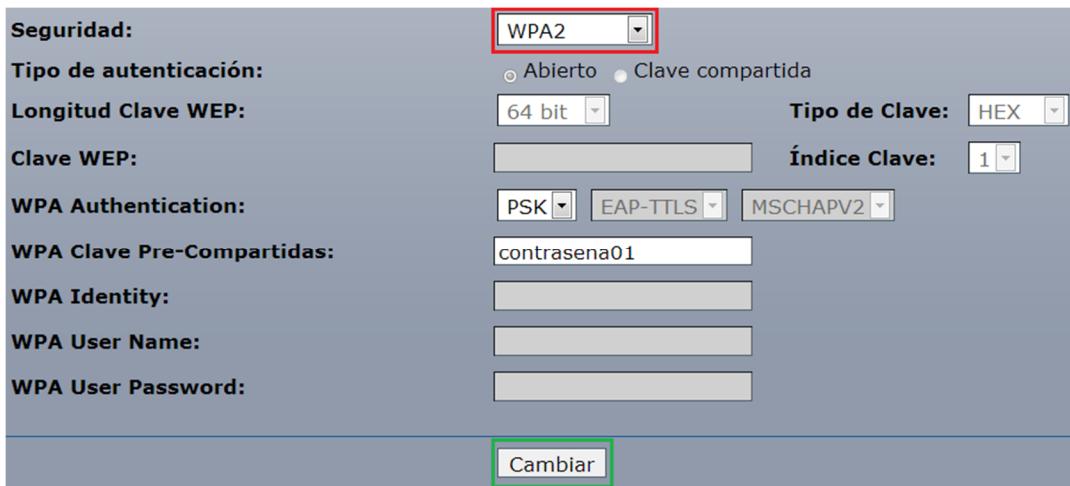
Para configurar el dispositivo central primero se debe de cambiar el modo inalámbrico a la modalidad de Punto de Acceso, en el menú de Link Setup, seguido a esto se especifican los valores para los demás parámetros.

Figura 31. **Configuración inalámbrica básica**



Fuente: elaboración propia, con programa de Paint.

Figura 32. Configuración de la seguridad inalámbrica



Fuente: elaboración propia, con programa de Paint.

Después de realizar los cambios, se debe de confirmar los mismos a través de la opción Cambiar que aparece en la parte inferior de la página. Ahora en el menú Network se cambian los valores de red del dispositivo.

Figura 33. Configuración de la red



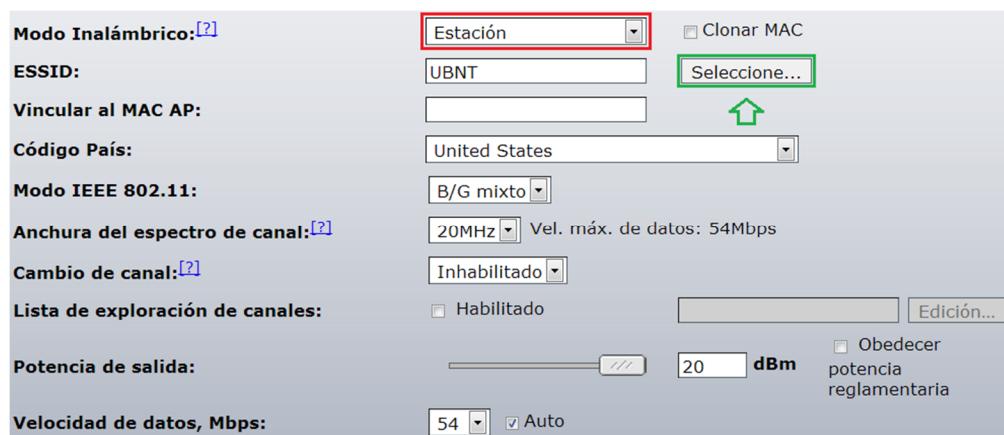
Fuente: elaboración propia, con programa de Paint.

Nuevamente se deben de confirmar los cambios. Ahora se debe de cambiar la polarización de la antena a vertical, esto es en apartado Advanced. Finalmente se selecciona Aplicar, en la barra que aparece en la parte superior. De esta forma queda el equipo configurado como punto de acceso para la red.

La configuración de las estaciones es muy similar a la anterior, se va describir el proceso solamente para una, teniendo en cuenta que éste es análogo para la el otro equipo.

Lo primero es verificar que el equipo se encuentre en la modalidad correspondiente, Estación.

Figura 34. **Configuración inalámbrica básica Inicial**



Fuente: elaboración propia, con programa de Paint.

Luego se debe de seleccionar la red a la cual se va a integrar a través del ESSID del punto de acceso. En muchas ocasiones se opta por ocultar el ESSID, cuando esto ocurre el procedimiento es el mismo con la variante que la búsqueda no se realiza por dicho nombre, sino a través de la dirección MAC.

Figura 35. Elección de red

Canales explorados: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11				
Dirección MAC	ESSID	Cifrado	Señal, dBm	Noise,
00:02:6F:4D:B9:28	Gladiador 2	-	-74	-82
00:02:6F:4D:B9:2A	Gladiador 1	-	-74	-82
00:24:17:92:CE:F8	CASA	WEP	-85	-82
00:E0:FC:33:F0:B8	gateway	WPA2	-89	-82
0A:27:22:FB:33:BA		WPA	-89	-82
C2:9F:DB:31:B6:CE	umes	-	-89	-82
C6:9F:DB:31:B6:CE		WPA	-87	-82
DC:9F:DB:12:6A:F5	nano01	WPA2	-91	-82
3A:72:C0:77:2F:D9		WPA	-78	-82
3E:72:C0:77:2F:D9		WPA	-80	-82
06:27:22:FB:33:BA	umes	-	-89	-82
6C:83:36:00:4A:AE	Redejemplo	WPA2	-21	-82
38:72:C0:0B:84:47	TURBONETT_0B8446	WEP	-61	-82
38:72:C0:21:E6:F4	TURBONETT_21E6F3	WEP	-87	-82
38:72:C0:22:17:FA	TURBONETT_2217F9	WEP	-94	-82
38:72:C0:77:2F:D9	TURBONETT_772FD8	WEP	-79	-82
42:72:C0:77:2F:D9		WPA	-76	-82

Fuente: elaboración propia, con programa de Paint.

Figura 36. Configuración inalámbrica básica final

<b>Modo Inalámbrico:</b>	Estación	<input type="checkbox"/> Clonar MAC	
<b>ESSID:</b>	Redejemplo	<input type="button" value="Seleccione..."/>	
<b>Vincular al MAC AP:</b>	6C:83:36:00:4A:AE		
<b>Código País:</b>	United States		
<b>Modo IEEE 802.11:</b>	B/G mixto		
<b>Anchura del espectro de canal:</b>	10MHz	Vel. máx. de datos: 27Mbps	
<b>Cambio de canal:</b>	Inhabilitado		
<b>Lista de exploración de canales:</b>	<input type="checkbox"/> Habilitado	<input type="button" value="Edición..."/>	
<b>Potencia de salida:</b>		10 dBm	<input type="checkbox"/> Obedecer potencia reglamentaria
<b>Velocidad de datos, Mbps:</b>	27	<input checked="" type="checkbox"/> Auto	

Fuente: elaboración propia, con programa de Paint.

