

**LANs INALÁMBRICAS: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA WLAN
PARA EL LABORATORIO DE REDES DE DATOS DE LA E3T**

MARTHA LILIANA SUÁREZ PEÑALOZA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2004**

**LANs INALÁMBRICAS: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA WLAN
PARA EL LABORATORIO DE REDES DE DATOS DE LA E3T**

MARTHA LILIANA SUÁREZ PEÑALOZA

Este proyecto es presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Electrónico

Director

OSCAR GUALDRÓN GONZÁLEZ

Doctor en física

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2004**

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. FUNDAMENTOS SOBRE REDES INALÁMBRICAS	3
1.1 CONCEPTOS GENERALES	3
1.2 COMPONENTES Y MODOS DE OPERACIÓN DE LAS WLANs	4
1.3 APLICACIONES DE REDES INALÁMBRICAS	9
1.3.1 Ampliación de redes LAN	9
1.3.2 Interconexión de edificios	11
1.3.3 Acceso nómada	11

1.3.4 Trabajo en red ad hoc	12
1.3.5 Diferencias entre sistemas LAN cableados e inalámbricos	12
1.3.5.1 Dirección del destino	12
1.3.5.2 Impacto del medio en el diseño	12
1.3.5.3 Administración de estaciones móviles	13
1.4 ESTÁNDARES WLANs	13
1.4.1 HomeRF 2.0	13
1.4.2 BlueTooth	14
1.4.3 HiperLAN2	15
1.4.4 802.11	15

1.4.5	802.11a	18
1.4.6	802.11b	19
1.4.7	802.11g	19
1.5	SEGURIDAD EN LAS REDES INALÁMBRICAS	20
1.5.1	SSID (<i>service set ID</i>)	20
1.5.2	WEP (<i>wired equivalent protocol</i>)	21
1.5.3	Filtros de direcciones MAC	22
1.5.4	Wi-Fi Protected Access (WPA)	23
1.5.5	802.1x y EAP	23
1.5.6	Redes virtuales privadas (VPNs)	25

1.6	NORMATIVAS	27
2.	DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DE LA WLAN	30
2.1	CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO DE LA RED INALÁMBRICA	30
2.1.1	Descripción de la red local Canarias de la UIS	30
2.1.2	Descripción del laboratorio de redes	31
2.1.3	Descripción del entorno	34
2.2	DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA	36
2.2.1	Selección del estándar más adecuado para la WLAN	36
2.2.1.1	Topología de red	38
2.2.1.2	Tipo de enlace	40

2.2.1.3 Entorno	40
2.2.1.4 Rango y máxima tasa de transferencia de datos	44
2.2.1.5 Tolerancia al Multitrayecto	46
2.2.1.6 Banda de frecuencia	46
2.2.1.7 Seguridad	47
2.2.1.8 Cantidad de usuarios	47
2.2.1.9 Protocolo	48
2.2.2 Cálculo del enlace	49
2.2.2.1 Potencia transmitida y ganancia de antena	50
2.2.2.2 Pérdidas por trayectoria	51
2.2.2.3 Ganancia de antena en el receptor	51
2.2.2.4 Margen de debilitamiento del enlace	51
2.2.2.5 Pérdidas por cables y conectores	52
2.2.2.6 Atenuación	52

2.2.2.7 Cálculo del enlace para el laboratorio de redes de datos	52
2.2.3 Selección de los dispositivos de red	55
2.2.3.1 Tarjetas de adaptadores cliente	55
2.2.3.2 Puntos de acceso	57
2.2.4 Selección de las marcas y las referencias	58
3. PRÁCTICAS PROPUESTAS	63
3.1 HERRAMIENTAS DE SOFTWARE	63
3.1.1 MGEN	63
3.1.1.1 Versión 3.x (Linux)	64
3.1.1.2 Versión 4: Windows	66

3.1.2 Qcheck	66
3.1.3 Analizador de red Ethereal	68
3.2 DEFINICIÓN DE LAS PRÁCTICAS	70
3.2.1 Estructura de las prácticas	71
3.2.1.1 Introducción	72
3.2.1.2 Objetivo general y objetivos específicos	72
3.2.1.3 Materiales – Equipos a utilizar	72
3.2.1.4 Trabajo previo (opcional)	73
3.2.1.5 Marco teórico	73
3.2.1.6 Procedimiento	73
3.2.1.7 Preguntas posteriores a la práctica y análisis (opcional)	73
3.2.1.8 Bibliografía	73
3.2.1.9 Anexos	74

3.2.2 Cantidad y duración de las prácticas	74
3.3 PRÁCTICA NÚMERO 1: RED AD HOC	75
3.3.1 Objetivo general	75
3.3.2 Objetivos específicos	75
3.3.3 Introducción	76
3.3.4 Procedimiento	76
3.4 PRÁCTICA NÚMERO 2: INFRAESTRUCTURA	79
3.4.1 Objetivo general	79
3.4.2 Objetivos específicos	79

3.4.3	Introducción	80
3.4.4	Procedimiento	80
3.5	PRÁCTICA NÚMERO 3: SEGURIDAD	81
3.5.1	Objetivo general	81
3.5.2	Objetivos específicos	81
3.5.3	Introducción	81
3.5.4	Procedimiento	82
3.6	PRÁCTICA NÚMERO 4: WLANS USANDO LINUX	82
3.6.1	Objetivo general	82
3.6.2	Objetivos específicos	83

3.6.3	Introducción	83
3.6.4	Procedimiento	83
	CONCLUSIONES	85
	RECOMENDACIONES	86
	BIBLIOGRAFÍA	87
	ANEXOS	91

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 Asignación del espectro de frecuencias	4
Figura 2 Algunos sistemas de acceso inalámbrico	5
Figura 3 Estándares para LAN y MAN, capas física y de enlace de datos	6
Figura 4 Conjunto de servicio básico independiente (IBSS)	6
Figura 5 Red ad hoc	7
Figura 6 Arquitectura IEEE 802.11 completa	9
Figura 7 Red infraestructura	10
Figura 8 Interconexión de edificios con WLANs	11
Figura 9 Autenticación 802.1x	24
Figura 10 Una WLAN con VPN	26
Figura 11 Laboratorio de redes de datos, Aula 202	32
Figura 12 Laboratorio de redes de datos, Aula 207	34

Figura 13 Red inalámbrica en topología estrella	38
Figura 14 Red inalámbrica en topología malla	39
Figura 15 Segundo piso del edificio eléctrica antigua	41
Figura 16 802.11a Tasa de trasmisión vs distancia sin línea de vista	42
Figura 17 Desempeño de IEEE 802.11a a puertas cerradas	43
Figura 18 Gráfica comparativa 802.11a y 802.11b	45
Figura 19 Diagrama para el cálculo de enlace	50
Figura 20 Consola de Qcheck	67
Figura 21 Ejemplo de captura de Ethereal	68
Figura 22 Equipos inalámbricos del laboratorio de redes de datos	70

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 Cuadro comparativo de las variantes 802.11	17
Tabla 2 Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias	29
Tabla 3 Banda de frecuencias radioeléctricas y límites de potencia para aparatos transreceptores	29
Tabla 4 Cálculo de enlace entre el adaptador inalámbrico y el punto de acceso	53
Tabla 5 Cálculo de enlace entre el punto de acceso y el adaptador inalámbrico	54
Tabla 6 Criterios y valores para cada adaptador inalámbrico	60
Tabla 7 Criterios, ponderado y valoración para cada adaptador inalámbrico	61
Tabla 8 Criterios y puntuación para cada adaptador inalámbrico	62
Tabla 9 Temas propuestos para las prácticas de laboratorio (3.2.2)	74
Tabla 10 Posible orden de instalación de los adaptadores	77

Tabla 11 Posible distribución de los adaptadores cliente para que ninguna pareja de estudiantes tenga dos de la misma marca.

78

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Especificaciones técnicas de los adaptadores cliente inalámbricos y los puntos de acceso	91
A1. Características access point DWL6000AP marca D-Link	91
A2. Características de los adaptadores DWL 120 D-Link	94
A3. Características de los adaptadores 3Com	95
A4. Características de los adaptadores Orinoco Silver	98
ANEXO B. Ejemplo de la guía para preparación de las prácticas que se le entrega a los estudiantes	101

RESUMEN

TÍTULO

WLANS: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA WLAN PARA LA SALA DE REDES DE DATOS DE LA E3T*

AUTORA

MARTHA LILIANA SUÁREZ PEÑALOZA**

PALABRAS CLAVES

LAN, red de área local, inalámbrico, 802.11b, ad hoc, infraestructura

DESCRIPCIÓN

Tomando en cuenta el auge de las comunicaciones inalámbricas en todo el mundo, se diseñó una red de área local inalámbrica (WLAN: Wireless Local Area Network) para la Universidad Industrial de Santander. La red se implementó en el laboratorio de redes de datos de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (E3T) acorde con sus requerimientos de topología, tipo de enlace, rango, throughput, tolerancia al multitrayecto, seguridad, cantidad de usuarios y recursos disponibles.

Se hicieron cálculos de enlace que permitieron ratificar teóricamente que el estándar 802.11b era el más adecuado para garantizar cobertura en el laboratorio; posteriormente, al adquirir los equipos e implementar la red, se pudo comprobar empíricamente que la red permitía cubrir todo el laboratorio (compuesto de dos salas separadas entre sí por una distancia de 24 metros y cinco muros que obstruyen la trayectoria de la señal) y que el diseño fue adecuado.

Con la red funcionando, se propusieron cuatro guías de laboratorio a la E3T que permitirán a sus estudiantes conocer los principios básicos de funcionamiento de una WLAN y aprender a manejar dispositivos inalámbricos de diferentes marcas y con diferentes herramientas de administración en modos de operación ad hoc e infraestructura y en los sistemas operativos Windows XP y Linux.

*Proyecto de Grado.

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas; Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones; Oscar Gualdrón González.

ABSTRACT

TITLE

WLANS: DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A WLAN IN THE LABORATORY OF COMPUTER NETWORKS OF ELECTRICAL, ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING SCHOOL¹.

AUTHOR

MARTHA LILIANA SUÁREZ PEÑALOZA^{II}

KEYWORDS

LAN, Local area network, wireless, 802.11b, ad hoc, infraestructure

DESCRIPTION

The communications developpement in the world grows everyday, tha's why in this projet, a wireless local area network, was designed (WLAN: Wireless Local Area Network) for the University Industrial of Santander. The network was implemented in the laboratory of computer networks of electrical, electronics and telecommunications engineering school (E3T) in agreement with its requirements of topology, link, range, throughput, Multipath tolerance, security, number of users and available resources.

A link budget was made to confirm theoretically that the IEEE 802.11b standard was the most recommendable choise for the laboratory's conditions; when the wireless equipement were bought some tests where runned to confirm empirically the link budget. The results obtained showed that there where coverage for the whole laboratory (it's integrated by two rooms whit a distance of 24 meters among them and five walls as obstacles to the signal) and that the design was appropriated.

Whit the WLAN implemented, four laboratory guides were proposed to the E3T, whit these, the students will be able to know the basical principles of operation of a WLAN and to learn how to install and configure wireless devices of differents marks and their management outils. The two operation modes of WLANs: ad hoc and infraestructure will be also studied whit these guides.

^IFinal Project.

^{II}Physical and Mechanical Engineering Faculty; School of Electrical, Electronics and Telecommunications Engineering; Oscar Guadrón González.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicación han evolucionado notablemente, los medios de transmisión clásicos, sean cable o fibra óptica limitan la movilidad de los usuarios y los restringen a un área física determinada. Con el advenimiento de las comunicaciones inalámbricas este problema se solucionó en parte, sin embargo, las máximas tasas de transmisión propuestas para la mayoría de sistemas iniciales era muy baja y la expansión de estos sistemas fue lenta y limitada a solo algunos sectores específicos.

Actualmente, la tecnología ha permitido que los sistemas inalámbricos estén al alcance de todos, con excelentes características y a precios asequibles. Estos sistemas se han ido convirtiendo poco a poco en un pilar fundamental del desarrollo económico, político, académico, social y cultural de la sociedad. La tendencia es hacia la convergencia y los dispositivos actuales ofrecen cada día mayores servicios en una carrera desmedida por satisfacer a los usuarios. Se puede decir, que el mundo entero está viviendo la efervescencia de la movilidad y la investigación en esta materia, en todo el mundo, avanza a pasos agigantados.

Estudiar las comunicaciones inalámbricas y aportar desde la academia a su desarrollo y expansión es un imperativo para las universidades colombianas. Enfocando la atención en las redes inalámbricas de área local (WLANs), este proyecto se realizó en la Universidad Industrial de Santander con el objetivo principal de dotar a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (E3T) con algunos dispositivos de red inalámbricos y unas guías prácticas de laboratorio sugiriendo a la Escuela el uso de dichos equipos, de tal forma que se pueda profundizar en esta rama de las comunicaciones y se promuevan proyectos de investigación en estos campos hasta ahora inexplorados.

Actualmente la E3T se encuentra en un proceso de crecimiento no solo a nivel de pregrado sino también en post-grado gracias a la Maestría en ingenierías o a la Especialización en Telecomunicaciones. Aprovechar las

instalaciones ya existentes en la Escuela e implementar soluciones inalámbricas de punta para ofrecer las mejores herramientas de aprendizaje a sus estudiantes, es una manera de garantizar el liderazgo de la Universidad Industrial de Santander en el ámbito educativo no solo regional sino también nacional.

El diseño de la WLAN fue pensado especialmente para el laboratorio de redes de datos, tomando en cuenta múltiples variantes particulares como el entorno, el rango, la máxima transferencia de datos deseada, etc. Como resultado de este proyecto, la E3T cuenta actualmente con una red de área local inalámbrica configurable en diferentes modos de operación y disponible para las aplicaciones que la Escuela considere convenientes.

Entre las ventajas que se le ofrecen a la E3T por el hecho de contar con una red de área local inalámbrica se encuentran el permitirle a sus miembros tener mayor libertad de movilidad que la que se tiene con una LAN cableada (con tasas de transmisión de datos de hasta 54 Mbps) y la libertad de conectarse a una red local en cualquier lugar de sus instalaciones donde se ofrezca cobertura y se cuente con un computador con un puerto USB disponible. Cabe resaltar que al igual que una red cableada, una WLAN permite compartir recursos en la red, así como los periféricos que se encuentran conectados a otros computadores.

El hecho de contar con este tipo de red posiciona a la E3T como la primera en la UIS en poseerla y le brinda una herramienta didáctica moderna y útil. Este proyecto contribuye a su vez al fortalecimiento del grupo de CPS (Grupo de investigación en conectividad y procesado de señal) y al desarrollo de otros proyectos de investigación en el área de las comunicaciones inalámbricas.

1. FUNDAMENTOS SOBRE REDES INALÁMBRICAS

1.1 CONCEPTOS GENERALES

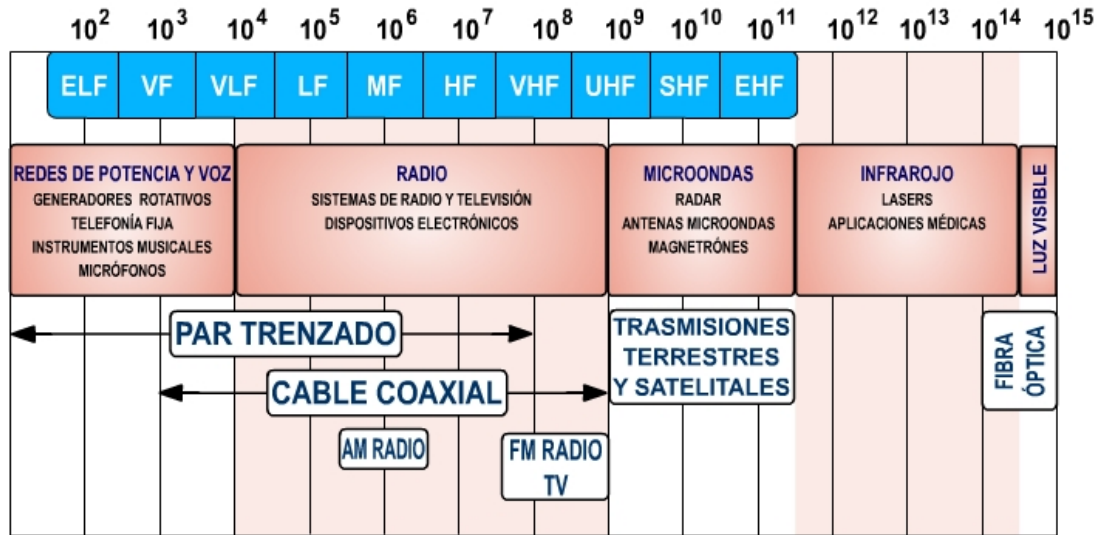
Normalmente el título de “sistemas de acceso inalámbrico” o “*Wireless Access Systems*” (WAS) se aplica a todas las tecnologías de “banda ancha, baja potencia y corto alcance, que operan o pueden operar sobre una base de no interferencia y no protección de interferencia”¹, entre las que se encuentran las redes RLAN (*radio local area network*), las redes de área local inalámbrica WLAN*, los dispositivos bluetooth y los dispositivos del estándar IEEE 802.11x, entre los que sobresale el estándar 802.11b adoptado por la Alianza *Wireless Fidelity* con el nombre de Wi-Fi.

Estas tecnologías inalámbricas se han venido desarrollando a la sombra de las tecnologías de “espectro ensanchado” que operan en las bandas atribuidas mundialmente a las aplicaciones Industriales, Científicas y Médicas (ICM). La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) atribuyó a dichas aplicaciones, para la región 2 Américas, las bandas de 902 a 928 MHz; 2400 a 2483,5 MHz y de 5725 a 5825 MHz. En la figura 1 se observa la distribución del espectro de frecuencias. Las redes inalámbricas pertenecen al rango UHF.

¹ CITELEXXI-CCPIII.Brasil 2002.

*Esta sigla viene del término inglés: Wireless Local Area Network. A lo largo de este documento se usará para referirse a una red de área local inalámbrica.

Figura 1. Asignación del espectro de frecuencias



Diseño del autor

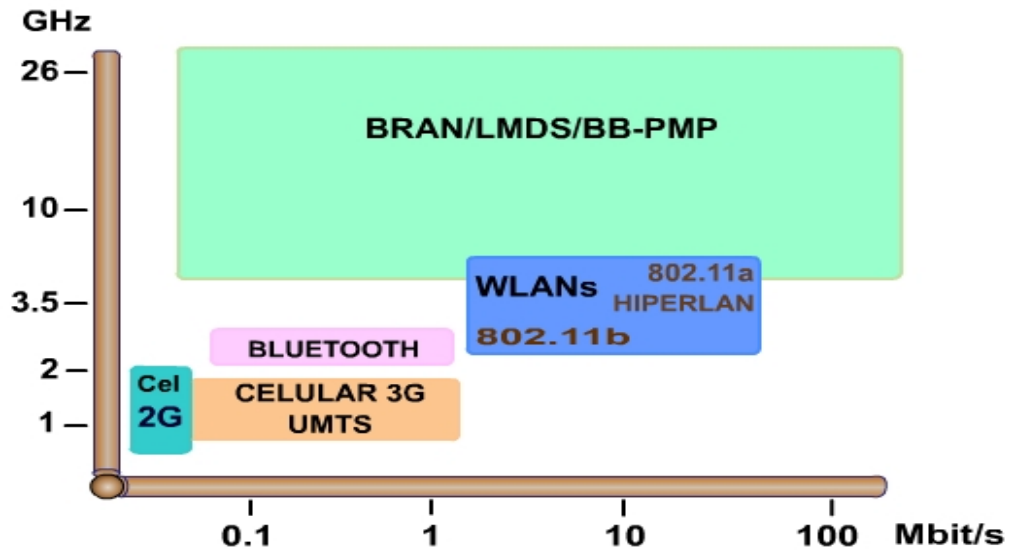
En la figura 2 se observan algunos sistemas de acceso inalámbrico y sus frecuencias de operación.

1.2 COMPONENTES Y MODOS DE OPERACIÓN DE LAS WLANs

En lo referente a redes inalámbricas de área local, el comité 802.11 del Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos (IEEE) ha desarrollado un conjunto de especificaciones reunidas en el estándar 802.11.

A pesar de no ser el único estándar existente (en la sección 1.4 se presentarán otros estándares), la terminología y la descripción general de las redes inalámbricas que en él se encuentran son útiles para comprender los principios de funcionamiento fundamentales de las WLANs y se tomará como guía para describir dichas redes en este documento.

Figura 2. Algunos sistemas de acceso inalámbrico



Diseño del autor

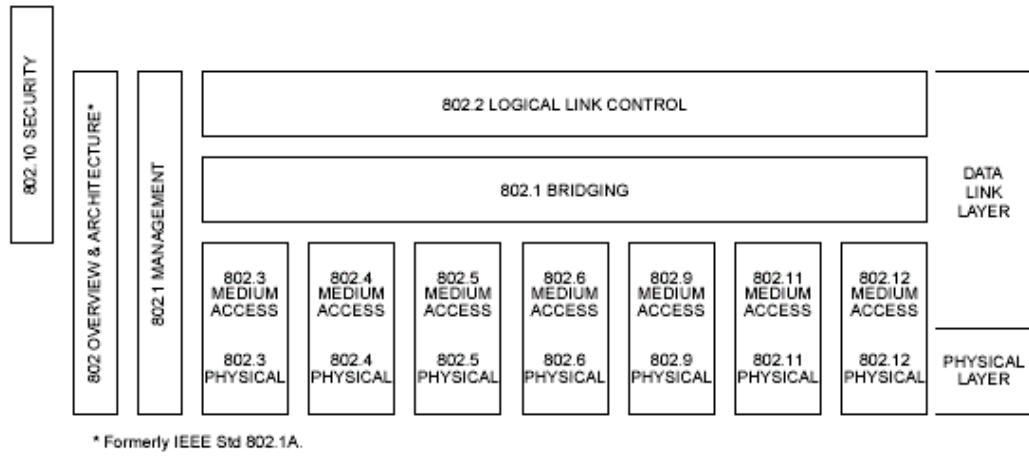
El estándar 802.11 forma parte de una familia de estándares para redes de área local y metropolitana. La relación entre este estándar y otros de la misma familia se muestra en la figura 3. Todos estos estándares, como se observa en la figura, se refieren a las capas física y de enlace de datos que están definidas por la Organización Internacional de Estándares (ISO*).

