



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

**DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA DE ÁREA LOCAL PARA LA UNIDAD ACADÉMICA
(17) DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Luis Edyn Pop Castro

Asesorado por el Ing. Miguel Antonio Caal Ayala

Guatemala, abril de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA DE ÁREA LOCAL PARA LA UNIDAD ACADÉMICA
(17) DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS EDYN POP CASTRO

ASESORADO POR EL ING. MIGUEL ANTONIO CAAL AYALA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, ABRIL DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
EXAMINADOR	Ing. José Anibal Silva de los Ángeles
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA DE ÁREA LOCAL PARA LA UNIDAD ACÁDEMICA
(17) DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería de Mecánica Eléctrica, con fecha 11 de octubre de 2015.

Luis Edyn Pop Castro



Cobán Alta Verapaz, Octubre 2016

CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE
Apartado 55, Código Postal 16001
Cobán, Alta Verapaz - Guatemala, C. A.
Telefax: 9513645 - 9521064
E-mail: usacoban@usac.edu.gt

Coordinador Área de Electrónica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Mecánica Eléctrica
Presente

A quien corresponda:

Le informo que he revisado el trabajo de graduación, por lo que hago de su CONOCIMIENTO, que he finalizado la asesoría del trabajo de tesis titulado: "DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA DE ÁREA LOCAL PARA LA UNIDAD ACADÉMICA (17) DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA" desarrollado por el estudiante de Ingeniería Electrónica Luis Edyn Pop Castro. Con carné número 2009-15690.

Por lo anterior, solicito se envíe a donde corresponda, para el trámite respectivo.

Deferentemente.

"Id y Enseñad a todos"

Ing. Miguel Caal Ayala
Asesor de Tesis
Colegiado 9230





FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 09 2016.
Guatemala, 17 de OCTUBRE 2016.

Señor Director
Ing. Francisco Javier González López
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA DE ÁREA LOCAL
PARA LA UNIDAD ACADÉMICA (17) DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, del
estudiante Luis Edyn Pop Castro, que cumple con los requisitos
establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador Área Electrónica



STO



REF. EIME 08. 2017.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: LUIS EDYN POP CASTRO Titulado: DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA DE ÁREA LOCAL PARA LA UNIDAD ACADÉMICA (17) DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, procede a la autorización del mismo.

Ing. Francisco Javier González López



GUATEMALA, 10 DE MARZO 2017.

Universidad de San Carlos
de Guatemala

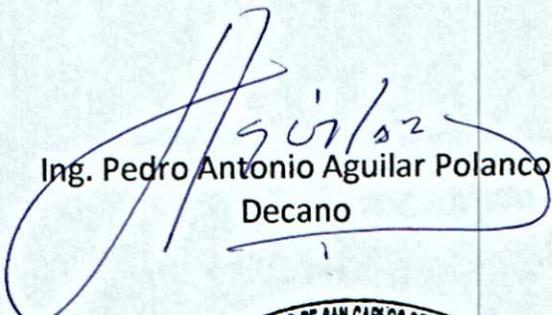


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 195.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA DE ÁREA LOCAL PARA LA UNIDAD ACADÉMICA (17) DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Edyn Pop Castro**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, abril de 2017



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por guiar siempre mis pasos, darme sabiduría, protección, mucha salud y nunca dejarme solo en los momentos más difíciles de mi carrera.
- Mis padres** Edyn Pop y Blanca Castro, desde el día en que nací me han dado todo su amor, nunca me ha faltado nada y me han formado de la mejor manera. Gracias a sus esfuerzos, hemos conseguido este gran triunfo.
- Mis hermanas** Bianca y Mariela Pop Castro, por el cariño que me han dado y el ejemplo que han sido para mí. Luchen por sus metas y honremos a nuestros padres.
- Mi familia** Mis abuelos, a los que tuve la dicha de conocer y a los que no, gracias a ellos puedo ver su legado de amor reflejado en mis padres. Mis tías y tíos por contar siempre con su apoyo y cariño.
- Mis primos** Por la constante motivación y cariño brindado. En especial a David, gracias por estar siempre presente.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Mi casa de estudios, lugar donde se forjaron mis conocimientos.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme los maestros y las herramientas necesarias para lograr esta meta.

Mi asesor

Por apoyarme en el desarrollo de mi trabajo de graduación. Gracias por sus atenciones y por confiar en mi persona.

Mis amigos

Edin Tot, Luis Can, Héctor Concochá, Freddy Chang y Jacqueline Chen, por brindarme sus consejos, conocimientos, motivación y cariño, desde el principio hasta el final. Espero siempre contar con ustedes.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. FASE DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Antecedentes de la Unidad Académica (17).....	1
1.1.1. Historia	1
1.1.2. Localización	2
1.1.3. Población.....	2
1.1.4. Misión	3
1.1.5. Visión.....	3
1.2. Tecnología utilizada.....	4
1.3. Auditoría de canales wifi.....	5
1.3.1. Delimitación geográfica de las redes	6
1.3.2. <i>Software</i>	6
1.3.2.1. <i>Wifi Analyzer</i>	7
1.3.2.2. <i>Wifi Coverage Mapper</i>	7
1.3.3. Resultados de auditoría.....	8
1.3.3.1. Ocupación de canales de redes wifi	8
1.3.4. Dictamen técnico	11
2. FUNDAMENTOS DE REDES	13

2.1.	Red de datos.....	13
2.2.	Modelos de referencia.....	13
2.2.1.	Modelo OSI	15
2.2.2.	Modelo TCP/IP	17
2.3.	Red de área local	19
2.3.1.	Topología lógica	20
2.3.2.	Topología física	21
2.4.	Red de área local inalámbrica	24
2.4.1.	Estándar IEEE 802.11	25
2.4.1.1.	IEEE 802.11 <i>legacy</i>	26
2.4.1.2.	IEEE 802.11a	27
2.4.1.3.	IEEE 802.11b	27
2.4.1.4.	IEEE 802.11g	28
2.4.1.5.	IEEE 802.11n	29
2.4.2.	Canales	29
2.5.	Dispositivos de red.....	30
2.5.1.	Enrutador.....	30
2.5.2.	Conmutador.....	31
2.5.3.	Placa de red inalámbrica	31
2.5.4.	Punto de Acceso inalámbrico	32
2.5.5.	Antena.....	32
3.	CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA.....	35
3.1.	Ondas Electromagnéticas	35
3.1.1.	Ecuaciones de Maxwell	36
3.1.2.	Propiedades de las ondas electromagnéticas	37
3.1.2.1.	Absorción	37
3.1.2.2.	Reflexión y Refracción	38

	3.1.2.3.	Difracción.....	39
	3.1.2.4.	Dispersión.....	40
3.2.		Parámetros básicos de las antenas.....	41
	3.2.1.	Patrón de radiación.....	41
	3.2.2.	Directividad y Ganancia	42
	3.2.3.	Polarización de la antena	44
	3.2.4.	Impedancia de entrada	45
	3.2.5.	Ancho de banda de una antena.....	45
3.3.		Consideraciones para un radioenlace	46
	3.3.1.	Línea de vista	46
	3.3.2.	Zona de Fresnel.....	48
	3.3.3.	Pérdida en el espacio libre	49
	3.3.4.	Potencia en un sistema inalámbrico	51
4.		DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA	55
4.1.		Descripción de la arquitectura de la red inalámbrica	55
	4.1.1.	Topología de infraestructura básica independiente (IBSS).....	56
	4.1.2.	Topología de infraestructura básica (BSS)	57
	4.1.3.	Topología de infraestructura extendida (ESS)	58
4.2.		Selección de los medios de comunicación	59
	4.2.1.	Punto de Acceso.....	60
	4.2.1.1.	DWL-2000AP+.....	60
	4.2.1.2.	Linksys WAP300N	61
	4.2.2.	Conmutadores	62
	4.2.2.1.	Conmutadores Cisco Catalyst 2960	63
	4.2.2.2.	Switches Catalyst 3560	63
	4.2.3.	Enrutadores	65
	4.2.3.1.	Router Cisco 1841	65

4.2.3.2.	<i>Router</i> Cisco 2901	66
4.2.4.	Antenas	67
4.2.4.1.	Antena Omnidireccional HG2415U- PRO	67
4.2.4.2.	Antena panel <i>Hyperlink</i> HG2409P	68
4.3.	Diseño Lógico	70
4.4.	Área de cobertura de las redes inalámbricas	75
4.5.	Cálculo de propagación.....	83
4.6.	Costos de diseño WLAN	84
CONCLUSIONES.....		87
RECOMENDACIONES		89
BIBLIOGRAFÍA.....		91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación de la Unidad Académica (17)	6
2.	Ocupación de canales en Biblioteca y Aula Magna.....	8
3.	Ocupación de canales en edificio H y Coordinación carreras	9
4.	Ocupación de canales en edificio H y cafetería	9
5.	Ocupación de canales en edificio administrativo.....	10
6.	Ocupación de canales en Coordinación Académica	10
7.	Relación entre OSI y TCP/IP.....	14
8.	Topología de bus	21
9.	Topología de estrella.....	22
10.	Topología de anillo.....	23
11.	Topología de malla.....	24
12.	Estándares inalámbricos del IEEE	25
13.	Canales en estándar 802.11	30
14.	Refracción y reflexión de una onda.....	39
15.	Fenómeno de difracción.....	40
16.	Diagrama de radiación	42
17.	Polarización vertical	44
18.	Transmisión en línea de vista.....	47
19.	Primera zona de Fresnel.....	48
20.	Potencia en un sistema inalámbrico.....	53
21.	Topología IBSS	57
22.	Topología BSS	58
23.	Topología de Infraestructura Extendida	59

24.	Punto de Acceso inalámbrico DWL-2000AP+.....	61
25.	<i>Linksys</i> WAP300N	62
26.	<i>Switch Cisco Catalyst</i> 2960S-24PS-L.....	63
27.	<i>Switches Catalyst</i> 3560.....	64
28.	Enrutador Cisco 1841	65
29.	Enrutador Cisco 2901	66
30.	Antena <i>Hyperlink</i> modelo L-com HG2415U-PRO	68
31.	Antena sectorial <i>Hyperlink</i> modelo HG2409P	69
32.	Propuesta de diseño WLAN para la Unidad Académica (17) de la USAC.....	71
33.	Cobertura Edificio Recursos Educativos (SSID BIBLIOTECA)	76
34.	Cobertura Aula Magna (SSID cunor04)	77
35.	Cobertura Salón de Proyecciones (SSID cunor156).....	78
36.	Cobertura Edificio H (SSID AULAS)	79
37.	Cobertura Cafetería (SSID cunor73).....	80
38.	Cobertura Edificio J (SSID CUNOR253).....	81
39.	Cobertura Antena Omnidireccional (SSID cunor53)	82

TABLAS

I.	Población estudiantil ciclo 2015.....	2
II.	Equipo de cómputo	4
III.	Listado de servidores.....	5
IV.	Listado <i>Switch</i>	5
V.	Detalles de UPS.....	5
VI.	Redes inalámbricas descubiertas	11
VII.	Escala valores RSSI	11
VIII.	Ecuaciones de Maxwell	36
IX.	Direccionamiento y conexión de las VLANs	71

X.	Asignación de puertos.....	72
XI.	Detalle de costos de equipos inalámbricos	85
XII.	Propuesta de enlace	86

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
dB	Decibelios
Gbps	Gigabit por segundo
GB	Gigabyte
GHz	Gigahertz
km	Kilómetro
Mbps	Megabit por segundo
MHz	Megahertz

GLOSARIO

ADSL	Sistema que posibilita la transferencia de todo tipo de información digital, a través de las líneas telefónicas.
Bit	Unidad de medida de cantidad de información, en sistema binario.
CCK	Modulación digital utilizado en redes inalámbricas que emplea el estándar IEEE 802,11, para alcanzar velocidades de transmisión de 5,5 y 11 Mbps.
CSMA/CA	Protocolo de control de acceso a redes que permite la utilización de múltiples nodos en un mismo medio de transmisión y detecta colisiones entre los paquetes de datos. Es utilizado en redes inalámbricas.
dBi	Relación logarítmica entre la potencia de emisión de una antena, en relación a la energía que podría radiar una antena isotrópica.
DSSS	Técnica de modulación que utiliza un código pseudoaleatorio que modula digitalmente una señal portadora, de tal forma que la señal resultante tiene un espectro muy parecido al del ruido.

Ethernet	Estándar de comunicación para redes de área local con acceso al medio por detección de la onda portadora y por detección de colisiones.
Fast Ethernet	Ampliación del estándar <i>Ethernet</i> , que alcanza una velocidad teórica de transmisión de 100 Mbps.
FDDI	Conjunto de estándares para la transmisión de información en redes de datos, mediante cables de fibra óptica.
FHSS	Técnica de modulación que transmite cada tramo de la información, en una serie de frecuencias aparentemente aleatorias, en un intervalo de tiempo.
Gigabit Ethernet	Ampliación del estándar Ethernet, que alcanza una velocidad teórica de transmisión de 1 000 Mbps.
IEEE	Asociación mundial de ingenieros, dedicada a la estandarización y el desarrollo en áreas técnicas.
MAC	Identificador que corresponde de forma única a una tarjeta o dispositivo de red. Se conoce también como dirección física y es única para cada dispositivo.
OFDM	Técnica de modulación digital que divide un canal de frecuencia en varios subcanales cercanos y ortogonales entre sí, donde se transportan los datos.

PBCC	Técnica de modulación para redes inalámbricas que permite alcanzar velocidades de transmisión de hasta 22 y 33 Mbps.
PoE	Tecnología que permite suministrar alimentación eléctrica a los dispositivos compatibles, con el mismo cable de red.
SFP	Transceptor compacto utilizado para aplicaciones de telecomunicaciones y redes de datos, que se emplea para proporcionar conectividad entre un equipo de red y un enlace por fibra óptica.
SSID	Nombre que identifica una red inalámbrica, incluido en todos los paquetes de datos, para que los dispositivos que conozcan esa red puedan comunicarse entre ellos.
Token Ring	Red de área local en la que todos los equipos están conectados en una topología de anillo o de estrella, cuya técnica de acceso es la de paso de testigo.
UDP	Protocolo del nivel de transporte que permite el envío de datagramas a través de la red, sin que se haya establecido previamente una conexión.
WAN	Red de computadoras que une varias redes locales, para establecer comunicaciones entre áreas que se extienden de 100 hasta 1 000 kilómetros.

Wifi

Organización que certifica los equipos que cumplen con los estándares 802,11 de las redes inalámbricas.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se describe el diseño de una red inalámbrica de área local que se ajusta a los requerimientos y necesidades de comunicación para la Unidad Académica (17) de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).

En el primer capítulo se describe los antecedentes de la institución, los equipos existentes y las técnicas usadas para identificar la problemática actual de la distribución de datos de la red cableada e inalámbrica.

El segundo capítulo desarrolla los conceptos de redes de datos, modelos de referencia y tipos de topologías de red. También se describe y los fundamentos de redes inalámbricas basadas en los estándares IEEE 802.11 y se enlista el conjunto de dispositivos que se utilizan comúnmente en una red inalámbrica de área local.

El tercer capítulo está conformado por los criterios que debemos de tomar en cuenta para el diseño de una red inalámbrica, abarcando temas como la propagación de la señal electromagnética, principios de funcionamiento de las antenas y consideraciones de un radioenlace, para obtener óptimos sistemas de comunicación.

En el cuarto capítulo se presenta la propuesta de diseño de la red inalámbrica de área local para la Unidad Académica (17), USAC; por lo que se describe el tipo de arquitectura inalámbrica a utilizar, la topología física y lógica de la red, la selección de los dispositivos que lo conforman, la configuración de

los dispositivos administrables, para que las redes puedan ser segmentadas y manejadas de una manera centralizada, también se presenta por medio de mapas de calor la cobertura de las diferentes redes inalámbricas, para demostrar cómo se distribuye la señal de la red inalámbrica diseñada. Posteriormente, se realiza un estudio de la cotización de los dispositivos de red y del presupuesto del diseño propuesto para que se pueda implementar en un futuro.

OBJETIVOS

General

Diseñar una red inalámbrica de área local para la Unidad Académica (17) de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Específicos

1. Realizar un estudio de sitio para identificar los requerimientos que conlleva el rediseño de la red actual.
2. Definir la teoría relacionada a los sistemas de telecomunicación, redes informáticas y estándares de comunicación inalámbrica.
3. Desarrollar los conceptos y técnicas necesarias para el diseño de enlaces de comunicación, basados en la transmisión y recepción de energía electromagnética.
4. Diseñar y configurar la arquitectura de la red inalámbrica que permita segmentar usuarios y obtener un manejo centralizado de la información.
5. Conocer los diferentes equipos que se integran a la red actual, para realizar la cotización y presupuesto del diseño de la red inalámbrica.

INTRODUCCIÓN

La Universidad de San Carlos de Guatemala con la finalidad de elevar su calidad académica e institucional, debe garantizar herramientas que permitan el acceso a la información con fines investigativos, didácticos y operacionales. En la actualidad, la Unidad Académica (17) cuenta con una red cableada, que en su momento cumplía con las necesidades de los usuarios, pero con el aumento de estos, la red no tiene la capacidad para agregar más, ya que para acceder a la información en ciertos lugares, es complicada la instalación de cableado estructurado y las distancias sobrepasan lo que permiten los estándares de comunicación; por lo que al haber mucha demanda, el sistema presenta problemas de transferencia de datos.

Los sistemas de comunicación inalámbricos constituyen un recurso que permite el manejo de la información de manera eficiente, rápida y práctica. Este tipo de redes ayuda a resolver los problemas de comunicación presentes en la institución, porque al incorporar tecnología inalámbrica se incrementa la capacidad del sistema, proporcionando conectividad en áreas donde la instalación de cualquier tipo de cable resulta una solución poco práctica.

Por lo tanto, se ha realizado un estudio que muestra los conocimientos y técnicas necesarias para diseñar una red inalámbrica de área local que proporcione interconexión entre las localidades, distribuya Internet a los usuarios y brinde una mayor cobertura, obteniendo un manejo centralizado de la información. Haciendo esto se logra reducir los gastos de implementación de una red inalámbrica, comparado con la instalación de una red cableada estructurada.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes de la Unidad Académica (17)

1.1.1. Historia

Las gestiones para el establecimiento de estudios universitarios de la Unidad Académica (17), llamado también, Centro Universitario del Norte (CUNOR), se iniciaron el 1 de noviembre de 1972. Esto obedeció al interés de los vecinos de la ciudad de Cobán, Alta Verapaz, así como de algunas autoridades, las cuales hicieron suya la necesidad de contar con un establecimiento de educación superior para poder llenar las aspiraciones de la juventud de Alta Verapaz y Baja Verapaz.

Este Centro Regional fue fundado el 27 de noviembre de 1975, por acuerdo emitido por el Consejo Superior Universitario –CSU- presidido por el señor Rector, Dr. Roberto Valdeavellano Pinot y fue el primero de los Centros Regionales que el Consejo Superior Universitario creó, como respuesta a las políticas de desconcentración, diversificación, democratización y descentralización de la educación superior nacional.

Empezó a funcionar en enero de 1976, en las instalaciones del Instituto Emilio Rosales Ponce, después se trasladó al antiguo hospital de Cobán (actual Escuela de Enfermería) y teniendo en cuenta el crecimiento de la población estudiantil la municipalidad de Cobán, cedió en calidad de usufructo por 50 años, una extensión de 29 manzanas en la Finca Sachamach, donde se construyeron los edificios necesarios. El 12 de marzo de 1977 inició operaciones en estas instalaciones, donde actualmente siguen en funcionamiento. El primer director del Centro Universitario del Norte, fue el Doctor Bernardo Villela Xoy, quien tuvo que salir al exilio hacia los Estados Unidos de Norteamérica, por el acoso y hostigamiento que regímenes militares realizaban contra la Carolingia.

Para que el centro cumpliera con las políticas del Consejo Superior Universitario, las carreras que se implementaron a nivel de pre-grado debían responder a la influencia y vocación productiva de la región, para que los egresados se incorporaran a los procesos productivos con actividades de extensión y servicio. Las carreras técnicas aprobadas fueron:

- Producción de Granos Básicos
- Producción de Ganado Bovino
- Explotación de Recursos Minerales
- Análisis de Recursos Minerales

Ante la demanda y necesidad de diversificar las alternativas de estudio, se implementaron otras carreras técnicas en áreas especializadas como Producción Agrícola, Producción Pecuaria, Geología, Trabajo Social¹.

1.1.2. Localización

La Unidad Académica (17) de la Universidad de San Carlos de Guatemala se localiza en la finca Sachamach, en el kilómetro 210, de la ruta que de Guatemala conduce a la ciudad de Cobán, Alta Verapaz.

1.1.3. Población

Estos datos fueron obtenidos de la coordinación académica de la Unidad Académica (17), ubicada en el Centro Universitario del Norte.