Es importante que se copie la Dirección MAC del ESSID y se pegue en el cuadro de Vincular al MAC AP, debido a que ésta no la copia automáticamente. Ahora se debe de escribir la contraseña de la red, hay que notar que el tipo de seguridad corresponda con la configurada en el punto de acceso, en este caso WPA2. Al confirmar los cambios, automáticamente quedan especificados los demás parámetros de la configuración inalámbrica básica.

Ahora en el menú Network se cambian el valor de la Dirección IP, con la salvedad de que esta debe de ser distinta para cada estación y tampoco puede ser la misma que del punto de acceso. La máscara de red y la puerta de enlace deben coincidir para todos los equipos. Finalmente se aplican los cambios.

De esta forma queda formada la red, su funcionamiento se puede verificar enviando paquetes entre sus elementos.

#### **4.2. Software**

El programa que se va a utilizar para realizar las simulaciones de radioenlaces es Radio Mobile. Este es un programa gratuito desarrollado por Roger Coudé y desde la fecha de su lanzamiento, en 1988, han sido publicadas periódicamente actualizaciones para el mismo. A la fecha se cuenta con la versión 11.3.9.

Este programa permite predecir el comportamiento de sistemas de radio, su uso se extiende a la planificación integral de una red, línea de vista, cálculos de alcance basados en datos del terreno y ángulos de alineación de antena tanto en polarización vertical como en horizontal trabajando con rangos de frecuencia entre 20 MHz y 20 GHz. Estas son algunas de las opciones que pueden ser utilizadas en el programa, por lo que constituye una poderosa

herramienta de carácter imprescindible para la implementación de sistemas de comunicación inalámbricos.

#### 4.2.1. Instalación

Una de las dificultades, si no es que la única, radica en la instalación del programa. Esto se debe a que no se cuenta con un instalador automático por lo que hay que seguir una serie de pasos. Es posible encontrar instaladores realizados por aficionados, pero la principal desventaja de éstos es que regularmente no coinciden con la versión más reciente del programa.

A continuación se van a desarrollar los pasos de instalación y configuración del programa para Window, aunque se advierte que también se puede instalar en Linux a través de Wine o en Mac con Wine-Bottler. Los pasos son los siguientes:

- Descargar e instalar el paquete Visual Basic Runtime (Service pack 6) de Microsoft, este puede ser descargada en el link: <http://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=24417><sup>2</sup>.
- Crear un directorio para la instalación de Radio Mobile, por ejemplo C:\RadioMobile.
- Descargar el fichero rmwcore.zip, rmw1139spa.zip y wmap.zip, en el link <http://www.cplus.org/rmw/download/download.html><sup>3</sup>. El primer archivo corresponde al núcleo del programa, el segundo al idioma del elegido por el usuario, en este caso es español y el tercero permite obtener

---

<sup>2</sup> Consulta: 24 de febrero de 2013.

<sup>3</sup> Consulta: 24 de febrero de 2013.

mapas a través de STMR. Descomprimir los tres ficheros en la carpeta creada.

- Copiar los archivos con extensión .dll en C:\Windows\system32
- Modificar el archivo Map\_link.tex eliminando los apóstrofes que aparecen en el inicio de entre la segunda a la quinta línea, esto permite poder acceder a otros servidores.
- Crear un directorio para el almacenamiento de mapas descargados temporalmente, C:\RadioMobil\GeoData, en su interior se crean otros directorios con la siguiente estructura:
  - C:\RadioMobile\GeoData\SRTM
  - C:\RadioMobile\GTPOP30
  - C:\RadioMobile\GeoData\terraserver
  - C:\RadioMobile\GeoData\Landsat
  - C:\RadioMobile\GeoData\VirtualHeart
  - C:\RadioMobile\GeoData\ GoogleMap
  - C:\RadioMobile\GeoData\YahooMap
- Con el procedimiento anterior se queda instalada ya la aplicación, para ejecutarla se debe correr el archivo rmwspa.exe, que se encuentra en el fichero C:\RadioMobile, se recomienda crear un acceso directo para este archivo.

Una vez instalado el programa se configuran los mapas mediante el siguiente procedimiento:

- Ejecutar rmwspa.exe y accede al menú Opciones>Internet

- En apartado SRTM, elegir la segunda opción: Bajar desde Internet si un archivo no se encuentra en el disco local y guardarlo en el disco local. La ubicación para los archivos es C:\RadioMobil\GeoData\SRTM.
- Este procedimiento se repite para todos los apartados siguientes, es decir para Cobertura de tierra, OpenStreetMap, y así sucesivamente. La diferencia está en la elección de la ubicación para los archivos locales la cual debe coincidir con el nombre del apartado.
- En los apartados dos y tres existe una opción de directorio ftp internet, se debe elegir STMR – 3 arcsecond Site 1 y Landcover – Site 1 respectivamente.

#### **4.2.2. Creación de un mapa**

El programa utiliza los datos de elevaciones de la NASA del proyecto SRTM para producir mapas de elevación, éstos pueden ser superpuestos a mapas topográficos de otras fuentes como Google Maps, Yahoo! Maps, etc.

El procedimiento para la creación de un mapa es el siguiente:

- Acceder al menú Archivo>Propiedades de Mapa
- Determinar las fuentes de datos de altitud, elegir SRTM para la primera casilla y buscar la el directorio C:\RadioMobile\GeoData\SRTM en el disco o ubicación.
- Marcar la casilla Ignorar archivos perdidos, esto es para evitar que se bloquee el programa en caso de no encontrar alguna zona del mapa.
- Seleccionar la región de trabajo, para ello se puede hacer uso del cursor, especificar sus coordenadas centrales o ingresar el nombre de la ciudad.

- Introducir las dimensiones en pixeles y tamaño del mapa en kilómetros
- Seleccionar la opción Extraer
- Guardar el mapa, esto se hace en Archivo>Grabar mapa como

#### **4.2.3. Creación de una red**

El programa utiliza cierta terminología para referirse a los elementos que conforman una red, básicamente se debe de estar familiarizado con los siguientes conceptos:

- Red: conjunto de unidades de radio que operan en el mismo rango de frecuencias con iguales condiciones meteorológicas y de terreno.
- Sistema: especificación de los parámetros para las elementos que integran la red.
- Unidad: radio físico con una ubicación geográfica y parámetros determinados.
- Miembro: definición de las unidades emplazadas con sus parámetros, y rol dentro de la topología de red.

El procedimiento básico para la creación de una red es el siguiente:

- Crear un archivo nuevo, en Archivo>Nuevas Redes, estableciendo el número de redes, unidades y nombre del archivo.
- Extraer el mapa de la región en la cual se va a trabajar o se puede también hacer uso de algún mapa guardado con anterioridad.
- Editar los parámetros de propagación de la red, en el menú Archivo>Propiedades de la unidad> Parámetros.
- Definir los sistemas estación base y terminal móvil, en el mismo menú que el paso anterior y la opción Sistema.