Como ellos, el estándar 802.11 solo se refiere a las capas más bajas y enfatiza la división del sistema en dos grandes partes, la física (PHY) y la de control de acceso al medio (MAC**) que forma parte de la capa de enlace de datos en el modelo OSI.

*La Organización Internacional de Estándares recibe el nombre de ISO a partir de su nombre en inglés: International Organization for Standardization y su modelo de referencia básica por capas recibe el nombre de OSI: Open Systems Interconnection.

**Esta sigla viene del término en inglés: Medium Access Control.

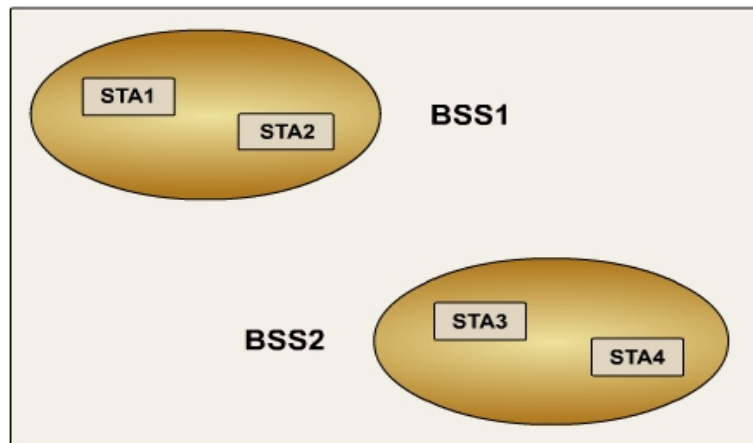
Figura 3. Estándares para LAN y MAN, capas física y de enlace de datos



Tomado de la referencia [1] de la bibliografía

Según el estándar 802.11, el bloque más elemental de una LAN inalámbrica es un BSS (*basic service set*) o conjunto de servicio básico, que consta de varias estaciones (STAs) ejecutando el mismo protocolo MAC y compitiendo para acceder al medio compartido. Un BSS puede ser aislado, conociéndose entonces como un IBSS (*independent basic service set*). En la figura 4 se presentan dos IBSSs.

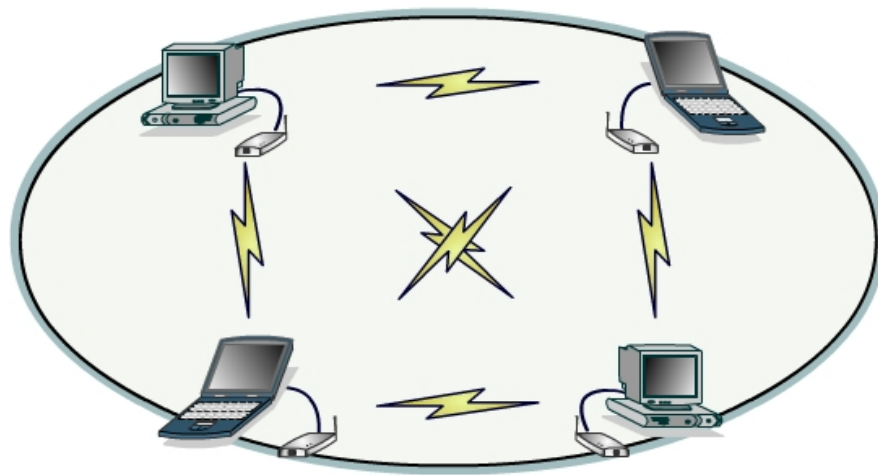
Figura 4. Conjunto de servicio básico independiente (IBSS)



Diseño del autor

El término red ad hoc es usualmente empleado para referirse a un IBSS. Una red ad hoc puede definirse como una red compuesta solamente de estaciones dentro de un rango mutuo en el que la comunicación se realiza haciendo uso de un medio inalámbrico. Una red de este tipo es creada típicamente de manera espontánea y su principal característica es que está limitada en extensión espacial y temporal. En la figura 5 se presenta una red ad hoc.

Figura 5. Red ad hoc



Diseño del autor

Un BSS puede, en lugar de estar aislado, formar parte de una forma de red más extensa compuesta de múltiples BSSs interconectados por un "sistema de distribución"*. En este caso se requiere un punto de acceso

*IEEE 802.11 hace la distinción entre el medio inalámbrico y el medio de distribución. Según las definiciones IEEE 802.11 los dos medios pueden o no ser los mismos, el estándar especifica la arquitectura del sistema, independientemente de sus características físicas o de alguna implementación específica.

(AP)* cuya función es proveer acceso al sistema de distribución. El protocolo MAC puede ser completamente distribuido o controlado por una función de coordinación central localizada en el punto de acceso. El BSS corresponde generalmente con lo que se conoce en la bibliografía como una celda o célula.

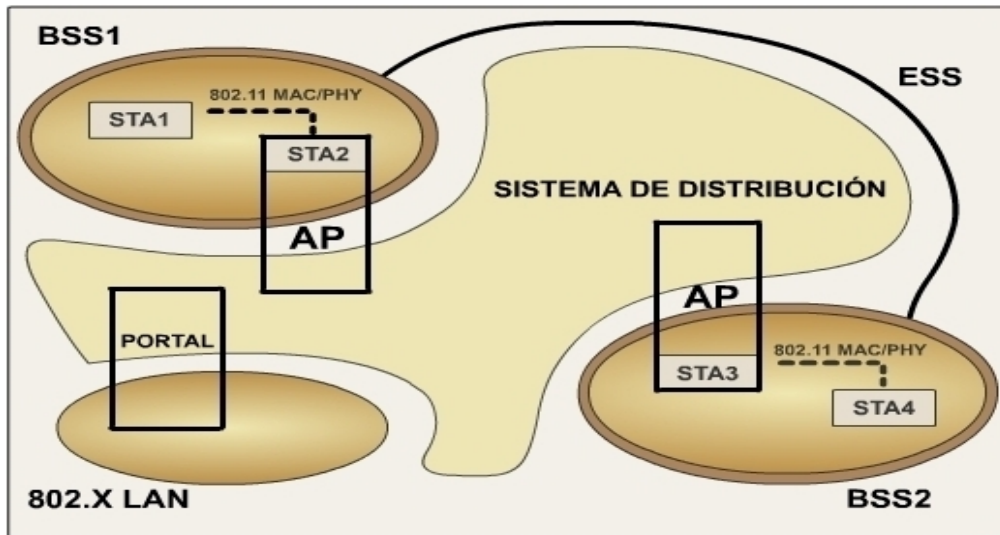
El sistema de distribución y los BSSs permiten crear una red de tamaño y complejidad avanzada. IEEE 802.11 se refiere a esta red como un conjunto de servicio extendido (ESS), el cual consta de dos o más BSSs interconectados por un sistema de distribución. Generalmente, el sistema de distribución es una LAN núcleo cableada. El ESS aparece en el nivel de control de enlace lógico (LLC) como una única LAN lógica.

Para integrar la arquitectura 802.11 con una LAN cableada tradicional, se introduce un último elemento en la arquitectura: el portal. Un portal es el punto lógico a través del cual se intercambian paquetes entre una red 802.11 y una red cableada (cualquier otra red IEEE 802). En la figura 6 se presenta un diagrama con todos los componentes de una arquitectura de red inalámbrica, es importante notar que nada se asume acerca de las ubicaciones físicas de los BSSs.

Es posible que un mismo dispositivo ofrezca las dos funciones: AP y portal. Este podría ser el caso cuando el medio de distribución se implementa con componentes IEEE 802.

* Esta sigla viene del término inglés: Access Point; en este documento se utilizarán sin distinción los términos access point, punto de acceso y la sigla AP.

Figura 6. Arquitectura IEEE 802.11 completa



Diseño del autor

El segundo modo de operación de las WLANs (el primero es en red ad hoc) es en red infraestructura, en la cual se incluye el medio de distribución del sistema, uno o más puntos de acceso y cero o más portales. En una red infraestructura se encuentran las funciones de distribución e integración de un ESS. En la figura 7 se presenta una red en modo infraestructura.

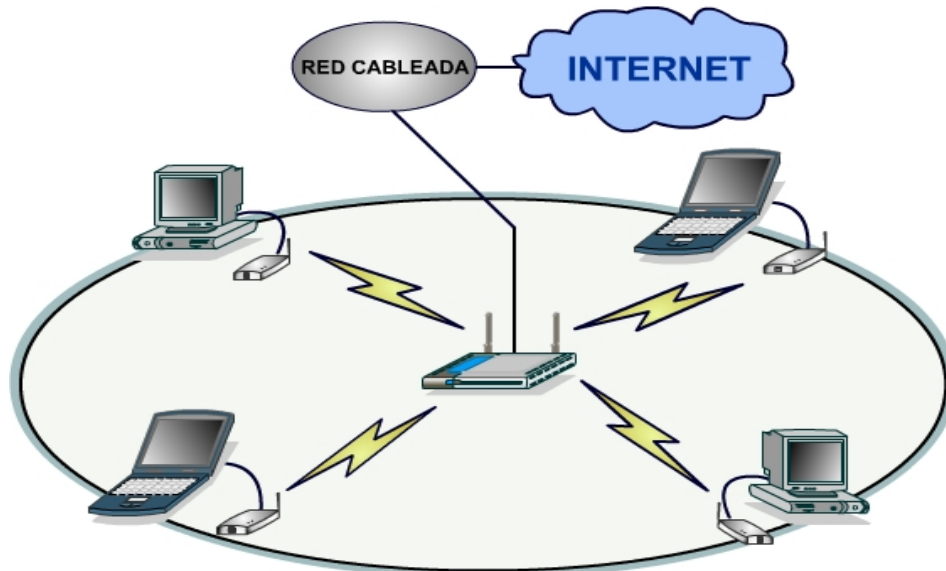
1.3 APLICACIONES DE REDES INALÁMBRICAS

Básicamente existen cuatro áreas de aplicación para las WLANs: ampliación de redes LAN, interconexión de edificios, acceso nómada y redes ad hoc.

1.3.1 Ampliación de redes LAN. Debido a ciertas condiciones del entorno,

se puede decir que es escaso el uso de LANs inalámbricas frente a LANs cableadas¹. Sin embargo, el papel de una LAN inalámbrica como alternativa a las LAN cableadas es importante en un gran número de entornos. Algunos ejemplos son edificios de gran superficie, edificios históricos con insuficientes pares trenzados donde está prohibido hacer más agujeros para nuevos cableados y pequeñas oficinas donde la instalación y mantenimiento de una LAN cableada no resultan económicos.

Figura 7. Red infraestructura



Diseño del autor

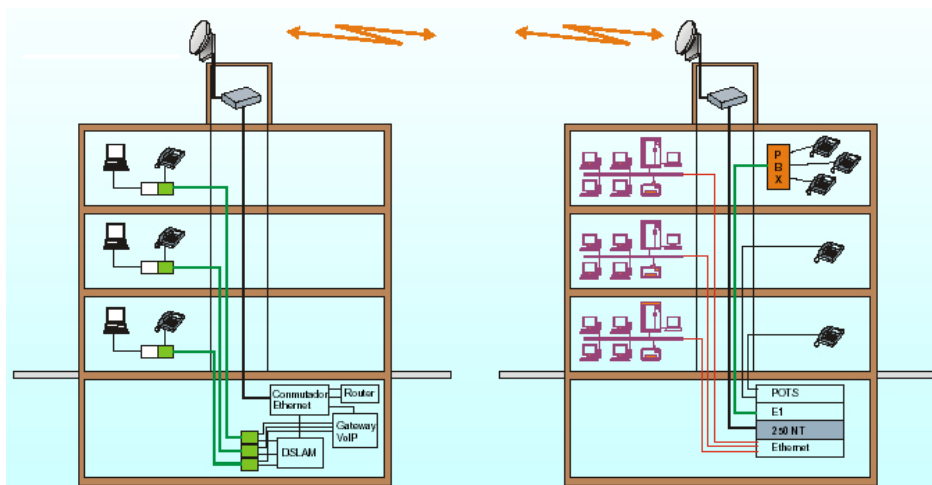
En todos estos casos una LAN inalámbrica ofrece una alternativa más efectiva y atractiva. En la mayor parte de estas situaciones, una empresa también dispondrá de una LAN cableada con servidores y algunas

¹STALLINGS, William. Comunicaciones y redes de computadores. 6 ed. Madrid, España : Pearson Educación, 2000. ISBN 84-205-2986-9.

estaciones de trabajo estáticas. Por tanto, una LAN inalámbrica está conectada en muchas ocasiones con una LAN cableada con las mismas premisas, denominándose este campo de aplicación ampliación de LAN.

1.3.2 Interconexión de edificios. Otro uso para redes LAN de tecnología inalámbrica es la conexión de redes LANs en edificios vecinos, sean LANs cableadas o inalámbricas. En este caso se usa un enlace no guiado entres dos edificios. Los dispositivos así conectados son generalmente puentes o dispositivos de encaminamiento. Este enlace punto a punto no es en sí mismo una LAN, pero es usual la inclusión de estos sistemas en el contexto de redes LAN inalámbricas.

Figura 8. Interconexión de edificios con WLANs



Gráfica tomada de la URL: <<http://greco.dit.upm.es/~vidal/Tema%2010.pdf>>.

1.3.3 Acceso nómada. El acceso nómada permite un enlace no guiado entre un centro de LAN y un terminal de datos móvil con antena, como un computador portátil. Los usuarios pueden desplazarse con sus computadores portátiles y conectarse con una LAN inalámbrica desde

distintos lugares.

1.3.4 Trabajo en red ad hoc. Como ya se explicó en la sección 1.2, una red ad hoc es una red igual a igual (sin servidor central) establecida temporalmente para solventar alguna necesidad inmediata. En este caso la LAN inalámbrica forma una infraestructura estática consistente en una o más celdas con un módulo de control para cada una; dentro de cada celda pueden existir varios sistemas finales estáticos.

1.3.5 Diferencias entre los sistemas LAN cableados y los inalámbricos. Los sistemas LAN inalámbricos tienen características fundamentales que los hacen significativamente diferentes de los sistemas LAN cableados tradicionales. A continuación se presentan algunas.

1.3.5.1 Dirección del destino. La dirección de destino no es lo mismo que la ubicación del destino. En los sistemas cableados una dirección es equivalente a una ubicación física. Eso está implícito en el diseño de la LAN. En IEEE 802.11, la unidad direccionable es una estación, la cual es el destino de los mensajes, pero no (por lo general) una ubicación fija.

1.3.5.2 Impacto del medio en el diseño. Las capas físicas usadas en IEEE 802.11 son fundamentalmente diferentes de los medios cableados. Así que la capa física 802.11:

- Usa un medio que no tiene fronteras absolutas ni observables, por fuera de las cuales las estaciones que componen la red no pueden recibir paquetes de la red.
- Está desprotegida de señales externas.

- Se comunica sobre un medio significativamente menos confiable que el de las capas físicas cableadas.
- Tiene topologías dinámicas.
- Carece de conectividad completa, por lo tanto la suposición común de que cada estación puede recibir señal de todas las demás es inválida (por ejemplo una estación puede estar oculta para alguna otra).
- Tiene propiedades de propagación asimétricas y variantes en el tiempo.

1.3.5.3 Administración de estaciones móviles. Uno de los requerimientos de IEEE 802.11 es el de manejar estaciones móviles y portátiles. Una estación portátil es la que se mueve de un sitio a otro, pero que solo se usa en un lugar fijo. En cambio, las estaciones móviles acceden a la LAN mientras están en movimiento. Por razones técnicas, no es suficiente manejar solo estaciones portátiles y hay múltiples efectos de propagación que deben tomarse en cuenta. Otro aspecto de las estaciones móviles es que normalmente son alimentadas por batería, así que la administración de la energía consumida requiere especial atención en el diseño de una WLAN.

1.4 ESTÁNDARES WLANS

1.4.1 HomeRF 2.0. Este estándar europeo se enfoca principalmente hacia aplicaciones residenciales, funciona en la banda de 2.4 GHz. HomeRF 2.0 puede operar a tasas de hasta 10 Mbps y permite integrar voz y datos en un amplio rango de dispositivos (PCs, PDAs, teléfonos inalámbricos, etc.). El protocolo SWAP (*homeRF shared wireless access protocol*), usado por HomeRF 2.0, está diseñado para transportar voz y datos en el interior de una casa.

Dentro de sus características se encuentran que utiliza TDMA (*time division multiple access*) y CSMA/CA (*carrier sense multiple access with collision avoidance*) a nivel de capa MAC y FHSS (*frequency-hopping spread spectrum*), con una frecuencia de 50 saltos por segundo, a nivel de capa física. Su máxima potencia de transmisión es de 24 dBm y su rango de cobertura de hasta 100m con línea de vista directa.

1.4.2 Bluetooth. Es un estándar de tecnología inalámbrica que utiliza técnicas de espectro ensanchado en saltos de frecuencia FHSS, capaz de transmitir a muy cortas distancias con velocidades de hasta 1 Mbps, en la banda ICM de los 2.4 GHz.

Bluetooth ha surgido como un posible sustituto a todo tipo de cable anexo a una computadora; aporta conexiones inalámbricas en un radio de acción de 1 a 10 metros, lo que basta para cubrir un área personal PAN (*personal area network*). El estándar Bluetooth apoyado por más de 500 empresas, es una tecnología inalámbrica de bajo costo y bajo consumo de energía que permite la comunicación inalámbrica entre teléfonos móviles, PCs, PDAs, portátiles, teclados, ratones, impresoras y otros dispositivos de computación.

En cuanto a su implementación Bluetooth utiliza el término de *piconet*. Un *piconet* es un grupo de 2 u 8 aparatos que utilizan Bluetooth. Estos comparten el mismo rango y cuentan con un aparato "maestro principal" quien es el encargado de coordinar el patrón de saltos del *piconet* para que todos los "esclavos" sean capaces de recibir la información.

1.4.3 HiperLAN2 (*High Performance Radio LAN*). Es una especificación inalámbrica desarrollada dentro del proyecto de redes de acceso de radio de banda ancha (BRAN) del Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) y propuesta con el fin de proveer acceso de banda ancha sobre una variedad de redes como: redes móviles de tercera generación 3G, redes ATM y redes basadas en IP (como las WLANs). Permite tasas de datos de hasta 54 Mbps para comunicaciones inalámbricas de corto alcance (hasta 150 metros en ambientes de interior y de exterior), en las bandas de 5150 a 5300 MHz y de 5470 a 5725 MHz.

HiperLAN2 posee algunas similitudes con el estándar 802.11a, en el estrato físico, al igual que este utiliza modulación OFDM y opera en la banda de frecuencias de 5 GHz, sin embargo los sistemas tecnológicos para el control de acceso son diferentes. Mientras 802.11a utiliza CSMA-CA, HiperLAN2 usa TDMA.

El estándar HiperLAN2 es más difícil de implementar que su análogo, el 802.11a por lo que muy pocos dispositivos se ciñen a él, incluso, algunos autores lo consideran prácticamente muerto.

1.4.4 802.11. En 1997, IEEE adoptó el estándar IEEE 802.11-1997 para WLANs. Este estándar ha recibido múltiples suplementos, 802.11a, 802.11b, etc. que son los que están disponibles en los equipos de red actuales. En la tabla 1 se presentan todas sus variantes. Este estándar se explicará en esta sección debido a que fue el primero y a partir de él se ha derivado la familia de estándares 802.11.

802.11 define las capas de control de acceso al medio (MAC) y física (PHY) para una LAN con conectividad inalámbrica. Direcciona FHSS, DSSS (*direct sequence spread spectrum*), e infrarrojos. La tasa de datos está limitada a 2 Mbps y 1 Mbps para ambos FHSS y DSSS.

FHSS evita el multitrayecto y la interferencia de banda angosta gracias a su esquema de saltos de frecuencia (*frequency-hopping*). Si un canal está debilitado los demás canales usualmente no lo están, así que los paquetes son enviados a esos saltos donde no se presenta desvanecimiento. FHSS tiene 64 patrones de salto que pueden soportar hasta 15 redes en un mismo lugar. Los sistemas FHSS están limitados a 1 Mbps y opcionalmente 2 Mbps. Típicamente tienen un rango mayor que los sistemas DSSS. FHSS no es compatible con los equipos basados en el estándar 802.11b.

DSSS, como se implementó en 802.11, ocupa 22 MHz del espectro y opera a una tasa de datos de 2 Mbps. DSSS es susceptible al multitrayecto y a la interferencia de banda angosta debido al limitado factor de expansión que usa (11 bits). DSSS solo puede soportar tres canales no interferentes y es compatible con los equipos basados en el estándar 802.11b.

Los equipos basados en 802.11 presentan un buen desempeño en algunas aplicaciones que requieren inmunidad al multitrayecto, que toleran tasas de transmisión bajas y que no desean compatibilidad con los equipos disponibles actualmente, ya que la mayoría de fabricantes de estos dispositivos de red no ofrecen garantía ni servicio técnico para ellos.

Tabla 1. Cuadro comparativo de las variantes 802.11

VARIANTE 802.11	DESCRIPCIÓN
802.11a	Creó un estándar para operación de WLANs en la banda de 5 GHz con tasas de trasmisión de hasta 54 Mbps. Publicado en 1999.
802.11b	Creó un estándar (También conocido como Wi-Fi) para operación de WLANs en la banda de 2.4 GHz con tasas de trasmisión de hasta 11 Mbps. Publicado en 1999.
802.11c	Provee información de procedimientos MAC específicos de 802.11 a la Organización Internacional para la estandarización / Comisión Electrotécnica Internacional (ISO/IEC).
802.11d	Publicación de definiciones y requerimientos para habilitar el estándar 802.11 en países que aún no se benefician de él.
802.11e	Intento de mejorar la MAC 802.11 para incrementar la calidad de servicio (QoS). Se planean mejoramientos en capacidades y eficiencia para permitir aplicaciones como voz, video o transporte de audio en redes inalámbricas 802.11.
802.11f	Desarrolla algunas recomendaciones para implementar los conceptos de 802.11 de APs y sistemas distribuidos (DSs). El propósito es incrementar la compatibilidad entre dispositivos de punto de acceso de diferentes vendedores.
802.11g	Creó una extensión del estándar 802.11b para incrementar la tasa de trasmisión (54 Mbps) operando en la banda de 2.4 GHz y manteniendo la compatibilidad con los dispositivos 802.11b. Publicado en 2003.
802.11h	Mejora la MAC 802.11 y la PHY 802.11a para proveer administración de la red y extensión de control para la administración del espectro y de la potencia transmitida en la banda de los 5 GHz. Esto hará que el estándar sea aceptable según la regulación de algunos países europeos.
802.11i	Mejora los mecanismos de seguridad y autenticación del estándar 802.11
802.1x	Apunta también al mejoramiento de la seguridad en las redes 802.11b

Para garantizar la interoperabilidad entre cientos de fabricantes y miles de dispositivos de la familia 802.11 se creó el grupo industrial WECA (*wireless ethernet compatibility alliance*) encargado de certificar los equipos de sus miembros (*Wi-Fi Alliance*^{*}).