Tabla I. **Población estudiantil ciclo 2015**

U.A.: 17 CUNOR Ext.: 00 PLAN DIARIO		PRIMER INGRESO	REINGRESO	TOTAL INSCRITOS
03	Técnico en Producción Agrícola	35	111	146
04	Técnico en Producción Pecuaria	10	95	105
07	Técnico en Geología	41	192	233
08	Trabajador Social	41	142	183
09	Ingeniería Agronómica	0	70	70
10	Ingeniero Geólogo	0	103	103
11	Licenciatura en Zootecnia	0	42	42
12	Licenciatura en Trabajo Social	0	87	87
13	Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales, Abogacía y Notariado	120	819	939
14	Administración de Empresas	40	245	285
15	Contaduría Pública y Auditoría	20	142	162
16	Profesorado de Enseñanza Media en Psicología	0	2	2
17	Orientación Vocacional y Laboral	0	3	3
19	Terapia del Lenguaje	0	1	1
24	Licenciatura en Psicología	0	9	9

¹ Centro Universitario Del Norte "CUNOR". *Reseña histórica*. http://sitios.usac.edu.gt/cunor/?page_id=182. Consulta: 11 de octubre de 2016.

Continuación de la tabla I.

30	Ingeniería en Gestión Ambiental Local	43	100	143
38	Médico y Cirujano	48	168	216
39	Ingeniería Civil	37	83	120
40	Ingeniería Industrial	14	36	50
41	Ingeniería en Ciencias y Sistemas	14	17	31
42	Profesorado en Educación Primaria Bilingüe Intercultural	43	0	43
Total		506	2 467	2 973

Fuente: elaboración propia, con datos de la Coordinación Académica CUNOR, 2015.

1.1.4. Misión

Formación de profesionales universitarios con una alta excelencia académica, capaces de coadyuvar a la solución de problemas de producción, conservación del medio ambiente, comercialización y gestión. Generadora de proyectos de investigación, desarrollo, extensión y capacitación de egresados, de servicios técnicos, consultorías; atendiendo las demandas de la población, asociaciones de productores, municipios y comunidades, organismos estatales, empresas y compañías, colegios profesionales, graduados, de organizaciones no gubernamentales, del sistema educativo y de la población en general hacia la búsqueda del mejor bienestar de la población de las verapaces en particular y del país en general.²

1.1.5. Visión

“El CUNOR es una institución de educación superior, comprometida con el desarrollo integral de la región de las verapaces en los campos cultural, científico-tecnológico y humanístico, mismos que se traducen en elevar el nivel de vida de la población, por medio de la excelencia académica, la extensión y el servicio en sus diferentes carreras”.³

² REYNOSA MEJÍA, Julio Enrique. *Conozco a mi unidad académica*. p. 2.

³ *Ibíd.*

1.2. Tecnología utilizada

La institución cuenta con tres servidores para el control de la red, instalados en ellos el *Firewall pfSense*, este es un *software* de código abierto cuyo objetivo es tener un cortafuegos fácilmente configurable a través de una interface *web*, que ofrece a la red los servicios como DHCP, DNS y un portal cautivo que vigila el tráfico HTTP, forzando a los usuarios a pasar por una página especial donde se tienen que autenticar si quieren navegar por Internet. El portal se encargará de hacer que la sesión caduque durante un determinado tiempo. También se controla el ancho de banda usado por cada cliente.

Las computadoras, en su mayoría se encuentran ubicadas en el edificio de recursos educativos, y se usan para servicio de los estudiantes. A continuación se mostrará los dispositivos que forman parte de la Unidad Académica (17).

Tabla II. **Equipo de cómputo**

Cantidad	Marca	Modelo	Procesador	Memoria RAM	Disco Duro	Sistema Operativo
24	DELL	Optiplex 960	<i>Intel Core 2 E8400</i> 3,00 Ghz	4 GB	300 GB	<i>Windows 7 Home Premium</i>
2	DELL	Vostro 200	<i>Intel Core 2 Duo</i>	2 GB	160 GB	<i>Windows 7 Home Premium</i>

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Listado de servidores**

Cantidad	Marca	Modelo	Procesador	Memoria	Disco
2	HP	Proliant DL380G6	Intel Core 2 Duo E8400 3,0 GHz	12 GB	500 GB
1	HP	Proliant ML350	Intel Core 2 Duo E8400 3,0 GHz	12 GB	500 GB

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Listado Switch**

Cantidad	Marca	Nombre	Tipo	Puertos
3	D-Link	D-Link DES 1024A	Sin gestionar	24x10/100
2	TP-Link	TL-SF1024D	Sin gestionar	24X10/100
1	D-Link	DSS-16+	Sin gestionar	16x10/100

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Detalles de UPS**

Cantidad	Marca	Modelo	Potencia (VA)	Voltajes		Tomas
				Entrada (V)	Salida (V)	
1	CDP	UPO11-1RT AX	1 000	120	110/115/120	6
25	Tripp Lite UPS	AVR750U	750	120	120	12

Fuente: elaboración propia.

1.3. Auditoría de canales wifi

Se muestra la metodología usada para identificar el estado actual de la distribución de redes inalámbricas existentes en las instalaciones.

1.3.1. Delimitación geográfica de las redes

El estudio se hizo en los diferentes edificios ubicados en la Unidad Académica (17) de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 1. Ubicación de la Unidad Académica (17)



Fuente: Unidad Académica (17), USAC, Google Earth.

1.3.2. Software

A continuación, se presenta los programas necesarios para realizar el estudio del estado actual de las redes inalámbricas.

1.3.2.1. Wifi Analyzer

Esta aplicación para teléfonos Android fue utilizada para visualizar la fuerza de la señal y de los canales ocupados por las distintas redes inalámbricas en la banda de 2,4 GHz presentes en las instalaciones. Se utilizaron dos formas de visualización:

- RSSI en función de los canales
- RSSI en función de la fuerza de la señal

El indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI por las siglas del inglés *Received Signal Strength Indicator*), es una escala de referencia (en relación a 1mW) para medir el nivel de potencia de las señales recibidas por un dispositivo en las redes inalámbricas.

1.3.2.2. Wifi Coverage Mapper

Es un innovador escáner wifi para realizar análisis de cobertura en redes de comunicación inalámbrica. Este software permite analizar la cobertura y la correcta propagación de señal de la red inalámbrica para mejorar su rendimiento. Funciona definiendo localizaciones a las que se asocian planos o un área geográfica concreta.

Mediante la realización de mediciones en las redes inalámbricas, el sistema captura el tráfico y almacena información detallada de los dispositivos, su nivel de señal y otros datos relevantes; con esto el software es capaz de crear mapas de cobertura wifi, detallando cada Punto de Acceso.

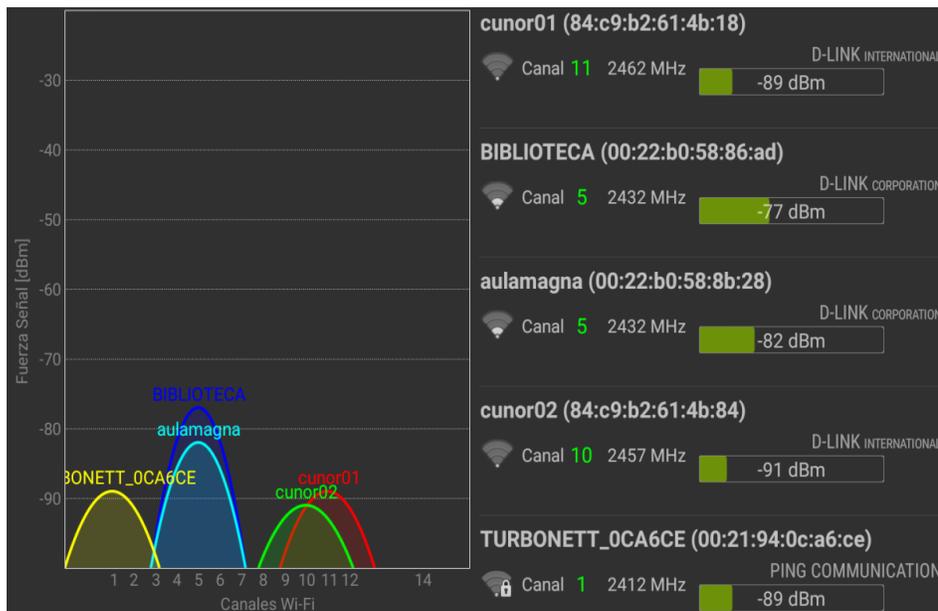
1.3.3. Resultados de auditoría

Con los datos obtenidos gracias a las herramientas de software utilizadas, se procede a mostrar un conjunto de imágenes, para indicar la cobertura y la ocupación de los canales de las redes existentes.

1.3.3.1. Ocupación de canales de redes wifi

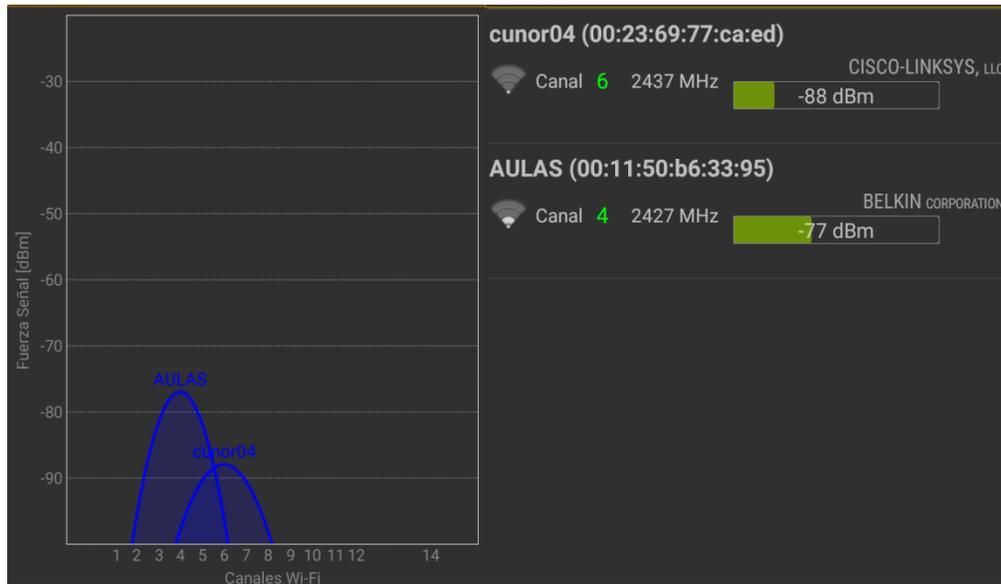
Con las gráficas de ocupación de canales, obtenidas de *wifi Analyzer*, es posible detectar las redes inalámbricas presentes en las instalaciones y conocer qué canales de redes wifi para 2,4 GHz se están traslapando, lo que conlleva a problemas de interferencias producidas por otras redes inalámbricas. A continuación se muestran algunos ejemplos del estado actual de las redes.

Figura 2. Ocupación de canales en Biblioteca y Aula Magna



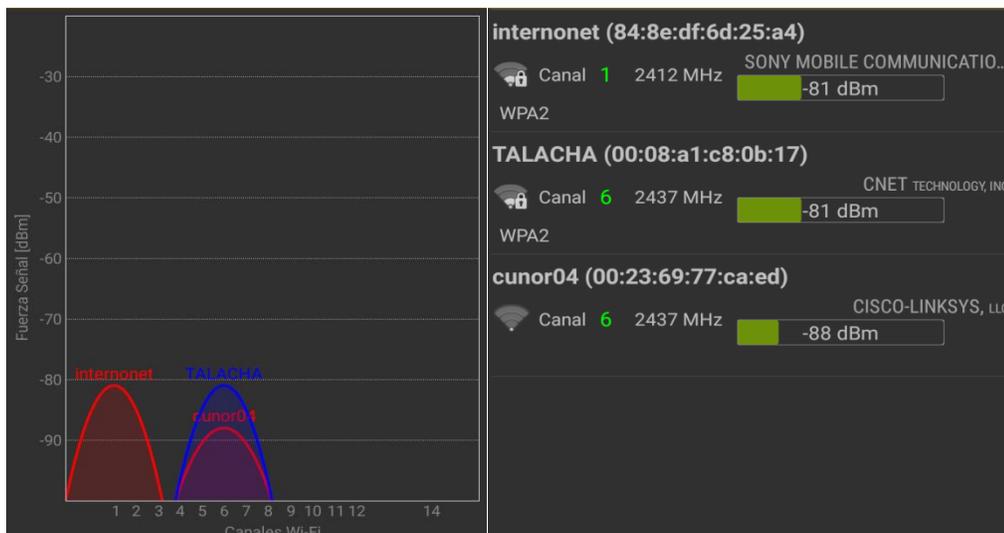
Fuente: elaboración propia, con programa *wifi Analyzer* para Android.

Figura 3. Ocupación de canales en edificio H y Coordinación carreras



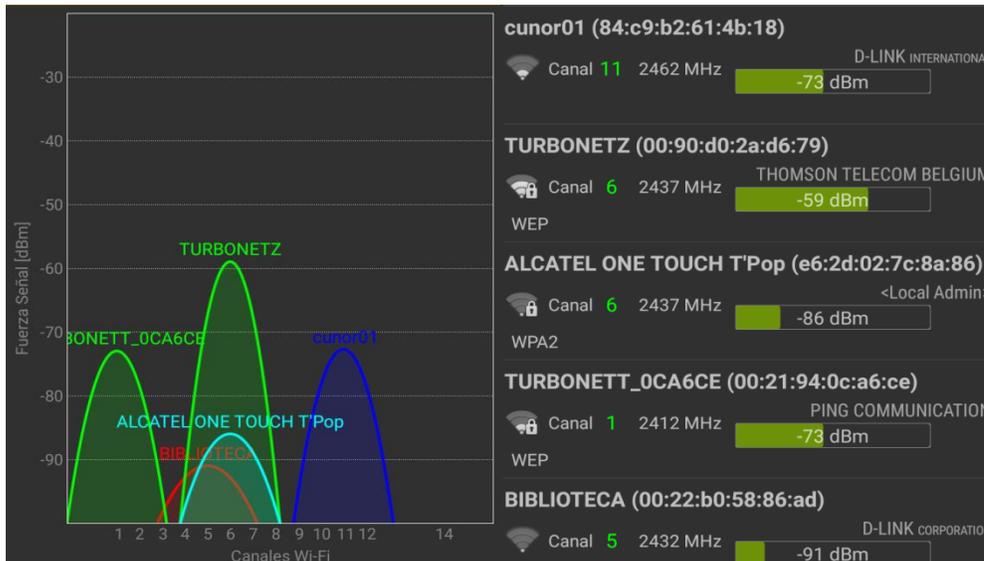
Fuente: elaboración propia, con programa wifi Analyzer para Android.

Figura 4. Ocupación de canales en edificio H y Cafetería



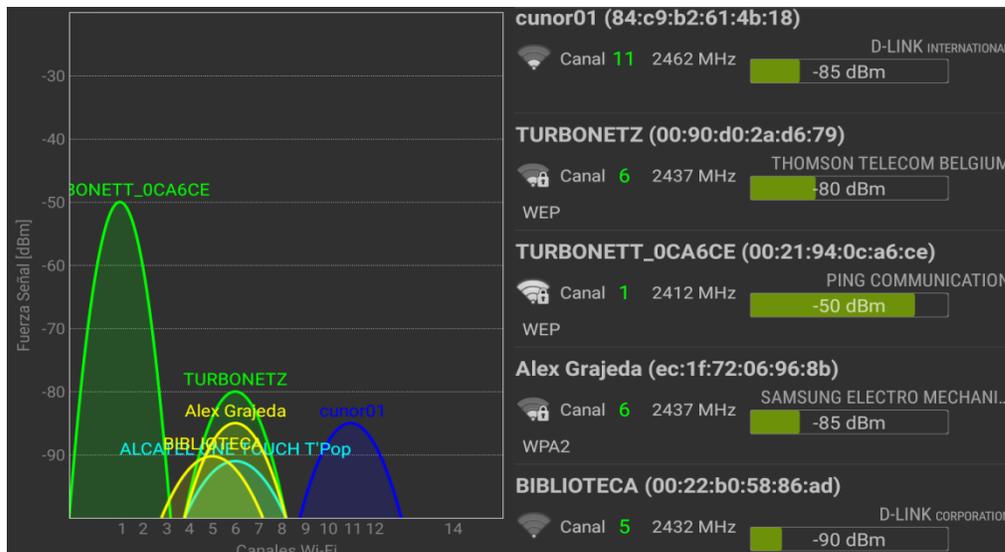
Fuente: elaboración propia, con programa wifi Analyzer para Android.

Figura 5. Ocupación de canales en edificio Administrativo



Fuente: elaboración propia, con programa wifi Analyzer para Android.

Figura 6. Ocupación de canales en Coordinación Académica



Fuente: elaboración propia, con programa wifi Analyzer para Android.

1.3.4. Dictamen técnico

Luego del procesamiento de los datos recabados, vemos que en las instalaciones se han encontrado en total diez Puntos de Acceso a *Internet*. Los tipos de redes se muestran a continuación:

Tabla VI. **Redes inalámbricas descubiertas**

Descripción de tipo de red	Cantidad
802,11g	10
Red temporal	2

Fuente: elaboración propia.

Es importante aclarar que los puntos de acceso móviles, como los que generan los teléfonos inteligentes, han sido omitidos para el estudio, ya que no son redes inalámbricas fijas. Por lo tanto, las diez redes 802,11g, son las que se toman en cuenta para analizar los canales que ocupan, las interferencias y la cobertura que existe. Para los valores del RSSI obtenidos, se usará la siguiente tabla, para la interpretación del nivel de potencia recibida.

Tabla VII. **Escala valores RSSI**

RSSI (dBm)	Interpretación
0	Señal ideal, difícil de lograr en la práctica
-40 a -60	Señal idónea, con tasas de transferencia estables
-60	Enlace bueno
-70	Enlace normal-bajo. Con lluvia y viento puede haber problemas
-80	Es la señal mínima aceptable para establecer la conexión

Fuente: elaboración propia.

2. FUNDAMENTOS DE REDES

En este capítulo se explican conceptos generales de las redes informáticas, la comunicación inalámbrica y los equipos de interconexión, para establecer una base teórica en la realización del diseño de una red inalámbrica.

2.1. Red de datos

Es un sistema de comunicación que se da entre distintos equipos conectados por medio de cables, ondas electromagnéticas, o cualquier otro método de transporte de señales, diseñado para compartir información, recursos y servicios disponibles. Como en todo proceso de comunicación se requiere de un mensaje, de un emisor, un canal o medio y un receptor. Las redes informáticas se comunican unas con otras por medio de un canal, por el cual se transmiten los datos, usando una serie de reglas.

Un protocolo es un conjunto de reglas que permiten la comunicación entre los dispositivos de la red, normalmente de distintos fabricantes, para que el intercambio de datos sea eficiente. Para ello los dispositivos hacen uso de interfaces que manejan estas normas de comunicación.

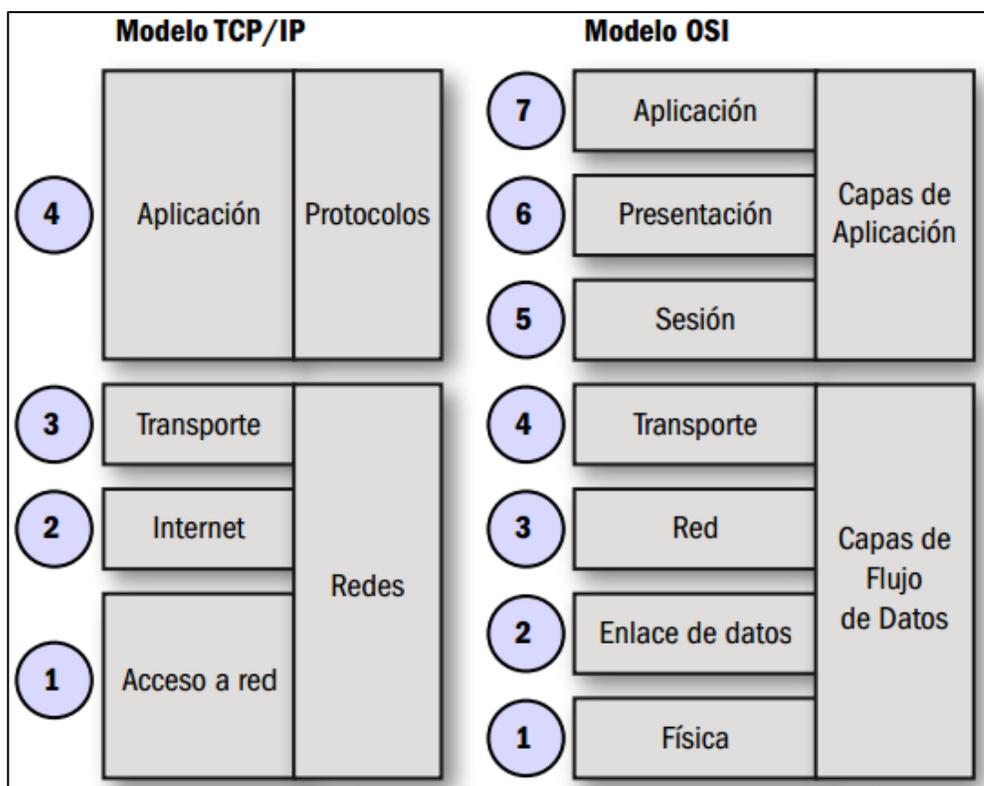
2.2. Modelos de referencia

Generalmente, la información que se desplaza por una red recibe el nombre de datos o paquete. Un paquete es una unidad de información, que se desplaza entre los sistemas de computación. Para que los paquetes puedan

viajar desde el origen hasta su destino es importante definir un conjunto de protocolos para que los dispositivos se puedan comunicar entre si.