- Crear y posicionar las unidades de radio en el mapa, esto se realiza en Archivo>Propiedades de la unidad.
- Asociar las unidades radio a la red. Asignar a cada unidad un tipo de sistema, Archivo>Propiedades de Redes>Miembros.

Se debe de tomar en cuenta que para guardar el proyecto en su totalidad deben de guardarse cada una de las secciones que lo conforman de forma separada, es decir los mapas, imágenes y redes.

#### **4.2.4. Configuración básica**

A continuación se describe la configuración que se debe de realizar para una simulación básica.

##### **4.2.4.1. Parámetros de una red**

Se refiere a los parámetros de propagación de la red, se puede acceder a ellos a través de Archivo>Propiedades de Redes>Parámetros. Los parámetros que se pueden configurar son:

- Frecuencia máxima y mínima
- Polarización de las unidades
- Coeficiente de refracción de la superficie, conductividad del suelo y permisividad relativa de éste.
- Estadístico, existen dos modos. El primero es el accidental y se utiliza para evaluar interferencias, difusión y móvil. El segundo es el de intento, en el cual se realiza un único intento para enviar un mensaje.
- Porcentaje de suelo urbano o bosques
- Tipo de clima

#### **4.2.4.2. Topología de red**

Se puede acceder a esta configuración a través del menú Archivo>Propiedades de Redes>Topología, es posible utilizar:

- Red de voz: se utiliza para configuraciones en las cuales existe una estación central, que puede establecer comunicación con las demás unidades, pero no entre ellas.
- Red de datos, estrella: configuración maestro/esclavo
- Red de datos, cluster: redes con nodos que pueden retransmitir datagramas.

La opción visible se utiliza para ocultar o mostrar la red en el dibujo del mapa.

#### **4.2.4.3. Configuración de sistemas**

Se accede a esta configuración a través del menú Archivo>Propiedades de Redes>Sistemas, es importante considerar que el programa tiene una capacidad de almacenamiento máxima de 25 configuraciones. En este menú se realiza la elección del tipo de los elementos de los cuales se puede disponer para conformar la red, esto incluye el tipo de antena y sus especificaciones y la longitud y pérdidas de los cables con las cuales se conectan. Por ejemplo si se utiliza una antena directiva es posible especificar su ángulo acimutal y observar el patrón de radiación de dicha antena.

#### **4.2.4.4. Configuración de unidades**

Existen dos formas para posicionar las unidades de radio, uno es a través del cursor y la otra es introducir las coordenadas geográficas. Una vez encontrado el punto se selecciona la unidad, esto es por medio del menú Archivo>Propiedades de las unidades. Existen otras opciones aplicables a las unidades, como la activación o transparencia de éstas o la elección de un ícono, estilo de etiqueta y nombre para representar cada unidad en el mapa.

Para conectarlas primero se deben de seleccionar las unidades que conformarán la red, esto es en el menú de Propiedades de Redes>Miembros. En este apartado también se debe de seleccionar el rol que cada unidad va a desempeñar y la asociación entre éstas en la red.

#### **4.2.5. Herramientas**

El menú Herramientas contiene un conjunto de acciones que permiten visualizar y modificar las condiciones, parámetros y posiciones de las antenas, en un radioenlace, a continuación las más importantes.

##### **4.2.5.1. Enlace de radio**

Es una herramienta que permite visualizar los parámetros para un enlace entre dos estaciones, además de muestra una vista lateral de este. En esta ventana es posible modificar las alturas, ganancia y frecuencias de las antenas para investigar su efecto en el radioenlace, así como observar los patrones de radiación. Una de las características más importantes de esta herramienta es que permite visualizar las zonas de Fresnel.

#### **4.2.5.2. Cobertura de radio**

Permite dibujar el área de cobertura de una unidad, pudiendo ser representada por cinco gráficas:

- Polar simple: calcula el área de cobertura de una estación transmisora fija para un terminal móvil especificado realizando un barrido radial.
- Cartesiano combinado: muestra la cobertura combinada de varias estaciones fijas a terminales móviles.
- Interferencia: permite realizar estudios de interferencia
- Fresnel: colorea sobre el mapa de elevaciones las áreas que cumplen el intervalo especificado para la primera zona de Fresnel.

### **4.3. Materiales**

Lo más rápido y seguro en la implementación de algún proyecto es que este incluya componentes adquiridos a través de algún proveedor local o extranjero, sin embargo en muchas ocasiones el costo por estos dispositivos es muy alto. Una solución a este problema es fabricar los dispositivos, para ello se debe buscar proveedores de piezas locales e importar solamente los componentes que lo ameriten. Lo más importante para distinguir entre adquirir cierto dispositivo o hacerlo radica en la complejidad que esto conlleva, en muchas ocasiones.

Los materiales en el laboratorio se refieren a todos aquellos bienes utilizados para el desarrollo del mismo y que son distintos de los descritos anteriormente en este capítulo. No se busca construir un radiotransmisor sin embargo una de las prácticas consiste en la fabricación de una antena para el

PicoStation2. Aunque éste el tipo de antena no debe de ser el mismo cada vez que se reproduzca el laboratorio, los materiales utilizados para la elaboración de la misma, en general si lo son. A continuación se presenta una lista de estos materiales:

- Conectores tipo N de ambos tipos (hembra y macho)
- Cable coaxial
- Alambre de bronce o cobre de 2mm
- Placa metálica
- Placa para realizar circuito impreso
- Percloruro férrico
- Papel aluminio
- Cartoncillo
- Latas con forma cilíndrica
- Estaño

Además de las herramientas necesarias para la fabricación de las mismas, como:

- Pinzas
- Corta alambre.
- Barreno con juego de brocas para metal
- Prensa o abrazadera
- Martillo
- Lima
- Cautín

Para realizar las mediciones y estudio del uso del espectro se puede utilizar una aplicación para dispositivos móviles con Android: Wifi Analyzer, ésta

aplicación muestra el nombre del punto de acceso, dirección MAC, la ganancia media, el modo de cifrado, el nivel y canal de cada señal, entre otras cosas.

De más está decir que para la configuración de los equipos es necesario contar con computadoras, cables y concentradores de red.



## 5. DESCRIPCIÓN DE PRÁCTICAS

El laboratorio consta de 10 sesiones, divididas en 5 clases teóricas y 5 prácticas las cuales se encuentran aparejadas. Cada una tiene una duración de 100 minutos, equivalente a dos períodos de clase, y se tiene contemplado una sesión por semana. La única excepción en la duración, es la práctica final debido a que es una práctica de campo por lo que necesita más tiempo para su desarrollo.

Las sesiones prácticas deben de ser realizadas en grupo según la cantidad de equipos con los que se cuente, trabajando con un máximo de 3 personas por grupo y un límite de 18 personas por práctica. Por tal razón se deberá de crear el número de secciones según la cantidad de estudiantes lleven el curso. En el apéndice se propone un ejemplo de programa para el laboratorio.