1.4.5 802.11a. El estándar 802.11a opera en las tres sub-bandas de la banda de 5 GHz (5150 - 5250, 5250 - 5350 y 5470 - 5725) y por esta razón no es compatible con 802.11b. Las sub-bandas están designadas según la aplicación. La primera está especificada para uso indoor^{**} exclusivamente, la segunda está designada para uso indoor y *outdoor*^{***} y la tercera está designada para uso outdoor exclusivamente.

La interferencia de radio frecuencia (RF) es baja debido a que la banda de 5 GHz es menos utilizada que las otras bandas de frecuencia libre, como la de 2.4 GHz. Cada una de las sub-bandas de 5 GHz tienen cuatro canales separados que no se superponen. Estos emplean OFDM (*orthogonal frequency division multiplexing*) usando 52 subportadoras para evitar la interferencia y el multitrayecto, soportan una tasa máxima de datos de 54 Mbps usando 64 QAM (*quadrature amplitude modulation*) y permiten tasas de transmisión de 6, 12 y 24 Mbps. El protocolo especifica las sensibilidades mínimas de recepción en un rango de -65 dBm (para una velocidad de 54 Mbps) a -82 dBm (para una velocidad de 6 Mbps).

*La alianza Wi-Fi es una asociación internacional sin ánimo de lucro formada en 1999, su función es certificar la inter-operabilidad de los productos de WLANs que se basan en las especificaciones 802.11.

**En español se conoce como a puertas cerradas, en este documento se utilizarán sin distinción el término indoors y la expresión a puertas cerradas.

***En español significa en un ambiente abierto, a lo largo de este documento se utilizarán sin distinción el término outdoors y la expresión a puertas abiertas.

Según los vendedores de puntos de acceso 802.11a, cada AP puede llegar a soportar alrededor de 256 estaciones.

1.4.6 802.11b. Es el protocolo estándar más ampliamente usado, 802.11b requiere tecnología DSSS, especifica una tasa máxima de datos de 11 Mbps y un esquema para reducir a una tasa menor cada vez que las tasas altas no se puedan mantener. Este protocolo soporta tasas de transmisión de 11 Mbps, 5.5 Mbps, 2 Mbps y 1 Mbps usando DSSS y CCK (*complementary code keying*).

El estándar 802.11b usa CCK como el esquema de modulación que le permite alcanzar las tasas de 5.5 Mbps y 11 Mbps. 802.11b redujo el factor de expansión de 11 bits (empleado en 802.11) a 8 bits para alcanzar tasas más altas. El esquema de modulación compensa la pérdida de ganancia por el procesamiento a causa de la disminución del factor de expansión con una mayor corrección de errores.

La especificación 802.11b permite a las transmisiones inalámbricas de aproximadamente 11 Mbps alcanzar distancias de hasta 100m a puertas cerradas y de hasta 300m en ambientes abiertos en conexiones punto a punto en la banda de los 2.4 GHz. Estas distancias dependen de los obstáculos en la trayectoria, de los materiales y de si hay o no línea de vista. Según los vendedores de puntos de acceso con este estándar, cada AP puede soportar alrededor de 32 estaciones.

1.4.7 802.11g. El estándar 802.11g es una extensión del 802.11b y opera en la banda de 2.4 GHz. 802.11g incrementa la tasa de transmisión

de datos de 802.11b a 54 Mbps usando la misma tecnología OFDM que utiliza 802.11a. El rango a 54 Mbps es más bajo que el de los APs de 802.11b que operan a 11 Mbps. Como resultado, si una celda 802.11b es actualizada a 802.11g, las tasas de transmisión altas no estarán disponibles a través de toda el área. Probablemente será necesario aumentar el número de APs y dividir las celdas existentes en celdas más pequeñas.

802.11g ofrece una velocidad de transmisión más alta y mayor tolerancia al multitrayecto que 802.11b. A pesar de que existe mayor interferencia en la banda de 2.4 GHz, 802.11g es un estándar con una buena combinación entre rango y ancho de banda, además es compatible con los equipos que se rigen por el estándar 802.11b.

1.5 SEGURIDAD EN LAS REDES INALÁMBRICAS

Las redes inalámbricas no están confinadas a un área determinada y pueden ser interceptadas a varios metros de distancia si se dispone de un computador y una buena antena. Cuando se definió el estándar 802.11b su seguridad dependía de dos mecanismos de seguridad básicos: el SSID (*service set ID*) y WEP (*wired equivalent protocol*). Algunos fabricantes añadieron filtros de direcciones MAC a sus productos. A continuación se presentan algunos mecanismos de seguridad para WLANs.

1.5.1 SSID (*service set ID*). El SSID es una cadena usada para definir un dominio de cobertura común entre múltiples puntos de acceso. Diferentes SSIDs en los APs puede permitir redes inalámbricas

traslapadas. El SSID se creó para ser una clave básica sin la cual ningún cliente podría conectarse a una red, sin embargo, esta seguridad puede ser fácilmente violada si los puntos de acceso no tienen deshabilitada la opción de difundir su SSID a través de mensajes broadcast que se envían múltiples veces por segundo, ya que con cualquier herramienta de análisis de tráfico pueden ser vistos haciendo que la clave sea de conocimiento público. El SSID debe ser cambiado periódicamente en cualquier WLAN, ya que evita que otras personas usen la red sin autorización.

1.5.2 WEP (*wired equivalent protocol*). El estándar 802.11b también definió un método de autenticación y cifrado llamado WEP para aliviar las preocupaciones en materia de seguridad. Generalmente, la autenticación es utilizada para evitar accesos no autorizados a la red, mientras que el cifrado es usado para frustrar a intrusos que traten de interpretar las transmisiones capturadas.

El cifrado WEP está basado en RC4, un algoritmo que usa una clave de 40 bits (que cuenta con un vector de inicialización con 24 bits aleatorios) para cifrar datos de transmisiones inalámbricas. De estar habilitado el cifrado, la misma clave WEP debe ser usada en todos los clientes y puntos de acceso para que exista comunicación. Algunos vendedores ofrecen 128-bit WEP lo cual hace más difícil para los intrusos descifrar las transmisiones; sin embargo esta variante no está definida por el estándar y los productos que la usen pueden no ser interoperables.

Para prevenir el acceso no autorizado, WEP define un protocolo de autenticación. El estándar 802.11b define dos formas de autenticación:

sistema abierto y clave compartida. En el sistema abierto cualquier cliente puede asociarse con el punto de acceso sin pasar por el proceso de autenticación. No hay autenticación de clientes ni cifrado de datos.

En sistemas con clave compartida, el AP envía una "frase de reto" al cliente que solicita autenticación. El cliente cifra la frase de reto usando la clave compartida y la devuelve al AP. Si el AP puede descifrar el mensaje y recuperar la frase transmitida comprueba que el cliente posee la clave correcta y le permite conectarse a la red.

Debe observarse que si la frase de reto y la respuesta del cliente están disponibles en el medio, un *hacker* puede obtener la clave WEP. Según esto, las autenticaciones de sistema abierto y de clave compartida no son seguras y por esto se han implementado otros mecanismos de seguridad.

1.5.3 Filtros de direcciones MAC. Además de los dos mecanismos mencionados propuestos por el estándar 802.11, algunas compañías implementan filtrado de direcciones MAC en sus productos.

El filtro de direcciones MAC contiene las direcciones MAC de las tarjetas de interfaz de red inalámbrica (NIC*) que pueden asociarse con un punto de acceso dado. Un filtro de direcciones MAC no es tampoco un sistema de seguridad confiable, ya que con un analizador de tráfico de red pueden

*La NIC es una interfaz de red que se adjunta al computador, PDA o periférico certificado por Wi-Fi para acceder a la WLAN. Algunos de los tipos de NICs son: tarjetas PCMCIA, tarjetas compactas Flash, tarjetas PCI y adaptadores USB.

descubrirse fácilmente las direcciones MAC autorizadas para conectarse. Así que usando los controladores del adaptador inalámbrico (disponibles en Internet para la mayoría de marcas) puede configurarse en la tarjeta la dirección MAC capturada y ganar acceso a la red. A pesar de su vulnerabilidad, el filtrado de direcciones MAC dificulta aún más el acceso para clientes no autorizados.

1.5.4 Wi-Fi Protected Access (WPA). Este estándar fue presentado en noviembre de 2002 por la alianza Wi-Fi y se espera que remplace el estándar actual WEP que está disponible con los equipos Wi-Fi*. WPA usa un protocolo de integridad de clave temporal TKIP (*Temporal Key Integrity Protocol*), un esquema de seguridad llamado *KeyMix* y un chequeo de integridad del mensaje MIC (*Message integrity check*). TKIP también utiliza un protocolo de reasignación de clave rápido que cambia la clave de cifrado después de más o menos 10000 paquetes.

Idealmente WPA trabajará con servidores de autenticación (ASs) y requerirá del apoyo de 802.1x y EAP (explicados en la sección 1.5.5), los cuales le permiten a un adaptador cliente negociar a través de un AP con un AS usando transacciones cifradas para cambiar las claves de cada sesión.

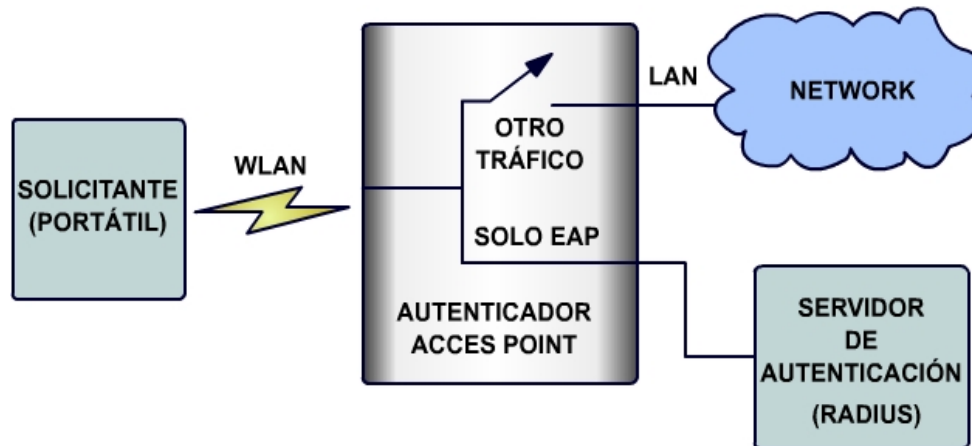
1.5.5 802.1x y EAP. 802.1x permite que un usuario sea autenticado por una autoridad central. Existen múltiples algoritmos que se pueden emplear para determinar si un cliente es auténtico, así que se pueden

*Para mayor información refiérase al artículo "Overview – Wi-Fi Protected Access" referencia [16] en la bibliografía.

encontrar soluciones basadas en certificados, basadas en claves de acceso, basadas en tarjetas inteligentes o soluciones híbridas, que combinan certificados y claves de acceso. 802.1x usa EAP (*extensible authentication protocol*), un protocolo (RFC 2284) que trabaja sobre Ethernet, Token Ring, o WLANs para el intercambio de mensajes durante el proceso de autenticación.

La autenticación 802.1x para WLANs tiene tres componentes principales: el solicitante (usualmente el software del cliente), el autenticador (usualmente el AP) y el AS (usualmente un servidor RADIUS aunque este tipo de servidor no es requisito en 802.1x). El autenticador se conecta a la red LAN. El proceso se ilustra en la figura 9.

Figura 9. Autenticación 802.1x



Diseño del autor

El flujo normal para una autenticación 802.1x es el siguiente: El solicitante trata de conectarse al AP enviando un mensaje de inicio. El AP detecta al solicitante y habilita el puerto del solicitante en un estado "no autorizado" en el que solo se permiten mensajes 802.1x/EAP y se bloquea

cualquier otro tipo de tráfico. El solicitante envía un mensaje EAP de inicio, al cual el AP contesta con una solicitud de identidad. El paquete EAP de respuesta que envía el cliente revelando su identidad es enviado al AS, el cual autentica al solicitante y responde aceptándolo o rechazándolo. Dependiendo de la respuesta del AS, el AP habilita o mantiene bloqueado el puerto del solicitante.

El problema que presenta 802.1x/EAP es la falta de soporte para los solicitantes en la mayoría de sistemas operativos (solo lo tienen Windows XP y Windows 2000 a través de un parche disponible) y hasta que este problema no sea resuelto, 802.1x no podrá proveer una solución completa al problema de seguridad.

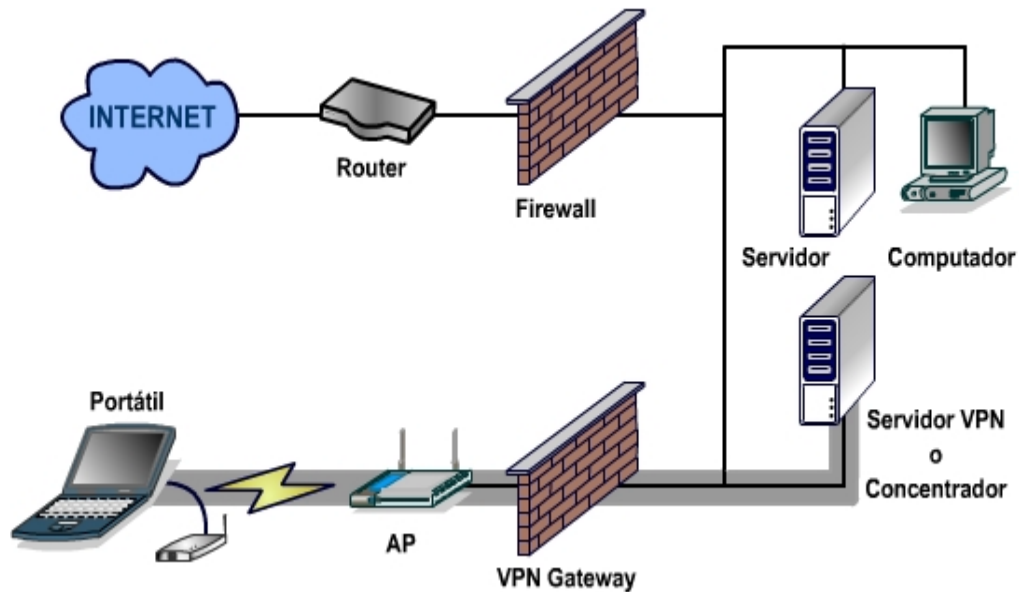
1.5.6 Redes virtuales privadas (VPNs). Una VPN permite a un grupo de usuarios específico acceder a los datos y recursos de una red privada de forma segura en Internet o en otras redes. Las VPNs se caracterizan por el uso de túneles, cifrado, autenticación y control de acceso sobre una red pública. Una VPN crea conexiones virtuales entre dos estaciones a través de un túnel*, el cual actúa como un conducto que conecta dos puntos de una red. Iniciado típicamente por un usuario remoto, el proceso de *tunneling* encapsula los datos en paquetes TCP/IP que pueden viajar seguros en Internet hasta un servidor VPN en el receptor, donde son descifrados y desencapsulados en la red LAN privada.

Para implementar una VPN en una WLAN 802.11, debe desarrollarse una

*Este fenómeno recibe el nombre de tunneling en inglés. En adelante se usará este término.

aplicación cliente de software en todas las máquinas que usen la WLAN e introducir una puerta de enlace VPN en la red, entre el AP y los demás dispositivos de la WLAN, como se muestra en la figura 10.

Figura 10. Una WLAN con VPN



Diseño del autor

Se debe construir un túnel entre la estación con el adaptador inalámbrico y un servidor VPN, de tal forma que todo el tráfico que pase por el AP pase por la puerta de enlace (y a través de ella al servidor VPN) antes de entrar a la LAN. Los datos ya desencapsulados en el servidor pueden viajar libremente hacia su destino, al otro lado del túnel, en el interior de la LAN. Un túnel VPN provee autenticación, confidencialidad e integridad de los datos, haciendo innecesarios otros mecanismos de seguridad como WEP.

1.6 NORMATIVAS

El gobierno colombiano, a través de los años ha regulado el espectro y las disposiciones legales sobre la utilización de las bandas ICM; a continuación se presenta una breve descripción de las normas más relevantes en este campo.

La atribución de las bandas ICM, de 902 a 928 MHz; 2400 a 2483.5 MHz y de 5725 a 5825 MHz, y de las bandas U-NII*, de 5150 a 5250 MHz, de 5250 a 5350 MHz y de 5725 a 5825 MHz, se encuentra contemplada y reglamentada en las siguientes normas nacionales:

- Resolución 3382 de 1995: Se autorizan los sistemas basados en espectro ensanchado (*spread spectrum*).
- Resolución 5927 de 1996: Se autoriza la utilización de sistemas de espectro ensanchado que operen en la banda de 2025 - 2400 MHz y además sus topologías punto a punto y punto multipunto para ser utilizadas en áreas locales o rurales. Modifica la Resolución 3382 (el único cambio es la asignación de un valor de K** diferente).
- Decreto 555 de 1998: Se adopta el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias, el cual se presenta en la tabla 2.

*Término usado en Norteamérica para designar los dispositivos que operan en la banda de 5 GHz, la sigla viene del término inglés: Unlicensed National Information Infrastructure.

**K es una constante utilizada para representar la curvatura de la tierra en cálculos de enlaces externos.

- Resolución 1833 de 1998: Se atribuyen en el ámbito nacional unas bandas de frecuencias para redes inalámbricas privadas de banda ancha, baja potencia y corto alcance, se actualiza el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias y se dictan otras disposiciones de regulación de sistemas U-NII.
- Resolución 0797 de 2001: Se atribuyen unas bandas de frecuencias radioeléctricas para su libre utilización dentro del territorio nacional. Véase la tabla 3 para mayor información.
- Resolución 0798 de 2001: Actualiza el Cuadro Nacional de Bandas de Frecuencia.
- Decreto 1972 de 2003: Régimen Unificado de Contraprestaciones RUC - Uso Libre del Espectro para ICM - Deroga los Decretos 2041/98 y 1705/99 (que especificaba las tarifas para el registro de enlaces de espectro ensanchado en la banda ICM).

Tabla 2. Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias

BANDA MHz	SERVICIO
902 - 928	Fijo radioeléctrico, Móvil aeronáutico, ICM, Acceso fijo inalámbrico, Radiolocalización, Espectro Ensanchado.
2400 - 2483	Fijo radioeléctrico, ICM, Acceso fijo inalámbrico, Aficionados, Radiolocalización, Espectro Ensanchado.
5150 - 5250	Radionavegación aeronáutica, Fijo por satélite, U-NII.
5250 - 5350	Radiolocalización, Investigación espacial, U-NII.
5470 - 5725 Banda para nuevas aplicaciones WAS/RLAN Res. COM 5/16-CMR-03 – UIT	Radionavegación marítima, Radiolocalización, Aficionados, Investigación espacial.
725 - 5850	Aficionados, ICM, U-NII, Radiolocalización, Espectro Ensanchado.

Tabla 3. Banda de frecuencias radioeléctricas y límites de potencia para aparatos transreceptores

BANDAS DE FRECUENCIA	LÍMITE DE POTENCIA O DE INTENSIDAD DE CAMPO	APLICACIÓN
2400,0 a 2483,5	50 mV/m a 3 metros, máximo 100mW	Tecnología Bluetooth, aparatos de telecomunicación inalámbricos para enlaces radioeléctricos punto a punto, entre equipos electrónicos, dispositivos periféricos, computadoras y redes LAN.
915 a 924 y 5150 a 5250	50 mV/m a 3 metros, máximo 100 mW	Aparatos de telecomunicación inalámbricos para enlaces radioeléctricos punto a punto, entre equipos electrónicos, dispositivos, periféricos, computadoras y redes LAN.

2. DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DE LA WLAN

2.1 CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO DE LA RED INALÁMBRICA

2.1.1 Descripción de la red local Canarias de la UIS. La red de la Universidad Industrial de Santander está basada en la tecnología Ethernet. Cuenta con un *backbone* colapsado tipo Switched Ethernet, cableado de fibra óptica, y equipos de comunicaciones en su mayoría marca Lucent Technologies y Cisco.

El *backbone* colapsa sobre un switch central Cajun P880 que cuenta con 12 puertos Gigabit Ethernet y 20 puertos Fast Ethernet. El sistema está configurado bajo la topología estrella en donde cada segmento corresponde a un tramo de fibra óptica que conecta un edificio o bloque con el switch central.

Cada edificio cuenta con un switch departamental de la familia Cajun P330 con un puerto de fibra o Fast Ethernet que lo conecta con el *backbone*. Los puertos del switch departamental se conectan a los hubs o switches que concentran el cableado proveniente de las diferentes estaciones. Se cuenta con un enlace WAN de 3 Mbps que se planea ampliar gradualmente a 6 Mbps y que interconecta la red con el ISP Telecom.

2.1.2 Descripción del laboratorio de redes. El laboratorio de redes de datos de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones cuenta con dos salas ubicadas en el edificio de Eléctrica Antigua*.

La primera sala, que se observa en la figura 11, es el Aula número 202. Tiene 11.75 metros de largo por 6 metros de ancho y está dotada con 16 computadores marca Dell referencia OPTIPLEX GX260 Intel(R) Pentium(R) 4 CPU 2.40GHz con 512 MB de RAM que utilizan Windows XP como sistema operativo.

Además, se cuenta con un servidor marca Dell referencia PowerEdge 400SC CPU 2.8 GHz con 1024 MB de RAM y con los siguientes equipos de comunicaciones:

- Un Switch Enrutador marca Lucent Technologies referencia Cajun P550 con funcionalidad en capa 2 y capa 3**. Este enrutador posee puertos para Gigabit-speed Ethernet, 100Base-FX y 10/100Base-TX.
- Un Switch perteneciente a la familia CAJUN P330 (el P333R) fabricado por Lucent Technologies, el cual posee 24 puertos, cada uno con posibilidad de conexión de 10/100 Mbps y un *uplink* en fibra óptica. En su panel frontal se pueden observar algunos de los comportamientos del dispositivo como la velocidad, el estado de transmisión y recepción

*A lo largo del documento se utilizará la expresión Laboratorio de redes de datos para referirse a las dos Aulas, 202 y 207.