El concepto de capas se utiliza para describir la comunicación entre equipos de red. A medida que los datos atraviesan las capas, cada capa agrega cabeceras que posibilitan una comunicación eficaz con su correspondiente capa en el equipo donde se quiere establecer una transferencia de información. Los modelos de referencia OSI y TCP/IP se dividen en capas que explican cómo los datos se comunican de un computador a otro. Los modelos difieren en la cantidad y funcionamiento de las capas.

Figura 7. **Relación entre OSI y TCP/IP**



Fuente: PEÑA, Claudio. *Red Wi-Fi en entornos Windows*. p. 18.

2.2.1. Modelo OSI

El modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI, por sus siglas en inglés) lanzado en 1984, es un marco que explica cómo viaja la información a través de una red, basado en la arquitectura en capas. Creado por la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés), proporcionó a los fabricantes un conjunto de estándares que aseguraron una compatibilidad entre los distintos tipos de tecnologías de red.

El modelo OSI se ha convertido en el modelo principal para las comunicaciones por red. Aunque existen otros modelos de referencia, la mayoría de los fabricantes de redes relacionan sus productos con el modelo OSI. Permite a los usuarios comprender cómo viaja la información a través de varias capas a otro dispositivo de una red. Este modelo está dividido en 7 capas:

- La capa física es la que se encarga de transmitir los datos en *bits* por el medio utilizado, garantiza la conexión aunque no la fiabilidad de dicha conexión. Define los medios físicos por los que van a viajar los datos (cable de pares trenzados, cable coaxial, guías de onda, aire, fibra óptica, entre otros); se ocupa de las características de los materiales, de los aspectos mecánicos de las conexiones, incluyendo la interpretación de las señales que se envían por el medio usado en la red. Estas señales pueden ser impulsos eléctricos, electromagnéticos y luminosos.
- La capa de enlace de datos, se ocupa del direccionamiento físico, la topología de red, del acceso al medio, de la distribución ordenada de las tramas (trama es la unidad de medida de la información en esta capa) y del control de flujo, se asegura que los datos no tengan errores. El

dispositivo que usa la capa de enlace es el conmutador, que se encarga de recibir los datos del enrutador y enviar cada uno de estos a sus respectivos destinatarios.

- La capa de red, se encarga de identificar el enrutamiento existente para la conectividad entre dos terminales que pueden estar ubicados en redes geográficamente separadas. Las unidades de información se denominan paquetes. El objetivo de la capa de red es hacer que los datos encuentren la mejor ruta, desde el origen hasta su receptor final. Los dispositivos que facilitan tal tarea se denominan encaminadores o enrutadores (*routers*). Los *routers* trabajan en esta capa, aunque pueden actuar como conmutador de capa de enlace en determinados casos. Los cortafuegos actúan sobre esta capa, principalmente para descartar direcciones de máquinas.
- La capa de transporte, es la encargada de efectuar el transporte de información de la máquina origen al destino. Los protocolos de la capa de transporte garantizan que todos los datos lleguen al destino. Para ello divide el mensaje en trozos, los enumera y entrega a la capa de red para su envío. Estas funciones incluyen el reconocimiento, la recuperación de errores, y el envío secuencial de los segmentos. En esta capa, los protocolos: Protocolo de Control de Transmisión (TCP, por sus siglas en inglés) y Protocolo de Datagrama de Usuario (UDP, por sus siglas en inglés) se encargan de proporcionar la funcionalidad necesaria.
- La capa de sesión, es la que se encarga de mantener y controlar el enlace establecido entre dos ordenadores que están transmitiendo datos. Esta capa establece, gestiona y finaliza las conexiones entre usuarios,

controla que dos o más comunicaciones con la misma operación no se efectúen al mismo tiempo.

- La capa de presentación, se encarga de la representación de la información, garantiza que el mensaje sea reconocible para el sistema receptor. Esta capa es la primera en trabajar más el contenido de la comunicación que el cómo se establece la misma. En ellas se tratan aspectos como el formato de datos transmitidos; su estructura, ya que distintos dispositivos pueden tener diferentes formas de manejarlas. También permite cifrar los datos y comprimirlos. En resumen, esta capa actúa como un traductor.
- La capa de aplicación, suministra servicios de red a los procesos de aplicaciones y define los protocolos que utilizan las aplicaciones para intercambiar datos, como correo electrónico (POP3 y SMTP), por UDP puede viajar información de enrutamiento (RIP, DNS), gestores de bases de datos y servidor de ficheros (FTP), entre otros. Hay tantos protocolos como aplicaciones distintas y, puesto que continuamente se desarrollan nuevas aplicaciones, el número de protocolos crece sin parar. Cabe aclarar que el usuario normalmente no interactúa con el nivel de aplicación, el usuario suele interactuar con programas que a su vez interactúan con el nivel de aplicación.

2.2.2. Modelo TCP/IP

El modelo Protocolo de control de transmisión/Protocolo de Internet (TCP/IP, por sus siglas en inglés) es un conjunto de protocolos que representan todas las reglas de comunicación que utilizan los ordenadores conectados a Internet. Los dos protocolos más importantes son el TCP y el IP, que son los

que dan nombre al modelo. El protocolo TCP lo que hace es proporcionar un transporte fiable. Cuando enviamos un mensaje este protocolo divide los datos en paquetes, los ordena, agrega información para control de errores y después los envía. En el receptor, el TCP recibe los paquetes, verifica si hay errores y los arma para convertirlos en el mensaje original. Para encontrar las posibles rutas para el envío de paquetes de datos, el protocolo de Internet asigna a cada ordenador que se conecta un número específico, llamado “número IP”; los paquetes de mensajes viajan por muchos ordenadores hasta encontrar el camino que llegue a su destino.

El modelo TCP/IP define cuatro capas que deben estar presentes para permitir la transmisión de datos entre redes de computadoras. Las funciones de las diferentes capas son las siguientes:

- Capa de aplicación: en esta capa los diseñadores de TCP/IP sintieron que debía incluir los detalles de las capas de sesión y presentación del modelo OSI. Crearon una capa de aplicación que maneja aspectos de representación, codificación y control de diálogo.
- Capa de transporte: se encarga de los aspectos de calidad del servicio con respecto a la confiabilidad, el control de flujo y la corrección de errores. Uno de sus protocolos, el protocolo para el control de la transmisión (TCP), ofrece maneras flexibles y de alta calidad para crear comunicaciones de red confiables, sin problemas de flujo y con un nivel de error bajo. Mantiene un diálogo entre el origen y el destino mientras empaqueta la información de la capa de aplicación en unidades denominadas segmentos. Los segmentos de datos viajan de un lado a otro, entre dos terminales, para comprobar que la conexión exista lógicamente para un determinado período.

- Capa de Internet: el propósito de esta capa es la de enviar paquetes desde cualquier red y que estos paquetes lleguen a su destino, independientemente de la ruta y de las redes que recorrieron. El protocolo específico que rige esta capa se denomina Protocolo Internet (IP), el cual indica el camino a los paquetes, en tanto que el TCP brinda un transporte seguro.
- Capa de acceso de red: define los procedimientos que se deben de implementar para transmitir datos a través de la red; se ocupa de los aspectos que requieren los paquetes para realizar un enlace físico con el medio. Esta capa proporciona la especificación de los medios de transmisión para mantener el enlace físico entre los ordenadores de cualquier red. Incluye los detalles de la capa física y de enlace de datos del modelo OSI.

2.3. Red de área local

Es un conjunto de dispositivos conectados entre sí en un área específica que configuran una red de comunicación, con el objetivo de intercambiar información y compartir recursos. Una red de área local (LAN, por sus siglas en inglés) conecta equipos a través de un medio de transmisión cableado o inalámbrico (como las desarrolladas con el estándar IEEE 802,11, de la cual hablaremos más adelante). Los medios físicos más utilizados en una LAN son los cables de par trenzado, cable coaxial o fibra óptica. Las tecnologías de transmisión más comunes en el uso de redes de área local son Ethernet, Token Ring, Interfaz de datos, distribuida por fibra (FDDI, por sus siglas en inglés) y sistemas inalámbricos.

Una LAN está compuesta por equipos conectados mediante un conjunto de elementos de *software* y *hardware* dentro de un perímetro determinado. Estos dispositivos, actuando independientemente, no son suficientes para crear una red de área local, por lo que es necesario fijar un método para que los equipos accedan a los medios y puedan comunicarse. El método que describe cómo los elementos se conectan entre si, se denomina Topología de red. Esta arquitectura describe el mapa físico y lógico de una red.

2.3.1. Topología lógica

La topología lógica de una red define la forma en que los equipos informáticos se comunican a través del medio. Los dos tipos más comunes son los siguientes:

- Topología *broadcast*: cada equipo envía sus datos hacia todos los demás dispositivos de la red. Las estaciones hacen las operaciones según el orden de llegada. Un ejemplo de este tipo de topología es *Ethernet*.
- Topología transmisión de *tokens*: controla el acceso a la red mediante la transmisión de un *token* electrónico (serie especial de *bits*) a cada equipo de forma secuencial. La computadora que esté en posesión del *token* tiene autorización para transmitir la información a la siguiente computadora del anillo. Si la siguiente computadora necesita enviar datos, acepta el *token* y procede a enviarla. En caso contrario, el *token* pasa al ordenador que le sigue y el proceso continúa.

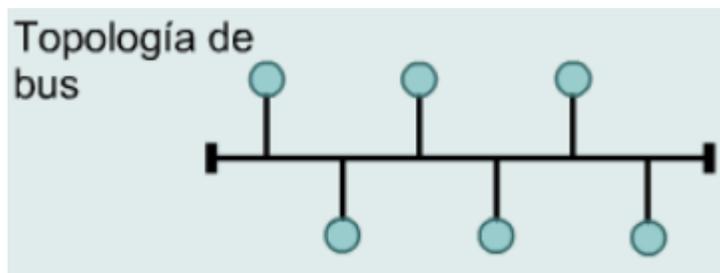
2.3.2. Topología física

Describe la disposición real de los cables o medios de transmisión. Las topologías físicas más comúnmente utilizadas se describen a continuación:

- Topología de bus

Es aquella topología que se caracteriza por tener un único canal de comunicaciones, al cual se conectan los diferentes dispositivos. De esta forma, todos los dispositivos comparten el mismo canal para comunicarse entre sí.

Figura 8. Topología de bus



Fuente: Cisco Systems Inc. Academia de Networking de Cisco Systems: *Guía del primer año CCNA 1 y 2*. p. 30.

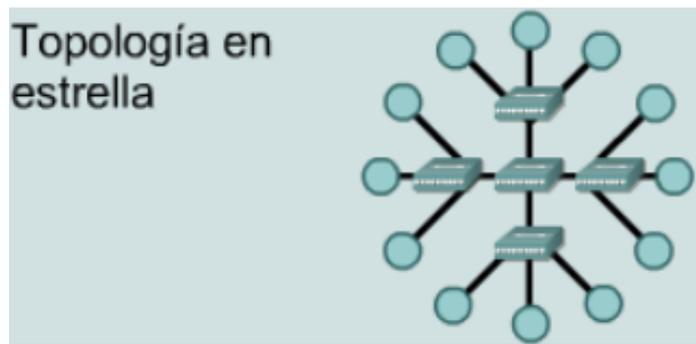
- Topología de estrella

Es una red de computadoras donde las estaciones están conectadas directamente a un punto central y todas las comunicaciones se hacen necesariamente a través de ese punto (conmutador, repetidor o concentrador). Los dispositivos no están directamente conectados entre sí, además de que no se permite tanto tráfico de información. Dada su transmisión, una red en estrella

activa tiene un nodo central “activo” que normalmente tiene los medios para prevenir problemas relacionados con el eco.

La mayoría de las redes de área local que tienen un conmutador (*switch*) o un concentrador (*hub*) siguen esta topología. El punto o nodo central en estas sería el *switch* o el *hub*, por el que pasan todos los paquetes de usuarios.

Figura 9. **Topología de estrella**

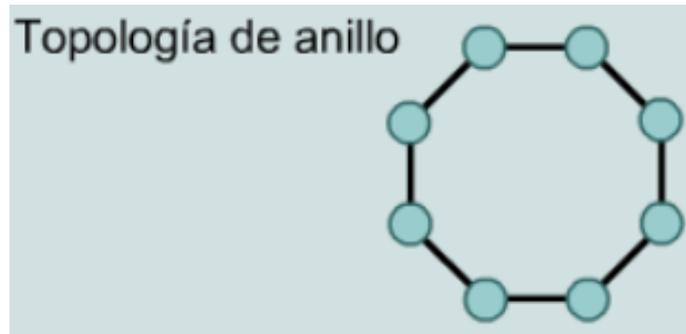


Fuente: Cisco Systems Inc. Academia de Networking de Cisco Systems: *Guía del primer año CCNA 1 y 2*. p. 30.

- Topología de anillo

La topología de anillo conecta un *host* con el siguiente y al último *host* con el primero. Esto crea un anillo físico de cable. El sistema provee un acceso equitativo para todas las computadoras, el rendimiento no decae cuando muchos usuarios utilizan la red, esto hace que sea una arquitectura muy sólida. Si un dispositivo o computadora falla, la dirección de la información puede cambiar de sentido para que llegue a los demás dispositivos (en casos especiales).

Figura 10. **Topología de anillo**



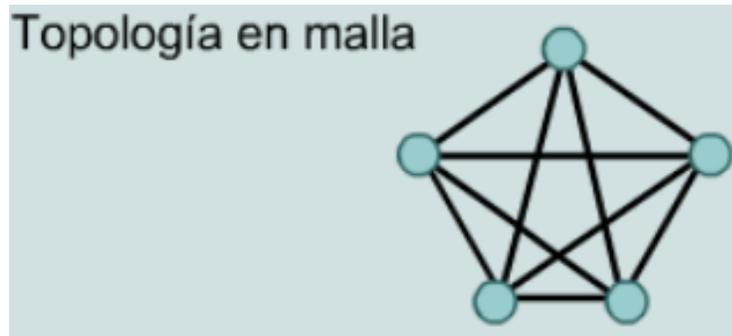
Fuente: Cisco Systems Inc. Academia de Networking de Cisco Systems: *Guía del primer año CCNA 1 y 2*. p. 30.

- Topología de malla

La topología de malla se implementa para proporcionar la mayor protección posible para evitar una interrupción del servicio. Cada *host* tiene sus propias conexiones con los demás *hosts*. Aunque la Internet cuenta con múltiples rutas hacia cualquier ubicación, no adopta la topología de malla completa.

Esta topología, a diferencia de otras más usuales, no requiere de un nodo central, con lo que se reduce el riesgo de fallos y, por lo tanto, el mantenimiento periódico; un error en un nodo, sea importante o no, no implica la caída de toda la red.

Figura 11. **Topología de malla**



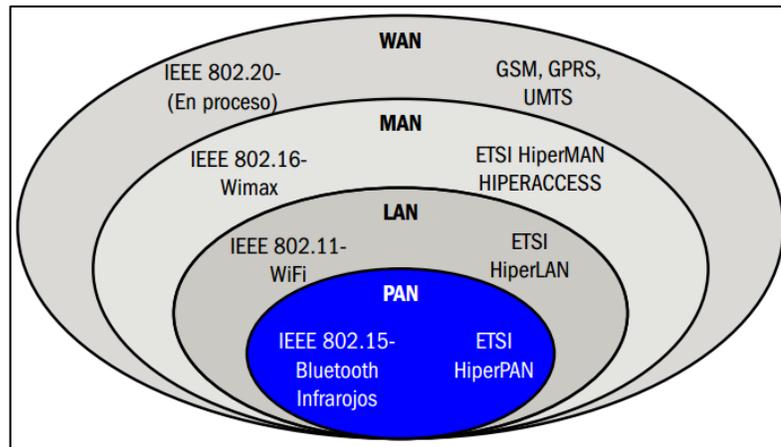
Fuente: Cisco Systems Inc. Academia de Networking de Cisco Systems: *Guía del primer año CCNA 1 y 2*. p. 30.

2.4. Red de área local inalámbrica

Es un sistema de comunicación de datos que permite a los dispositivos que pueden conformar una red, comunicarse mediante ondas de radio, minimizando las conexiones cableadas. La red de área local inalámbrica, también conocida como WLAN (*Wireless Local Area Network*, en inglés) es una alternativa a las redes de área local cableada o como extensión de estas. Se basa en enlaces por radiofrecuencia que permite mayor movilidad a los usuarios, se utilizan ondas de radio como portadora para llevar la información de un punto a otro, sin la necesidad de un medio físico guiado; en este caso el medio de transmisión es el aire.

Podemos clasificar a las redes inalámbricas en cuatro categorías, basándonos en el alcance, como se muestra en la figura 13. Cada categoría se diferencia según la extensión física que cubre. Nos centraremos en la categoría que cumple con la norma que describe las características de una red de área local inalámbrica.

Figura 12. **Estándares inalámbricos del IEEE**



Fuente: PEÑA, Claudio. *Red Wi-Fi en entornos Windows*. p. 20.

2.4.1. **Estándar IEEE 802.11**

Un estándar es un conjunto de reglas y recomendaciones técnicas que regulan el acceso y las transmisiones en los sistemas de comunicaciones, el cual describe las características de la arquitectura de una red. Los estándares de las redes LAN están definidos por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, por sus siglas en inglés) bajo el nombre de IEEE 802. El comité IEEE 802.11 es el encargado de desarrollar los estándares para las redes de área local inalámbricas.

El estándar IEEE 802.11 se enfoca en el uso de las dos capas más bajas del modelo OSI, pues incorporan componentes de la capa física y la capa de enlace de datos, especificando sus normas de funcionamiento en una red de área local inalámbrica. Dentro de la capa de enlace de datos están definidas una serie de reglas para determinar la forma en que los dispositivos obtienen

acceso al medio y envían datos pero los detalles de transmisión y recepción corresponden a la capa física.

2.4.1.1. IEEE 802.11 *legacy*

La versión original del estándar 802.11 del IEEE, publicada en 1997, especifica dos velocidades de transmisión teóricas de 1 y 2 *megabit* por segundo (Mbps), opera en la banda de los 2,4 GHz, usando tres tecnologías diferentes:

- Espectro ensanchado por salto de frecuencia, FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*, en inglés).
- Espectro ensanchado por secuencia directa, DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*, en inglés).
- Infrarrojos (IR).

El estándar original también define el protocolo "múltiple acceso por detección de portadora evitando colisiones" CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*, en inglés) como método de acceso. Una parte importante de la velocidad de transmisión teórica se utiliza en las necesidades de esta codificación para mejorar la calidad de la transmisión bajo condiciones ambientales diversas, lo cual se tradujo en dificultades de interoperabilidad entre equipos de diferentes marcas. Estas y otras debilidades fueron corregidas en el estándar 802.11b, que fue el primero de esta familia en alcanzar amplia aceptación entre los consumidores.

2.4.1.2. IEEE 802.11a

La revisión 802.11a fue aprobada en 1999. Este estándar se aplica a la banda UNII; utiliza el mismo juego de protocolos de base que el estándar original, opera en la banda de 5 GHz y utiliza 52 subportadoras de acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*, en inglés) con una velocidad máxima de 54 Mbps, que lo hace un estándar práctico para redes inalámbricas con velocidades reales de aproximadamente 20 Mbps. La mayor velocidad de transmisión es una de las ventajas, así como la ausencia de interferencias en esta frecuencia de trabajo. Como desventaja podemos mencionar la incompatibilidad con 802.11b, ya que opera en diferente frecuencia.

2.4.1.3. IEEE 802.11b

Esta extensión del estándar 802.11, definido en 1999, permite una velocidad máxima de 11 Mbps y funciona en la banda de 2,4 GHz, utiliza el mismo método de acceso definido en el estándar original CSMA/CA. Esta extensión es totalmente compatible con el estándar original de 1 y 2 Mbps (sólo con los sistemas DSSS, no con los FHSS o sistemas infrarrojos) pero incluye una nueva técnica de modulación llamada Codificación por Clave Complementaria (CCK, por sus siglas en inglés), que permite el incremento de velocidad.