La estructura básica en que se describen las prácticas es la siguiente:

- Título: hace referencia al nombre de la práctica
- Objetivos: describe los objetivos que se busca lograr en los estudiantes con clase teórica y la realización de la práctica.
- Tópicos de clase teórica: se enumeran los temas teóricos que se deben de impartir en la sesión de clase teórica, la base general se encuentra desarrollada en los capítulos anteriores de este trabajo, aunque no está de más extender los mismos.
- Equipo, software y materiales: lista del equipo, software y materiales necesarios para la realización de la sesión práctica.

- Evaluación: determina los aspectos más importantes que deben de ser evaluados. El sistema a utilizar depende de la práctica, en algunas se puede tomar en cuenta solamente la asistencia y realización a la misma como factor de evaluación. Para tener derecho a la sesión práctica es obligatoria la asistencia a la clase teórica.

A continuación se detalla cada una de las prácticas según la estructura explicada anteriormente.

### **5.1. Práctica No. 1: Presupuesto de potencia**

Esta práctica se deberá de realizar un radioenlace a través de una simulación por software.

#### **5.1.1. Objetivos**

- General:
  - Determinar la viabilidad, equipo y demás consideraciones para un radioenlace utilizando Radio Mobile.
- Específicos:
  - Definir los conceptos básicos de comunicación inalámbrica
  - Conocer las principales configuraciones, características y herramientas que ofrece Radio Mobile.

#### **5.1.2. Tópicos de clase teórica**

- Capítulo 1: secciones 1.1 y 1.2
- Capítulo 4: sección 4.2

### **5.1.3. Equipo, software y materiales**

- Radio Mobile

### **5.1.4. Descripción de práctica**

La práctica consiste en la realización de un Radioenlace sencillo utilizando el programa Radio Mobile. Se deberá asignar a cada grupo coordenadas geográficas diferente para el radioenlace, las cuales deberán ingresar en el programa para realizar la simulación. Según dicha información los estudiantes deben de determinar las condiciones mínimas para los parámetros de los equipos a utilizar. El día de la práctica los grupos deben de contar con el programa ya instalado en su computadora portátil. Para los grupos que no dispongan de ella se deberá asignar un día en el cual asistan al laboratorio a realizar la instalación. La versión a utilizar debe de ser la más reciente.

### **5.1.5. Evaluación**

La evaluación del radioenlace debe de ser de forma inmediata debido a la sencillez de la misma y se debe basar en la elaboración de éste y de las preguntas que el instructor considere convenientes, tanto de teoría como de las funciones básicas del programa.

## **5.2. Práctica No. 2: Enlace 2.4 GHz**

En esta sesión los estudiantes debe de hacer uso del radiotransmisor de 2.4 GHz, familiarizándose con las diversas configuraciones de éste.

### **5.2.1. Objetivos**

- General
  - Implementación de un enlace punto-multipunto utilizando Picostation2.
- Específicos:
  - Definir los principales conceptos y tipos de redes
  - Aprender las configuraciones y principales funciones del equipo a utilizar durante esta y las siguientes prácticas.

### **5.2.2. Tópicos de clase teórica**

- Capítulo 2: secciones 2.1 y 2.2
- Capítulo 4: sección 4.1

### **5.2.3. Equipo, software y materiales**

- PicoStation2

### **5.2.4. Descripción de práctica**

La práctica consiste en realizar una red inalámbrica punto-multipunto según el procedimiento mostrado en la sección 4.6. El rol de punto de acceso debe de ser rotado a través de todos los grupos, de forma que al final de la práctica, todos hayan configurado en las dos modalidades el equipo.

El funcionamiento de la red puede ser verificado de diversas formas, una de ellas es utilizar el comando de ping más la dirección IP de cualquier otro equipo en la red. Esta sintaxis solemnemente puede ser utilizada en DOS de

Windows, sin embargo existe para otros sistemas operativos pero su sintaxis es distinta.

### **5.2.5. Evaluación**

Asistencia y participación en el la realización de la práctica.

## **5.3. Práctica No. 3: Enlace 2.4-5.0 GHz**

En esta sesión se realizará un enlace entre el PicoStation2 NanoStation5, radios que trabajan a distinta frecuencia.

### **5.3.1. Objetivos**

- General
  - Implementación de un radioenlace utilizando radios de distinta frecuencia.
- Específicos
  - Definir los distintos tipos de topología de red
  - Definir los fundamentos de Wifi
  - Configurar y conectar sobre una misma red dispositivos que trabajan a distinta frecuencia.
  - Optimizar la red haciendo el mejor uso del espectro

### **5.3.2. Tópicos de clase teórica**

- Capítulo 2: secciones 2.3, 2.4 y 2.5

### **5.3.3. Equipo, software y materiales**

- PicoStation2
- NanoStation5 loco
- Swtich
- Medidor de Potencia

### **5.3.4. Descripción de práctica**

La práctica consiste en realizar un radioenlace utilizando dispositivos Picostation2 y Nanostation5. Lo primero que se debe hacer es un estudio de la distribución y uso del espectro para la regiones de 2.4 y 5.0 GHz. Para la práctica se necesitan tres canales en los cuales se tenga menor interferencia, dos para la primera frecuencia y uno para la en la segunda.

Una vez definidos los canales se configuran los equipos según las siguientes condiciones generales para cada uno:

- P1 es un punto de acceso
- P2 es una estación de P1
- N1 es punto de acceso
- N2 es una estación de N1
- P3 es un punto de acceso
- P4 como estación de P3

En la configuración para la IP y máscara de red de cada dispositivo se debe de tomar en cuenta que todos deben pertenecer a la misma red. Para ayudar a identificar el punto de acceso considerar ESSID diferentes para cada

punto de acceso. Además se deben de tomar en cuenta en la configuración los canales encontrados en el procedimiento anterior.

Una vez realizada la configuración se debe conectar P2 y N1 al Swtich S1 y a S2 se deben conectar N2 y P3. Esta conexión es la responsable del cambio de frecuencia, ya que como se sabe ambos equipos trabajan a frecuencias distintas. Estas conexiones se esquematizan en la figura 37.