**Según el modelo de la OSI, es decir capa de enlace de datos y capa de red.

de cada puerto, el tipo de comunicación (full o half duplex), el estado de colisiones en los puertos y aquellos que se encuentran habilitados o deshabilitados, entre otras cosas.

Figura 11. Laboratorio de redes de datos, Aula 202



Foto tomada por el autor

- Un Switch apilable referencia P118SX con 10 puertos, capacidad para Gigabit Ethernet, Ethernet (10/100 Base-T) y Fast Ethernet (100 Base-T) de Lucent Technologies.
- Un ArgentPhone de Lucent Technologies que actúa como un socket maestro con salidas RJ45 en su parte frontal, las cuales permiten la conexión a un sistema cableado estructurado. Permite a su vez trabajar con teléfonos análogos estándar.

- Un ArgentBranch de Lucent Technologies, dispositivo que permite conectar a ISDN y a servicios de líneas alquiladas. Trae integrado un hub LAN de 10/100 Mbps para conectividad a los Hubs y los Switches de la LAN existente.
- Tres enrutadores CISCO Serie 1600, los cuales cuentan con las siguientes puertos para conexiones: uno para Ethernet, uno para comunicación serial y doble tarjeta WAN.

Todos los computadores del aula 202 están en red y se encuentran conectados a la red externa de la Universidad Industrial de Santander gracias al Switch Cajun P333R, que hace uso de cable de par trenzado no apantallado (UTP) y que se apoya en el protocolo Ethernet de alta velocidad (100 Mbps) aprobado por el estándar IEEE 802.3u.

La segunda sala, que se observa en la figura 12, el Aula 207, de 11.75 metros de largo por 5.80 metros de ancho, está ubicada frente a la primera, en el mismo piso del edificio y las separa una distancia de 24 metros.

Su dotación consiste en 17 computadores marca Dell referencia Optiplex 250 con una configuración similar a la de la primera, con la excepción que su Switch es marca LG referencia Goldstream LS3124 con 24 puertos y tasas de transmisión de 10/100 Mbps. Al igual que en el aula 202, la función del Switch es interconectar los computadores y comunicar la subred de la sala con la red de la Universidad.

Figura 12. Laboratorio de redes de datos, Aula 202



Foto tomada por el autor

En este orden de ideas, el laboratorio de redes de datos dispone de 33 equipos a los cuales se les puede asociar un adaptador de red inalámbrica. Estos adaptadores o cualquier dispositivo de red que se utilice en la WLAN deben garantizar un alcance de al menos 36 metros sin línea de vista.

2.1.3 Descripción del entorno. La sala de redes se encuentra ubicada en el edificio de eléctrica antigua, una construcción de dos pisos, en la cual se localizan, además de algunas oficinas de docentes, los laboratorios de Máquinas Eléctricas, Electrónica, Sistemas digitales, Instrumentación, Comunicaciones y Redes de datos.

Los edificios que rodean al de eléctrica antigua se encuentran suficientemente alejados de este y los equipos electrónicos que en ellos se encuentran no producen interferencia en la banda de frecuencia de 2.4 GHz o de 5 GHz, es decir, las señales que de ellos se emiten no generan errores de transmisión ni afectan la tasa máxima de transmisión/recepción nominal anunciada por los fabricantes de los equipos inalámbricos*. Además, en ninguno de los edificios circundantes existen redes WLANs o de Bluetooth ni antenas que emitan en las frecuencias antes mencionadas.

Según lo anterior los únicos posibles causantes de interferencia serían los equipos que, ubicados en el mismo edificio del laboratorio de redes, operen a la misma frecuencia de la WLAN. En el edificio no se utilizan dispositivos de Bluetooth, ni hornos microondas que son los mayores causantes de interferencia mencionados en la bibliografía.

En los laboratorios de Maquinas Eléctricas, Electrónica, Sistemas Digitales, Instrumentación y Comunicaciones no hay dispositivos electrónicos que operen a frecuencias superiores a 2 Ghz, es decir, en ninguno de ellos se generaría interferencia, ya que como se citó en el capítulo uno, IEEE formula que los dispositivos de red que cumplan el estándar 802.11 y 802.11b deben operar en la banda de frecuencia de 2.4 GHz y los que se ajusten al estándar 802.11a y 802.11g deben operar en la banda de frecuencia de 5 GHz.

*Actualmente no se ha hecho un estudio detallado sobre la interferencia provocada por diferentes dispositivos de red en la Universidad Industrial de Santander.

Dentro de las salas que conforman el laboratorio de redes de datos no hay ningún elemento de hardware que haga uso de medios de transmisión inalámbricos. Se puede concluir que el ambiente en general es propicio, en términos de interferencia, para la implementación de una WLAN.

2.2 DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA

2.2.1 Selección del estándar más adecuado para la WLAN. Para que un dispositivo de red de determinada marca pueda operar con productos de otros fabricantes se requiere un protocolo estándar. Sin embargo, algunos fabricantes ofrecen productos con características propias que no se ciñen a ningún estándar. El riesgo de adquirir este tipo de equipos consiste en que cuando se desee ampliar la red con nuevos elementos estos siempre deberán comprarse a la misma empresa, la cual en cualquier momento puede dejar de producirlos.

Este riesgo no era aceptable en este proyecto y se estableció como primera condición que todos los dispositivos de red por adquirir, tendrían que operar bajo un estándar reconocido internacionalmente. Según las descripciones de los estándares de WLANs presentadas en el capítulo uno, sección 1.4 se sabe que:

- HomeRF 2.0: Sus aplicaciones son domésticas y sus principales beneficios residen en la transmisión de voz y datos. A pesar de tener una tasa de transmisión nominal de 10 Mbps, este estándar tiene un rango de cobertura bastante limitado y la oferta comercial, en términos

de dispositivos que se ajusten a él, es muy limitada. Por lo anterior, esta opción es inadecuada para el laboratorio de redes de datos.

- Bluetooth: Su tasa de transmisión es muy baja (solo 1 Mbps), con un rango de cobertura que no es suficiente para cubrir adecuadamente el laboratorio de redes de datos.
- HiperLAN2: Este estándar europeo que opera en la banda de los 5 GHz, actualmente es considerado muerto comercialmente debido a las dificultades que presenta en su implementación. Su análogo, el estándar 802.11a sería más adecuado para operar en esta banda de frecuencia.
- 802.11, 802.11a, 802.11b y 802.11g: Son una gama de estándares con diferentes tecnologías, esquemas de modulación, frecuencias portadoras, tasas de transmisión, entre otras características. Son propuestos por IEEE y actualmente la mayoría fabricantes de equipos de WLANs se ajustan a ellos.

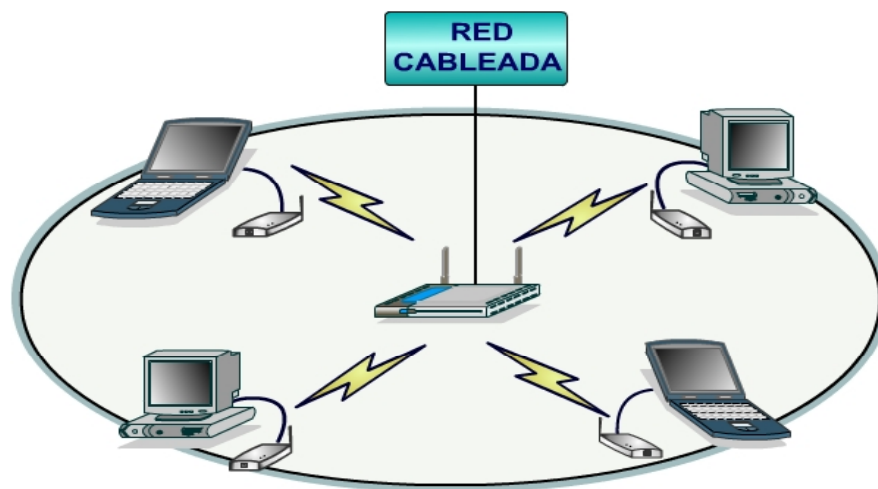
De lo anterior y haciendo referencia al capítulo uno, se deduce que para las condiciones particulares del laboratorio de redes de datos la mejor opción fue implementar una WLAN que se ajustara al estándar 802.11.

Como se mostró en la sección 1.4 de este documento, hay múltiples versiones o revisiones a este estándar. A continuación se presenta el análisis de ciertos parámetros que permitieron decidir sobre la versión a

implementar* .

2.2.1.1 Topología de red. En las redes cableadas las topologías más empleadas son bus, estrella, árbol, anillo y malla; sin embargo en las redes inalámbricas solo dos de estas topologías son empleadas: estrella y malla. Estas topologías pueden ser implementadas usando los modos de operación propuestos por los estándares 802.11 de la IEEE: infraestructura y ad hoc, los cuales fueron ampliamente explicados en la sección 1.2. En la topología de estrella existe una estación central o AP. Los paquetes de información son transmitidos por el nodo emisor y recibidos y enrutados por el AP hacia el nodo destino.

Figura 13. Red inalámbrica en topología estrella



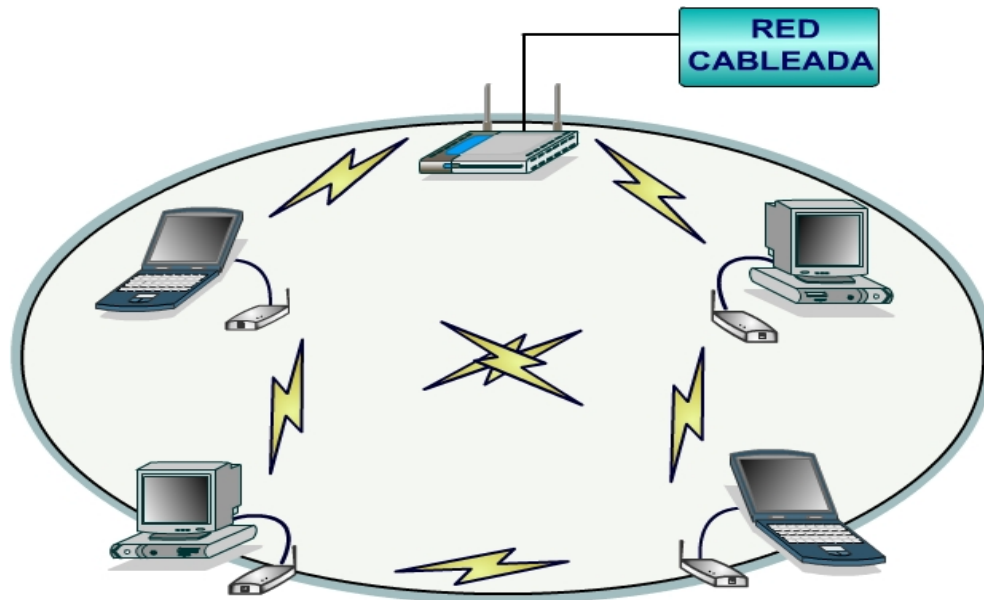
Diseño del autor

La topología malla es similar a la anterior, solo que en ésta no existe una

*Este esquema de planeación se hizo siguiendo las recomendaciones hechas en el capítulo 7 del libro Wi-Fi Handbook , referencia [11] en la bibliografía.

estación base centralizada. Cada nodo que esté en el rango de otro puede comunicarse libremente como se muestra en la figura 14. Normalmente una red malla necesita software especializado*.

Figura 14. Red inalámbrica en topología malla



Diseño del autor

Como la WLAN se requiere para fines académicos y solo se pondrá en funcionamiento esporádicamente, la topología no es un asunto determinante en el diseño. Con respecto al modo de operación, resulta favorable encontrar adaptadores inalámbricos fáciles de conectar que permitan cambiar de un modo a otro rápidamente.

*Para mayor información sobre las redes en malla, su capacidad y la alternativa que ofrecen como tecnología de última milla para el acceso a Internet, refiérase al artículo "The Nominal Capacity of Wireless Mesh Networks", referencia [7] de la bibliografía.

Actualmente, la forma más sencilla de instalar un adaptador es a través del puerto USB (*universal serial bus*), esta interfaz solo está disponible para aquellos equipos que se ciñen al estándar 802.11b*, de tal forma que por facilidad de conexión este sería el estándar recomendado.

2.2.1.2 Tipo de enlace. Los sistemas 802.11 pueden utilizar ambos tipos de enlace, punto a punto y punto a multipunto. Como la WLAN se requiere para ilustrar a los estudiantes sobre las redes inalámbricas y sus diferentes configuraciones, operará con ambos tipos de enlace.

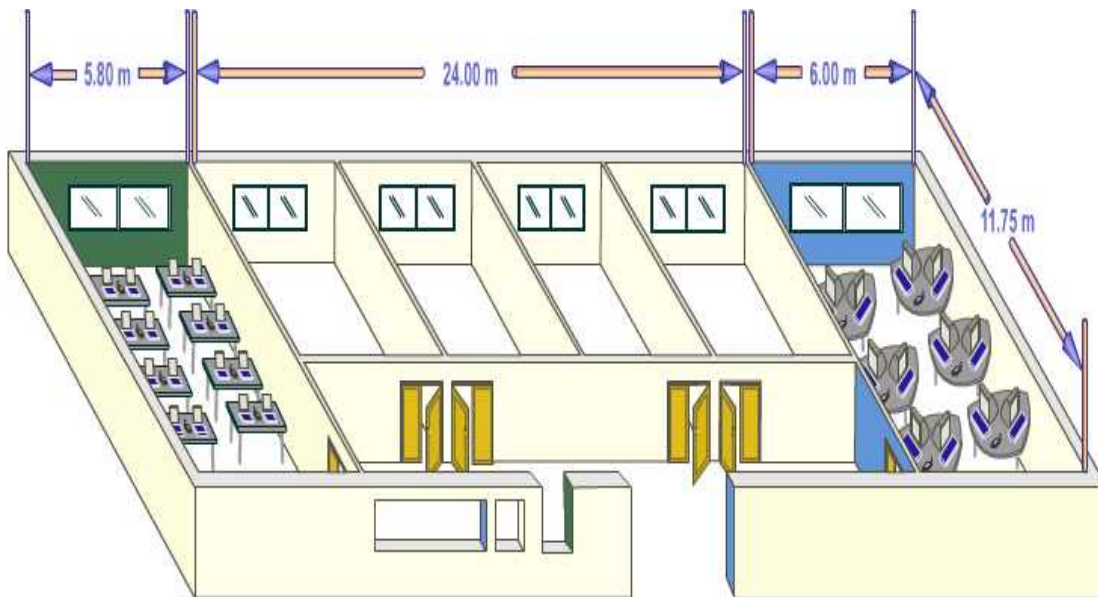
2.2.1.3 Entorno. En la figura 15 se puede observar parte del segundo piso del edificio de eléctrica antigua (se omiten los baños y las escaleras al costado derecho) con las dos salas y los otros laboratorios.

El entorno ya se describió en el numeral 2.1. La red se ha diseñado para operar en un ambiente de puertas cerradas (indoor)** , donde se presenta línea de vista entre los dispositivos en el interior de cada una de las salas (los obstáculos son elementos propios de un laboratorio como mesas, sillas, computadores, etc.) y se presentan cinco muros (de 15 centímetros de espesor cada uno) y una distancia de 24 metros que separa las dos salas, es decir, entre las aulas 202 y 207 no hay línea de vista sin obstáculos.

*Este estudio fue hecho en julio de 2003.

**Es necesario hacer la salvedad: el pasillo que separa las Aulas 202 y 207 está dentro del edificio y la red se considera a puertas cerradas.

Figura 15. Segundo piso del edificio de eléctrica antigua

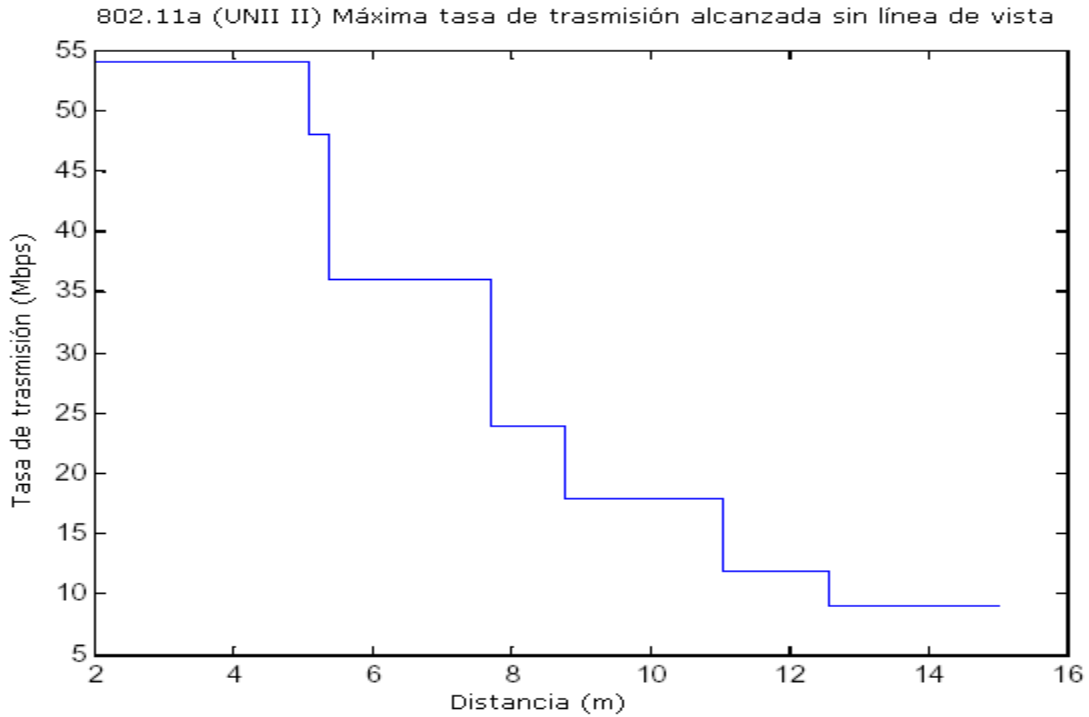


Diseño del autor

Si la frecuencia a la cual se trabaja es alta, la longitud de onda de la señal es pequeña y la onda es sensible a deteriorarse cada vez que encuentra elementos obstruyendo su trayectoria.

En la figura 16 se muestra una gráfica de la tasa de trasmisión contra la distancia para una red 802.11a en un ambiente sin línea de vista. Como se observa en ella, la tasa de trasmisión para una distancia de 15 metros es de solo 10 Mbps.

Figura 16. 802.11a Tasa de trasmisión vs distancia sin línea de vista



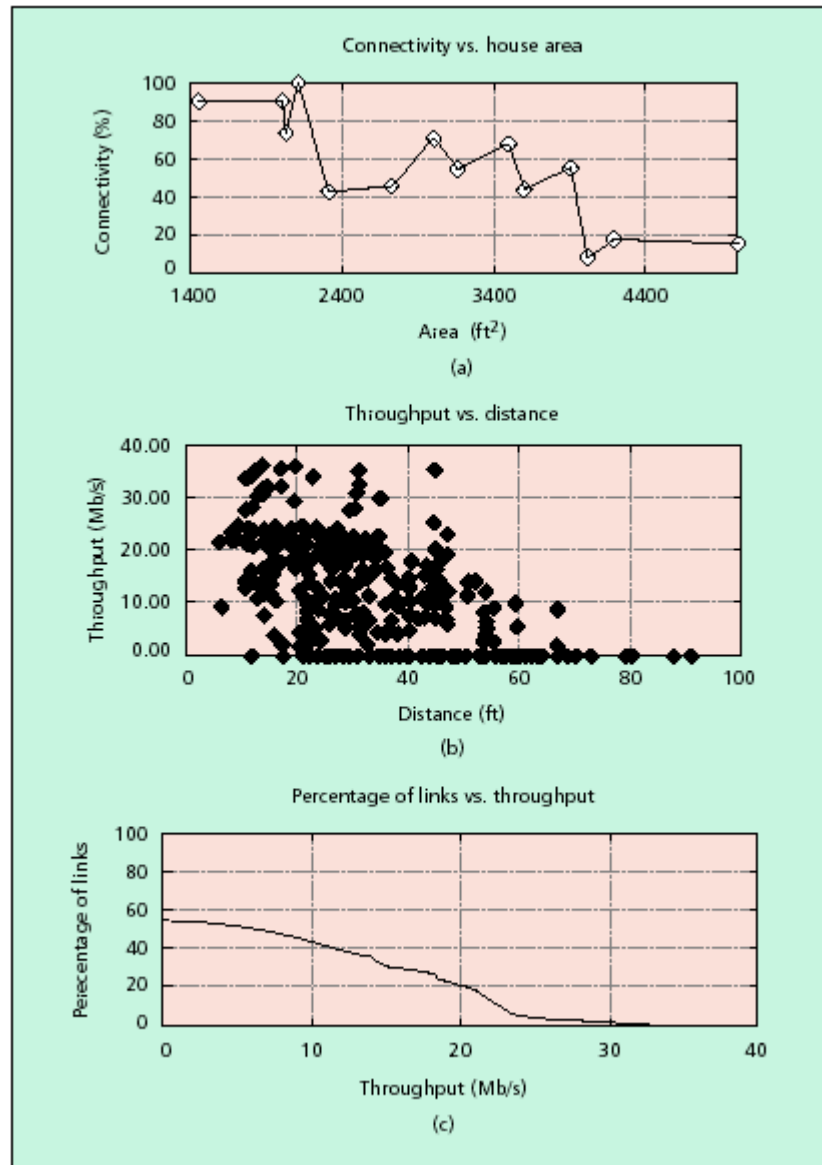
Gráfica tomada del artículo "A Path Loss Comparison Between the 5 GHz UNII Band (802.11a) and the 2.4 GHz ICM Band (802.11b)", referencia [6] en la bibliografía.

Pero no solo la tasa de trasmisión se ve afectada, también la conectividad disminuye dependiendo de la distancia. En la figura 17 se observa el desempeño de una red 802.11a a puertas cerradas.

Esta figura se obtuvo de un estudio realizado en Florida, Estados Unidos, para comprobar el desempeño en entorno real de redes 802.11a, 802.11b y HomePlug 1.0. Para esto se escogieron 20 casas con áreas entre 140 y 470 metros cuadrados y se tomaron mediciones de desempeño en varios lugares de las casas, desplazando la estación móvil y direccionando

aleatoriamente su antena y la del servidor AP*.

Figura 17. Desempeño de IEEE 802.11a a puertas cerradas



Gráfica tomada del artículo "A Comparative Performance Study of Wireless and Power Line Networks", referencia [9] en la bibliografía.