El estándar 802.11b define una única técnica de modulación para las velocidades superiores, al contrario que el estándar original 802.11 que permitía tres técnicas diferentes (DSSS, FHSS e infrarrojos). De este modo, al existir una única técnica de modulación, cualquier equipo de cualquier fabricante se podrá conectar con cualquier otro equipo si ambos cumplen con la

especificación 802.11b. Debido al espacio ocupado por la codificación del protocolo CSMA/CA, en la práctica, la velocidad máxima de transmisión con este estándar es de aproximadamente 5,9 Mbps sobre TCP y 7,1 Mbps sobre UDP.

2.4.1.4. IEEE 802.11g

En junio de 2003, se ratificó un tercer estándar de modulación, el estándar IEEE 802.11g, este ofrece 54 Mbps, que en promedio es de 22 Mbps de velocidad real de transferencia, opera en la banda de 2,4 GHz, por lo tanto asegura la compatibilidad con los equipos que usan el estándar IEEE 802.11b. El estándar IEEE 802.11g proporciona una forma sencilla de migración a alta velocidad, extendiendo el período de vida de los dispositivos de 11 Mbps. El estándar 802.11g se publicó como borrador en Noviembre de 2001 con los siguientes elementos obligatorios y opcionales:

- El método OFDM es obligatorio y es lo que permite velocidades superiores en la banda de los 2,4GHz.
- Los sistemas deben ser totalmente compatibles con las tecnologías anteriores de 2,4GHz WiFi (802.11b). Por lo que el uso del método CCK también será obligatorio para asegurar dicha compatibilidad.
- El borrador del estándar marca como opcional el uso del método PBCC (*Packet Binary Convolution Coding*, en inglés) y el OFDM/CCK simultáneo.

2.4.1.5. IEEE 802.11n

Trabaja en las frecuencias de 2,4 GHz y 5 GHz, y brinda una mejora importante respecto a estándares anteriores, que es el uso de varias antenas de transmisión y recepción, con una velocidad de 600 Mbps y una velocidad real de transmisión de aproximadamente 300 Mbps. El alcance de operación de las redes es mayor con este nuevo estándar gracias a la tecnología MIMO (*Multiple Input, Multiple Output*, en inglés); se trata de un concepto el cual permite utilizar varios canales a la vez para enviar y recibir datos, gracias a la incorporación de varias antenas. Los cambios en el formato de trama MIMO han sido los avances más relevantes de este nuevo estándar.

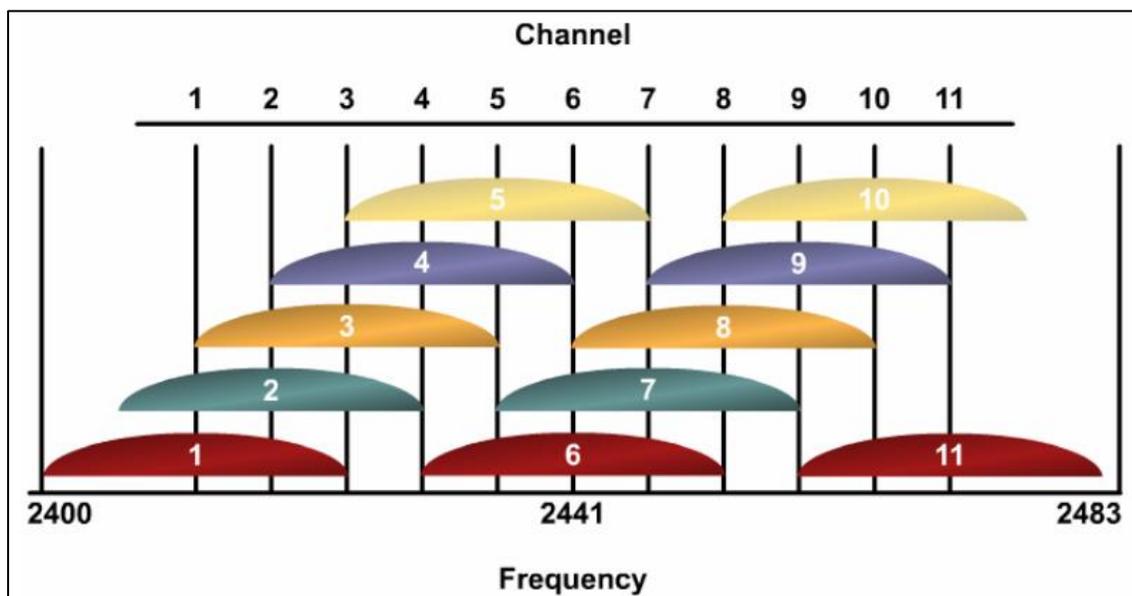
2.4.2. Canales

Con la implementación de la tecnología inalámbrica para poder conectarse a Internet, el número de redes inalámbricas ha ido en aumento, esto trae problemas, porque mientras más redes adyacentes existan, mayor probabilidad se tiene de sufrir interferencias.

Cuando se definió el estándar IEEE 802.11, se especificó también los tres rangos de frecuencia disponibles para los dispositivos que desearan emitir de esta forma: 2,4 GHz, 3,6 GHz y 5 GHz. La mayoría de dispositivos actuales operan, por defecto, en la franja de frecuencias cercana a 2,4 GHz. Cada rango de frecuencias fue subdividido en varios canales. En esta banda, se definieron 14 canales, separados por 5 MHz, pero 11 canales son los utilizables por equipos wifi. Sin embargo, los 11 canales no son completamente independientes, ya que cada canal necesita 22 MHz de ancho de banda para operar, esto produce un solapamiento de varios canales adyacentes. En la

práctica sólo se pueden utilizar 3 canales en forma simultánea (1, 6 y 11). Esto es correcto para USA y muchos países de América Latina.

Figura 13. **Canales en Estándar 802.11**



Fuente: Cisco Systems Inc. Academia de Networking de Cisco Systems: *Fundamentos de redes inalámbricas*. p. 104.

2.5. Dispositivos de red

En esta sección se darán a conocer los dispositivos que son necesarios para implementar una red inalámbrica.

2.5.1. Enrutador

Es un dispositivo que proporciona conectividad a nivel de red o de capa tres en el modelo OSI. El funcionamiento básico de un enrutador, consiste en

enviar los paquetes de red por el camino o ruta más adecuada en cada momento. Para ello almacena los paquetes recibidos y procesa la información de origen y destino que poseen. En otras palabras, envía paquetes de datos de una red a otra, es decir, interconecta subredes, entendiendo por subred un conjunto de máquinas IP que se pueden comunicar y que por tanto tienen prefijos de red distintos. Si tenemos una conexión ADSL que nos da acceso a Internet a través de la línea telefónica, este dispositivo será el encargado de conectarnos.

2.5.2. Conmutador

El conmutador o *switch* es un dispositivo digital lógico de interconexión de equipos que opera en la capa de enlace de datos del modelo OSI. Su función es interconectar dos o más segmentos de red, de manera similar a los puentes de red, pasando datos de un segmento a otro, de acuerdo con la dirección MAC (*media access control*, en inglés) de destino de las tramas y eliminando la conexión una vez finalizada esta. Los conmutadores poseen la capacidad de aprender y almacenar las direcciones MAC de los dispositivos alcanzables a través de cada uno de sus puertos.

2.5.3. Placa de red inalámbrica

Recibe y envía información entre las computadoras de la red, es una parte imprescindible para conectarnos de forma inalámbrica. Existen placas de diferentes velocidades, entre 54 Mbps y 108 Mbps. Todas tienen una antena omnidireccional (que puede ser externa o interna), en general, de baja ganancia, que puede ser reemplazada por otra de mayor ganancia para mejorar la conexión.

2.5.4. Punto de Acceso inalámbrico

Es un dispositivo de red que interconecta equipos de comunicación alámbrica para formar una red inalámbrica, interconecta dispositivos móviles o con tarjetas de red inalámbricas, tienen asignadas direcciones IP para poder ser configurados. Se considera como el punto principal de emisión y recepción, este punto concentra la señal de los nodos inalámbricos y centraliza el reparto de la información de toda la red local.

Cuando conectamos varios Puntos de Acceso sincronizados entre si, podemos formar una gran red sin utilizar cables. El Punto de Acceso provee un cable virtual entre cada cliente asociado a el. Este cable virtual nos conecta a la red cableada como a cada uno de los demás usuarios de la red inalámbrica.

2.5.5. Antena

Es un dispositivo hecho para transmitir y recibir ondas electromagnéticas, necesario para comunicar los equipos en una red inalámbrica, porque se encarga de transformar la energía de corriente alterna generada en los equipos inalámbricos en ondas de radio. Es importante conocer los requerimientos del sistema de comunicación para elegir la antena adecuada que pueda resolver las necesidades de la red. Las antenas para redes inalámbricas se pueden dividir en tres tipos:

- Omnidireccionales: transmiten aproximadamente con la misma intensidad en todas las direcciones, pero con una radiación menor en el plano vertical, por eso se dice que su ángulo de radiación es de 360° en el plano horizontal, con diferentes grados de cobertura vertical. A pesar de ser una antena de corto alcance, es ideal para ser utilizado en

enlaces multipunto, cuando se necesita cobertura en todas las direcciones.

- **Direccionales:** enfocan la mayor parte de la radiación en una dirección determinada, de forma que se obtiene un gran alcance, pero se reduce la cantidad de potencia en otras direcciones. Las podemos utilizar para enlaces de larga distancia, en conexiones punto a punto y cuando se necesita mayor seguridad, evitando que la señal se propague en todas partes.
- **Sectoriales:** transmiten en una dirección pero no tan enfocadas como las antenas direccionales, por lo tanto posee un mayor ángulo de radiación y con un alcance mayor que las antenas omnidireccionales. Si combinamos varias antenas de este tipo, podremos dar cobertura en todo el plano horizontal del terreno como si se tratase de una antena omnidireccional, pero a un mayor costo.

3. CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA

Para comprender el funcionamiento de cualquier sistema de radiocomunicación, en nuestro caso una red inalámbrica, debemos de tomar en cuenta ciertos criterios que veremos en este apartado, referente a los fundamentos de la propagación de la señal en forma de una onda, los principios electromagnéticos con los que trabaja cualquier antena y las consideraciones para un radioenlace óptimo.

3.1. Ondas Electromagnéticas

Hay dos grandes categorías de sistemas de comunicación: Los que utilizan líneas de transmisión en una red interconectada y los que dependen de la radiación electromagnética usando una antena, tanto en la transmisión y la recepción. En los sistemas de comunicación utilizando la radiación electromagnética, la potencia de la señal es radiada en una región angular del espacio por la antena de transmisión y sólo una pequeña fracción de esta potencia radiada es interceptada por la antena receptora.

Las comunicaciones inalámbricas hacen uso de las ondas electromagnéticas para enviar señales a largas distancias y enlazar los equipos conectados a la red, en lugar de algún tipo de cable. Desde la perspectiva del usuario, la conexión a la red no es diferente de cualquier otra conexión, ya que las aplicaciones que se ofrecen funcionan igual, pero el modo en que se transporta la información es diferente, estas ondas que llevan los datos son guiadas a través del vacío o el espacio libre y la atmósfera terrestre.

3.1.1. Ecuaciones de Maxwell

En su artículo de 1864 James Clerk Maxwell presentó las célebres ecuaciones, que hoy se conocen como las ecuaciones de Maxwell. Estas ecuaciones constituyen la base teórica del electromagnetismo clásico y relacionan los vectores de campo eléctrico y magnético con sus fuentes, que son las cargas eléctricas, las corrientes y los campos variables.

La gran contribución de Maxwell fue reunir los resultados experimentales, debidos a Coulomb, Gauss, Ampere, Faraday, Biot y Savart, introduciendo los conceptos de campo y corriente de desplazamiento y unificando los campos eléctricos y magnéticos. Las ecuaciones de Maxwell son de vital importancia porque con ellas podemos predecir la existencia de las ondas electromagnéticas. A partir de las ecuaciones, Maxwell demostró que podían combinarse para dar lugar a una ecuación de onda que debía satisfacer los campos eléctricos y magnéticos. Las ecuaciones son descritas a continuación.

Tabla VIII. Ecuaciones de Maxwell

Nombre	Forma diferencial
Ley de Gauss	$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$
Ley de Gauss para el campo magnético	$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$
Ley de Faraday	$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
Ley de Ampère-Maxwell	$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Propiedades de las ondas electromagnéticas

Para la correcta planificación del sistema, es importante conocer el comportamiento de las ondas en la atmósfera terrestre, la propagación puede diferir del comportamiento en el espacio libre, debido a efectos ópticos. Como las ondas luminosas son ondas electromagnéticas de alta frecuencia, es razonable que las propiedades ópticas se apliquen a la propagación de las ondas de radio y, por lo tanto, sustituir las ecuaciones de Maxwell por el trazo geométrico de rayos.

3.1.2.1. Absorción

Cuando las ondas electromagnéticas atraviesan algún material, generalmente son atenuadas o debilitadas. La cantidad de potencia de la onda decrece exponencialmente y va a depender de su frecuencia y del material en la cual incide. La causa de la absorción de las ondas al viajar por el aire es debido a que el aire está formado por átomos y moléculas de distintas sustancias, estos materiales pueden absorber las ondas electromagnéticas causando pérdidas por absorción.

Una red por microondas es un tipo de red inalámbrica que utiliza microondas como medio de transmisión, se utiliza el coeficiente de absorción para describir el efecto que produce el material. Para este medio los dos materiales más absorbentes son:

- **Metal:** los electrones pueden moverse libremente en los metales, por lo que los hacen buenos conductores y, por lo tanto, absorben la energía de las ondas que los atraviesan.

- Agua: la atenuación por absorción molecular se debe principalmente a las moléculas de agua y oxígeno. La lluvia puede ser una causa importante de atenuación a frecuencias superiores a 1 GHz.

3.1.2.2. Reflexión y refracción

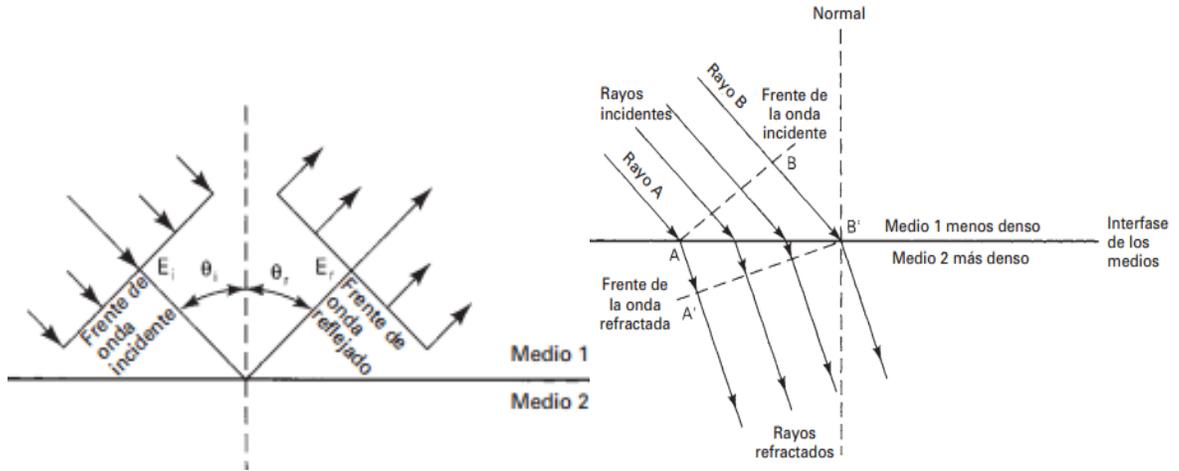
La reflexión ocurre cuando una onda electromagnética incidente choca con algún objeto y algo o toda la potencia incidente no penetra al mismo, sino que se refleja. Debido a que las ondas reflejadas permanecen en el mismo medio que las ondas incidentes, conservan sus velocidades y, por lo tanto, el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia. Para las ondas de radio las principales fuentes de reflexión son el metal y las superficies de agua, haciendo imposible cualquier comunicación inalámbrica.

La refracción electromagnética es el cambio de dirección de un rayo al pasar de un medio a otro de diferente densidad y también cambia de velocidad de propagación. El ángulo de incidencia es el formado entre la onda incidente y la normal, y el ángulo de refracción se forma entre la onda refractada y la normal. El grado de flexión o refracción que hay entre dos materiales de distintas densidades, depende del índice de refracción de cada material. El índice de refracción no es más que la relación de la velocidad de propagación de la luz en el espacio vacío, entre la velocidad de propagación de la luz en determinado material, es decir:

$$n = \frac{c}{v}$$

Donde n es el índice de refracción, que es una medida adimensional; c la velocidad de la luz en el espacio libre y v la velocidad de la luz en determinado material.

Figura 14. Refracción y reflexión de una onda



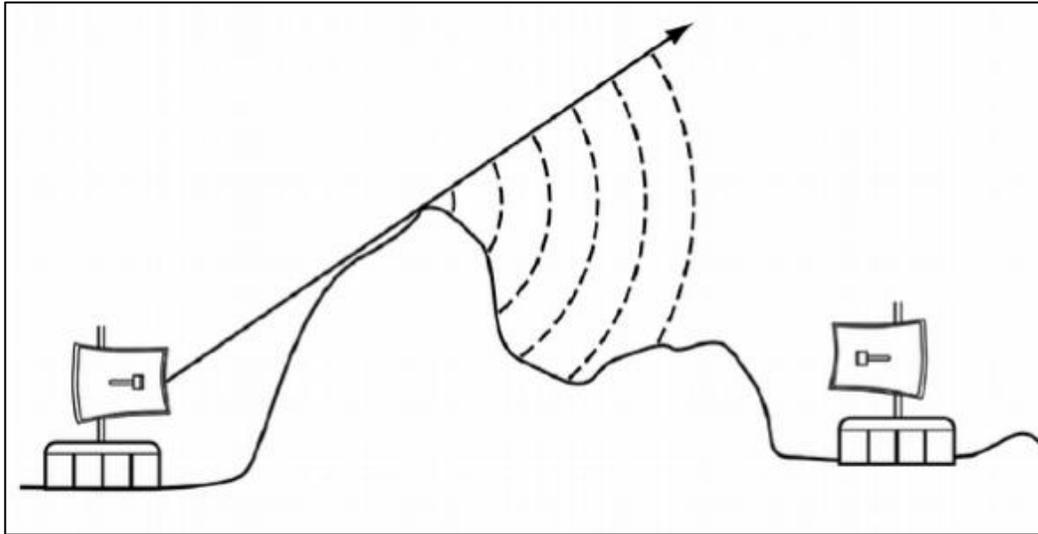
Fuente: TOMASI, Wayne. *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. p. 353.

3.1.2.3. Difracción

La difracción es el comportamiento de las ondas cuando inciden sobre un objeto que tiene irregularidades agudas. Cuando la onda choca contra un obstáculo o borde agudo se generan ondas secundarias que tienen diferentes direcciones dando la impresión de doblarse, hasta incluso rodear los obstáculos.

En la difracción se genera una pérdida de potencia de transmisión, donde la potencia de la onda difractada es significativamente menor que el frente de onda que la provoca. Cuando más baja es la frecuencia, las ondas electromagnéticas se difractan más, pero si la frecuencia es alta, más alta será la pérdida.

Figura 15. **Fenómeno de difracción**



Fuente: BUTLER, Jane. *Redes inalámbricas en los países en desarrollo*. p. 18.

3.1.2.4. **Dispersión**

La dispersión ocurre cuando hay una interacción entre las ondas electromagnéticas y los objetos con dimensiones pequeñas, comparadas a la longitud de onda de la señal, lo que provoca que parte de la energía sea irradiada en numerosas direcciones diferentes. Para el caso de las redes wifi, los objetos dentro de una oficina pueden provocar el fenómeno de dispersión.

Cuando la señal se dispersa, parte de la energía rebota en la tierra y luego alcanza la antena receptora. La señal que rebota o reflejada tiene un espacio más largo para recorrer y por lo tanto un retraso en el tiempo, comparado con la señal que llega directamente, a este efecto se le llama multitrayectoria o dispersión de la señal.

3.2. Parámetros básicos de las antenas

El *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) define una antena como aquella parte de un sistema transmisor o receptor, diseñada especialmente para radiar o recibir ondas electromagnéticas (IEEE Std. 145-1983). Todas las antenas tienen en común ser un transductor entre una zona donde existe una onda electromagnética guiada y una onda en el espacio libre, a la vez que propaga la energía radiada en distintas direcciones del espacio, según la forma de la antena y la aplicación del sistema. La representación de la onda guiada se realiza por voltajes y corrientes (hilos conductores y líneas de transmisión) o por campos (guías de ondas); en el espacio libre, mediante campos.

Las antenas poseen un aspecto importante que es el principio de la reciprocidad, el cual establece que el comportamiento de la antena cuando transmite es igual al comportamiento cuando la antena realiza funciones de recepción. Hemos visto que a partir de las ecuaciones de Maxwell, se pueden obtener las expresiones de los campos que explican el comportamiento de las ondas electromagnéticas, radiadas por una antena, estas expresiones son complejas para ser interpretadas de una manera fácil, por lo que interesa caracterizar una antena con una serie de parámetros que la describan y permitan evaluar el efecto sobre el sistema o bien especificar el comportamiento deseado de una antena para incluirla en el sistema.