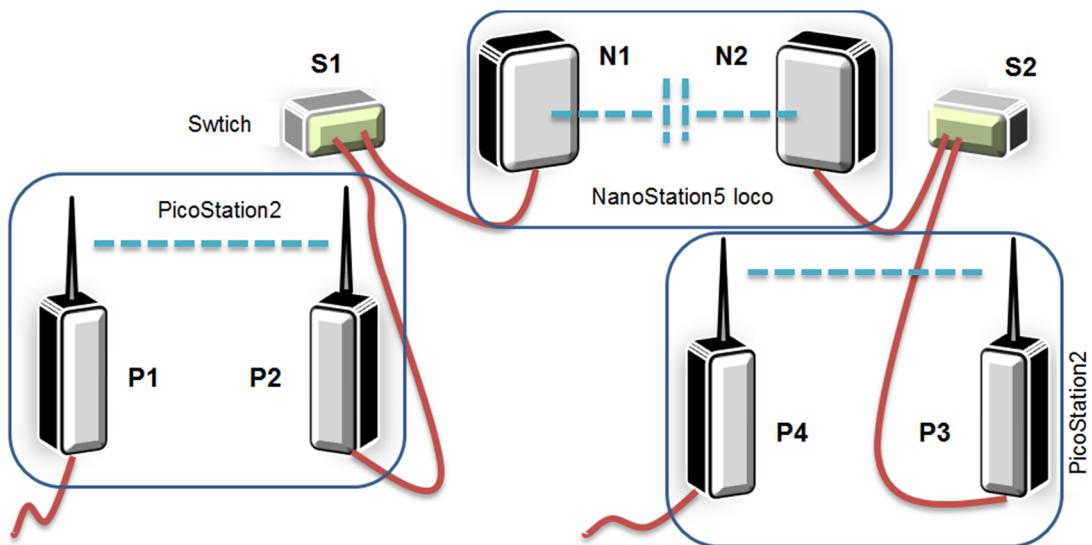
Al encontrarse todos los equipos en la misma red es posible acceso a cada uno utilizando cualquier otro. Una forma de verificar esto es utilizar el comando ping tal como se hizo en la práctica anterior, pero existe otro comando para DOS que es de gran utilidad: tracert más la dirección IP del equipo con el que se quiera comprobar la conexión. Este comando despliega una lista de las direcciones IP de los dispositivos por los que pasa un paquete antes de llegar a su destino.

Se debe comprobar para la red conformada que, por ejemplo, un paquete enviado desde P4 hacia P1 pasa en algún punto de su trayectoria por N1. Con esto se verifica el funcionamiento de la red implementada.

### **5.3.5. Evaluación**

Asistencia y participación en el la realización de la práctica.

Figura 37. Esquema de conexión de equipos, Práctica No. 3



Fuente: elaboración propia, con programa de Paint.

#### 5.4. Práctica No. 4: Determinación del patrón de radiación de una antena

En esta práctica los estudiantes deberán de especificarán el patrón de radiación y ganancia de una antena.

##### 5.4.1. Objetivos

- General:
  - Fabricar y determinar el patrón radiación y la ganancia de una antena.
- Específicos:
  - Definir los parámetros de las antenas

- Distinguir los principales tipos de antenas
- Conocer y aplicar las consideraciones que se deben de tomar en cuenta para fabricar una antena.
- Estudiar el procedimiento para tomar mediciones de forma correcta y trabajar sobre estos datos para obtener diagramas de radiación.
- Conocer y aplicar un método alternativo para determinar la ganancia de una antena.

#### **5.4.2. Tópicos de clase teórica**

- Capítulo 1: sección 1.3

#### **5.4.3. Equipo, software y materiales**

- PicoStation2
- Antena realizada por los estudiantes
- Medidor de Potencia
- Transportador
- Cáñamo

#### **5.4.4. Descripción de práctica**

La práctica consiste en la determinación del diagrama de radiación y ganancia de una antena elaborada por los estudiantes. Las especificaciones para la antena y cable, para contactarla deben de ser indicadas el día de la clase teórica. Los grupos que no realicen la antena en el período estipulado no tienen derecho a realizar la práctica.

Para la toma de las mediciones se debe de realizar la práctica en área plana, grande y con suministro de energía eléctrica. Un lugar que cumple con estas condiciones dentro de la universidad es la Plaza de los Mártires, por esta razón se utilizará ésta como referencia para la descripción del procedimiento, no obstante es posible realizarla en cualquier lugar que cumpla con las condiciones necesarias.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- Conectar la antena elaborada al PicoStation2 y colocarla en una posición fija a una altura aproximada de 1.50 m.
- Cortar un trozo largo de cáñamo y amarrarlo a la base de la antena, éste servirá como pivote para la medición.
- Tomar las mediciones en el otro extremo del cáñamo, por lo menos cada 5° barriendo media circunferencia. En cada medición el medidor de potencia debe de estar a la misma altura que la antena y siempre se debe de colocar en la misma posición.

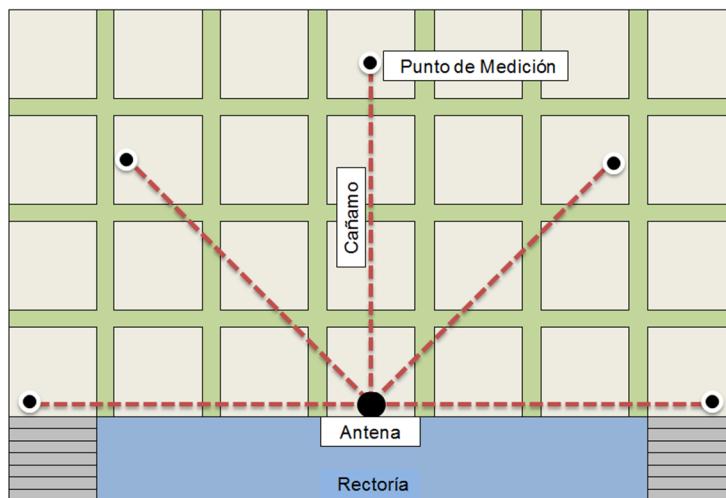
Debido a que se está utilizando como radio transmisor el PicoStation2, la potencia máxima de radiación es de 20 dBm, nivel que no es nocivo para la salud. Sin embargo durante el proceso de instalación y manipulación del equipo, éste debe de estar apagado.

Para determinar la ganancia de la antena, se debe de utilizar otra como referencia bien conocida. Si  $G_R$  es la ganancia de la antena de referencia,  $U_R$  es la potencia de esta antena medida en un punto y  $U_r$  es la potencia para la antena elaborada medida en el mismo punto que la de referencia, entonces la ganancia de la antena elaborada,  $G_r$ , se determina por medio de la expresión:

$$G_r = G_R - (U_A - U_r)$$

Por lo tanto basta con tomar la medida en alguna posición igual al procedimiento anterior colocando al equipo la antena original y fijándolo en la misma posición. La siguiente figura muestra como puede ser la distribución de los equipos:

**Figura 38. Disposición de los equipos en la Plaza de los Mártires**



Fuente: elaboración propia, con programa de Paint.

#### 5.4.5. Evaluación

El primer aspecto que se debe de evaluar es la presentación de la antena elaborada, ésta debe de ser revisada en forma detallada antes de que empiece la práctica para evitar daños en los radios a los cuales se va a conectar.

Como resultado de la práctica los estudiantes deben de entregar un reporte en el cual se debe incluir:

- Desarrollo de modelo teórico para la antena elaborada
- Diagrama de radiación según los datos tomados
- Cálculo de ganancia
- Comparación y discusión de los resultados obtenidos en base al modelo teórico.

## **5.5. Práctica No. 5: Implementación de enlace**

Práctica final del curso, consiste en aplicar todos los conocimientos adquiridos en el mismo a través de la realización de un radioenlace fuera del laboratorio.