*La ubicación de las antenas se hizo de manera aleatoria debido a que los usuarios comunes no conocen la dirección de máxima tasa de transmisión de estas.

Los equipos utilizados en estas pruebas fueron un servidor AP, una estación móvil, un equipo basado en HomePlug, dos APs y dos tarjetas PCMCIA de diferentes marcas.

Los autores del artículo del cual se extrajo la figura 17 presentan además los siguientes resultados de sus pruebas:

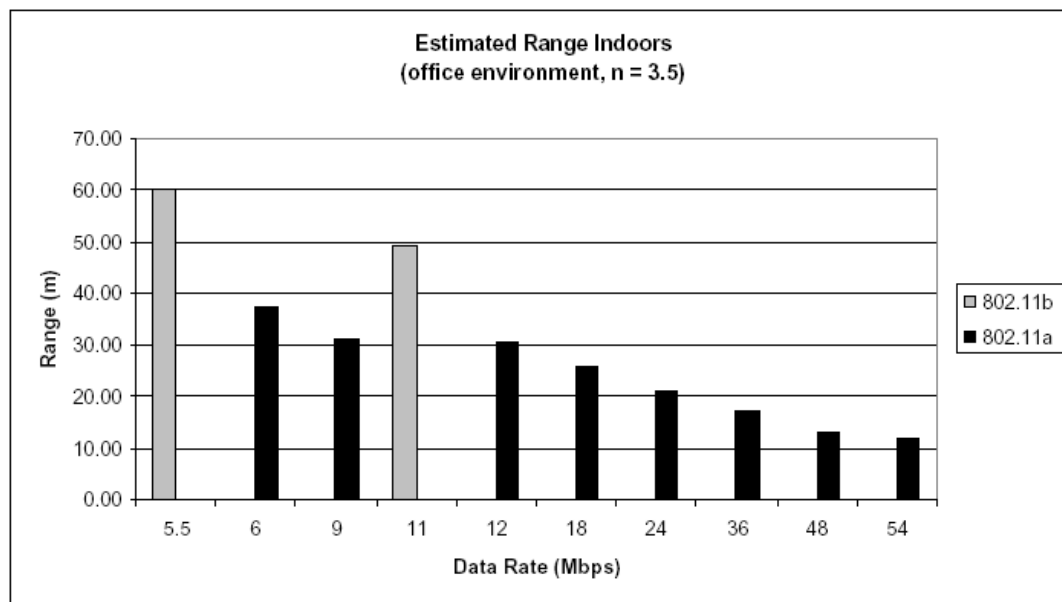
- 802.11a falló en al menos un enlace en 19 de las 20 casas donde se hicieron pruebas.
- Falló a la hora de conectarse en el 45% de los enlaces que se probaron.
- Mostró una conectividad cercana a cero para distancias mayores a 50 pies (cerca de 15 metros).

Como se evidencia en el estudio presentado, el estándar 802.11a, por operar a una frecuencia de 5 GHz, es demasiado sensible a los obstáculos y se concluyó que para obtener buena cobertura, lo recomendable era usar la banda de frecuencia de 2.4 GHz.

2.2.1.4 Rango y máxima tasa de transferencia de datos. Estos dos factores están estrechamente relacionados. Como se vio en la sección anterior, la tasa de transferencia disminuye ante un incremento en la distancia y en el número de obstáculos. A pesar de que el estándar 802.11a promete la mayor tasa de transmisión usa una frecuencia más alta que los estándares 802.11b y 802.11g y sus emisiones son más sensibles a los obstáculos. Si se adoptara el estándar 802.11a se tendría una excelente tasa de transmisión en el interior de cada una de las salas pero como se vio en la figura 16, la señal no llegaría de una sala a la otra.

En la figura 18 se muestra una gráfica con los rangos y las tasas de transmisión para los dos estándares en un ambiente a puertas cerradas cuando existe línea de vista (que a pesar de no ser el escenario del laboratorio, permite concluir que si las pérdidas por la distancia son tan grandes existiendo línea de vista, cuando no la haya, la suma de pérdidas por trayectoria y obstáculos harán que la tasa de datos sea mucho menor que la del cuadro, e incluso cero). Con este cuadro se ratificó la decisión, en términos de rango, de no emplear el estándar 802.11a.

Figura 18. Gráfica comparativa 802.11a y 802.11b



Gráfica tomada del artículo "Deployment Considerations for 5 GHz WLAN Technology" de Intersil.

En términos de velocidad de transferencia de datos, resultó aceptable sacrificar la tasa de transmisión a cambio de una completa cobertura ya que la WLAN se diseña con fines académicos (en los casos que sea necesaria una tasa de transmisión elevada, la red cableada respalda a la WLAN). Por tanto, el protocolo 802.11a fue el menos recomendable debido a que el factor determinante en este diseño fue el rango y no la

velocidad de transmisión de datos.

El estándar 802.11g se perfilaba como la mejor opción por ofrecer una alta tasa de transmisión (de hasta 54 Mbps) y buena cobertura debido a que opera en la banda de los 2.4 GHz. Sin embargo, cabe notar que este estándar fue aprobado el 27 de junio de 2003 y para la época en la que se adquirieron los equipos aún no habían dispositivos 802.11g (con conexión a puerto USB) disponibles en el mercado.

2.2.1.5 Tolerancia al multitrayecto. El hecho de que no haya línea de vista en las bandas ICM y U-NII favorece un fenómeno llamado multitrayecto, en el cual los haces reflejados de la señal, en un momento dado, pueden cancelar la señal principal en el receptor.

Como se vio en el capítulo uno, sección 1.4 los estándares que ofrecen mayor tolerancia al multitrayecto son el 802.11a y el 802.11g. Luego, según este criterio estos serían los estándares recomendados.

2.2.1.6 Banda de frecuencia. Una de las ventajas que ofrece el protocolo 802.11a es su funcionamiento en la banda de 5 GHz, menos ocupada que la de 2.4 GHz. Sin embargo, en los alrededores del laboratorio de redes de datos no hay equipos que operen a 2.4 GHz luego usar esta banda no genera problemas de interferencia.

El efecto de la disminución de la señal ante la presencia de obstáculos ya se analizó en los numerales 2.2.1.3 y 2.2.1.4.

2.2.1.7 Seguridad. Aunque este es un factor que está más relacionado con las opciones que ofrecen los fabricantes que con los estándares, este punto se analizó en el diseño. La WLAN será, en sus aplicaciones de laboratorio, una herramienta que se montará, funcionará un par de horas y volverá a desinstalarse; luego en estos casos, a menos que sea la práctica sobre seguridad presentada en el capítulo tres sección 3.5, los requerimientos en esta materia serán mínimos.

Para aplicaciones de transmisión de datos entre edificios o incluso fuera de la universidad la WLAN deberá hacer uso de la red cableada, luego el protocolo de seguridad equivalente al de una red cableada WEP, explicado en la sección 1.5.2, será suficiente. La transmisión será inalámbrica solo en el interior del edificio (indoor) y por tanto en distancias de máximo 100m; son muy bajas las posibilidades de que alguien intente interceptar la comunicación o hacer uso de Internet. Sin embargo, para hacerle frente a esta situación, la red que se implemente debe contar con un sistema para filtrar direcciones MAC y manejar claves establecidas que solo conozcan los usuarios autorizados.

Este nivel de seguridad es ofrecido por todos los estándares con algunas mejoras que ofrecen determinados fabricantes, así que este criterio se analizará más adelante, en el numeral 2.2.4 referente a la selección de equipos.

2.2.1.8 Cantidad de usuarios. Existen aproximaciones sobre la cantidad de usuarios que puede atender un AP (capítulo uno sección 1.4). En el

laboratorio de redes actualmente se tiene capacidad para 33 usuarios. Adquirir un AP del estándar 802.11a sería sobredimensionar en demasía la red. Con un AP que cumpla el estándar 802.11b es suficiente, más si se tiene en cuenta que el número de adaptadores es inferior al número de estaciones en una sala.

2.2.1.9 Protocolo. Después de analizar todos estos puntos se observó que en general, los estándares más favorables para las condiciones del laboratorio de redes de datos eran el 802.11b y el 802.11g.

El estándar 802.11b se publicó en 1999 como resultado de una revisión hecha al estándar 802.11 IEEE/ANSI publicado también en 1999. Es decir, este año se cumplen cinco años desde que fue presentado por la IEEE. Lo anterior significa que los fabricantes de dispositivos de red inalámbricos han tenido el tiempo necesario para desarrollar no solo equipos que ya han demostrado un buen desempeño sino también herramientas de administración con múltiples características.

El estándar 802.11g fue aprobado en junio de 2003* y lleva poco tiempo en el mercado. Este hecho hace que no se comercialicen aún dispositivos que se ajusten a él, e incluso, si los hubiese, no tendrían el mismo respaldo de documentación y soporte de los equipos 802.11b. En determinados casos adquirir dispositivos de última tecnología puede ser tentador, sin embargo para aplicaciones académicas, como esta, es preferible comprar equipos con buen desempeño, suficiente

*Para mayor información sobre la aprobación del estándar 802.11g, remítase a la URL: <<http://standards.ieee.org/announcements/80211gfinal.html>>.

documentación y dotados con herramientas de administración funcionales en vez de esperar a que salgan a la venta los de última tecnología.

En agosto de 2003 ya habían algunos puntos de acceso con soporte para 802.11g pero los proveedores de equipos de red inalámbrica no ofrecían garantía por los dispositivos 802.11g en países diferentes a Estados Unidos. Esto imposibilitaba su adquisición ya que para que se emita el concepto favorable de compra de cualquier dispositivo de red en Universidad Industrial de Santander, en la División de Información exigen una póliza de garantía de al menos un año.

Después de este análisis se seleccionó el estándar 802.11b como el más adecuado para el laboratorio de Redes de Datos de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones y sus fines.

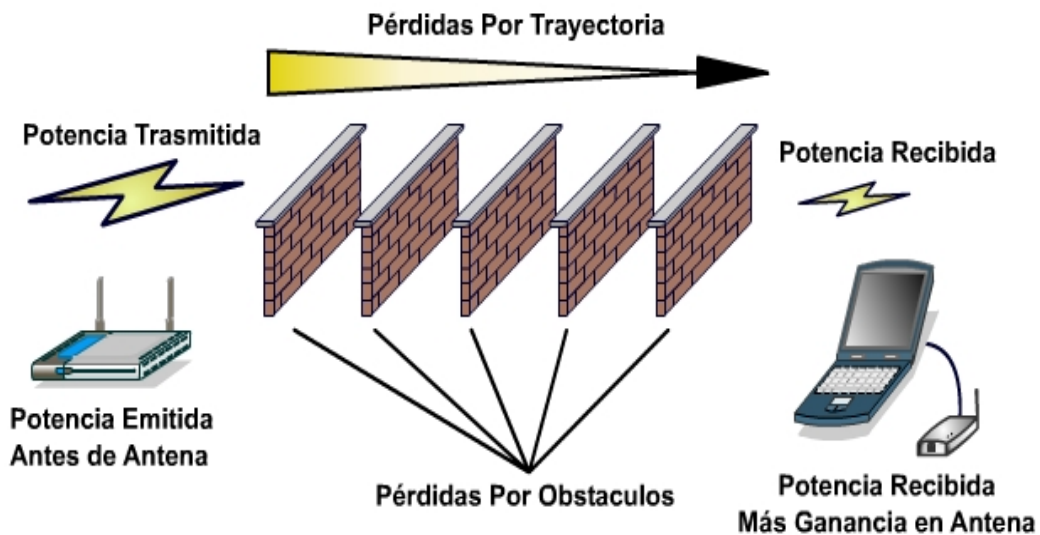
2.2.2 Cálculo del enlace. El cálculo de enlace es una parte fundamental del proceso de planeación de una red para aplicaciones tanto indoor como outdoor. Este ayuda a dimensionar los requerimientos de la red. En un enlace 802.11 típico deben hacerse dos cálculos de enlace: el del enlace del AP al adaptador cliente y el de la tarjeta del adaptador cliente al AP¹.

Un estudio del enlace básicamente suma todas las pérdidas y ganancias a la potencia transmitida (en dB) para obtener la potencia recibida. Para que

¹ OHRTMAN, Frank y ROEDER, Konrad. Wi-Fi Handbook: building 802.11b wireless networks. Estados Unidos: McGraw-Hill Companies, 2003. ISBN 0-07-141251-4.

la comunicación sea posible, la potencia que llega al receptor debe ser de al menos la sensibilidad del receptor. En la figura 19 se muestra un diagrama con pérdidas y ganancias para el cálculo de enlace entre el punto de acceso y el adaptador cliente.

Figura 19. Diagrama para el cálculo de enlace



Diseño del autor

2.2.2.1 Potencia transmitida y ganancia de antena. La potencia de salida en la antena y la ganancia de la antena están reguladas por las leyes de cada país. Para Wi-Fi, la potencia máxima de salida y la ganancia de la antena dependen de la banda de frecuencia que se emplee y de si la aplicación es punto a punto o punto a multipunto. Los fabricantes de puntos de acceso y de adaptadores cliente especifican en la hoja de datos la potencia de salida de sus equipos en mW y dBm.

En Colombia, el decreto 0797 de 2001, referente solo a enlaces punto a punto, establece que la potencia máxima de transmisión debe ser de 100

mW o 20 dBm, obsérvese la sección 1.6 para mayor información sobre normatividad.

2.2.2.2 Pérdidas por trayectoria. La parte más difícil al hacer el cálculo de enlace es acertar en las pérdidas por trayectoria. Para cálculos de enlaces a puertas cerradas existe una ecuación que depende de factores como los materiales de construcción, los muebles y los ocupantes del recinto. Para 2.4 GHz se puede emplear la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdidas indoor por trayectoria (2.4 GHz)} = 55\text{dB} + (0.3 \text{ dB/d[m]})^*$$

2.2.2.3 Ganancia de antena en el receptor. La ganancia de la antena en el receptor se suma al cálculo de enlace de la misma forma que la ganancia de la antena del transmisor.

2.2.2.4 Margen de debilitamiento del enlace^{**}. Este margen es la diferencia, en dB, entre la magnitud de la señal recibida en el receptor y el nivel de señal mínimo requerido para que haya comunicación. En otras palabras, es la cantidad de señal que se recibe por encima del nivel de sensibilidad del receptor. Obviamente entre mayor sea el margen de debilitamiento mejor es el enlace. El valor del margen requerido depende de la calidad de enlace que se desee, una buena aproximación para este valor es entre 20 y 30 dB.

*Para pérdidas indoor por trayectoria en la banda de 5 GHz se aplica la ecuación: Pérdidas = 63dB + (0.3 dB/d[m]). Esta ecuación se tomó de la referencia [11] de la bibliografía.

**Traducción del término inglés: Fade Margin.

2.2.2.5 Pérdidas por cables y conectores. Estas pérdidas se consideran en caso de usar antenas adicionales a las que vienen con los adaptadores y los puntos de acceso. Son función del tipo de cable, su espesor y su longitud. Una buena aproximación es asumir que son de 0.5 dB por conexión.

2.2.2.6 Atenuación. El trayecto de las ondas puede verse afectado por diversos obstáculos. Por ejemplo, la atenuación producida por una pared de oficina es de 6dB**.

2.2.2.7 Cálculo del enlace para el laboratorio de redes de datos. Estos cálculos fueron hechos para el peor caso, es decir, cuando el enlace es entre las aulas 202 y 207 y la señal debe atravesar los cinco muros que las separan. Evidentemente, para enlaces en el interior de las aulas el desempeño de la red será mucho mejor que el presentado en esta sección. En la tabla 4 se muestra el cálculo del enlace para la transmisión entre un adaptador y un punto de acceso operando al máximo de potencias permitidas.

En una tarjeta con sensibilidad aceptable, se requiere una potencia superior a -80 dBm para que exista enlace a una tasa de 11 Mbps. Como se observa en los cálculos, la señal necesita un poco más de potencia

**Existen múltiples estudios sobre atenuación en interiores y los valores específicos pueden variar de un autor a otro. Este dato fue tomado del libro Wi-Fi Handbook, referencia [11] en la bibliografía.

para funcionar correctamente con un margen de debilitamiento de 20 dB; sin embargo la cobertura está garantizada porque la sensibilidad del receptor aumenta para tasas de transmisión menores, llegando por ejemplo a -94 dBm para una tasa de 1 Mbps.

Tabla 4. Cálculo de enlace entre el adaptador inalámbrico y el AP

POTENCIAS Y PÉRDIDAS	DESCRIPCIÓN
(+) 20 dBm	Máxima potencia emitida incluyendo la potencia de salida y la ganancia de la antena.
(-) 55.0125 dBm	Las pérdidas por trayectoria para 24 metros (distancia que separa las dos aulas del laboratorio) a 2.4 GHz son 55 dB + (0.3 dB/[24m]).
(-) 30 dB	Pérdidas por atenuación producidas por los cinco muros entre las salas (en caso de que los adaptadores se ubiquen hacia la parte de la sala que limita con el pasillo y que la trayectoria de transmisión sea una línea recta, las pérdidas son solo 12 dB).
(+) 2 dBi	Ganancia de la antena del punto de acceso.
(-) 20 dB	Margen de debilitamiento del enlace.
-83.0125 dBm	Mínima potencia recibida.

Diseño del autor

En la tabla 5 se muestra el cálculo del enlace para la transmisión entre un

punto de acceso y un adaptador operando al máximo de potencia permitida*.

Tabla 5. Cálculo de enlace entre el AP y el adaptador inalámbrico

POTENCIAS Y PÉRDIDAS	DESCRIPCIÓN
(+) 36 dBm	Máxima potencia de emisión permitida para un enlace punto a multipunto incluyendo la potencia de salida y la ganancia de la antena.
(-) 55.0125 dBm	Las pérdidas por trayectoria para 24 metros (distancia que separa las dos aulas del laboratorio) a 2.4 GHz son 55 dB + (0.3 dB/[24m])
(-) 30 dB	Pérdidas por atenuación producidas por los cinco muros entre las salas (en caso de que los adaptadores se ubiquen hacia la parte de la sala que limita con el pasillo y que la trayectoria de transmisión sea una línea recta, las pérdidas son solo 12 dB).
(+) 1 dBi	Ganancia de la antena en el adaptador del cliente
(-) 20 dB	Margen de debilitamiento del enlace.
-68.0125 dBm	Mínima potencia recibida.

Diseño del autor

Según la tabla, la potencia recibida es -68.025 dBm con un margen de

*La máxima potencia de emisión permitida en un enlace punto a multipunto (36 dBm) es superior a la permitida en un enlace punto a punto (20 dBm).

debilitamiento de 20 dB. Este valor es superior a la sensibilidad de todos los adaptadores inalámbricos disponibles actualmente en el mercado. En este caso la calidad del enlace es excelente y se podría aumentar el margen de debilitamiento del enlace.

Estos son solo cálculos teóricos y en la práctica las potencias de salida son diferentes dependiendo del adaptador y de la marca del AP. Además el cálculo que se ha hecho de las pérdidas por trayectoria está basado en una ecuación que puede no adaptarse exactamente a las condiciones del laboratorio (diferentes materiales de construcción, niveles de humedad diferente, etc.). Sin embargo este cálculo es una buena aproximación para ratificar que a la frecuencia de 2.4 GHz la cobertura es adecuada.

2.2.3 Selección de los dispositivos de red.

2.2.3.1 Tarjetas de adaptadores cliente. Una de las metas en el diseño de cualquier proyecto es garantizar que se logren los objetivos respetando el presupuesto asignado al proyecto, en este caso, como se detalló en el plan de proyecto, la suma asignada por la E3T para los dispositivos inalámbricos fue de siete millones de pesos.

Los precios de los adaptadores inalámbricos a la fecha pueden variar entre 50 y 300 dólares para un adaptador USB, esto es entre 150000 y 900000 pesos aproximadamente.

En las clases que se dictan en el laboratorio de redes de datos los

estudiantes se agrupan en mesas, son en total 8 mesas por sala; según este criterio se consideró adecuado comprar ocho tarjetas de tal forma que en las prácticas se instale un adaptador en cada mesa. Esta decisión se ajusta al presupuesto.

Las tarjetas serán usadas para familiarizarse con el uso y configuración de redes inalámbricas; un factor importante es mostrar a los estudiantes una gama de tarjetas de diferentes fabricantes para que, más que familiarizarse con un marca específica, aprendan sobre lo que es estándar en WLANs y se hagan una idea sobre las múltiples ofertas del mercado. Además esta variedad puede servir para posteriores estudios que se desarrollen en la E3T*.

Se decidió adquirir adaptadores de tres marcas diferentes las cuales se eligieron después de sopesar sus pros y sus contras como se describe en la sección 2.2.4. Cabe notar que al seleccionar los equipos se verificó que todos fuesen certificados por la WECA para asegurar la compatibilidad entre unos y otros**.

Dependiendo del tipo de computadores de los que se disponga hay múltiples opciones de adaptadores Wi-Fi disponibles. Los equipos del laboratorio de redes son computadores de escritorio; para ellos existen básicamente dos opciones disponibles: una instalación externa a través

*Al momento de terminar este proyecto ya estaba en desarrollo la tesis de maestría "Predicción de la tasa de throughput en una red inalámbrica (WLAN 802.11b)" que hace uso de la WLAN diseñada.

**La URL de la WECA es: <<http://www.weca.net>>.

del puerto USB o una instalación interna con una tarjeta PCMCIA o una tarjeta de PC. En este proyecto se seleccionó la interfaz USB como la más adecuada por su facilidad de conexión.

2.2.3.2 Puntos de acceso. Desde que se planteó la necesidad de contar con una WLAN en la E3T se pensó en que ésta permitiera operar en los dos modos de funcionamiento propuestos por la IEEE: ad hoc e infraestructura. Por tal razón era clara la necesidad de adquirir junto con los adaptadores inalámbricos uno o más puntos de acceso.

Se decidió comprar dos puntos de acceso para que hubiese posibilidad de conectar uno en cada aula del laboratorio y estudiar fenómenos que requieren más de un AP como por ejemplo el roaming, en el cual el usuario pasa de una celda a otra sin notar el cambio. Esta cantidad de equipos resulta acorde con el presupuesto ya que el valor promedio de un AP oscila entre 450000 pesos y 3000000 de pesos.