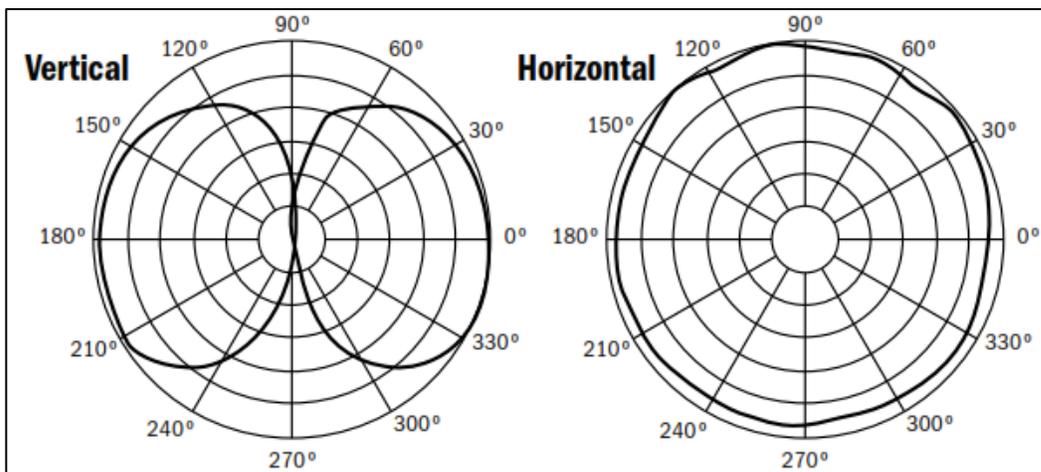
3.2.1. Patrón de radiación

Una antena no emite radiación del mismo modo en todas las direcciones del espacio, sino que depende de su geometría, dimensiones y forma de excitación, para orientar la energía en una determinada dirección en el espacio.

El patrón o diagrama de radiación es una función matemática o una representación gráfica de la potencia radiada, en función de las coordenadas en el espacio, a una distancia fija.

El patrón de radiación es tridimensional, pero para fines prácticos lo que se maneja son dos planos, que representan una porción bidimensional del patrón de radiación, uno que contiene el campo eléctrico y otro que contiene el campo magnético. Estas mediciones son representadas en coordenadas rectangulares, o en coordenadas polares. En la figura 17 se muestran representaciones bidimensionales de los campos radiados por una antena.

Figura 16. **Diagrama de radiación**



Fuente: CARBALLEIRO, Gustavo. *Redes Wi-Fi en entornos Windows*. p. 176.

3.2.2. **Directividad y ganancia**

La directividad es un parámetro de la antena que nos indica la dirección en donde se quiere enfocar la energía de transmisión, o de recibirla en una

dirección en particular. Si en un enlace inalámbrico se quiere hacer una comunicación en un punto fijo, es posible utilizar la directividad para concentrar la transmisión de la radiación en la dirección deseada, pero si el receptor no está en un punto fijo, la antena debería radiar en todas las direcciones del plano horizontal. Se define entonces la directividad como el cociente entre la densidad de potencia radiada en la dirección de máxima radiación de la antena y la densidad de potencia que radiaría una antena de referencia. Se expresa como:

$$D(\phi, \varphi) = \frac{d(\phi, \varphi)}{d_{referencia}}$$

Donde $D(\phi, \varphi)$ es la directividad, $d(\phi, \varphi)$ la densidad de potencia en un punto y $d_{referencia}$ la densidad de potencia de una antena de referencia.

La ganancia de una antena es la cantidad de energía radiada en una dirección, comparada con la energía que podría radiar una antena isotrópica en la misma dirección, alimentada con la misma potencia. La ganancia de potencia se expresa como:

$$G(\phi, \varphi) = \eta D(\phi, \varphi)$$

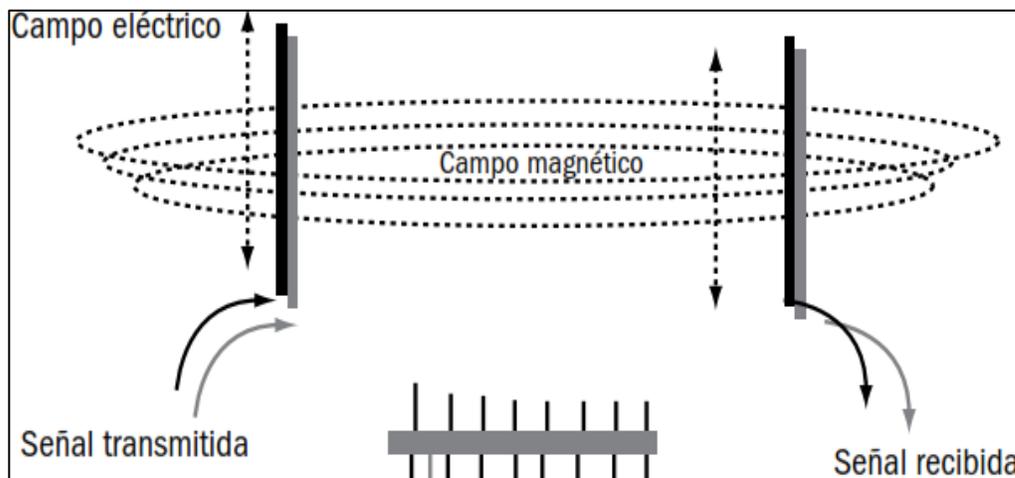
Donde $G(\phi, \varphi)$ es la ganancia, $D(\phi, \varphi)$ es la directividad y η es el factor de eficiencia de la antena, cuyo valor está comprendido entre cero y uno. La eficiencia de la antena es la relación de la potencia total radiada y la potencia total de entrada.

3.2.3. Polarización de la antena

La polarización de una onda se define como la figura geométrica que traza el extremo del vector que representa el campo eléctrico en función del tiempo, en un punto fijo del espacio en el plano perpendicular a la dirección de propagación.

En general, la figura que traza el campo eléctrico es una elipse, y el campo se dice que está polarizado elípticamente. Las polarizaciones lineales y circulares son casos especiales de la elíptica. Si el vector que describe el campo eléctrico en un punto en el espacio se dirige siempre a lo largo de una línea, se dice que está linealmente polarizada. En la polarización circular, el vector de campo eléctrico se tiene que mover a lo largo de una circunferencia, rotando con un movimiento circular hacia la derecha o hacia la izquierda en la dirección de la propagación.

Figura 17. Polarización vertical



Fuente: CARBALLEIRO, Gustavo. *Redes Wi-Fi en entornos Windows*. p. 177.

3.2.4. Impedancia de entrada

Un sistema de comunicación inalámbrica se debe de diseñar de forma que la antena reciba la máxima potencia del transmisor y sea capaz de entregarla al espacio libre, o recoja la mayor cantidad de energía electromagnética y la transfiera sin pérdidas a su salida, cuando la antena actúa como receptora. Por eso, la antena debe estar adaptada a la salida del transmisor y a la entrada del receptor y junto a sus características de elemento radiante, hace que la impedancia de la antena sea un parámetro de importancia en el estudio, diseño y construcción de un sistema de radiocomunicaciones.

La impedancia de entrada de una antena es la relación entre la tensión en sus bornes y la corriente que la atraviesa. Dicha impedancia es en general compleja. La parte real de la impedancia de entrada de la antena es la suma de dos componentes: la resistencia de pérdidas, que es la parte de la energía que se disipa, y la resistencia de radiación, definida como el valor de la resistencia que disiparía óhmicamente la misma potencia que la radiada por la antena.

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} = R_a + jX_a = (R_r + R_\Omega) + jX_a$$

Donde Z_i es la impedancia de la antena en los terminales, R_a es la resistencia y X_a es la reactancia de la antena, R_r es la resistencia de radiación y R_Ω es la resistencia de pérdidas.

3.2.5. Ancho de banda de una antena

Se define como el rango de frecuencias dentro del cual el rendimiento de la antena, con respecto a las características de la misma, está dentro de un

valor aceptable de los de la frecuencia central. Dicha relación se suele expresar en forma de porcentaje.

$$BW = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_o}$$

Donde f_{max} es la frecuencia máxima, f_{min} es la frecuencia mínima, y f_o es la frecuencia central. Para antenas de banda ancha se suelen expresar como la relación entre la frecuencia superior de la banda y la frecuencia inferior.

$$BW = \frac{f_{max}}{f_{min}} : 1$$

3.3. Consideraciones para un radioenlace

Para el diseño de una red inalámbrica en el espacio libre, es necesario tomar ciertos criterios para determinar si un enlace es viable, ya que se debe ser capaz de calcular cuánta potencia se necesita para cruzar cierta distancia, y predecir cómo van a viajar las ondas, para construir redes de comunicación confiables.

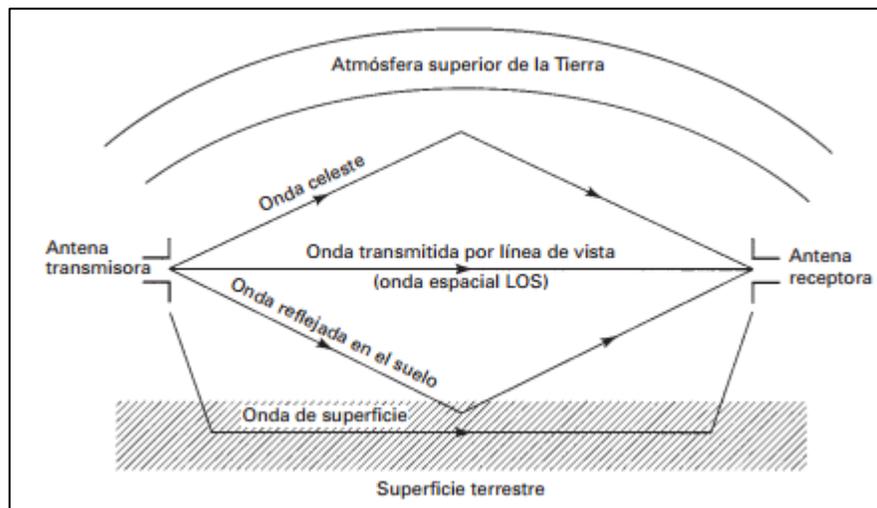
3.3.1. Línea de vista

El concepto de línea de vista (también línea de visión, línea visual), es fácil de entender cuando hablamos acerca de la luz visible: cuando apuntamos un láser hacia un lugar, podremos ver una línea recta, que sería nuestra línea visual y notaremos que el radio del haz aumenta conforme a la distancia, esto se debe a la difracción. Cuando se trata de radioenlaces las cosas son más complejas, porque la propagación de las ondas electromagnéticas depende en parte a la longitud de onda. Las microondas usadas en las redes inalámbricas

tienen una longitud de onda de unos pocos centímetros, por lo tanto, los haces de microondas son más anchos y necesitan más espacio para propagarse.

La línea de vista (*LOS-Line of Sight*, en inglés) se refiere a un camino limpio, sin obstáculos, entre las antenas transmisora y receptora, en la cual las antenas se pueden observar una a la otra. Los sistemas de microondas usan transmisión en línea de vista, esto quiere decir, que debe existir una trayectoria directa de señal entre las antenas de transmisión y de recepción. La propagación directa de las ondas está limitada por la curvatura de la Tierra y no es solo una línea recta, su forma es más bien como un elipsoide. Su ancho puede ser explicado por medio del concepto de zonas de Fresnel. En la figura 19 se puede observar cómo la onda electromagnética tiene una trayectoria directa entre las antenas, mientras que otras ondas tienen trayectorias indirectas y llegan al receptor por reflexión.

Figura 18. **Transmisión en línea de vista**



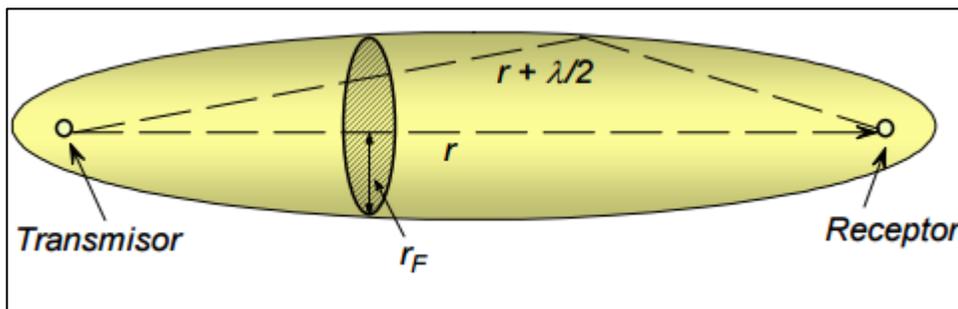
Fuente: TOMASI, Wayne. *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. p. 359.

3.3.2. Zona de Fresnel

Tener línea de vista no es suficiente para poder hacer un radioenlace, ya que hay que tomar un espacio que rodea a la línea de visión directa y que esté libre de obstáculos. La zona de Fresnel se refiere al radio que se debe dejar despejado alrededor de la línea de vista en un enlace de telecomunicación, para que la potencia que alcanza la antena receptora sea máxima y reducir la interferencia causada por la reflexión de la onda en objetos cercanos.

Fresnel hizo un estudio en donde definió una serie de zonas, en donde los obstáculos pueden afectar la onda, pero para fines prácticos es importante calcular por lo menos la primera zona. Esta zona es un elipsoide de revolución cuyos focos son los puntos emisor y receptor, como se ilustra en la figura 20.

Figura 19. Primera zona de Fresnel



Fuente: PEREZ, Constantino. *Sistemas de telecomunicación*. p. 432.

Cuando la trayectoria reflejada de una onda tiene una longitud de onda menor que la mitad de la longitud de onda de la trayectoria directa, las reflexiones se suman a la señal recibida. Por el contrario, cuando la longitud de la trayectoria excede a la de la trayectoria directa en más de la mitad de la

longitud de onda, las contribuciones de las ondas reflejadas afectarán y la potencia recibida disminuirá. Por lo tanto, existen varias zonas de Fresnel, pero nos interesa más la primera zona, porque las contribuciones de la segunda son negativas.

Cuando planeamos enlaces inalámbricos, debemos asegurarnos de que esta zona va estar libre de obstáculos. En la práctica, no es necesario que la primera zona esté completamente despejada; para redes inalámbricas es suficiente con despejar al menos el 60 % del radio de la primera zona de Fresnel. El radio de la primera zona de Fresnel en cualquier punto del trayecto entre el transmisor y el receptor viene dado por:

$$r = 17.31 \sqrt{\frac{d_1 * d_2}{f * d}}$$

Donde r es el radio de la primera zona en metros, d_1 y d_2 son las distancias desde el obstáculo a los extremos del enlace en metros, d es la distancia total del enlace en metros, y f es la frecuencia en MHz.

3.3.3. Pérdida en el espacio libre

El espacio libre es el vacío, por lo que no hay pérdida de energía al propagarse una onda. La pérdida en trayectoria por el espacio libre se define como la pérdida que sufre una onda electromagnética al propagarse en el vacío, sin energías de absorción o reflexión debidas a objetos cercanos. En realidad no se pierde ni se disipa nada de la potencia irradiada, lo que sucede es que la potencia se reparte sobre un frente de onda de área cada vez mayor a medida que se aleja del transmisor, la onda se extiende, o se dispersa, y disminuye la densidad de potencia a determinada distancia de la fuente. Esta

reducción de densidad de potencia con la distancia, equivale a una pérdida de potencia y suele llamarse atenuación de la onda, se presenta tanto en el espacio libre como en la atmósfera terrestre.

La pérdida en trayectoria por el espacio libre es descrita matemáticamente por la ley del cuadrado inverso. Este es un fenómeno puramente geométrico, que ocurre aun en el vacío, donde no hay nada que puede absorber la radiación electromagnética, por lo que es independiente del medio ambiente y solo depende de la distancia y frecuencia de la onda. La ecuación que mide la dispersión de la potencia en un espacio libre sin obstáculos es:

$$L_p = \left(\frac{4\pi Df}{c} \right)^2$$

Donde L_p es la pérdida en el espacio libre, D la distancia en kilómetros, f la frecuencia en hertz y c la velocidad de la luz.

La anterior ecuación expresada en decibeles, cuando la frecuencia se expresa en MHz y la distancia en kilómetros es:

$$L_p(dB) = 32.4 + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log D_{(km)}$$

Es importante calcular este parámetro, porque tal situación se da, por ejemplo, en las comunicaciones con satélites, entre aeronaves, o a distancias cercanas de la tierra, como en los radioenlaces de microondas a frecuencias elevadas. Aunque el espacio libre realmente implica en el vacío, es válido tomar en cuenta este parámetro en una comunicación inalámbrica, porque aparte de que tendremos dispersión de la onda, también incluiremos a nuestros cálculos pérdidas de la señal debido a la atmósfera de la Tierra.

3.3.4. Potencia en un sistema inalámbrico

Para el diseño de una red inalámbrica es indispensable tener conocimientos básicos de los procesos físicos que intervienen en la propagación de las ondas electromagnéticas y el papel que juegan las antenas, conceptos explicados en las secciones anteriores. Unir todos estos parámetros conduce al cálculo del presupuesto de potencia o del enlace.

El presupuesto de potencia es el cálculo de ganancias y pérdidas desde el radio transmisor a través de los cables, conectores y espacio libre hacia el receptor. La estimación del valor de potencia es una manera de cuantificar si un enlace es viable, este cálculo es necesario para mejorar el diseño de la red y elegir el equipo adecuado.

Los elementos de un radioenlace pueden ser divididos en tres partes:

- Lado de transmisión: donde se toma en cuenta la potencia de transmisión, pérdidas en el cable, pérdidas en los conectores y ganancia de la antena.
- Lado de propagación: la pérdida en el espacio libre y la zona de Fresnel son temas importantes para calcular las pérdidas por trayectoria.
- Lado receptor: los parámetros a tomar en cuenta en el lado de receptor son la ganancia de la antena, las pérdidas en el cable y conectores y la sensibilidad del receptor.

La pérdida en el espacio libre es el que existe cuando la trayectoria de la señal entre el transmisor y el receptor está completamente libre de obstáculos o existe línea de vista, con despeje de al menos el 60 % de la primera zona de Fresnel. Cuando hay obstrucción de la primera zona de Fresnel se tiene

pérdidas adicionales que deben incluirse a la pérdida en el espacio libre, para calcular las pérdidas totales en la trayectoria. Un presupuesto de potencia es entonces la suma de todos los aportes (en decibels) en la trayectoria de las tres partes de un enlace inalámbrico. Al sumar todas las ganancias y restar todas las pérdidas tenemos:

$$\begin{array}{ll} TX \text{ Potencia} & \text{Radio 1} \\ +Ganancia \text{ de antena} & \text{Radio 1} \\ -Pérdida \text{ en cables} & \text{Radio 1} \\ +Ganancia \text{ de antena} & \text{Radio 2} \\ -Pérdida \text{ cables} & \text{Radio 2} \\ = Ganancia \text{ total} & \end{array}$$

Al restar la Pérdida en la trayectoria de la Ganancia total:

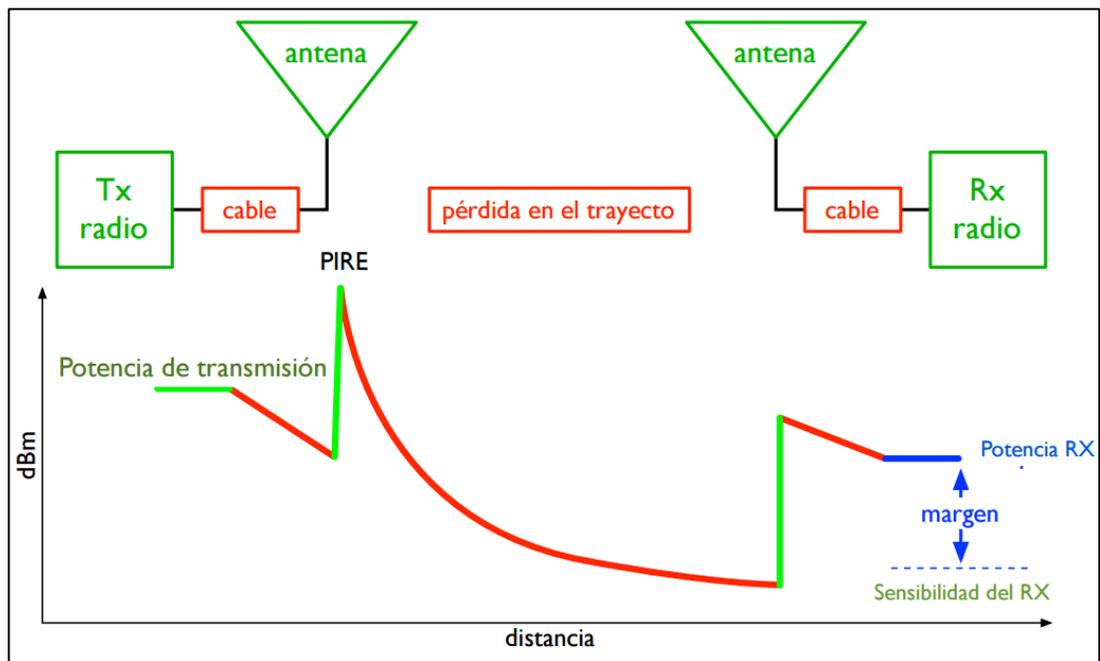
$$Ganancia \text{ total} - Pérdida \text{ en la trayectoria} = Nivel \text{ de señal en el receptor}$$

Si el nivel de la señal en el receptor es mayor que la sensibilidad del receptor, entonces el enlace es posible, pero no seguro, porque puede existir una variación de pérdida en la trayectoria por factores externos. Por eso debemos de considerar un margen por encima de la sensibilidad del receptor, para garantizar un enlace de radio estable y de alta calidad.