### **5.5.1. Objetivos**

- General:
  - Implementación de una radioenlace punto-punto real, en la frecuencia de 5.4 GHz.
- Específicos:
  - Estudiar todos los factores que se deben de considerar en un presupuesto de potencia.
  - Conocer las consideraciones de montaje y protección que se para en instalaciones de equipo, algunas de estas deben de ser aplicadas.
  - Aplicar todos los conocimientos adquiridos en el curso

### **5.5.2. Tópicos de clase teórica**

- Capítulo 3: completo

### **5.5.3. Equipo, software y materiales**

- Radio Mobile
- NanoStation5 loco por grupo
- Soportes para instalación de equipo

### **5.5.4. Descripción de práctica**

Esta es una práctica de campo, consiste en la realización de un radioenlace entre dos puntos lejanos, los cuales deben de ser buscados con anterioridad y se debe determinar la viabilidad del radioenlace a través de Radio Mobile. Por ejemplo se puede realizar un enlace entre dos edificios dentro de la USAC o entre uno de esta localidad y otro en el CUM. También se debe diseñar y fabricar algún tipo de soporte para los NanoStation5 según las condiciones del lugar donde se llevarán a cabo las instalaciones.

Una vez definido el lugar, se prosigue de la siguiente forma: colocar los soportes en los lugares estimados para el radioenlace, instalar los equipos y alinear las antenas según el procedimiento descrito en la sección 3.3.2.3, una de las herramientas que es muy útil en este equipo son los led indicadores de potencia con que cuentan los equipos. Una vez comprobada la conexión se debe de determinar la potencia mínima de transmisión, el efecto de cambiar la polarización en las antenas, cambiar el tiempo máximo de retardo admitido, etc.

#### **5.5.5. Evaluación**

Asistencia y participación en el la realización de la práctica.

#### **5.6. Trabajos de investigación**

Los trabajos de investigación son un complemento para el curso. La estructura, cantidad tópicos de las presentaciones pueden variar según lo que el instructor considere más conveniente. Sin embargo se considera de vital interés que el estudiante tenga conocimiento sobre los siguientes temas:

- Uso de decibeles con aplicación en radiocomunicaciones
- Legislación para el uso del espectro en Guatemala
- Seguridad y monitoreo de redes inalámbricas

#### **5.7. Evaluación final**

Al final del curso se debe de realizar una evaluación que comprenda los contenidos e investigaciones desarrolladas en el mismo. Se debe tratar de que la evaluación se refiera mayormente al análisis y aplicación de los conceptos. El examen no se debe de exceder en cálculos, y de ser necesario se debe de limitar operaciones simples con decibelios.

#### **5.8. Ponderación de actividades**

La distribución propuesta de puntos para cada una de las actividades realizadas se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla III. Distribución porcentual de actividades**

<b>Actividad</b>	<b>Porcentaje</b>
Asistencia: clase teórica	10
Asistencia: prácticas 2, 3, y 5.	20
Enlace en Radio Mobile	5
Elaboración de antena	15
Reporte práctica 4	15
Trabajos de investigación	10
Evaluación final	25

Fuente: elaboración propia.

Como todos los cursos y laboratorios la nota mínima de promoción es de 61% y se debe de contar con una asistencia mínima del 80%.



## **CONCLUSIONES**

1. El desarrollo de los temas tiene en mayor porcentaje un enfoque cualitativo, de forma que no se busca explicar con mayor detalle matemático los conceptos, sino de una forma que el estudiante pueda comprender y aplicar los conocimientos adquiridos de forma sencilla en el desarrollo de las sesiones prácticas.
2. La elección del PicoStation2 y NanoStation5, como equipo principal del laboratorio, se debe al bajo costo, alto rendimiento de su antena y a la gran variedad de prestaciones que estos equipos presentan.
3. El estudio de programas de simulación como Radio Mobile, hace que el curso sea más completo, debido a que le permite al estudiante, a través de software predecir el comportamiento de sistemas de radio.
4. La estructura, equipo y procedimiento de las prácticas está orientado de forma que se tenga una experiencia de campo real en el área.
5. La metodología de evaluación propuesta presupone una participación activa de los estudiantes e instructores, a través de la asignación de puntos por la participación en el desarrollo de las sesiones.
6. Es posible integrar los conocimientos adquiridos en este laboratorio con el desarrollo de proyectos de otros cursos, permitiendo así una educación más completa.



## **RECOMENDACIONES**

1. Trabajar siempre con las versiones más recientes de Radio Mobile y *firmware* para los equipos, debido a que regularmente las actualizaciones permiten mayores opciones.
2. Realizar un convenio académico con el Departamento de Física de la facultad, para obtener el préstamo de los equipos de radio y poder emprender el laboratorio y sin incurrir, desde un inicio, en un gasto por la compra de éstos.
3. Desarrollar las sesiones teóricas del laboratorio en salones de la facultad, variando la metodología de enseñanza a través de la utilización de presentaciones, etc.
4. Desarrollar las sesiones prácticas del laboratorio haciendo uso de los laboratorios que conforman la infraestructura de la escuela ya existe, como el Laboratorio de Teoría Electromagnética o el de Circuitos Eléctricos.
5. Desarrollar las prácticas de campo en lugares abiertos, que mejor cumplan con las características especificadas para cada una.
6. Evaluar semestralmente el proceso de enseñanza aprendizaje, de forma que no se incurra en estancamientos en los temas o prácticas y promover así la validez de las mismas.

7. Limitar la exposición directa a los equipos cuando estos sean configurados en su potencia máxima. En el desarrollo de las prácticas la movilización e instalación del mismo se debe de realizar con el equipo apagado.

## BIBLIOGRAFÍA

1. *14dbi 18dbi and 20.5dbi pcb panel wifi antenna for 2.4ghz and 23dbi for 5ghz band.* [en línea] <<http://www.digdice.com/2007/07/14dbi-18dbi-and-205dbi-pcb-panel-wifi-antenna-for-24ghz-and-23dbi-for5ghz-band/>.> [Consulta: 29 de diciembre de 2012.]
2. *Antena.* [en línea] <<http://es.wikipedia.org/wiki/Antena>.> [Consulta: 26 de diciembre de 2012.]
3. *Antena parabólica.* [en línea] <<http://lizzi-nicole.wikispaces.com/4.3+Antena+parabólica>.> [Consulta: 26 de diciembre de 2012.]
4. *Antenas.* [en línea] <<http://redcin.blogspot.com/p/antenas.html>.> [Consulta: 23 de diciembre de 2012.]
5. BALANIS, Constantine. *Antenna theory analysis and design.* 3a. ed. Canadá: John Wiley & Sons, 2005. 1097 p.
6. BUETTRICH, Sebastian. *Cálculo de radioenlace.* [en línea] <[http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless\\_es/files/06\\_es\\_calculo-de-radioenlace\\_presentacion.pdf](http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/06_es_calculo-de-radioenlace_presentacion.pdf).> [Consulta: 20 de enero 2013.]
7. *Campos electromagnéticos y medios de enlace.* [en línea] <<http://ayudaelectronica.com/campos-electromagneticos-medios-de-enlace/>.> [Consulta: 14 de diciembre de 2012.]