Una estrategia para cubrir el futuro crecimiento o las nuevas aplicaciones que pueda tener la WLAN es comprar un punto de acceso dual que soporte los dos estándares: 802.11a y 802.11b*. Esta opción está disponible en el mercado con una mínima diferencia de precio con respecto a un AP no dual. Se consultó un AP marca D-Link que funciona con los tres estándares: 802.11a, 802.11b y 802.11g, sin embargo, por ser este último un estándar recién aprobado, solo se vendía en los

*De esta forma se garantiza la cobertura de la red con el estándar 802.11b y se deja abierta la opción de, posteriormente, si se desea operar con tasas de transmisión más altas o realizar estudios de propagación, comprar adaptadores cliente 802.11a.

Estados Unidos y los representantes en Latinoamérica no ofrecían ningún tipo de garantía ni de soporte haciendo poco viable su adquisición.

2.2.4 Selección de las marcas y las referencias. Haciendo uso de la información suministrada en la Web por los fabricantes, se consultaron las ofertas en adaptadores inalámbricos con conexión a puerto USB y estándar 802.11b de 3Com, Avaya, Netgear, D-Link y Dell*. Cualquiera de estos adaptadores se pudo haber comprado, sin embargo se establecieron unos parámetros de decisión más relacionados con el valor agregado dado a los productos que con el estándar: las potencias de emisión y la sensibilidad, el costo, el tiempo de entrega, las características de seguridad y el criterio personal fortalecido después de haber leído la documentación de muchos dispositivos.

Se pidieron cotizaciones a múltiples empresas en Bucaramanga y Bogotá; no todas podían suministrar los equipos así que solo se recibieron 11 cotizaciones, la mayoría por correo electrónico.

A partir de la información recibida se hizo una matriz de decisión con cinco filas (los criterios) y siete columnas (los adaptadores). A cada criterio se le asignó un valor de ponderación, según la importancia que tenía en la decisión final. Posteriormente se definió una escala de 0 a 10 para la puntuación. Obsérvense las tablas 6, 7 y 8. Después de hacer la matriz se decidió comprar los adaptadores inalámbricos cliente de las tres

*Se consultaron más fabricantes pero fueron los adaptadores de estas marcas los que, al observar la documentación del producto, tenían buenas características de desempeño.

marcas que salieron favorecidas, tres tarjetas de D-Link referencia DWL-120, tres tarjeteas 3Com referencia 3CRSHEW696 y dos de Orinoco referencia Silver.

Con los puntos de acceso no se utilizaron los mismos parámetros de selección porque la documentación encontrada en Internet no fue suficiente para establecer un cuadro comparativo. La decisión se tomó entre los puntos de acceso duales, basándose en sus precios y en las características generales de valor agregado que se encontraron en las páginas Web de los fabricantes. Después de un minucioso análisis se decidió adquirir dos puntos de acceso marca D-Link referencia DWL6000AP*.

*Las especificaciones técnicas de las tarjetas y los puntos de acceso seleccionados se presentan en el anexo A.

Tabla 6. Criterios y valores para cada adaptador inalámbrico

CRITERIO	3COM 3CRSHEW696	D-LINK DWL-120	D-LINK DWL-120+	ORINOCO Silver	ORINOCO Gold	NETGEAR MA101	DELL TrueMobile 1180
Enlace*	Ind**/Ind	-80/13	-84/15	-83/15	-83/15	-84/13	Ind/14
Precio	430000	340000	550000	475000	800000	446885	385000
Tiempo de entrega	30	5	3	3	30	30	5
Seguridad	104/128	128	256	64	128 - RC4	64/128	64/128

Diseño del autor

Tabla 7. Criterios, ponderado y valoración para cada adaptador inalámbrico

*Potencia de emisión y sensibilidad en dBm

**Indeterminado

CRITERIO	Pdo	3COM 3CRSHEW696	D-LINK DWL-120	D-LINK DWL-120+	ORINOCO Silver	ORINOCO Gold	NETGEAR MA101	DELL TrueMobile 1180
Enlace	10	6	6	10	9	9	8	7
Precio	10	6	10	2	4	0	5	8
Tiempo de entrega	2	0	5	10	3	10	0	5
Seguridad	2	5	5	10	0	5	5	5
Personal	7	9	10	2	8	2	2	2

Diseño del autor

Tabla 8. Criterios y puntuación para cada adaptador inalámbrico

CRITERIO	3COM 3CRSHEW696	D-LINK DWL-120	D-LINK DWL-120+	ORINOCO Silver	ORINOCO Gold	NETGEAR MA101	DELL TrueMobile 1180
Enlace	60	60	100	90	90	80	70
Precio	60	100	20	40	0	50	80
Tiempo de entrega	0	10	20	6	20	0	10
Seguridad	10	10	20	0	10	10	10
Personal	63	70	14	56	14	14	14
TOTAL	193	250	174	192	134	154	184

Diseño del autor

3. PRÁCTICAS PROPUESTAS

3.1 HERRAMIENTAS DE SOFTWARE

Las herramientas que se describen a continuación no se usaron para el diseño de la red, sino que son las que se sugieren para generar y analizar tráfico en la WLAN al realizar las prácticas de laboratorio.

3.1.1 MGEN. MGEN, *MultiGenerator Toolset* es un software de código abierto desarrollado por el Grupo de Investigación Avanzado en Ingeniería de Protocolos de Red – PROTEAN (*PROTOCOL Engineering Advanced Networking Research Group*) del Laboratorio de Investigación Naval - NRL* de los Estados Unidos. MGEN permite medir y evaluar el desempeño de una red IP utilizando tráfico UDP**. Esta herramienta tiene la capacidad de generar diversos patrones de tráfico en tiempo real que permiten cargar la red de muchas maneras.

El tráfico generado puede ser recibido y almacenado en registros para su posterior análisis. Se emplean unos archivos o guiones que cargan los parámetros de red en el transcurso del tiempo. Estos guiones pueden ser usados para cambiar las características del tráfico de las aplicaciones de multicast o unicast.

*Naval Research Laboratory: <<http://www.nrl.navy.mil>>.

** Actualmente está en desarrollo la herramienta para tráfico TCP.

Los registros de datos pueden ser usados para calcular estadísticas de desempeño de la red en términos de su máxima tasa de transferencia de datos, cantidad de paquetes perdidos y retrasos en la comunicación.

Actualmente existen dos versiones diferentes (MGEN 4.x y MGEN 3.x) de MGEN las cuales no son inter-operables entre sí. La versión MGEN 3.x se utiliza en plataformas basadas en Unix, al igual que la versión 4.x que además brinda soporte para las plataformas Win32.

3.1.1.1 Versión 3.x (Linux). Es la versión antigua de la herramienta MGEN, funciona en plataformas basadas en Unix, como Linux. Su última versión fue la 3.3a8*, presentada el 10 de diciembre de 2002 y según el NRL no se volverá a actualizar (ahora la herramienta para Linux está en la versión 4.x).

Este software consiste de dos herramientas principales: mgen y drec, y algunos programas de utilidad como mcalc. El programa mgen es el encargado de generar y enviar el tráfico UDP/IP multicast y unicast desde y hacia los puertos fuente y destino respectivamente.

La función drec es la encargada de recibir y almacenar este tráfico, de enviar los mensajes IGMP de entrada y salida de los grupos multicast al

*Ésta versión se ejecuta sobre plataformas Silicon Graphics y Sun SPARCStation (SunOS 4.1.x y Solaris 2.x), Intel - Linux, Solaris-i386, NetBSD, y FreeBSD. Los computadores del laboratorio de redes de datos utilizan como Sistema Operativo LINUX RED HAT 9.

Switch desde cada host y de registrar los paquetes que llegan a cada uno de los grupos de multidifusión. La utilidad mcalc es la encargada de realizar las estadísticas.

Generador de tráfico. El programa mgen permite la configuración de dos modos diferentes: directamente en la línea de comandos o desde un archivo de texto o guión. En cualquiera de los dos se describen parámetros como: el puerto de salida del generador, el tiempo de inicio y parada para el envío de tráfico (en milisegundos), el número de flujos unicast y multicast con su respectivo indicador, las direcciones IP de destino y el puerto utilizado para la recepción de tráfico, el tipo de flujo (periódico o aleatorio), la tasa de envío (en paquetes por segundo) y el tamaño de los paquetes.

Receptor de tráfico. La recepción de tráfico se lleva a cabo con la herramienta drec. Al igual que la herramienta de generación permite su configuración en dos modos: directo y en guión. En cualquiera de los dos, se describen parámetros como la hora de inicio, el puerto receptor, la hora de adición y salida de los grupos multicast y de los flujos unicast, con sus respectivas direcciones IP. Los datos que registra el drec se recopilan en un archivo de texto y tienen el siguiente formato por cada línea:

- Número de flujo multicast
- Número de paquete por flujo
- Dirección fuente/puerto
- Dirección multicast destino/puerto
- Timestamp de envío
- Timestamp de recepción
- Tamaño de paquete.

En éste archivo se encuentran registrados todos los paquetes capturados por la tarjeta de red.

Analizador de tráfico. La función mcalc se encarga de procesar el archivo creado por la función drec. En este proceso se realiza el cálculo de la latencia, el retardo de añadirse a un grupo y el número de paquetes perdidos y recibidos en cada uno de los grupos multicast del respectivo host, entre otros.

3.1.1.2 Versión 4: Windows. La herramienta principal de este software es el programa mgen, el cual puede generar, recibir y almacenar las pruebas de tráfico. Su última versión para Windows fue la 4.2b3 presentada el 15 de enero de 2004.

En la URL <<http://mgen.pf.itd.nrl.navy.mil/mgen.html>> se encuentra una completa guía de usuario para aprender a utilizar esta herramienta (generador de tráfico, formatos de guión y registro, etc). Existen herramientas adicionales disponibles para facilitar la creación automatizada de guiones y archivos de registros, sin embargo, en esta versión no se cuenta con una interfaz gráfica de usuario para cargar mgen (como en la versión 3.x) sino que debe hacerse a través de la línea de comandos

3.1.2 Qcheck. Es una herramienta software de distribución libre creada por la empresa Netiq que permite medir algunos parámetros de desempeño de la red. Cuenta con dos componentes de software: una consola con interfaz gráfica de usuario y unos agentes de software

llamados terminales de desempeño (o simplemente terminales). En la consola Qcheck se configuran las pruebas, se corren y se visualizan los resultados. Se pueden seleccionar múltiples tipos de pruebas, junto con las direcciones de los dos terminales (transmisor y receptor) y el protocolo a usar entre ellos (TCP, UDP, SPX, or IPX). Los resultados de las pruebas se resumen en la consola y es posible ver un informe detallado de estas usando un navegador de Web. En la figura 20 se observa la consola de Qcheck.

Figura 20. Consola de Qcheck



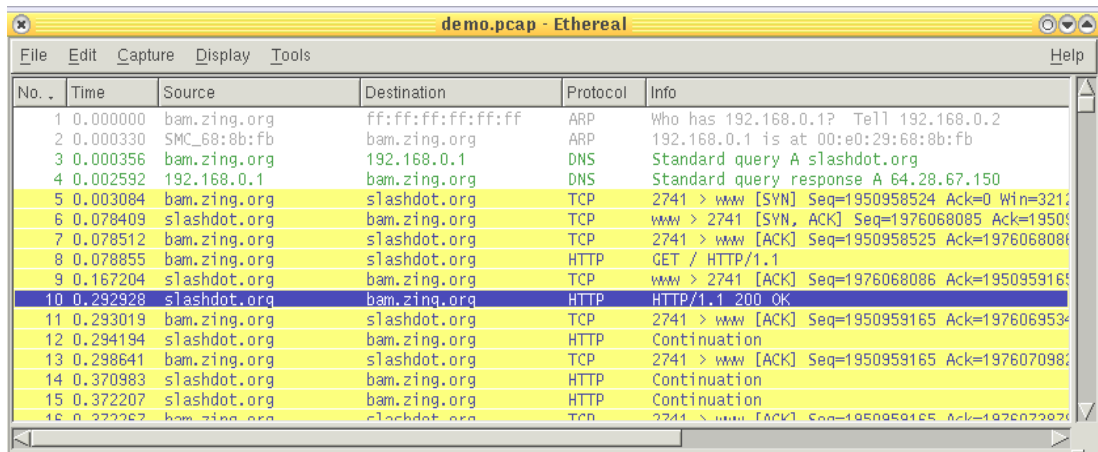
Tomado del artículo "Qcheck A Quick Check of Network Performance". Referencia [14] en la bibliografía.

Qcheck utiliza los terminales para probar algunas características de desempeño de la red como el tiempo de respuesta, el throughput, la cantidad de datos perdidos y la ruta de los paquetes a través de la red. En la URL <<http://www.netiq.com/Qcheck>> se pueden descargar los instaladores de este generador de tráfico y consultar la guía de usuario.

3.1.3 Analizador de red Ethereal

Ethereal es un analizador de protocolos de red para Windows y plataformas basadas en Unix. Permite examinar datos de una red en funcionamiento o de un archivo de captura almacenado. Es posible estudiar los datos capturados revisando los sumarios y la información detallada de cada paquete.

Figura 21. Ejemplo de captura de Ethereal



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
1	0.000000	bam.zing.org	ff:ff:ff:ff:ff:ff	ARP	Who has 192.168.0.1? Tell 192.168.0.2
2	0.000330	SMC_68:8b:fb	bam.zing.org	ARP	192.168.0.1 is at 00:e0:29:68:8b:fb
3	0.000356	bam.zing.org	192.168.0.1	DNS	Standard query A slashdot.org
4	0.002592	192.168.0.1	bam.zing.org	DNS	Standard query response A 64.28.67.150
5	0.003084	bam.zing.org	slashdot.org	TCP	2741 > www [SYN] Seq=1950958524 Ack=0 Win=3212
6	0.078409	slashdot.org	bam.zing.org	TCP	www > 2741 [SYN, ACK] Seq=1976068085 Ack=1950958524
7	0.078512	bam.zing.org	slashdot.org	TCP	2741 > www [ACK] Seq=1950958525 Ack=1976068086
8	0.078855	bam.zing.org	slashdot.org	HTTP	GET / HTTP/1.1
9	0.167204	slashdot.org	bam.zing.org	TCP	www > 2741 [ACK] Seq=1976068086 Ack=1950959165
10	0.292928	slashdot.org	bam.zing.org	HTTP	HTTP/1.1 200 OK
11	0.293019	bam.zing.org	slashdot.org	TCP	2741 > www [ACK] Seq=1950959165 Ack=1976069534
12	0.294194	slashdot.org	bam.zing.org	HTTP	Continuation
13	0.298641	bam.zing.org	slashdot.org	TCP	2741 > www [ACK] Seq=1950959165 Ack=1976070982
14	0.370983	slashdot.org	bam.zing.org	HTTP	Continuation
15	0.372207	slashdot.org	bam.zing.org	HTTP	Continuation
16	0.372267	bam.zing.org	slashdot.org	TCP	2741 > www [ACK] Seq=1950959165 Ack=1976072076

Tomado de la página Web <<http://www.ethereal.com>>

Actualmente Ethereal tiene suficientes características que lo hacen útil para determinadas aplicaciones, sin embargo sus mismos creadores reconocen que está incompleto y sujeto a constantes actualizaciones*. La versión más reciente es la 0.10.0 aprobada el 12 de diciembre de 2003, reconoce más de 450 protocolos, incluido el 802.11. Dentro de las

*Periódicamente se pueden encontrar las nuevas versiones con nuevos protocolos y mayor soporte para los ya existentes en la página Web con dirección <<http://www.ethereal.com>>.

características de esta herramienta se destacan:

- Los datos pueden ser capturados de una conexión activa o leídos de un archivo de captura.
- Ethereal puede leer archivos de captura de múltiples analizadores de red como por ejemplo tcpdump (libpcap), Sniffer™ Pro o NetXray™.
- Los datos pueden leerse de una conexión activa de IEEE 802.11, Ethernet, FDDI, PPP, Token-Ring, IP clásico sobre ATM e interfaces de lazo cerrado.
- Los datos capturados pueden ser explorados usando una interfaz gráfica o el programa de modo TTY "tethereal".
- Los archivos capturados pueden ser editados o convertidos al programa "editcap" a través de la línea de comandos.
- Las salidas pueden almacenarse o imprimirse como texto completo o PostScript®.
- Los datos mostrados pueden ser redefinidos usando un filtro.
- Los filtros de visualización también pueden usarse para resaltar información de determinados paquetes en el sumario.
- Los paquetes capturados de la red pueden almacenarse en disco bien sea completamente o por partes.

Detalles sobre el empleo de esta herramienta se presentarán en cada práctica cuando sea necesario su uso para analizar características de la WLAN.

*Esta herramienta se explica en <<http://www.ethereal.com/tethereal.1.html>>.

**Esta herramienta se explica en la URL <<http://www.ethereal.com/editcap.1.html>>.

3.2 DEFINICIÓN DE LAS PRÁCTICAS

Las prácticas se realizarán en el laboratorio de redes de datos. Como se mencionó en el capítulo dos sección 2.2.3.1 solo se compraron ocho adaptadores inalámbricos, así que esa es la máxima cantidad de estudiantes que pueden realizar cada una de las prácticas.

Figura 22. Equipos inalámbricos del laboratorio de redes de datos



Foto tomada por el autor

Los grupos de estudiantes en clases de pregrado o en la especialización en Telecomunicaciones son superiores a este número, así que se sugiere que para las prácticas de laboratorio, el grupo se divida en subgrupos y cada uno de estos haga una práctica sobre un tema diferente, con diferentes implementos de red. Las experiencias podrían irse alternando

de tal forma que todos las realicen, solo que en un orden diferente.

Las prácticas se encuentran recopiladas en el CD *Redes inalámbricas - WLANs* y cuentan con los siguientes elementos pedagógicos:

- El logotipo de la Universidad y el de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones como identificadores.
- Un encabezado que relaciona el nombre de la Universidad, el nombre de la Escuela, el nombre del laboratorio y el número de la página actual.
- Un esquema de presentación en CD con animaciones, a todo color y en formato de página WEB para presentar los conceptos y elementos de una manera dinámica y atractiva, motivar al estudiante y permitirle preparar las prácticas en su casa o en la sala de cómputo de la escuela.
- Un sistema de redacción basado en el uso de numeración por niveles, con el objeto de facilitar al estudiante la revisión de los conceptos.
- Gráficas e imágenes describiendo paso a paso los procesos a llevar a cabo en las prácticas (como instalación de equipos, de las herramientas de configuración de los adaptadores, etc.) facilitando la labor del docente y permitiendo mayor autonomía a los estudiantes.
- Un pie de página indicando que el documento es una de las prácticas con WLANs, el nombre de la práctica y el total de páginas que componen el documento.

3.2.1 Estructura de las prácticas. Las prácticas están organizadas en secciones, con el fin de manejar cierta secuencia en su desarrollo. A continuación se presentan dichas secciones.

3.2.1.1 Introducción. Presenta una visión del contenido de la práctica en cuanto a estructura y soporte teórico. Pone de manifiesto información general y además, aporta algunas sugerencias interesantes. El objeto e importancia de incluir esta parte en el laboratorio de WLANs es motivar y preparar al estudiante para la asimilación de los conocimientos que serán presentados.

3.2.1.2 Objetivo general y objetivos específicos. Mencionan de forma clara y precisa las técnicas y/o conceptos que serán presentados durante el desarrollo de cada una de las prácticas, lo cual permite al estudiante, realizar las diferentes experiencias con un enfoque claro y bien definido. Adicionalmente, pueden ayudar al docente en la construcción de indicadores de desempeño para efectos de evaluación.

3.2.1.3 Materiales – Equipos a utilizar. Presenta un listado de los equipos y el software necesarios para el desarrollo de cada práctica. Esta parte permite al estudiante consultar previamente en la documentación del CD *Redes inalámbricas - WLANs* las características de los dispositivos que va a emplear y ahorrar tiempo valioso en la práctica. A su vez hace recaer en el estudiante la responsabilidad de verificar que el software necesario esté instalado en los equipos a usar.

La preparación de este ítem puede ser un indicador de la destreza de los estudiantes (al realizar un seguimiento de la experiencia adquirida en la instalación y manipulación de los equipos) y de su interés por las prácticas.

3.2.1.4 Trabajo previo (opcional). Agrupa preguntas, análisis, resúmenes, etc. que son necesarios para la realización ágil y eficiente del procedimiento. Al igual que la sección anterior, tiene como fin optimizar el tiempo de la prácticas.

3.2.1.5 Marco teórico. Indica a los estudiantes que realizarán la práctica, los conceptos que deben ser revisados previamente para su correcto desarrollo. Presenta un resumen de la teoría mínima que será expuesta, comprobada y/o ampliada durante el procedimiento del laboratorio. Esta parte se incluye para contextualizar a los estudiantes, de forma que los procedimientos descritos no sean meramente mecánicos, sino por el contrario, que complementen y faciliten la comprensión de la teoría.

3.2.1.6 Procedimiento. Es el cuerpo de la práctica, presenta de manera detallada de las actividades que deben realizarse durante ésta.

3.2.1.7 Preguntas posteriores a la práctica y análisis (opcional). Menciona algunas preguntas que cuestionan al alumno y le permiten evaluar su desempeño y aprendizaje durante el laboratorio. No es un ítem fijo ya que por una parte, mermaría el grado de libertad que debe poseer el docente encargado de valorar el proceso educativo de sus estudiantes y por otra parte, es un parámetro que puede depender de la asignatura (pre-grado o post-grado) a la cual se incorporen las prácticas.

3.2.1.8 Bibliografía. Cita las fuentes (libros, artículos o páginas Web) que pueden ser consultadas por los estudiantes, con el fin de que amplíen los conceptos presentados en las guías y las clases y ello les permita un

mayor aprovechamiento de las experiencias en el laboratorio.

3.2.1.9 Anexos. Amplía información técnica sobre las tarjetas, el software a utilizar en las prácticas o, en general, cualquier asunto que la requiera.

3.2.2 Cantidad y duración de las prácticas. A partir de la información revisada en la bibliografía, se consideró que cuatro prácticas eran suficientes para estudiar los conceptos básicos de funcionamiento de las redes inalámbricas con un adecuado nivel de detalle.

Tabla 9. Temas propuestos para las prácticas de laboratorio

NÚMERO DE LA PRÁCTICA	TEMA
Práctica N° 1	Red ad hoc
Práctica N° 2	Red Infraestructura
Práctica N° 3	Seguridad
Práctica N° 4	WLANS usando Linux

Diseño del autor

La duración prevista de cada una de las prácticas es de dos a cuatro horas aproximadamente. Los temas de las prácticas se observan en la

tabla 9 y sus contenidos se presentarán en las secciones siguientes*.