La diferencia entre el nivel de la señal recibida y la sensibilidad del receptor es el margen del enlace. Un margen de 10 a 15 dB se considera aceptable, para permitir que el enlace sea viable y estable por perturbaciones atmosféricas que causan atenuaciones.

La figura 21 muestra las tres partes de un radioenlace y el nivel de potencia a lo largo de la trayectoria en un radioenlace.

Figura 20. **Potencia en un sistema inalámbrico**



Fuente: BUTLER, Jane. *Redes inalámbricas en los países en desarrollo*. p. 185.

4. DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA

Para el diseño de una red inalámbrica de área local es necesario realizar un estudio de sitio del lugar, conocer los requerimientos y problemas de comunicación del sistema actual, con el fin de elegir la arquitectura de red inalámbrica favorable para la integración de la red diseñada con las redes cableadas instaladas con anterioridad. El rendimiento de la red inalámbrica también dependerá de la infraestructura de red cableada que está disponible en el lugar.

En este capítulo se realiza el diseño de la red inalámbrica de área local adecuada para la Unidad Académica (17) de la Universidad de San Carlos de Guatemala; se describen los tipos de arquitectura de una red inalámbrica, la topología física elegida, la selección de los medios de comunicación, así como su configuración, el área de cobertura de la señal en las instalaciones, el ejemplo del cálculo de un radioenlace viable, y el presupuesto del diseño de la red inalámbrica.

4.1. Descripción de la arquitectura de la red inalámbrica

La estructura que hace posible la interconexión de los equipos está descrita por la arquitectura de la red. La topología o arquitectura de la red se describe de dos formas: física y lógica. La topología física se refiere a la configuración de dispositivos inalámbricos, antenas, cables y todo lo que hace posible la interconexión de una red. En otras palabras, como se va a organizar el equipo de la red de forma que se pueda contactar con los clientes inalámbricos. La topología lógica hace referencia al método que se va a utilizar

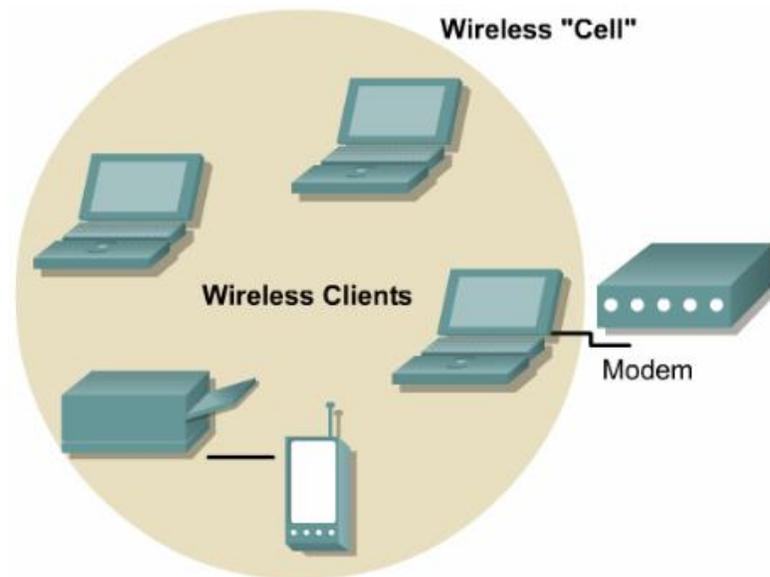
para que se comuniquen los dispositivos y al flujo de la información transmitida entre nodos.

El conjunto de estándares 802.11 contempla tres topologías básicas o configuraciones distintas; estas definen la disposición lógica o física de una red inalámbrica.

4.1.1. Topología de infraestructura básica independiente (IBSS)

El conjunto de servicios básicos independientes (IBSS) es el tipo más básico de LAN IEEE 802.11, es una configuración en la cual los clientes inalámbricos pueden establecer una comunicación directa, sin necesidad de que existan Puntos de Acceso; a menudo se le denomina *red ad hoc*. Cada cliente debe configurar su adaptador inalámbrico en modo *ad hoc*, usar el mismo SSID y número de canal de la red. Es importante no tener en la red muchos dispositivos inalámbricos para evitar bajar el rendimiento. Esta topología puede utilizarse en el área administrativa o una oficina para compartir archivos, pero tiene como limitación la cobertura, ya que todos los dispositivos no se tienen que salir del rango de conexión y también, para comunicarse fuera de esta red, una de las estaciones debe actuar como puerta de enlace predeterminada o enrutador. Entre las ventajas de este tipo de topología es que funciona como una red independiente, por lo tanto lo hace flexible para incluir nuevos nodos a la red, pero su velocidad es lenta, por eso no soporta muchos usuarios, además de tener poco alcance. En la figura 22 se muestra un ejemplo de este tipo de topología inalámbrica.

Figura 21. **Topología IBSS**



Fuente: Cisco Systems Inc. *Fundamentos de redes inalámbricas*. p. 112.

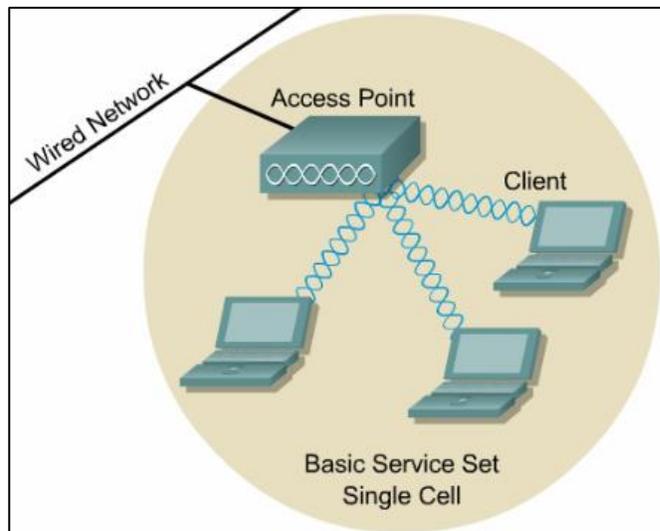
4.1.2. **Topología de Infraestructura Básica (BSS)**

El conjunto de servicios básicos (BSS) es aquella topología que extiende una red LAN cableada, para incorporar clientes inalámbricos mediante una estación base, denominada Punto de Acceso. En el modo infraestructura, el Punto de Acceso es el nodo central, este sirve para coordinar la transmisión y recepción de dispositivos inalámbricos dentro de una extensión específica o célula, que dependerá del estándar de conexión inalámbrica que se utilice. Para establecerse la comunicación, se debe configurar en el Punto de Acceso el nombre de la red o SSID, de esta manera los dispositivos sabrán que pertenecen a la misma red.

Entre las ventajas de este tipo de topología es que la cobertura es mayor que la topología IBSS, intercambian información con mayor velocidad, tiene

más capacidad de usuarios, pero tiene como desventaja que la red es dependiente del nodo central; en otras palabras, si el Punto de Acceso cae, todos los clientes inalámbricos no van a poder acceder a la red fija, la cual está conectada a la estación base. En la figura 23 se muestra un ejemplo de este tipo de topología inalámbrica.

Figura 22. **Topología BSS**



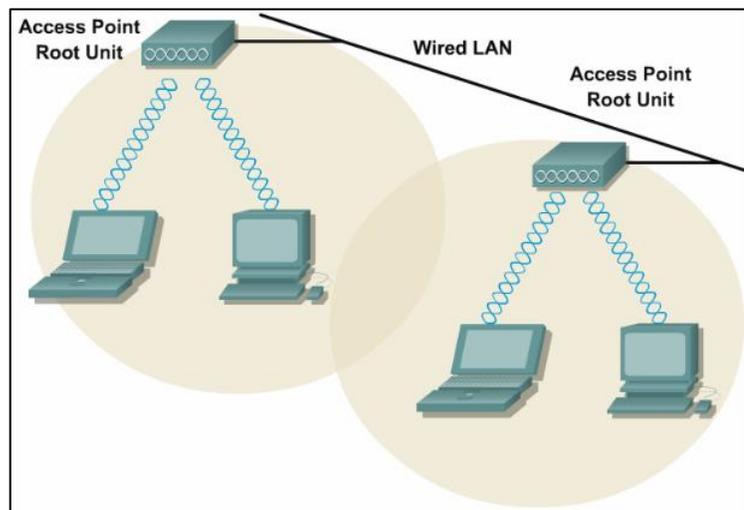
Fuente: Cisco Systems Inc. *Fundamentos de redes inalámbricas*. p. 112.

4.1.3. **Topología de infraestructura extendida (ESS)**

Un conjunto de servicios extendidos (ESS) es una topología que permite unir distintos Puntos de Acceso para crear una red inalámbrica. Una red ESS permite extender el área de cobertura de una red local inalámbrica disponiendo de múltiples redes BSS. Los distintos Puntos de Acceso se interconectan entre sí a un sistema de distribución, generalmente Ethernet, aunque también puede ser vía inalámbrica.

Para que funcione una red ESS es necesario configurar los Puntos de Acceso como miembros de una misma red, conectando cada uno a la red principal que brinda diferentes servicios, cada red BSS se le asigna un nombre, pero estarán conectados al mismo sistema de distribución, aunque funcionando en distintos canales de radio, para evitar interferencias y atenuaciones por tener el mismo canal de comunicación. Las redes BSS se pueden poner pegadas para conseguir un área de cobertura más extensa, dándole continuidad de servicio a la red de área local existente. La figura 24 muestra un ejemplo de una topología en modo ESS.

Figura 23. **Topología de Infraestructura Extendida**



Fuente: Cisco Systems Inc. *Fundamentos de redes inalámbricas*. p. 58.

4.2. Selección de los medios de comunicación

Una red inalámbrica está conformada por varios dispositivos que son necesarios para que los clientes inalámbricos puedan comunicarse entre sí y también puedan tener acceso a los servicios que ofrece la red cableada.

Aunque los componentes utilizados varían según los requerimientos que se necesitan, toda instalación consta de estas partes:

- Una red conectada a un conmutador o enrutador.
- Un dispositivo que conecta esa red a un dispositivo inalámbrico (un enrutador inalámbrico, Punto de Acceso o un repetidor).
- Una antena apropiada para el tipo de enlace que se requiere con el cliente inalámbrico.
- Componentes eléctricos constituidos por fuentes de alimentación, adaptadores, latiguillos, cables, conectores, protectores contra rayos, entre otros.

Es importante seleccionar correctamente los dispositivos que formarán parte de la red inalámbrica. Esto dependerá de las necesidades de la red, el presupuesto, y que el diseño sea viable utilizando el equipo seleccionado y los recursos disponibles.

4.2.1. Punto de Acceso

Es el punto central de una red inalámbrica, el dispositivo encargado de conectar los usuarios inalámbricos a los servicios prestados por la red principal. Los dispositivos deben ser capaces de soportar el estándar IEEE 802.11, brindar protocolos de seguridad, ser de fácil instalación y administración. Para nuestro diseño se consideran los siguientes Puntos de Acceso.

4.2.1.1. DWL-2000AP+

Es un Punto de Acceso inalámbrico perteneciente a la línea *AirPlus XtremeG+* de *D-Link*, compatible con el estándar 802.11b y 802.11g, con una

velocidad de transmisión de 54 Mbps, puede ser configurado para funcionar en cuatro modos: Punto de Acceso inalámbrico, puente inalámbrico, puente inalámbrico punto a punto y cliente inalámbrico. La antena incorporada es desmontable con 2 dBi de ganancia. El alcance máximo de conexión para interiores es de 100 metros y para exteriores es de 400 metros a línea de vista. Todas las especificaciones técnicas se encuentran en la sección de Anexos. En la figura 25 se muestra el equipo DWL-2000AP+.

Figura 24. **Punto de Acceso inalámbrico DWL-2000AP+**



Fuente: *DWL-G700AP D-Link AirPlus G*.

<https://dlink-manuals.org/dlink-dwl-2000ap+-datasheet/1>. Consulta: julio de 2016.

4.2.1.2. Linksys WAP300N

Es un dispositivo que funciona con el estándar 802.11n, con posibilidad de doble banda seleccionable, alcanza una tasa de transmisión de datos de 300 Mbps en la banda de 2,4 GHz y hasta 300 Mbps en la banda de 5 GHz, gracias

a sus dos antenas desmontables en configuración MIMO 2T2R. Este Punto de Acceso también tiene un puerto *Fast Ethernet* para tener conectividad cableada y funciona en cuatro modos de operación. El rendimiento inalámbrico de este Punto de Acceso es notable en la banda de 2,4 GHz, por lo que ofrece una excelente estabilidad en las conexiones. También es compatible con la banda de 5 GHz, aunque el rango de cobertura se reduce en esta frecuencia, pero la interferencia es menor debido a redes inalámbricas adyacentes. En la figura 26 se muestra el Punto de Acceso Linksys WAP300N.

Figura 25. **Linksys WAP300N**



Fuente: *Punto de acceso inalámbrico de doble banda N300 Linksys WAP300N.*

<http://www.linksys.com/gt/p/P-WAP300N/>. Consulta: julio de 2016.

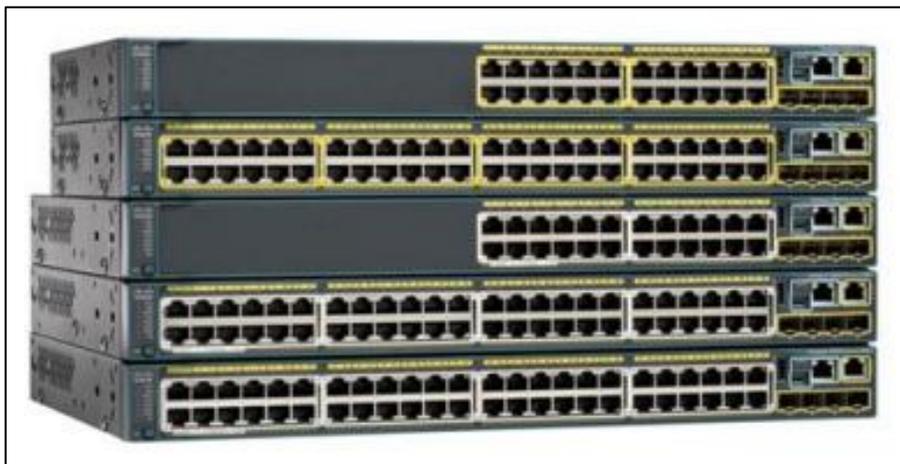
4.2.2. Conmutadores

Su función principal es conectar dos o más segmentos de red, para el diseño se consideran los siguientes dispositivos.

4.2.2.1. Conmutadores *Cisco Catalyst 2960*

Los conmutadores de la serie *Catalyst 2960* ofrecen conectividad de red para empresas y aplicaciones de *campus*, brindan 24 o 48 puertos *Gigabit Ethernet*, cada puerto consigue una capacidad de transmisión de 1 Gbps, compatibilidad con PoE (*Power over Ethernet*, en inglés) y cuatro enlaces de subida SFP (*Small Form-Factor Pluggable*, en inglés) de 1 Gbps. Proporcionan una serie de características de seguridad para limitar el acceso a la red y prevenir las amenazas. En la figura 27 se muestra este dispositivo.

Figura 26. **Switch Cisco Catalyst 2960S-24PS-L**



Fuente: *Cisco Catalyst 2960-S Series Switches Data Sheet*.

http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-2960-s-series-switches/data_sheet_c78-726680.pdf. Consulta: julio de 2016.

4.2.2.2. **Switches Catalyst 3560**

Es una línea de conmutadores de alto rendimiento, de fácil administración, y eficiencia energética, ofrece características innovadoras tales como, Cisco

EnergyWise, que es una tecnología que permite el monitoreo, presentación de informes y administración del consumo de energía. Son dispositivos que además de las funciones de conmutación de capa 2 incorporan algunas funciones de enrutamiento, por ejemplo: soporte para redes virtuales (VLAN, por sus siglas en inglés), según el modelo posibilita la comunicación entre diversas VLAN sin la necesidad de utilizar un enrutador externo. La velocidad de transferencia de datos en cada puerto es de 1 Gbps, contiene ranuras para SFP; ofrece compatibilidad de alimentación mediante PoE, soporte para Listas de Control de Acceso (ACL, por sus siglas en inglés) y muchas características más.

Figura 27. **Switches Catalyst 3560**



Fuente: *Cisco Catalyst 3560 v2 Series Switches*.

http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-3560-series-switches/data_sheet_c78-530976.pdf. Consulta: julio de 2016.

4.2.3. Enrutadores

Para el diseño de la red inalámbrica es importante elegir correctamente el dispositivo que se encargue de las funciones en la capa de red. Se consideran los siguientes enrutadores.

4.2.3.1. Router Cisco 1841

Es un dispositivo activo de capa 3 diseñado para la conectividad de datos segura y entrega de alta calidad de servicios múltiples. Los modelos de enrutadores Cisco 1841 admiten tarjetas de interfaz WAN (WIC), tarjetas de interfaz WAN de ancho simple y alta velocidad (HWIC), tarjetas de voz/WAN (VWIC) en modo de sólo de datos y módulos de integración avanzada (AIM). Este dispositivo dispone de dos ranuras WIC/VWIC/HWIC, posee dos puertos *Fast Ethernet*, un puerto de consola, un puerto auxiliar, un puerto USB para adaptar periféricos, entre otros servicios..

Figura 28. Enrutador Cisco 1841



Fuente: *Cisco 1841 Router - Andover CG Home.*

<http://www.andovercrg.com/datasheets/cisco-1841-router.pdf>. Consulta: julio de 2016.

4.2.3.2. Router Cisco 2901

El enrutador Cisco 2901, está diseñado para garantizar la funcionalidad futura de la red, ya que proporciona datos de alta seguridad, brinda conectividad de alto rendimiento, ofrece aplicaciones virtualizadas, soporte para procesadores digitales de señales (DSP) con capacidad de voz y video, procesamiento de llamadas, correo de voz, cuenta con varias ranuras diseñadas para incorporar módulos de conectividad y servicios de aplicaciones de alta potencia, conmutación Gigabit Ethernet con alimentación por PoE mejorada, servicios de monitoreo y control de energía. También admite la más amplia variedad de opciones de conectividad cableada e inalámbrica.

Figura 29. Enrutador Cisco 2901



Fuente: Router Cisco 2901. http://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/assets/docs/pdf/2900_data_sheet_c78_553896.pdf. Consulta: julio de 2016.

4.2.4. Antenas

El alcance de la señal en las conexiones inalámbricas dependen principalmente del protocolo de red 802.11, el nivel de potencia del Punto de Acceso, la antena conectada a el, la sensibilidad del dispositivo receptor y el terreno que lo rodea. El parámetro más determinante a la hora de la elección de una antena es su ganancia, teniendo presente el diagrama de radiación, el cual indica cómo se esparcirá la señal en el entorno. Si lo que se necesita es una conexión en áreas con una alta densidad de usuarios, se recomienda usar antenas omnidireccionales o sectoriales; si el enlace es de larga distancia se utilizan antenas direccionales, este tipo de antenas envían la información en una dirección determinada, por lo cual su alcance es mayor, pero su cobertura se ve reducida. Para el diseño de la red inalámbrica se eligen antenas omnidireccionales y sectoriales, por el tipo de conexión que necesitan los clientes inalámbricos; por lo tanto, se toman en cuenta los siguientes modelos de antenas.

4.2.4.1. Antena Omnidireccional HG2415U-PRO

Diseñada para proporcionar una mayor cobertura para redes 802.11b/g/n, compatible con la frecuencia de 2,4 GHz y con una ganancia de 15 dBi. Esta antena omnidireccional para exteriores de la marca Hyperlink, da señal inalámbrica en todas las direcciones del plano horizontal y en el plano vertical el ancho de haz es de 8°. El conector presente en la antena es de tipo N hembra y el material con el que ha sido fabricado es capaz de resistir duras condiciones climáticas, incluye un kit de montaje que permite posicionar la antena para que se pueda aprovechar las características omnidireccionales de la misma.

Figura 30. **Antena *Hyperlink* modelo L-com HG2415U-PRO**



Fuente: *NEMA Weatherproof Enclosure - L-com.*

http://www.l-com.com/multimedia/datasheets/DS_HG2415U-PRO.PDF. Consulta: julio de 2016.