8. *DF antenna arrays.* [en línea] <[http://ka7oei.com/emm2a\\_ant.html](http://ka7oei.com/emm2a_ant.html)> [Consulta: 29 de diciembre de 2012]
9. *Fundamentos de telecomunicacione.* [en línea] <<http://telecomunicacionesabasolo.jcrr.blogspot.com/2012/10/unidad-1-fdt.html>> [Consulta: 10 de diciembre de 2012.]
10. GUERRERO, José. *Sistemas de puesta a tierra para los sistemas de telecomunicaciones.* [en línea] <<http://s3.amazonaws.com/lcp/malvasanchez/myfiles/ing2tierra.pdf>> [Consulta: 28 de enero de 2012.]
11. HESSELBACH, Xavier; BOSCH, Jordi. *Análisis de redes y sistemas de comunicaciones.* España: Universidad Politécnica de Cataluña, 2002. 186 p.
12. *Historia de redes inalámbricas.* [en línea] <<http://histinf.blogs.upv.es/2010/12/02/historia-de-las-redes-inalambricas/>> [Consulta: 10 de diciembre de 2012.]
13. *IEEE 802.11.* [en línea] <[http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11](http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11)> [Consulta: 15 de enero de 2013.]
14. *Instalando radio mobile para predecir el rendimiento de un sistema de radio.* [en línea] <<http://blog.e2h.net/2009/11/27/instalando-radio-mobile-para-predecir-el-rendimiento-de-un-sistema-de-radio/>> [Consulta: 24 de febrero de 2012.]

15. *ISM band.* [en línea] <[http://en.wikipedia.org/wiki/ISM\\_band](http://en.wikipedia.org/wiki/ISM_band)> [Consulta: 14 de diciembre de 2012.]
16. *Las zonas fresnel y el alcance de los equipos de radio frecuencia.* [en línea] <<http://asterion.almadark.com/2008/11/30/las-zonas-fresnel-y-el-alcance-de-los-equipos-de-radio-frecuencia/>> [Consulta: 25 de enero de 2013.]
17. MEDAK, Dinko. *Antena Yagi-Uda.* [en línea] <<http://antenasulat2012.blogspot.com/funcionamiento-de-la-antena-yagi.html>> [Consulta: 23 de diciembre de 2012.]
18. *Modelo OSI.* [en línea] <[http://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\\_OSI](http://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_OSI)> [Consulta: 5 de enero de 2013.]
19. *NanoStation loco.* [en línea] <<http://www.ubnt.com/nanostationloco>> [Consulta: 11 de febrero de 2013.]
20. *PicoStation2.* [en línea] <<http://www.ubnt.com/picostation>> [Consulta: 11 de febrero de 2013.]
21. *Radio Mobile.* [en línea] <<http://www.cplus.org/rmw/download/download.html>> [Consulta: 24 de febrero de 2013.]
22. *Redes inalámbricas en los países en desarrollo.* [en línea] <<http://wndw.net/pdf/wndw3-es/wndw3-es-ebook.pdf>> [Consulta: 5 de diciembre de 2012.]

23. STUTZMAN, Warren; THIELE, Gary. *Antenna theory and design*. 2a. ed. Canadá: John Wiley & Sons, 1998. 662 p.
24. TANENBAUM, Andrew. *Computer networks*. 4a. ed. México: Pearson, 2003. 912 p.
25. *Topología de red*. [en línea] <[http://es.wikipedia.org/wiki/Topolog%C3%A1tica\\_de\\_red](http://es.wikipedia.org/wiki/Topolog%C3%A1tica_de_red)> [Consulta: 12 de enero de 2013.]
26. *Tutorial de radio mobile*. [en línea] <<http://www.eslared.net/walcs/walc2011/material/track1/Manual%2520de%2520Radio%2520Mobile.pdf>> [Consulta: 24 de febrero de 2013.]
27. VILLENA, Rafa. *Antenas para todos*. [en línea] <<http://antenasparatodos.blogspot.com/2008/06/antenas-planas-alimentacion-de-ranuras.html>> [Consulta: 27 de diciembre de 2012.]
28. *Zona de Fresnel*. [en línea] <<http://es.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>> [Consulta: 25 de enero de 2013.]

## APÉNDICE

### Programa de curso:

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



### LABORATORIO DE RADIOCOMUNICACIONES TERRESTRES

ESCUELA:	Mecánica Eléctrica	ÁREA A LA QUE PERTENECE:	Electrónica
CATEGORÍA:	Obligatorio	SEMESTRE:	
INSTRUCTOR:		SECCIÓN:	
EDIFICIO:		SALÓN:	
No. DE CLASES TEÓRICAS:	5	No. DE CLASES PRÁCTICAS:	5
CLASES POR SEMANA:	1	No. DE HORAS POR SEMANA:	1.67 horas
DÍA QUE SE IMPARTE:		HORARIO:	
DIRECTOR DE ESCUELA:	Guillermo Puente	COORDINADOR DE LABORATORIO:	Byron Arrivillaga

#### DESCRIPCIÓN DE CURSO:

El laboratorio del curso de Radiocomunicaciones Terrestres consiste en instruir los fundamentos de antenas y enlaces de microondas en un ambiente práctico y experimental, utilizando distintas herramientas de simulación, análisis espectral y hardware de comunicación inalámbrica.

#### OBJETIVOS GENERALES:

1. Determinar la viabilidad, equipo y demás consideraciones para un radioenlace utilizando Radio Mobile.
2. Implementación de un enlace punto-multipunto utilizando Picostation2.

- |   |
|---|
| <p>3. Implementación de un radioenlace utilizando radios de distinta frecuencia.</p> <p>4. Determinar el patrón radiación y la ganancia de una antena.</p> <p>5. Implementación de una radioenlace real, en la frecuencia de 5.4 GHz.</p> |
|---|

#### **METODOLOGÍA:**

- |   |
|---|
| <p>1. Se llevarán a cabo explicaciones por parte del instructor que motiven la participación activa de los estudiantes.</p> <p>2. Se realizaran prácticas de grupo utilizando hardware y software orientado a comunicación inalámbrica.</p> |
|---|

#### **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO:**

<u>PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN</u>	<u>PONDERACIÓN</u>
Asistencia: clase teórica	10
Asistencia: prácticas 2, 3, y 5	20
Enlace en Radio Mobile	5
Elaboración de Antena	15
Reporte práctica 4	15
Trabajos de investigación	10
Evaluación Final	25
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

#### **CONTENIDO**

##### **PRACTICA No. 1: PRESUPUESTO DE POTENCIA**

- I. Clase teórica:
  - ✓ Sistemas de comunicación
  - ✓ Radio Mobile
- II. Clase práctica:
  - ✓ Simulación de un radioenlaces utilizando software

##### **PRACTICA No. 2: ENLACE 2.4 GHz**

- I. Clase teórica:
  - ✓ Conceptos básicos de red
  - ✓ Descripción y configuración de equipo
- II. Clase práctica:
  - ✓ Implementación de un enlace punto-multipunto utilizando PicoStation2

##### **PRACTICA No. 3: ENLACE 2.4-5.0 GHz**

- I. Clase teórica:
  - ✓ Topologías de red
  - ✓ Redes wifi
- II. Clase práctica:
  - ✓ Implementación de un enlace utilizando PicoStation2 y NanoStation5

**PRACTICA No. 4: DETERMINACIÓN DEL PATRÓN DE RADIACIÓN DE UNA ANTENA**

**III. Clase teórica:**

- ✓ Parámetros de las antenas
- ✓ Tipos de antena

**IV. Clase práctica:**

- ✓ Realización de antena, determinación de patrón de radiación y ganancia de ésta

**PRACTICA No. 5: IMPLEMENTACIÓN DE ENLACE**

**III. Clase teórica:**

- ✓ Presupuesto de potencia
- ✓ Consideraciones de montaje
- ✓ Protección de equipo

**IV. Clase práctica:**

- ✓ Implementación de radioenlace en el exterior utilizando NanoStation5

**BIBLIOGRAFÍA:**

1. Trinidad, Rodrigo. "Implementación de Laboratorio de Telecomunicaciones", junio 2013.
2. "Redes Inalámbricas en los países en Desarrollo",  
<http://wndw.net/pdf/wndw3-es/wndw3-es-print.pdf>

Fuente: elaboración propia.