3.3 PRÁCTICA NÚMERO 1: RED AD HOC

3.3.1 Objetivo general. Montar una red inalámbrica en modo de funcionamiento ad hoc y estudiar algunos principios sobre su funcionamiento, usando los adaptadores cliente disponibles en el laboratorio de redes de datos de la E3T.

3.3.2 Objetivos específicos.

- Estudiar algunas características del funcionamiento de una red inalámbrica, forjando en los estudiantes criterios válidos que les permitan comparar su desempeño con el de una red cableada.
- Identificar los componentes de una red inalámbrica de área local (WLAN) en modo ad hoc y comprender su principio de funcionamiento y sus aplicaciones.
- Aprender a manejar las herramientas de administración ofrecidas para cada tarjeta y configurar los adaptadores haciendo uso de ellas.
- Probar los adaptadores cliente a diferentes distancias, encontrar su rango de cobertura y compararlo con el planteado por los fabricantes.
- Utilizar en el montaje tarjetas de diferentes marcas (Orinoco, 3COM y D-link) reguladas por el mismo estándar y analizar las ventajas y

*Por practicidad a la hora de presentar las guías de laboratorio en este libro se incluyeron solamente los objetivos, la introducción y el procedimiento de cada práctica. Para observar la guía completa, remítase al CD *Redes inalámbricas – WLANs*.

desventajas de cada una.

3.3.3 Introducción. Para tener acceso a una red es necesario configurar tanto el hardware como el software implicados en la comunicación de datos. En esta práctica se montarán físicamente los dispositivos de red requeridos para el funcionamiento de una WLAN (Wireless Local Area Network) en modo de funcionamiento ad hoc y se configurarán cada una de las tarjetas inalámbricas en Windows XP a través del software de administración suministrado por los fabricantes. Posteriormente se harán aplicaciones ilustrativas usando la red.

3.3.4 Procedimiento. Antes de comenzar la práctica se presentan algunas recomendaciones para el uso de los adaptadores inalámbricos, no solo en este sino en todos los laboratorios. Posteriormente se presenta el procedimiento, el cual se compone de tres partes.

En la primera parte cada estudiante debe ubicarse en una mesa diferente. Se le entregará una tarjeta inalámbrica, el cable de conexión al puerto USB del computador y el CD donde se encuentran los controladores*.

El estudiante debe instalar la tarjeta siguiendo las indicaciones que se encuentran en la guía. Una vez hecho esto, debe intercambiarla con otro estudiante (siempre y cuando ésta sea de diferente marca), instalarla según las indicaciones y realizar un tercer intercambio que le permitirá

*Si la práctica la realizan solo cuatro estudiantes se asignan dos adaptadores y dos computadores a cada uno (dos mesas por estudiante).

instalar y manipular las tarjetas de las tres marcas con las que cuenta la sala de redes de datos. En la tabla 10 se muestra un posible orden de instalación de los adaptadores.

Tabla 10. Posible orden de instalación de los adaptadores

Estudiantes	Instalación 1	Instalación 2	Instalación 3
Estudiante 1	D-LINK	ORINOCO	3COM
Estudiante 2	D-LINK	ORINOCO	3COM
Estudiante 3	D-LINK	3COM	ORINOCO
Estudiante 4	3COM	D-LINK	ORINOCO
Estudiante 5	3COM	D-LINK	ORINOCO
Estudiante 6	3COM	D-LINK	ORINOCO
Estudiante 7	ORINOCO	3COM	D-LINK
Estudiante 8	ORINOCO	3COM	D-LINK

Diseño del autor

Obsérvese que como solo hay dos tarjetas de Orinoco, dos estudiantes deberán esperar un poco más de tiempo antes de poder configurarlas, se sugiere que ellos adelanten la siguiente parte del laboratorio mientras alguno de los otros estudiantes del grupo termina. Al finalizar esta etapa de la práctica los controladores de todas las tarjetas deben estar instalados en todas las mesas de la sala. Posteriormente se debe asignar una dirección IP a la interfaz inalámbrica como se indique en la guía (y en

la subred que se indique el día del laboratorio) y se procede a instalar las diferentes herramientas de configuración. A partir de la documentación entregada en la guía, cada alumno aprenderá a manejar las herramientas de configuración y, haciendo uso de ellas, monitorear los enlaces inalámbricos.

Durante la segunda parte del procedimiento se crearán varias redes ad hoc (en diferentes canales de frecuencia), los estudiantes trabajarán en parejas*, con dos tarjetas inalámbricas de diferente marca, en la tabla 11 se muestra una posible distribución. El fin de esta parte de la práctica es hallar el rango de cobertura de cada par de tarjetas utilizando sus herramientas de administración y una herramienta de software para generar tráfico.

Tabla 11. Posible distribución de los adaptadores cliente para que ninguna pareja de estudiantes tenga dos de la misma marca.

Parejas	Marca de las tarjetas	
Pareja 1	D-LINK	ORINOCO
Pareja 2	D-LINK	3COM
Pareja 3	D-LINK	3COM
Pareja 4	3COM	ORINOCO

Diseño del autor

Por último, en la tercera parte, se desinstalan los controladores siguiendo

*Si la práctica la realizan solo cuatro estudiantes cada estudiante crea su propia red ad hoc con las dos tarjetas que le fueron entregadas.

los pasos descritos en la guía y se aprende a desconectar los equipos correctamente.

3.4 PRÁCTICA NÚMERO 2: INFRAESTRUCTURA

3.4.1 Objetivo general. Montar una red inalámbrica en modo de operación infraestructura y estudiar algunos principios sobre su funcionamiento, usando los dos puntos de acceso D-Link 6000AP y las ocho tarjetas con las que cuenta la sala de redes de datos de la E3T.

3.4.2 Objetivos específicos.

- Estudiar algunas características del desempeño de las redes inalámbricas, forjando en los estudiantes criterios válidos que les permitan comparar su desempeño con el de una red cableada.
- Identificar los componentes de una red inalámbrica de área local (WLAN) en topología infraestructura y comprender el papel que desempeña cada uno de ellos en la comunicación.
- Configurar los dispositivos de red inalámbrica (adaptadores cliente y puntos de acceso) haciendo uso de las herramientas de administración ofrecidas por los fabricantes de los equipos.
- Verificar la inter-operabilidad entre dispositivos de diferentes marcas (Orinoco, 3COM y D-link) que se ciñen al mismo estándar y analizar las ventajas y desventajas de este hecho.
- Estudiar algunos fenómenos comunes en las redes inalámbricas.

3.4.3 Introducción. El segundo modo de operación para una red

inalámbrica planteado por el estándar 802.11 es el de infraestructura. En esta práctica se montará una WLAN en este modo y se configurarán el punto de acceso y las tarjetas inalámbricas en Windows XP a través del software de administración suministrado por los fabricantes.

3.4.4 Procedimiento. Esta práctica consta de cinco partes. En la primera, los estudiantes se organizan en grupos y aprenden a configurar los puntos de acceso siguiendo los pasos que se muestran en la guía. Al mismo tiempo, se instalan los adaptadores inalámbricos y sus herramientas de administración.

Una vez hecho esto y usando solo un AP se crea una red en modo infraestructura y mediante el comando ping se verifica que exista enlace. Se observa además el throughput en la red para diferentes distancias y tamaños de paquetes.

En la tercera parte, se estudia el fenómeno de interferencia cocanal creando dos redes con diferente nombre en la misma sala, asignándoles el mismo canal de operación y observando el throughput y la cantidad de paquetes perdidos. Posteriormente, sin cambiar el canal se ubica un AP en cada sala y se observan de nuevo los mismos parámetros.

En la cuarta fase del procedimiento, ubicando los puntos de acceso en la misma sala del laboratorio se seleccionan canales diferentes para cada AP y se les asigna el mismo nombre de red (SSID). Luego, siguiendo los pasos indicados por el laboratorista se constata el fenómeno de roaming. Por último, se conectan los puntos de acceso al Switch del aula 202 y al

Hub del aula 207 para comunicar la red inalámbrica con la red cableada. En esta etapa se usa el software para capturar paquetes y analizar el tráfico.

3.5 PRÁCTICA NÚMERO 3: SEGURIDAD

3.5.1 Objetivo general. Lograr la comprensión del problema de seguridad que aqueja a las WLANs y estudiar algunos protocolos y medidas que permiten hacerlas menos vulnerables.

3.5.2 Objetivos específicos

- Familiarizarse con la terminología propia de las WLANs en materia de seguridad.
- Aprender a implementar un sistema de seguridad equivalente al de una red cableada en una red inalámbrica gracias al protocolo WEP.
- Conocer las opciones sobre seguridad disponibles actualmente con los productos comerciales y aprender a utilizarlas y configurarlas.

3.5.3 Introducción. Como en las comunicaciones inalámbricas el medio de distribución no es guiado, el problema de seguridad es más delicado que en las redes cableadas. Este factor es una de las limitantes para que el uso de las WLANs se masifique y por eso cualquier desarrollo en esta materia es de gran importancia. En las dos prácticas anteriores se trabajó con sistemas abiertos en los cuales no se usaba cifrado de datos. En esta práctica se presentan algunas opciones para hacer la comunicación inalámbrica menos vulnerable.

3.5.4 Procedimiento. El método más elemental de evitar la asociación de estaciones indeseables al punto de acceso es deshabilitando la opción de difusión broadcast de su SSID, de esta manera solo las estaciones que conozcan el SSID podrán conectarse y no cualquier estación que detecte el medio. Los estudiantes deberán aprender a deshabilitar dicha opción y verificar que funcione correctamente.

La siguiente etapa del procedimiento se centra en aprender a manejar el método WEP, basado en el algoritmo RC4 que utiliza una clave de 40, 128 o más bits para cifrar los datos. Las herramientas de configuración facilitan esta labor y permiten en algunos casos tener hasta cuatro claves disponibles para usar. Debe implementarse la misma palabra de cifrado en todos los dispositivos que estarán en red (estaciones y punto de acceso) y comprobarse su efectividad.

Por último, se utilizará el control de acceso por direcciones MAC, según el cual el punto de acceso puede restringir las estaciones que se conecten a él a través de una tabla de direcciones MAC.

3.6 PRÁCTICA NÚMERO 4: WLANs USANDO LINUX

3.6.1 Objetivo general. Aprender a instalar los adaptadores cliente y los puntos de acceso en Linux y conocer las herramientas que este sistema operativo provee para configurar una red inalámbrica tanto en modo de operación ad hoc como infraestructura.

3.6.2 Objetivos específicos

- Aprender a instalar los adaptadores cliente y el punto de acceso en sistemas que emplean como sistema operativo Linux (Red Hat 9).
- Configurar los adaptadores para que operen en los dos modos de funcionamiento de las WLANs: ad hoc e infraestructura.
- Familiarizarse con algunos comandos propios de Linux para configurar redes.
- Observar la diferencia de presentación y utilidades en las herramientas de administración entre los dos sistemas operativos, Linux Red Hat 9 y Windows XP.

3.6.3 Introducción. La gran mayoría de dispositivos de redes inalámbricas disponibles actualmente en el comercio no ofrecen controladores ni algún tipo de documentación para Linux. Sin embargo, debido a la libre distribución de ese sistema operativo y la robustez que ofrece para la implementación y administración de redes de cualquier tipo, es ampliamente utilizado en la academia y en la industria. En esta práctica se aprenderá a instalar los dispositivos de red, con controladores descargados de Internet (ya que los fabricantes no los suministran) y se estudiarán las herramientas que Linux brinda para diagnosticar la red, debido a que las utilizadas en las prácticas anteriores solo funcionan bajo Windows.

3.6.4 Procedimiento. La sesión en Linux debe iniciarse como administrador. Igual que en la práctica número uno, cada estudiante debe ubicarse en una mesa diferente. Se le entregará una tarjeta inalámbrica,

el cable de conexión al puerto USB del computador y el CD donde se encuentran los controladores. Antes de comenzar la práctica deben copiarse los instaladores del CD a la carpeta raíz.

En la primera parte del laboratorio los controladores de todas las tarjetas deben ser descomprimidos e instalados uno a uno según las indicaciones que se encuentran en la guía y alternando los adaptadores inalámbricos en un proceso similar al realizado en la práctica número uno.

Al finalizar esta etapa de la práctica los controladores de todas las tarjetas deben estar instalados en todas las mesas de la sala. Posteriormente se debe asignar una dirección IP a la interfaz inalámbrica como se indique en la guía usando el comando `ifconfig` (y en la subred que se indique el día del laboratorio).

A partir de la documentación entregada, cada alumno aprenderá a cambiar los parámetros de configuración a través del comando `iwconfig`. Una vez hecho esto se instalará el punto de acceso y se ajustarán sus parámetros haciendo uso de algún explorador de Internet. Posteriormente se deben monitorear los enlaces inalámbricos, para diferentes distancias usando una herramienta de software para generar tráfico, primero en una red ad hoc y a continuación en una red infraestructura.

Para finalizar la práctica, se desinstalarán los controladores siguiendo los pasos descritos en la guía.

CONCLUSIONES

Con este proyecto de grado se entregó a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones una red inalámbrica de área local que permite a los estudiantes de pregrado y postgrado familiarizarse con las WLANs y contar con una herramienta didáctica moderna y útil.

Gracias al aporte económico de la Escuela a través de la Especialización en Telecomunicaciones y del fondo de estampilla Pro-UIS se pudieron adquirir los equipos idóneos para el laboratorio de redes de datos.

A partir de la infraestructura de red diseñada y entregada a la E3T con este proyecto de grado, es posible desarrollar otros proyectos de investigación. La WLAN implementada en el laboratorio de redes de datos permite una expansión al estándar 802.11g y gracias a que los puntos de acceso adquiridos son duales también es posible implementar una red 802.11a adquiriendo simplemente los adaptadores de red que se ajusten a este estándar.

Se propusieron cuatro prácticas de laboratorio con un esquema novedoso que favorece el proceso educativo de los estudiantes y les permite trabajar a su propio ritmo. Las guías de laboratorio cuentan con animaciones, gráficas a todo color y una excelente redacción que hacen del proceso de aprendizaje una actividad amena.

Este proyecto es pionero en una línea de las telecomunicaciones que aún estaba inexplorada en la Universidad Industrial de Santander y marcó una pauta. A la autora, la incentivó a seguir profundizando en el área de las comunicaciones inalámbricas, a la Escuela le brinda una herramienta para mejorar su quehacer pedagógico y a los estudiantes de la E3T les brinda elementos para fortalecer su educación.

RECOMENDACIONES

El éxito en la creación de un sistema 802.11 requiere diseño, planeación, implementación, operación y mantenimiento. En este proyecto de grado se cumplieron las tres primeras etapas y se dieron las pautas para un correcto uso del sistema, sin embargo, es necesario que en la Escuela se tomen las medidas necesarias para garantizar que los equipos de la WLAN se conserven en buen estado, se operen siguiendo las recomendaciones dadas (formato Web, práctica número uno) y se actualicen sus controladores constantemente. Se recomienda adquirir una herramienta de software que permita administrar la red como por ejemplo *Chariot* de Netiq.

Las herramientas de software que se propusieron para las prácticas de laboratorio con la WLAN diseñada: MGEN, Qcheck y Ethereal, son de libre distribución y tienen múltiples usos. Se recomienda familiarizar a los estudiantes con ellas e impulsar su estudio.

Aún es mucha la investigación que se puede promover en el área de las comunicaciones inalámbricas. Sería maravilloso que se continúe con esta línea y que se realicen proyectos relacionados con estudios de propagación, comparación de desempeño de los diferentes estándares, atenuación, etc.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANSI/IEEE Std 802.11. "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications." Estados Unidos: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1999.
2. ANSI/IEEE Std 802.11a. "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: High-speed Physical Layer in the 5 GHz." Estados Unidos: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1999.
3. ANSI/IEEE Std 802.11b. "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band." Estados Unidos: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2000.
4. ANSI/IEEE Std 802.11g. "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band." Estados Unidos: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2003.
5. CASTILLO ROMERO, Carlos Augusto y PINZÓN BARRIOS, Samuel Gonzalo. Evaluación del desempeño de IP Multicast del switch cajun P333R. Colombia: Universidad Industrial de Santander, 2003.

6. CHEUNG, David y PRETTIE Cliff. "A Path Loss Comparison Between the 5 GHz UNII Band (802.11a) and the 2.4 GHz ISM Band (802.11b)", Inter Labs, Intel Corporation, Enero 2002.

7. ETHEREAL Network Analyzer. Disponible en Internet, URL <<http://www.ethereal.com>>, Enero 2004.

8. JANGEUN, Jun y MIHAIL, Sichitiu. "The Nominal Capacity of Wireless Mesh Networks", IEEE Wireless Communications Magazine, Oct. 2003.

9. LIN Yu-Ju, LATCHMAN Haniph y NEWMAN Richard. "A Comparative Performance Study of Wireless and Power Line Networks", IEEE Communications Magazine, Abril 2003.

10. MGEN The Multi-Generator Toolset. Disponible en Internet, URL <http://manimac.itd.nrl.navy.mil/MGEN/#_MGEN_Version_3.3>, enero 2004.

11. MINISTERIO DE COMUNICACIONES, Dirección Desarrollo del Sector. "Documento informativo de telecomunicaciones proy-res-was 005-dds - 2003". República de Colombia, 2003.

12. MINISTERIO DE COMUNICACIONES. "Resolución número 3382. Por la cual se autorizan sistemas que operan con tecnología de espectro ensanchado". República de Colombia, 1995.

13. OHRTMAN, Frank y ROEDER, Konrad. Wi-Fi Handbook: building 802.11b wireless networks. Estados Unidos: McGraw-Hill Companies, 2003.

14. Qcheck A Quick Check of Network Performance. Disponible en Internet, URL <<http://www.netiq.com/Qcheck>>, enero de 2004.

15. REID, Neil y SEIDE, Ron. 802.11 (Wi-Fi) Networking Handbook. Estados Unidos: McGraw-Hill Companies, 2003.

16. STALLINGS, William. Comunicaciones y redes de computadores. 6 ed. Madrid, España : Pearson Educación, 2000.

17. VALBUENA, Sarita, HERRERA, Carlos Mauricio y AGUIRRE Oscar Iván. Planeación, diseño y montaje del laboratorio de fibra óptica para la E3T. Colombia: Universidad Industrial de Santander, 2002.

18. Wi-Fi Alliance. "Overview–Wi-Fi Protected Access". Disponible en Internet:<www.wi-fi.com/OpenSection/pdf/Wi-Fi_Protected_Access_Overview.pdf>, Octubre 31, 2002.

19. ZYREN, Jim. "Deployment Considerations for 5 GHz WLAN Technology", Intersil Corporation, Wireless Networking, Dic. 2001.

ANEXOS

ANEXO A. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ADAPTADORES CLIENTE INALÁMBRICOS Y LOS PUNTOS DE ACCESO

A1. CARACTERÍSTICAS ACCESS POINT DWL6000AP D-LINK

Standards	IEEE 802.11b IEEE 802.11a IEEE 802.3 and IEEE 802.3u
Ports	(1) 10/100Base-T Ethernet, RJ-45 (UTP) (1) Power – 5.0V DC, 2.5A
Network Management	Web-Based Interface SNMP Management
Network Architecture	Supports Infrastructure Mode (Communications to wired networks via Access Points with Roaming)
Diagnostic LED	Power 100M Link/Act 10M Link/Act 11a WLAN 11b WLAN

Range	Indoors – up to 328 feet (100 meters) Outdoors – up to 1,312 feet (400 meters)
Temperature	Operating: 0°C to 40°C (32°F to 104°F) Storing: -25°C to 65°C (-77°F to 140°F)
Humidity	5%-95%, non-condensing
EMI/Safety	IEEE 802.11a - EMC: EN 301 489-1 and -17, EN 60950 DFS/TPC : 301 893 Draft IEEE 802.11b – EMC: EN 300 328, EN 300 826, EN 60950
Operating Voltage	3.3V± -10%
Physical Dimensions	L = 23.5 cm W = 15.9 cm H = 3.8 cmv

802.11a Specifications	
Data Rates	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
Data Security	64, 128, 154-bit WEP (Wired Equivalent Privacy) Encryption Access Control List based on MAC Address

Antenna Type	5dBi dipole antenna with diversity
Available Channels	Subject to local regulatory restrictions
Frequency Range	5.150 – 5.825 GHz
Modulation Technology	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
Modulation Techniques	BPSK QPSK 16 QAM 64 QAM
802.11b Specifications	
Data Rates	1, 2, 5.5, 11, 22Mbps
Data Security	64, 128, 256-bit WEP (Wired Equivalent Privacy) Encryption
Antenna Type	2dBi antenna with diversity
Available Channels	Subject to local regulatory restrictions
Frequency	2.4 – 2.4835 GHz
Modulation Technology	Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

Modulation Techniques	CCK DQPSK DBSK
-----------------------	----------------------

A2. CARACTERÍSTICAS DE LOS ADAPTADORES DWL 120 D-LINK

Chipset

- Intersil Prism 2.5

Standards

- IEE 802.11b
- Wi-Fi compliant
- PCI power bus management interface specification - 1.0

compliant

- ACPI 1.0 compliant

Local Bus Architecture

- PCI 2.2 compliant

Management Utility

- Diagnostics
- Link Configuration for joining wireless networks

Protocols

- TCP/IP
- IPX/SPX
- NetBEUI
- NDIS5.1
- DHCP

System Requirements

- Desktop with an available PCI 2.2 compliant slot

Supported OS

- Windows XP
- Windows 2000
- Windows Me
- Windows 98

Data Security

- 64/128-bit WEP (Wired Equivalent Privacy) Encryption

Data Rate & Modulation

- 11 Mbps: CCK
- 5.5 Mbps: CCK
- 2 Mbps: DQPSK
- 1 Mbps: DBPSK

Range

- Indoors – per cell, up to 230 feet (70m)
- Outdoors – per cell, up to 984 feet (300m)

Diagnostic LED

- Power

Media Access Control

- CSMA/CA with ACK

Current Consumption

- 350mA

Operating Voltage

- 5.0V + 5%

Transmit Power

- 13dBm @ Nominal Temp Range

Nominal Temp Range

- 11 Mbps 10-5 BER @-80 dBm, minimum

Network Architecture

- Supports Ad-Hoc Mode (Peer-to-Peer without Access Point) or Infrastructure Mode (Communications to wired networks via Access Points with Roaming)

Antenna

- External OdBi dipole antenna

Frequency Range

- 2.400-2.4835 GHz, Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

Operating Channels

- 1-11 United States (FCC)
- 1-11 Canada (DOC)
- 1-14 Japan (MKK)
- 1-13 Europe (Except Spain and France) (ETSI)

Physical Dimensions

- L = 10.2 cm
- W = 7.06 cm
- H = 2.00 cm
- Weight = 700 gram

Temperature

- Operating: 0°C to 55°C
- Storing: -20°C to 60°C

Humidity

- Max. 95%, non-condensing

Emissions

- FCC part 15B, 15C; R&TTE; TELECOM/JATE

Warranty

- One Year

A3. CARACTERÍSTICAS DE LOS ADAPTADORES 3COM

Dynamic rate shifting

- Speeds dynamically shift between 11, 5.5, 2, and 1 Mbps, in busy conditions, to achieve the fastest possible connections.