4.2.4.2. Antena panel *Hyperlink* HG2409P

Esta antena compacta proporciona una ganancia de 8 dBi con un ancho de onda de 75° compatible con todas las marcas de Puntos de Acceso con tecnología inalámbrica 802.11b/g/n. Es adecuada tanto para aplicaciones en interiores y exteriores en la banda de 2,4 GHz. Esta antena puede ser polarizada horizontalmente o verticalmente, ideal para uso en áreas susceptibles a interferencia, por lo que se puede lograr una mejor recepción de

la señal inalámbrica. La antena con un diseño liviano ofrece una cubierta durable, con un *pigtail* de 30 cm integrado, que permite ser montada en techos y paredes.

Figura 31. **Antena sectorial *Hyperlink* modelo HG2409P**



Fuente: *Antena sectorial Hyperlink modelo HG2409P*.

<http://www.napoliwireless.net/specs/hg2409p.pdf>. Consulta: julio de 2016.

Para los enrutadores y encaminadores se toman como parámetros el factor económico, las dimensiones de la red, rendimiento, seguridad y que todos los dispositivos deben ser compatibles entre ellos, por lo que la plataforma de la marca Cisco se ajusta a estos requerimientos. Los Puntos de Acceso y las antenas elegidas son de la marca Hyperlink y D-Link, dispositivos que cumplen con los requisitos para el diseño de la red inalámbrica basados en el estándar 802.11.

Los equipos seleccionados son:

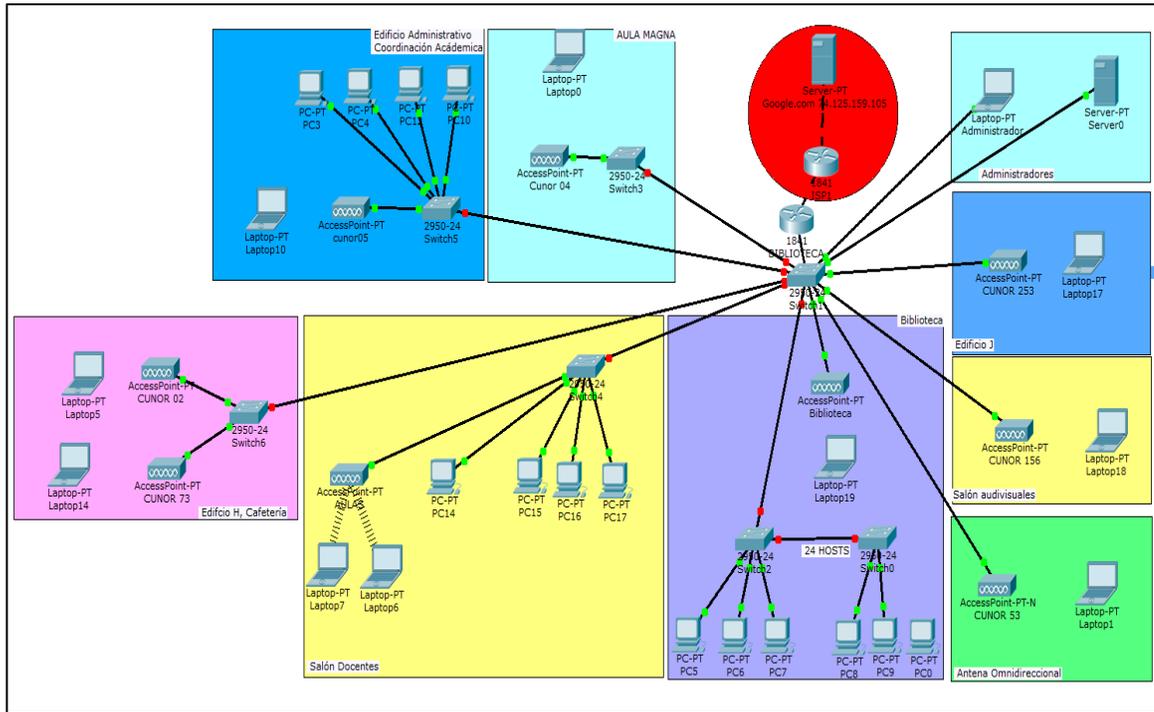
- Conmutador Cisco Catalyst WS-C2960S+24TS-S
- Enrutador Cisco 1841-T1SEC/K9
- Punto de Acceso DWL-2000AP+
- Antena Omnidireccional Hyperlink HG2415U-PRO
- Antena sectorial Hyperlink HG2409P

4.3. Diseño Lógico

Las redes inalámbricas deben permitir una administración de forma centralizada, es decir, todos los dispositivos inalámbricos deben de estar conectados a un dispositivo central. Para el diseño se usará un conmutador gestionado para segmentar la red, creando grupos particulares de usuarios por medio de redes virtuales (VLANs). Una VLAN es una red conmutada que está segmentada en forma lógica, se utiliza para configurar la red a través de *software* en lugar de hacerlo físicamente, de esta manera los administradores pueden responder de una manera más rápida para la reconfiguración o problemas en la red. Las VLANs proporcionan servicios de segmentación, seguridad y administración, definiendo perfiles de acceso que permiten un manejo eficiente en el uso del ancho de banda disponible.

En la figura 33 se propone el diseño de la red inalámbrica integrado junto con la red actual, por lo que es necesario configurar VLANs en el conmutador para crear grupos de usuarios, uno grupo será destinado para docentes y personal administrativo, otro para usuarios que tienen acceso a la administración de la red, y también un grupo compuesto por todos los dispositivos alámbricos e inalámbricos que deseen tener un servicio gratuito de Internet.

Figura 32. **Propuesta de diseño WLAN para la Unidad Académica (17) de la USAC**



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Cisco Packet Tracer.

Se creará una VLAN para cada departamento, cada VLAN será una red que tendrá conexión al enrutador.

Tabla IX. **Direccionamiento y conexión de las VLANs**

Nombre	VLAN	Red
ADMINISTRADOR	10	192.168.80.0/24
DOCENTE	20	192.168.20.0/24
INVITADO	30	192.168.30.0/24

Fuente: elaboración propia.

El conmutador principal tendrá la siguiente asignación de puertos:

Tabla X. **Asignación de puertos**

Puertos	Modo	VLAN
Del 1 al 5	Acceso	VLAN 10
Del 6 al 10	Acceso	VLAN 20
Del 11 al 18	Acceso	VLAN 30
Del 19 al 23	Acceso	Libres VLAN 1 (predeterminada)
24	Troncal	Todas

Fuente: elaboración propia.

A continuación se muestran las instrucciones usadas para la configuración básica del conmutador:

```
Switch>enable
Switch#configure terminal
Switch(config)#hostname SW1CUNOR
SW1CUNOR(config)#enable password cisco
SW1CUNOR(config)#enable secret cisco
SW1CUNOR(config)#line console 0
SW1CUNOR(config-line)#password cisco
SW1CUNOR(config-line)#login
SW1CUNOR(config-line)#exit
SW1CUNOR(config)#line vty 0 15
SW1CUNOR(config-line)#password cisco
SW1CUNOR(config-line)#login
SW1CUNOR(config-line)#exit
SW1CUNOR(config)#interface vlan 1
SW1CUNOR(config-if)#ip add 192.168.2.2 255.255.255.0 ;direciondministraSW
```

```
SW1CUNOR(config-if)#no shutdown
SW1CUNOR(config-if)#exit
SW1CUNOR(config)#ip default-gateway 192.168.2.1
SW1CUNOR(config)#service password-encryption
SW1CUNOR(config)#vlan 10
SW1CUNOR(config-vlan)#name ADMINISTRADOR
SW1CUNOR(config-vlan)#vlan 20
SW1CUNOR(config-vlan)#name DOCENTE
SW1CUNOR(config-vlan)#vlan 30
SW1CUNOR(config-vlan)#name INVITADO
SW1CUNOR(config)#interface range fa 0/1-5
SW1CUNOR(config-if)#switchport mode access
SW1CUNOR(config-if)#switchport access vlan 10
SW1CUNOR(config)#interface range fa 0/6-10
SW1CUNOR(config-if)#switchport mode access
SW1CUNOR(config-if)#switchport access vlan 20
SW1CUNOR(config)#interface range fa 0/11-18
SW1CUNOR(config-if)#switchport mode access
SW1CUNOR(config-if)#switchport access vlan 30
SW1CUNOR(config)#interface fa 0/24
SW1CUNOR(config-if)#switchport mode trunk
SW1CUNOR(config-if)#switchport nonegotiate
SW1CUNOR(config-if)#exit
SW1CUNOR#write memory
```

Utilizando VLANs se ha conseguido separar lógicamente a los usuarios, es decir, los grupos están divididos en diferentes redes, a pesar de compartir la misma infraestructura de capa 2, pero se necesita un dispositivo de capa 3 que permita establecer la comunicación entre ellas. Con el enrutador podemos

hacer esto, con el uso de interfaces virtuales establecemos el tipo de encapsulación del tráfico que recibirán, así como el identificador y una dirección IP dentro del rango asignado a su respectiva VLAN, de esta manera las VLANs se pueden comunicar por un troncal entre el *switch* y el *router*. Los servicios que prestan los grupos de usuarios son distintos, por eso es importante filtrar cierto tipo de tráfico para permitir o denegarlos, para ello se configuran Listas de Control de Acceso que nos permiten identificar y etiquetar diferentes factores según el criterio encontrado en el encabezado del paquete. A continuación se muestran las sentencias usadas para la configuración básica del enrutador:

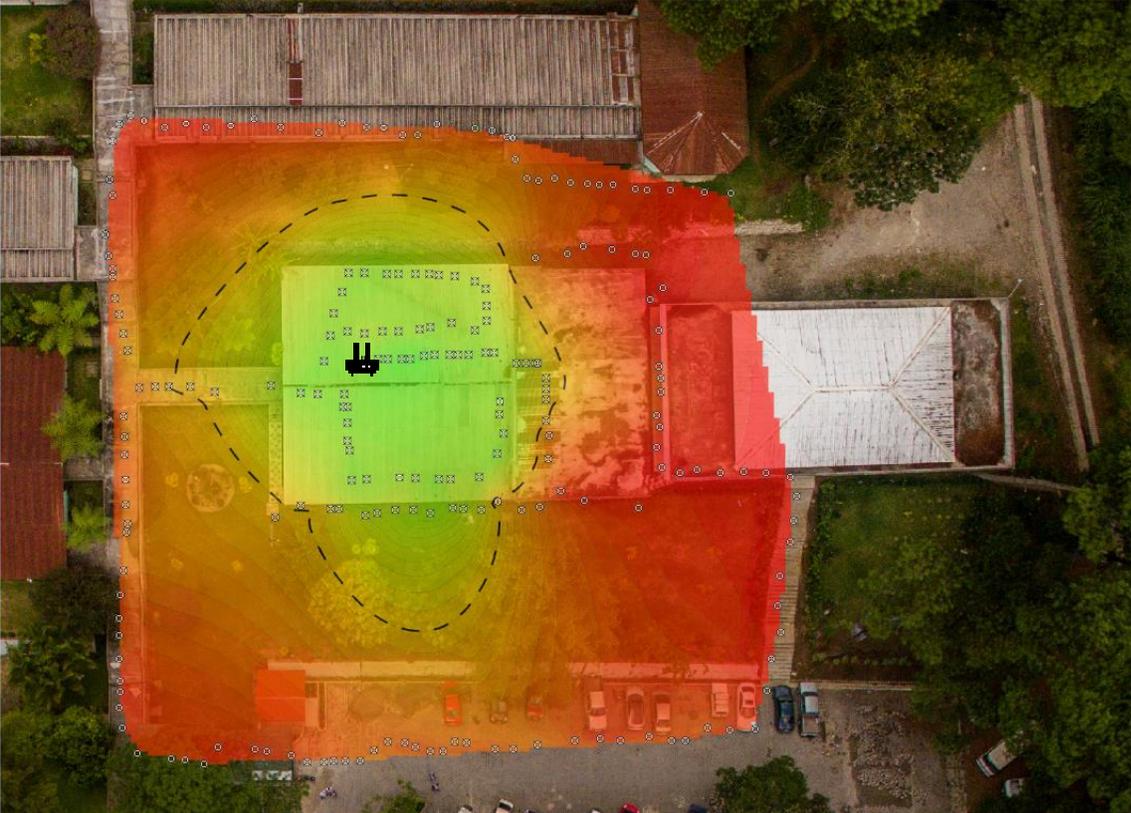
```
Router>enable
Router#configure terminal
Router(config)#hostname R1CUNOR
R1CUNOR(config)#enable password cisco
R1CUNOR(config)#enable secret cisco
R1CUNOR(config)#line console 0
R1CUNOR(config-line)#password cisco
R1CUNOR(config-line)#login
R1CUNOR(config-line)#exit
R1CUNOR(config)#line vty 0 4
R1CUNOR(config-line)#password cisco
R1CUNOR(config-line)#login
R1CUNOR(config-line)#exit
R1CUNOR(config)#interface fa 0/0
R1CUNOR(config-if)#no shutdown
R1CUNOR(config-if)#interface fa 0/0.10
R1CUNOR(config-subif)#encapsulation dot1q 10
R1CUNOR(config-subif)#ip address 192.168.80.1 255.255.255.0
R1CUNOR(config-subif)#interface fa 0/0.20
```

```
R1CUNOR(config-subif)#encapsulation dot1q 20
R1CUNOR(config-subif)#ip address 192.168.20.1 255.255.255.0
R1CUNOR(config-subif)#interface fa 0/0.30
R1CUNOR(config-subif)#encapsulation dot1q 30
R1CUNOR(config-subif)#ip address 192.168.30.1 255.255.255.0
R1CUNOR(config-subif)#exit
R1CUNOR(config)#access-list 101 deny ip 192.168.30.0 0.0.0.255 192.168.80.0
0.0.0.255
R1CUNOR(config)#access-list 101 permit ip any any
R1CUNOR(config)#interface fa 0/0
R1CUNOR(config-if)#ip access-group 101 in
R1CUNOR(config-if)#exit
R1CUNOR#write memory
```

4.4. Área de cobertura de las redes inalámbricas

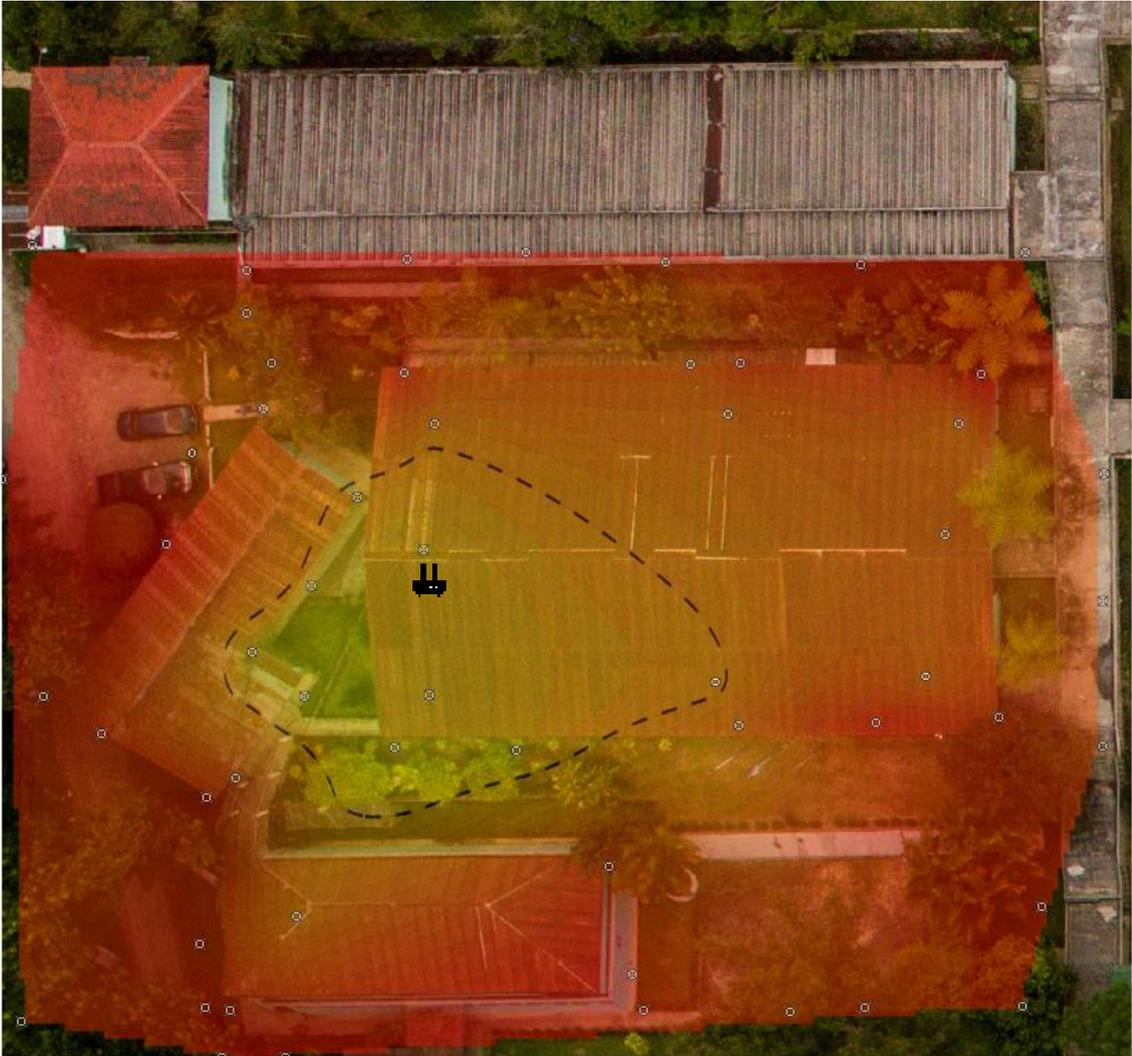
El estudio del sitio (*site survey*, en inglés) es un procedimiento que se realiza previo a la instalación de una red inalámbrica, con el fin de determinar el lugar adecuado para instalar los Puntos de Acceso y detectar las zonas sin cobertura. Haciendo uso del software wifi *Coverage Mapper*, se muestran los resultados de las áreas cubiertas por las redes inalámbricas. Los mapas de calor indican la cobertura e intensidad de la señal inalámbrica.

Figura 33. Cobertura Edificio Recursos Educativos (SSID BIBLIOTECA)



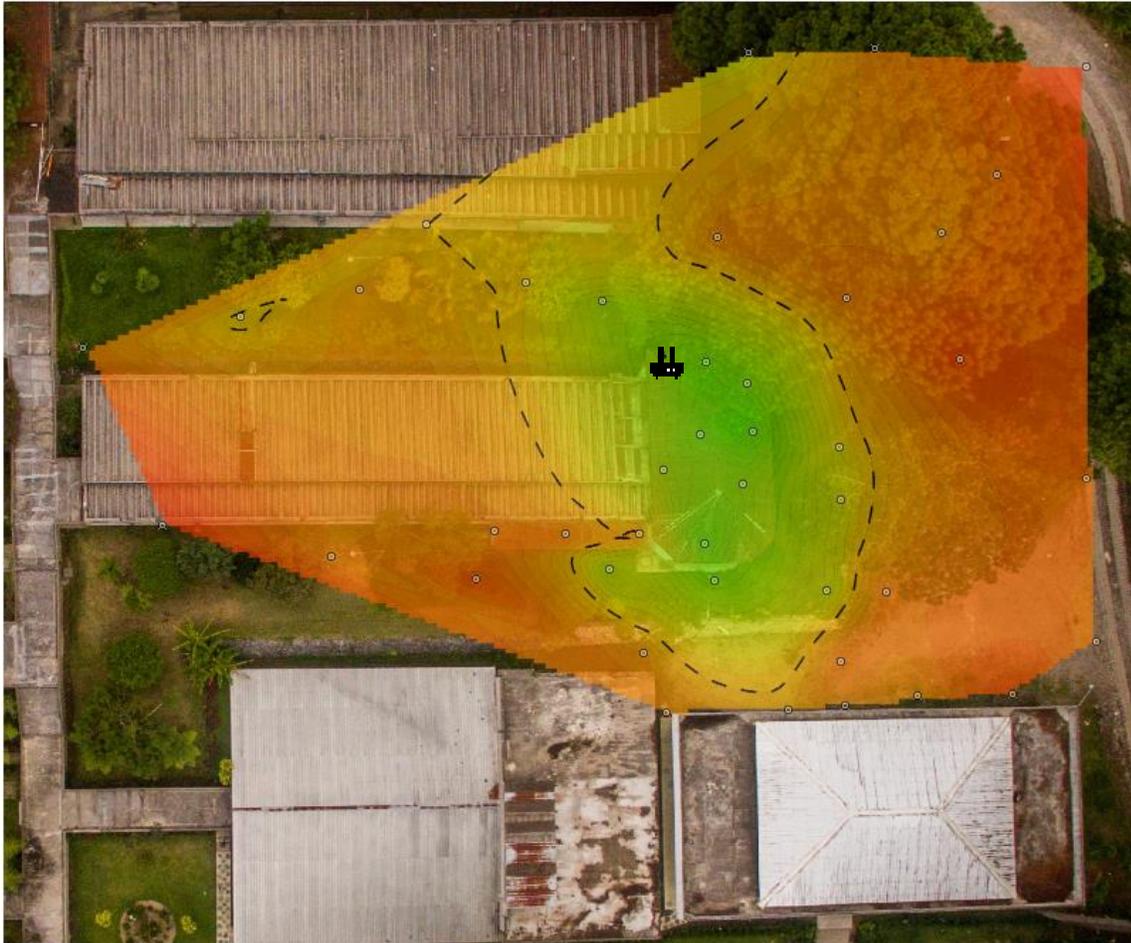
Fuente: elaboración propia, utilizando el programa wifi Coverage Mapper.