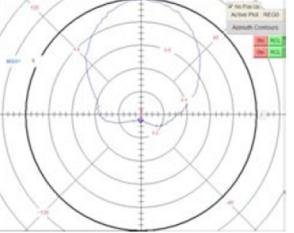
## ANEXOS

### Hoja de Datos: PicoStation2

SYSTEM INFORMATION						
Processor Specs		Atheros MIPS 4KC, 180MHz				
Memory Information		32MB SDRAM, 8MB Flash				
Networking Interface		1 X 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Ethernet Interface				
REGULATORY / COMPLIANCE INFORMATION						
Wireless Approvals		FCC Part 15.247, IC RS210, CE				
RoHS Compliance		YES				
RADIO OPERATING FREQUENCY 2412-2462 MHz						
TX SPECIFICATIONS		RX SPECIFICATIONS				
802.11b	DataRate	TX Power	Tolerance			
	1Mbps	20 dBm	+/-1dB			
	2Mbps	20 dBm	+/-1dB			
	5.5Mbps	20 dBm	+/-1dB			
	11Mbps	20 dBm	+/-1dB			
802.11g OFDM	6Mbps	20 dBm	+/-1dB			
	9Mbps	20 dBm	+/-1dB			
	12Mbps	20 dBm	+/-1dB			
	18Mbps	20 dBm	+/-1dB			
	24Mbps	20 dBm	+/-1dB			
	36Mbps	18 dBm	+/-1dB			
	48Mbps	16 dBm	+/-1dB			
	54Mbps	15 dBm	+/-1dB			
	6Mbps	-92 dBm	+/-1dB			
	9Mbps	-91 dBm	+/-1dB			
802.11n	12Mbps	-89 dBm	+/-1dB			
	18Mbps	-88 dBm	+/-1dB			
	24Mbps	-84 dBm	+/-1dB			
	36Mbps	-81 dBm	+/-1dB			
	48Mbps	-75 dBm	+/-1dB			
	54Mbps	-72 dBm	+/-1dB			
ADJUSTABLE CHANNEL SIZE SUPPORT						
5MHz	10MHz	20MHz				
ANTENNA & RANGE PERFORMANCE						
RP-SMA Antenna Included	Outdoor Omni-directional. 6dBi (U.S.), 0dBi (EU Version)					
Indoor/Outdoor Range	Over 50m / 150m					
PHYSICAL / ELECTRICAL / ENVIRONMENTAL						
Enclosure Size	13.6 cm. length x 2.0 cm. height x 3.9cm. width					
Weight	0.10kg					
Enclosure Characteristics	Outdoor UV Stabalized Plastic					
Max Power Consumption	4 Watts					
Power Rating	12V, 1A (12 Watts). Supply and injector included					
Power Method	Passive Power over Ethernet (pairs 4,5+; 7,8 return)					
Operating Temperature	-20C to +70C					
Operating Humidity	5 to 95% Condensing					
Shock and Vibration	ETSI300-019-1.4					
SOFTWARE						
 <a href="http://www.ubnt.com/airos">visit www.ubnt.com/airos</a>						

Fuente: <http://www.ubnt.com/picostation>. Consulta: 10 de marzo de 2013

## Hoja de Datos: NanoStation5 loco

SYSTEM INFORMATION			
Processor Specs		Atheros MIPS 4KC, 180MHz	
Memory Information		16MB SDRAM, 4MB Flash	
Networking Interface		1 X 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Ethernet Interface	
REGULATORY / COMPLIANCE INFORMATION			
Wireless Approvals		FCC Part 15.247, IC RS210, CE	
RoHS Compliance		YES	
RADIO OPERATING FREQUENCY 2412-2462 MHz			
TX SPECIFICATIONS		RX SPECIFICATIONS	
802.11b	DataRate	TX Power	Tolerance
	1Mbps	20 dBm	+/-1dB
	2Mbps	20 dBm	+/-1dB
	5.5Mbps	20 dBm	+/-1dB
	11Mbps	20 dBm	+/-1dB
802.11g OFDM	6Mbps	20 dBm	+/-1dB
	9Mbps	20 dBm	+/-1dB
	12Mbps	20 dBm	+/-1dB
	18Mbps	20 dBm	+/-1dB
	24Mbps	20 dBm	+/-1dB
	36Mbps	18 dBm	+/-1dB
	48Mbps	16 dBm	+/-1dB
	54Mbps	15 dBm	+/-1dB
	6Mbps	-92 dBm	+/-1dB
	9Mbps	-91 dBm	+/-1dB
802.11g OFDM	12Mbps	-89 dBm	+/-1dB
	18Mbps	-88 dBm	+/-1dB
	24Mbps	-84 dBm	+/-1dB
	36Mbps	-81 dBm	+/-1dB
	48Mbps	-75 dBm	+/-1dB
	54Mbps	-72 dBm	+/-1dB
RANGE PERFORMANCE			
Outdoor (BaseStation Antenna Dependent):			Over 5km
ANTENNA			
Gain	8dBi (2400-2500MHz)	Survival Wind	216 km /hr
Polarization	Multi-Polarized	3dB Beamwidth Elevation	60 degrees
Polarization Selection	Software Controlled	3dB Beamwidth Azimuth	60 degrees
Azimuth		Elevation	
PHYSICAL / ELECTRICAL / ENVIRONMENTAL			
Enclosure Size		16.3 cm. length x 3.1 cm. height x 8cm. width	
Weight		0.18kg	
Enclosure Characteristics		Outdoor UV Stabilized Plastic	
Mounting Kit		Pole Mounting Kit included	
Max Power Consumption		4 Watts	
Power Supply		12V, 1A (12 Watts). Supply and injector included	
Power Method		Passive Power over Ethernet (pairs 4,5+; 7,8 return)	
Operating Temperature		-20C to +70C	
Operating Humidity		5 to 95% Condensing	
Shock and Vibration		ETSI300-019-1.4	
SOFTWARE			
			
visit <a href="http://www.ubnt.com/airos">www.ubnt.com/airos</a>			

Fuente: <http://www.ubnt.com/nanostationloco>. Consulta: 10 de marzo de 2013.