Range

- Up to 100 m (328 ft) on 3CRSHPW196 and 3CRSHPW696, and up to 300 m (984 ft) on 3CRSHEW696; for indoor use only.*

Compatible

- Wi-Fi certified Ensures interoperability with all Wi-Fi certified products from other vendors.

Secure

- Encryption Uses 40/64-bit and 104/128-bit
- WEP encryption, helping to keep all of your wireless transmissions private.

Standards Conformance

- Wi-Fi certified
- IEEE 802.11b
- USB 1.1 (for USB adapter only)

Frequency Range

- Channels 1-13: 2.401-2.483 GHz
- Channels 10-13: 2.451-2.483 GHz
- Channels 5-7: 2.421-2.453 GHz

Data Rates

- 1, 2, 5.5, and 11 Mbps (supports dynamic rate shifting)

Computer Slot Type

- PC Cards: Type II 16-bit PC Card
- USB Adapter: USB port

Operating Voltage

- 3.0V-3.6V

Operating Systems

- NDIS 5: Windows 2000, Me, 98 SE
- NDIS 5.1: Windows XP

Safety and Electromagnetic Conformance

- Safety: UL/CSA 60950, EN 60950
- Radio: FCC Part 15.247, RSS-210, EN 300 328-2
- EMC: FCC Part 15 Subpart B, EN 301 489-17
- SAR: FCC OET Bulletin 65, RSS-102, prEN 50371

Physical Dimensions

- 3CRSHEW696: 100 mm x 71 mm x 20 mm

Environmental Operating

Ranges

- Temperature: 0 to 50° C
- Humidity: 10 to 95%

Status LEDs

- PC Cards
- Power=solid on
- Activity=fast blink
- USB Adapter
- Power=solid on
- Activity=blink

Warranty

- Three-year hardware warranty

A4. CARACTERÍSTICAS DE LOS ADAPTADORES ORINOCO SILVER

Dimensions

- (LxWxH) 63 x 89 x 145 mm

Weight

- 170 gram

Cable length

- 100 cm

Temperature & Humidity Operation

- 0° to 40° C
- Maximum humidity 95% (no condensation allowed)

Transit

- -20° to 75° C

Storage

- -20° to 75° C

Although the USB Client may still operate in the range of -20° to 70°C, operation outside the range of 0° to 40° C may no longer be according to specifications.

Doze Mode

- 10 mA

Receive Mode

- 245 mA (Nominal)

Transmit Mode

- 360 mA (Nominal)

Power Supply

- 5 V

Compatibility

- IEEE 802.11 Standard for Wireless LANS (DSSS)
- Wi-Fi (Wireless Fidelity) certified by the Wireless Ethernet
- Compatibility Alliance (WECA).
- Universal Serial Bus Revision 1.1. specification

Host Operating System

- Microsoft Windows® 98, ME and 2000
- NDIS5 Miniport Driver

Media Access Protocol

- CSMA/CA (Collision Avoidance) with Acknowledgment (ACK)

R-F Frequency Band 2.4 GHz (2400-2500 MHz)

Supported sub-channels

- 1.** 2412
- 2.** 2417
- 3.** 2422
- 4.** 2427
- 5.** 2432
- 6.** 2437
- 7.** 2442

- 8.** 2447
- 9.** 2452
- 10.** 2457
- 11.** 2462

Modulation Technique

- Direct Sequence Spread Spectrum
- CCK 11 & 5.5 Mb/s, DQPSK for 2 Mb/s and DBPSK for 1 Mb/s Spreading
- 11-chip Barker Sequence

Bit Error Rate (BER)

- Better than 10⁻⁵

Nominal Output Power

- 15 dBm

Encryption

- 64-bit Wired Equivalent Privacy (WEP) - Silver
- 128-bit (RC4) - Gold

Range / Transmit Rate	11 Mb/s	5.5 Mb/s	2 Mb/s	1 Mb/s
Open Office Environment	160 m	270 m	400 m	550 m
Semi-Open Office Environment	50 m	70 m	90 m	115 m
Closed Office	25 m	35 m	40 m	50 m
Receiver	-83 dBm	-87 dBm	-91 dBm	-94 dBm

Sensitivity				
Delay Spread (FER of <1%)	65ns	225ns	400ns	500ns

ANEXO B. EJEMPLO DE LA GUÍA PARA PREPARACIÓN DE LAS PRÁCTICAS QUE SE LE ENTREGA A LOS ESTUDIANTES



Práctica número 1: RED AD HOC

Resumen—Este documento le ayuda a preparar la práctica número uno del laboratorio de redes de datos: RED AD HOC, léalo atentamente antes del día de la experiencia para ahorrar tiempo en el desarrollo de esta.

Tenga en cuenta que una práctica de laboratorio adecuadamente preparada es una oportunidad valiosa de afianzar sus conocimientos. Comuníquese al responsable del laboratorio cualquier duda sobre la guía o su contenido.

Índice de Términos— Adaptadores inalámbricos cliente, Estándar 802.11b, Herramientas de administración, Red ad hoc.

INTRODUCCIÓN

Para tener acceso a una red es necesario configurar tanto el hardware como el software implicados en la comunicación de datos. En esta práctica se montarán físicamente los dispositivos de red requeridos para el funcionamiento de una WLAN (Wireless Local Area Network) en topología ad hoc y se configurarán cada una de las tarjetas inalámbricas en Windows XP a través del software de administración suministrado por los fabricantes. Posteriormente se harán aplicaciones ilustrativas usando la red.

OBJETIVO GENERAL

Montar una red inalámbrica en modo de funcionamiento ad hoc y estudiar algunos principios sobre su funcionamiento, usando los adaptadores cliente disponibles en el laboratorio de redes de datos de la E3T.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estudiar algunas características del funcionamiento de una red inalámbrica, forjando en los estudiantes criterios válidos que les permitan comparar su desempeño con el de una red cableada.
2. Identificar los componentes de una red inalámbrica de área local (WLAN) en modo ad hoc y comprender su principio de funcionamiento y sus aplicaciones.
3. Aprender a manejar las herramientas de administración ofrecidas para cada tarjeta y configurar los adaptadores haciendo uso de ellas.
- Probar los adaptadores cliente a diferentes distancias, encontrar su rango de cobertura y compararlo con el planteado por los fabricantes.
- Utilizar en el montaje tarjetas de diferentes marcas (Orinoco, 3COM y D-link) reguladas por el mismo estándar y analizar las ventajas y desventajas de cada una.

MATERIALES Y SOFTWARE

- 3 Adaptadores LAN inalámbricos USB marca D-Link referencia DWL-120 con su respectivo cable y sus controladores.
- 3 Adaptadores LAN inalámbricos USB marca 3com referencia 3CRSHEW696 con su respectivo cable y sus controladores.
- 2 Adaptadores LAN inalámbricos USB marca ORINOCO referencia Silver con su respectivo cable y sus controladores.
- Metro.

TRABAJO PREVIO

6. Leer atentamente este documento.
7. Interiorizar los conceptos del marco teórico.
8. Familiarizarse con el procedimiento que se realizará el día de la práctica.

LABORATORIO DE REDES DE DATOS

MARCO TEÓRICO

Conceptos generales

Normalmente el título de "Sistemas de acceso inalámbrico" o "Wireless Access Systems" (WAS) se aplica a todas las tecnologías de "banda ancha, baja potencia y corto alcance, que operan o pueden operar sobre una base de no interferencia y no protección de interferencia", entre las que se encuentran las redes RLAN (Radio local area network), las redes de área local inalámbrica WLAN (Wireless local area network), los dispositivos bluetooth y los dispositivos del estándar IEEE 802.11x, entre los que sobresale el estándar 802.11b adoptado por la Alianza Wireless Fidelity con el nombre de Wi-Fi.

Estas tecnologías inalámbricas se han venido desarrollando a la sombra de las tecnologías de "Espectro Ensanchado" que operan en las bandas atribuidas mundialmente a las aplicaciones Industriales Científicas y Médicas (ICM). La Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT asignó a dichas aplicaciones, para la región 2 Américas, las bandas de 902 a 928 MHz; 2400 a 2483,5 MHz y de 5725 a 5825 MHz¹.

En la Figura 1 se observa el espectro radioeléctrico, las redes inalámbricas hacen uso de las bandas UHF (300 MHz a 3 GHz) y SHF (3 GHz a 30 GHz).

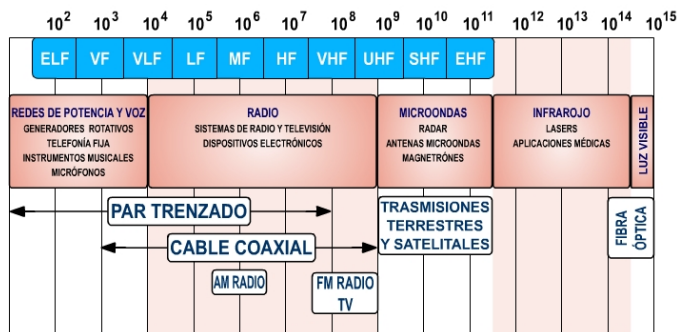


Figura 1. Asignación del espectro de frecuencias

En la Figura 2 se observan algunos sistemas de acceso inalámbrico y sus frecuencias de

operación versus la tasa de trasmisión de datos que ofrecen, en el cuadro de las WLANs se observan tres estándares diferentes: 802.11b a 11 Mbps y 802.11a e HiperLAN a 54 Mbps.

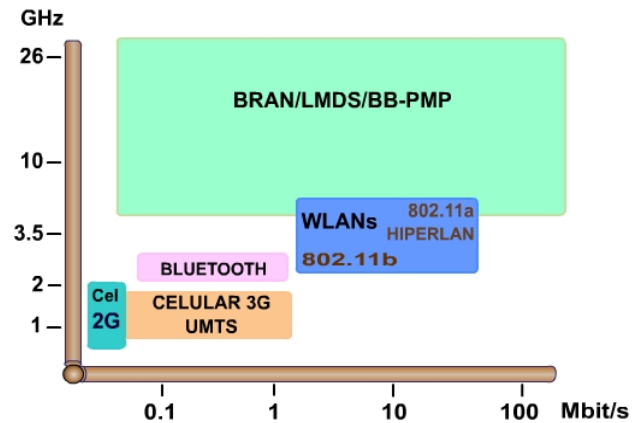
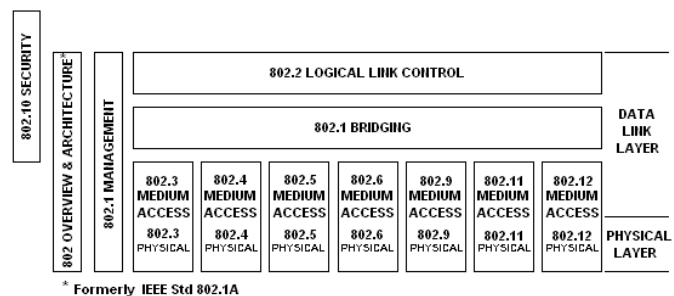


Figura 2. Algunos sistemas de acceso inalámbrico

Arquitectura 802.11: BSS e IBSS

En 1997, IEEE adoptó el estándar IEEE 802.11-1997 para WLANs. Este estándar ha recibido múltiples suplementos: 802.11a, 802.11b, etc. que son los que están disponibles en los equipos de red actuales. El estándar 802.11 forma parte de una familia de estándares IEEE para redes de área local y metropolitana. La relación entre este estándar y otros de la misma familia se muestra en la Figura 3.



¹ Formerly IEEE Std 802.1A

Figura 3. Estándares IEEE para LANs y MANs

Todos estos estándares, como se observa en la Figura 3, se refieren a las capas física y de enlace de datos que están definidas por la Organización

¹CITEL/XXI-CCPIII/Brasil 2002

LABORATORIO DE REDES DE DATOS

Internacional de Estándares (ISO)¹. Como ellos, el estándar 802.11 solo se refiere a las capas más bajas y enfatiza la división del sistema en dos grandes partes, la física (PHY) y la de control de acceso al medio (MAC) que forma parte de la capa de enlace de datos en el modelo OSI.

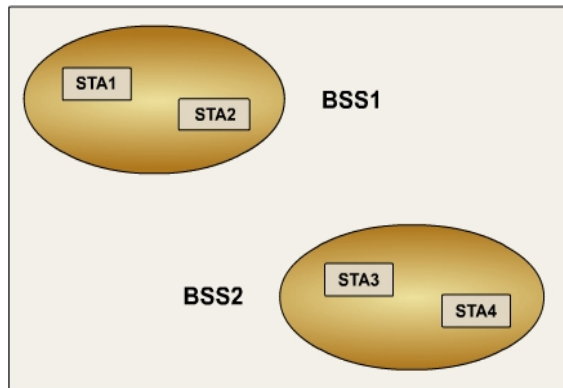


Figura 4. Conjunto de servicio básico independiente (IBSS)

Según el estándar 802.11, el bloque más elemental de una LAN inalámbrica es un BSS (*Basic service set*) o conjunto de servicio básico, que consta de varias estaciones (STAs) ejecutando el mismo protocolo MAC y compitiendo para acceder al medio compartido. Un BSS puede ser aislado, conociéndose entonces como un IBSS (*Independent basic service set*). En la Figura 4 se presentan dos IBSSs.

Red Ad hoc

El término red ad hoc es usualmente empleado para referirse a un IBSS. Una red ad hoc puede definirse como una red compuesta solamente de estaciones dentro de un rango mutuo en el que la comunicación se realiza haciendo uso de un

medio inalámbrico. Una red de este tipo es creada típicamente de manera espontánea y su principal característica es que está limitada en extensión espacial y temporal.

Una LAN inalámbrica en modo de funcionamiento ad hoc forma una infraestructura estática consistente en una o más celdas con un módulo de control para cada una; dentro de cada celda pueden existir varios sistemas finales estáticos. En la Figura.5 se presenta una red ad hoc.

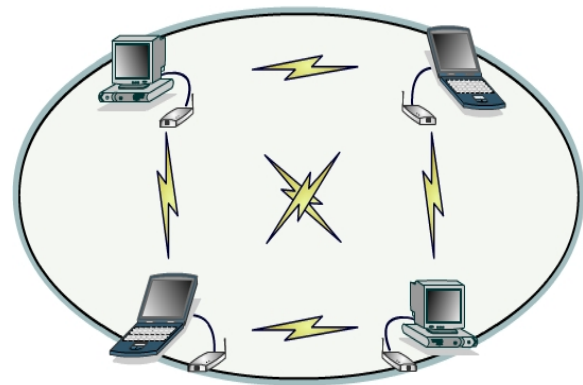


Figura 5. Red Ad hoc

Estándar 802.11b

Es el protocolo estándar más ampliamente usado, 802.11b requiere tecnología DSSS (*Direct sequence spread sequence*), especifica una tasa máxima de datos de 11 Mbps y un esquema para reducir a una tasa menor cada vez que las tasas altas no se puedan mantener. Este protocolo soporta tasas de trasmisión de 11 Mbps, 5.5 Mbps, 2 Mbps y 1 Mbps usando DSSS y CCK (*Complementary code keying*).

El estándar 802.11b usa CCK como el esquema de modulación que le permite alcanzar las tasas de 5.5 Mbps y 11 Mbps. 802.11b redujo el factor de expansión de 11 bits (empleado en 802.11) a 8 bits para alcanzar tasas más altas. El esquema de modulación compensa la pérdida de ganancia por el procesamiento a causa de la disminución del factor de expansión con una mayor corrección de errores.

La especificación 802.11b permite a las transmisiones inalámbricas de aproximadamente 11 Mbps alcanzar distancias de hasta 100m a puertas cerradas y de hasta 300m en ambientes abiertos en conexiones punto a punto en la

¹La Organización Internacional de Estándares recibe el nombre de ISO a partir de su nombre en inglés: International Organization for Standardization y su modelo de referencia básica por capas recibe el nombre de OSI: Open Systems Interconnection.

LABORATORIO DE REDES DE DATOS

banda de los 2.4 GHz. Estas distancias dependen de los obstáculos en la trayectoria, de los materiales y de si hay o no línea de vista. Según los vendedores de puntos de acceso con este estándar, en modo de funcionamiento infraestructura, cada AP puede soportar alrededor de 32 estaciones.

A pesar de que la banda ICM de 2.4 GHz está definida desde 2.4 hasta 2.4835 GHz, los dispositivos que operan en esta banda trabajan en términos de canales. En Colombia, al igual que en Estados Unidos, existen 11 canales traslapados, centrados en frecuencias separadas entre sí cada 5 GHz (iniciando en 2.412 GHz y llegando hasta 2.462 GHz). Cada canal tiene 22 MHz de ancho. En la Figura 6 se presentan los límites en frecuencia de los 11 canales y los tres canales que no se traslapan (1, 6 y 11).

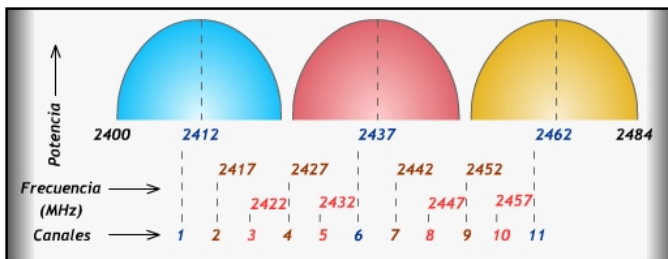


Figura 6. Canales en la banda de 2.4 GHz

PROCEDIMIENTO

PARTE I: Instalación y configuración de los adaptadores inalámbricos USB

Antes de comenzar la práctica deben leerse las recomendaciones para el uso de los adaptadores inalámbricos, ya que serán útiles no solo en este, sino en todos los laboratorios. El procedimiento está compuesto de cuatro partes.

Cada estudiante debe ubicarse en una mesa diferente. Se le entregará una tarjeta inalámbrica, el cable de conexión al puerto USB del computador y el CD donde se encuentran los controladores.

Antes de instalar los adaptadores inalámbricos en cualquier equipo debe crearse un punto de restauración del sistema. Basándose en la documentación de la guía, el estudiante debe

instalar la primera tarjeta, asignarle la dirección IP que se indique el día de la práctica e instalar y aprender a manejar la herramienta de configuración para esa tarjeta. Es importante dedicarle suficiente tiempo a este último paso ya que en las otras prácticas se asumirá que el estudiante está familiarizado con la herramienta.

Este mismo procedimiento se repite tres veces: una con el adaptador marca D-Link, otra con el de marca Orinoco y una con el de marca 3Com. La organización para las instalaciones le será indicada por el responsable del laboratorio.

Al finalizar esta etapa de la práctica habrán catorce computadores del laboratorio de redes de datos con los controladores y las herramientas de configuración de los adaptadores inalámbricos instalados.

PARTE II: Rango de cobertura 802.11b

En esta parte se trabajará en parejas, cada una de las cuales se ubicará en una mesa diferente (asignada el día de la práctica). A cada pareja se le entregarán dos tarjetas inalámbricas de diferente marca con sus implementos respectivos. El fin de esta parte de la práctica es hallar el rango de cobertura de cada par de tarjetas utilizando sus herramientas de administración y una herramienta software para generar tráfico.

Cada grupo debe configurar las dos tarjetas en modo ad hoc y asignarles el mismo canal. Es importante tener presente que el canal que utilice cada pareja, no debe coincidir con el de las demás para evitar la interferencia entre redes. No es necesario deshabilitar la conexión de red Ethernet ya que a la red inalámbrica se le asignará una dirección de subred diferente a la de la red Ethernet.

Cada pareja deberá analizar el tráfico generado con MGEN para diferentes distancias (11 ubicaciones distintas) y completar la Tabla I.

TABLA I - TOMA DE DATOS DESEMPEÑO DE RED 802.11b MODO AD HOC



LABORATORIO DE REDES DE DATOS

Descripción de la configuración en la que se toman los datos:			
UDP/TCP	Distancia	Tamaño de paquetes	Throughput

IEEE 802.11-1999, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," 1999.

Ministerio de Comunicaciones, Dirección Desarrollo del Sector. "Documento informativo de telecomunicaciones proyecciones 005-dds - 2003". República de Colombia, 2003.

Ministerio de Comunicaciones. "Resolución número 3382. Por la cual se autorizan sistemas que operan con tecnología de espectro ensanchado". República de Colombia, 1995.

W. Stallings. "Comunicaciones y redes de computadores". 6 ed, Madrid, España : Pearson Educación, 2000.

F. Ohrtman, y K. Roeder. "Wi-Fi Handbook: building 802.11b wireless networks". Estados Unidos: McGraw-Hill Companies, 2003.

• N. Reid, y R. Seide. "802.11 (Wi-Fi) Networking Handbook". Estados Unidos: McGraw-Hill Companies, 2003.

Parte III: Desinstalación de los adaptadores inalámbricos USB

Por último, se restaurarán los equipos al punto establecido al inicio de la práctica, se aprenderá a desconectar los adaptadores inalámbricos correctamente y se dará tiempo para guardarlos en sus cajas.

GLOSARIO

2. API (*Access Point*): Es un elemento de la arquitectura 802.11 cuya función es proveer acceso al medio de distribución para aquellas estaciones que se encuentran asociadas a él vía un medio inalámbrico.
2. MGEN (*MultiGenerator Toolset*): Software de código abierto que permite medir y evaluar el desempeño de una red IP utilizando tráfico UDP. Disponible en Internet: <http://manimac.itd.nrl.navy.mil/MGEN/#_MGEN_Version_3.3>.
2. DSSS: Técnica de estructuración de la señal que utiliza una secuencia pseudoaleatoria digital o código, con una velocidad de transmisión, muy superior a la velocidad de la señal de información. Cada bit de información de la señal digital se transmite como una secuencia pseudoaleatoria de datos codificados.

REFERENCIAS

¹Esta sigla viene del término inglés: Access Point; en las guías sobre WLANs se utilizarán sin distinción los términos access point, punto de acceso y la sigla AP.