Figura 34. Cobertura Aula Magna (SSID cunor04)



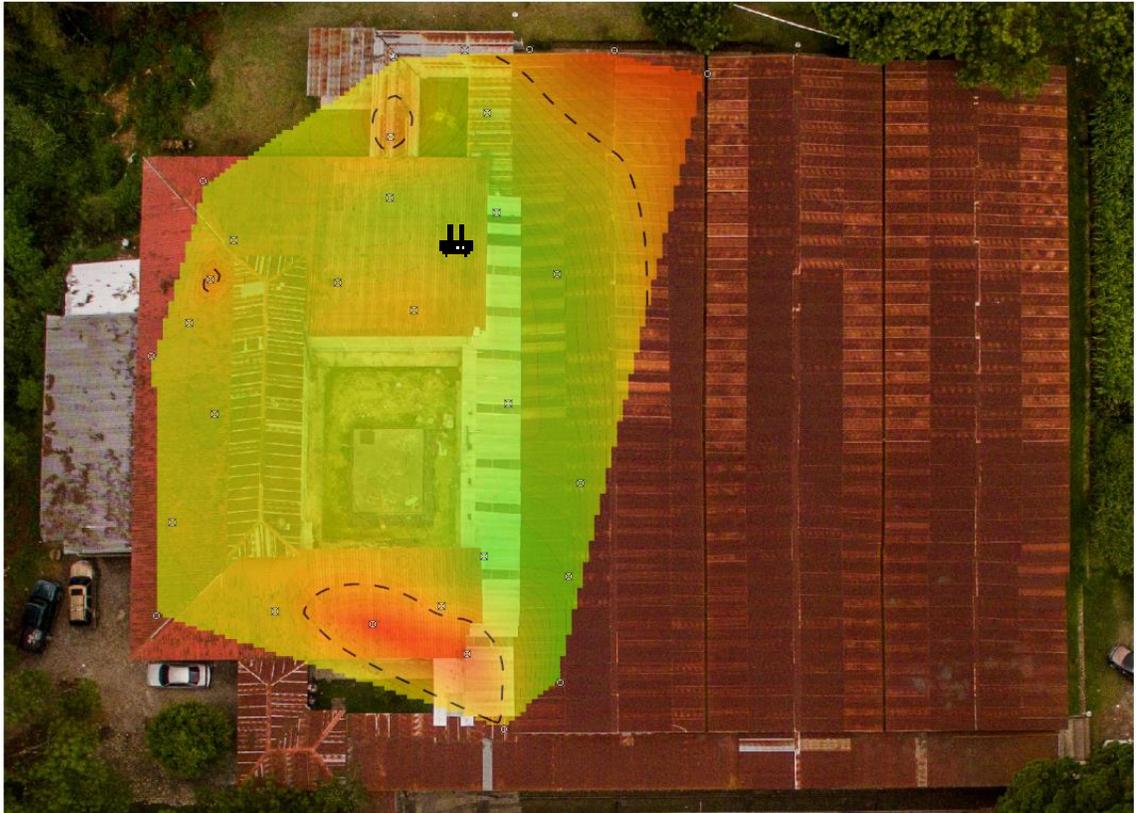
Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Wifi Coverage Mapper.

Figura 35. Cobertura Salón de Proyecciones (SSID cunor156)



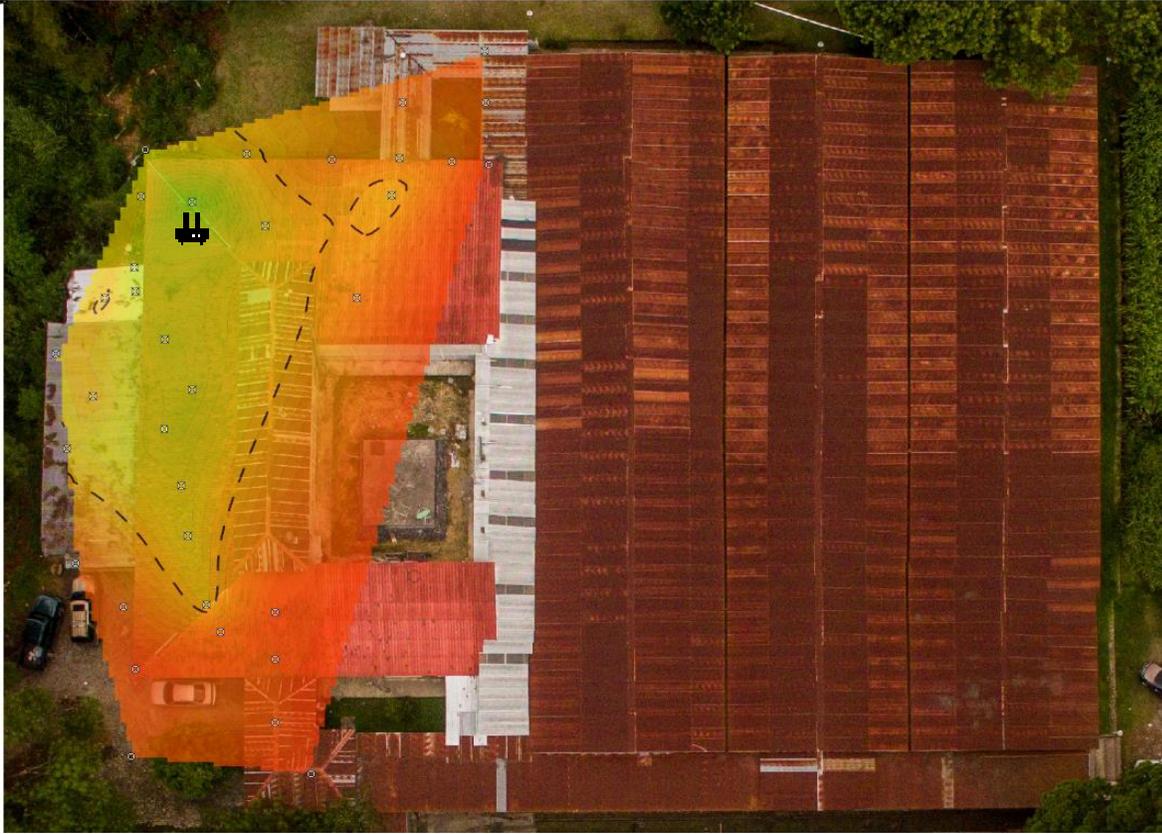
Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Wifi Coverage Mapper.

Figura 36. Cobertura Edificio H (SSID AULAS)



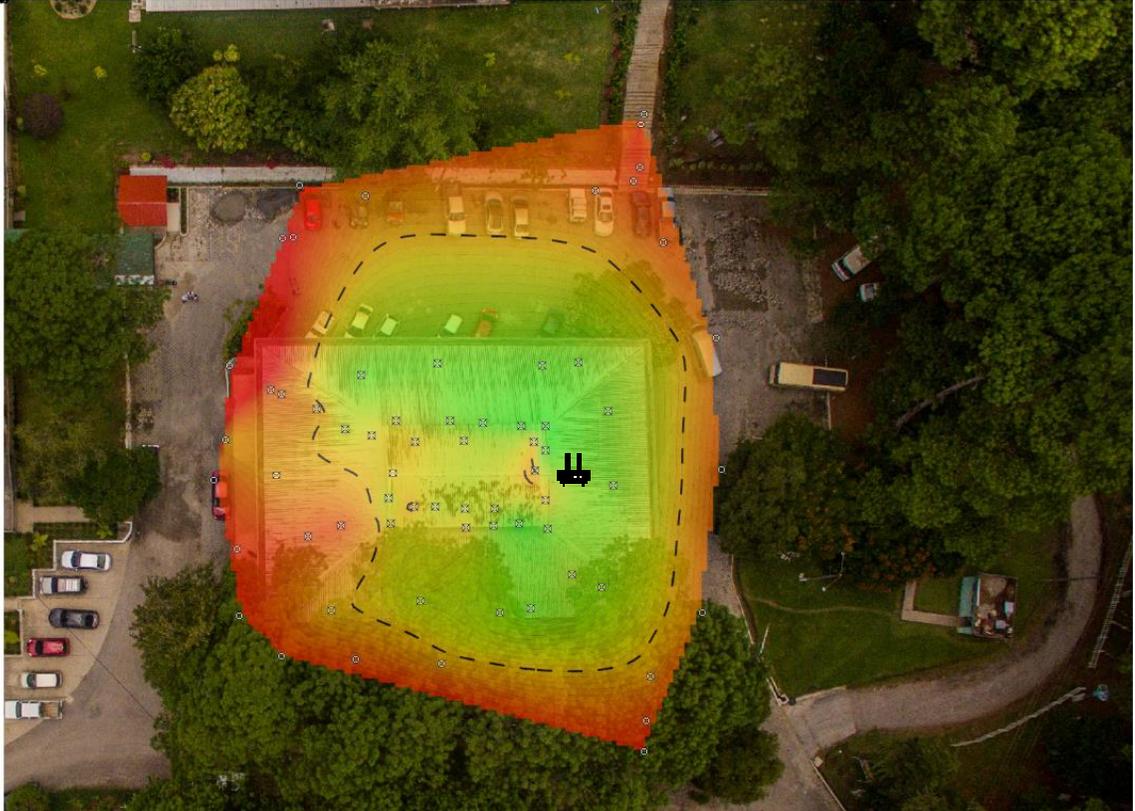
Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Wifi Coverage Mapper.

Figura 37. Cobertura Cafetería (SSID cunor73)



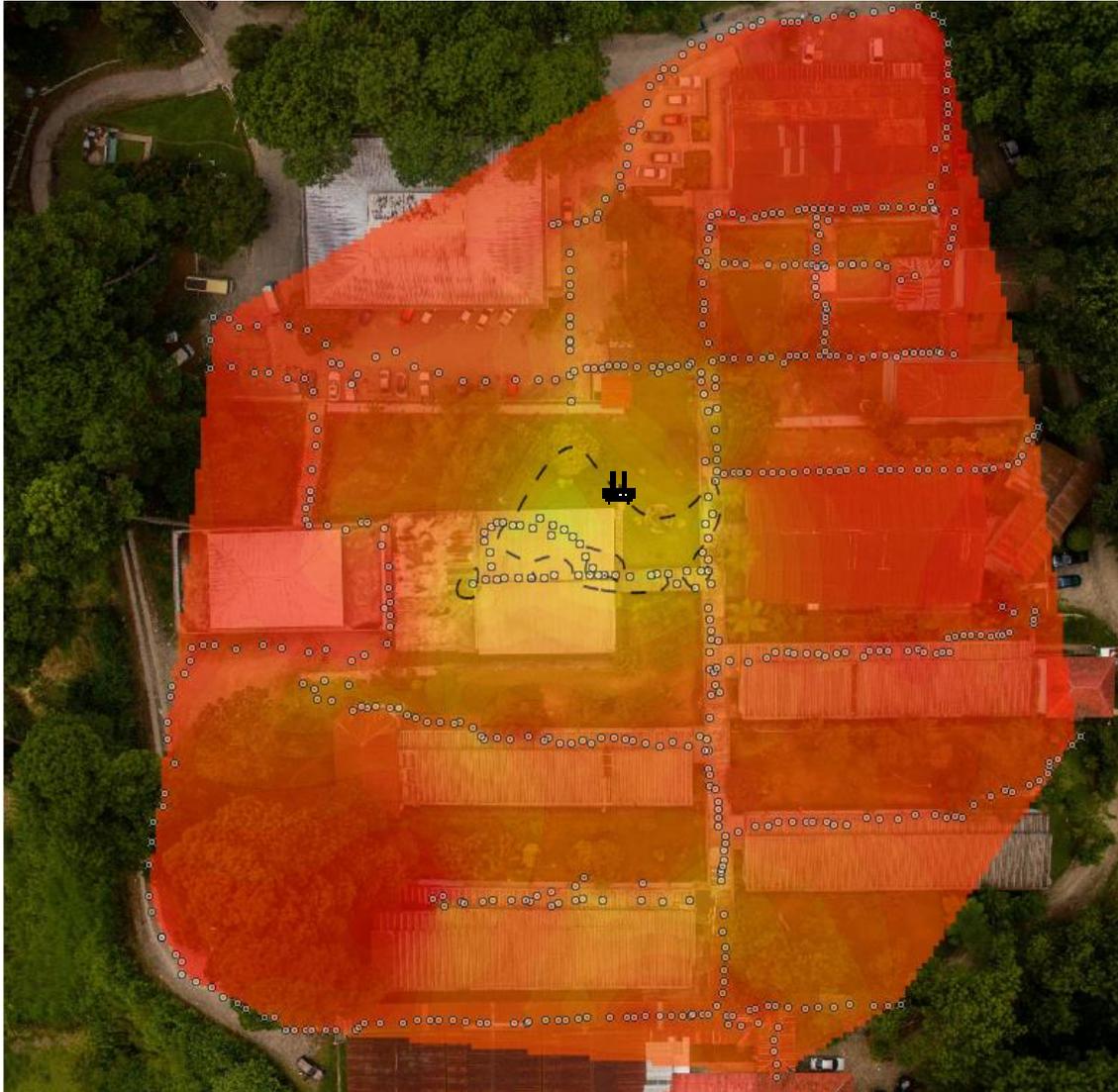
Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Wifi Coverage Mapper.

Figura 38. Cobertura Edificio J (SSID CUNOR253)



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Wifi Coverage Mapper.

Figura 39. Cobertura Antena Omnidireccional (SSID cunor53)



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Wifi Coverage Mapper.

El estudio de sitio permite determinar el lugar óptimo para la localización de los Puntos de Acceso y detectar en qué zonas no hay cobertura, por razones de distancia, obstáculos y nivel del suelo. Es necesario planificar la asignación de canales de radiofrecuencia para cada dispositivo, con el fin de evitar interferencias por canales solapados. El estándar recomienda la separación de los canales a intervalos de cinco; se pueden usar de forma simultánea los canales 1, 6 y 11.

4.5. Cálculo de propagación

El proceso de determinar si un enlace es viable se denomina “Cálculo del presupuesto de potencia”. Para el cálculo del enlace que tomaremos de ejemplo, el Radio 1, es decir la antena omnidireccional y el Radio 2, que es la antena sectorial, se encuentran a una distancia de 60 metros.

$$\begin{aligned}
 & 14 \quad \text{dBm} \quad \text{Potencia de transmisión_Radio 1} \\
 & + 15 \quad \text{dBi} \quad \text{Ganancia de antena transmisora_Radio 1} \\
 & - 1.40 \quad \text{dB} \quad \text{Pérdida cables y conectores transmisor_Radio 1} \\
 & + 8 \quad \text{dBi} \quad \text{Ganancia antena receptora_Radio 2} \\
 & - 1.40 \quad \text{dB} \quad \text{Pérdida cables y conectores receptor_Radio 2} \\
 & = 34.20 \quad \text{dBm} \quad \text{Ganancia total}
 \end{aligned}$$

Debemos de asegurar la primera zona de Fresnel, libre de obstáculos, en por lo menos un 60 % de su radio. Considerando el punto medio el de reflexión obtenemos:

$$r = 17,31 \sqrt{\frac{30 * 30}{2 * 400 * 60}} = 1,37 \text{ m.}$$

Es decir, para línea de vista hay que tener despejado por lo menos un radio de 0,82 metros, de la sección transversal del elipsoide que delimita la primera zona de Fresnel.

La pérdida en la trayectoria en un enlace de 60 metros, considerando únicamente las pérdidas en el espacio libre, está dada por:

$$L_p(dB) = 32,4 + 20 \text{ Log } f_{(MHz)} + 20 \text{ Log } D_{(km)}$$
$$L_p(dB) = 32,4 + 20 \text{ Log}[2\,400] + 20 \text{ Log}[0,06]$$
$$L_p(dB) = 75,62 \text{ dB}$$

Al restar la Pérdida en la trayectoria de la Ganancia total:

$$\text{Ganancia total} - \text{Pérdida en la trayectoria} = \text{Nivel de señal en el receptor}$$
$$34,20 - 75,62 = -41,42 \text{ dBm}$$

La sensibilidad del receptor es de -71 dBm. En nuestro caso, el nivel de señal en el receptor, es mayor que la sensibilidad del receptor, con un margen de 29,58 dB, esto nos permite obtener un enlace viable y estable para la comunicación entre el transmisor y el receptor, y poder contrarrestar los efectos producidos por factores externos.

4.6. Costos de diseño WLAN

Una vez propuesto el diseño, se muestra la lista de equipos que se necesitan para implementar la red inalámbrica, junto con la red cableada existente.

Tabla XI. **Detalle de costos de equipos inalámbricos**

Cantidad	Descripción	Valor unitario US\$	Valor total US\$
5	Punto de Acceso inalámbrico DWL-2000AP+	70,00	350,00
1	Conmutador Cisco Catalyst WS-C2960S+24TS-S	920,00	920,00
1	Enrutador Cisco 1841-T1SEC/K9	608,00	608,00
1	Antena Omnidireccional <i>Hyperlink</i> HG2415U-PRO	206,00	206,00
4	Antena panel <i>Hyperlink</i> HG2409P	70,00	280,00
		Total	2 364,00

Fuente: elaboración propia.

Los precios de los dispositivos en Quetzales, dependen al tipo de cambio del día que maneje la empresa donde se van a adquirir, por lo que no incluye impuestos (Precio más IVA).

Para llevar a cabo la implementación de la red inalámbrica es necesario contar con un enlace de Internet con ancho de banda simétricos. La red consiste en una conexión de fibra óptica para garantizar redundancia en cualquier punto y asegurar el servicio. Se muestra la propuesta de dos Proveedores de Servicios de Internet de empresas nacionales, cuyo precio está expresado en Dólares.

Tabla XII. **Propuesta de enlace**

<i>ISP1</i>				<i>ISP2</i>		
Ancho de banda	12 meses	24 meses	36 meses	Ancho de banda	12 meses	
					Instalación	Tarifa mensual
5 Mbps	\$520,00	\$475	\$400	2 Mbps	\$300,00	\$155,00
8 Mbps	\$775,00	\$750	\$600	3 Mbps		\$230,00
10 Mbps	\$900,00	\$850	\$750	5 Mbps		\$340,00

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. El estándar IEEE 802.11, es un estándar definido para redes inalámbricas de área local, el cual puede ser utilizado para nuestro diseño, apegándose a las necesidades y requerimientos existentes.
2. El estudio de campo es una herramienta muy útil para el análisis previo del diseño de la red inalámbrica, porque permite mostrar la interferencia que existe dentro del área geográfica al proponer la ubicación de los Puntos de Acceso y calcular las diferentes zonas de cobertura.
3. Para establecer comunicaciones inalámbricas y elegir el equipo adecuado, es necesario considerar los criterios que permitan realizar enlaces viables, esto se logra con el cálculo del presupuesto de potencia.
4. Para el diseño se debe tener presente la integración de la red inalámbrica junto con la red cableada. Haciendo uso de la topología ESS, podemos unir distintos Puntos de Acceso a una misma infraestructura de red, para permitir extender el área de cobertura inalámbrica.
5. Es importante la correcta selección y configuración de las antenas y equipos que formarán parte de la red inalámbrica, para brindar un sistema óptimo y de buena calidad.
6. La red inalámbrica desarrollada para la Unidad Académica (17) brinda interconexión y servicios de red entre las diferentes localidades, siendo

capaz de segmentar los usuarios, soportar el tráfico de información y obtener un manejo centralizado de los dispositivos de red.

7. La facilidad de instalación y los múltiples beneficios, hace de una red inalámbrica una inversión relativamente baja, comparada con la implementación de un sistema cableado estructurado.

RECOMENDACIONES

1. Para habilitar un nuevo Punto de Acceso, es necesario hacer un estudio de sitio para detectar los canales adyacentes y verificar su entorno, con el objetivo de evitar interferencias. Con esto se asegura que la cobertura abarque el área requerida.
2. Se invita documentar la configuración de los dispositivos y el diagrama topológico que tiene que conocer el ingeniero de red, para administrar y diagnosticar las fallas.
3. Tomar en cuenta las ventajas y utilidades de los dispositivos que se han descrito en el presente documento, y de contar con el presupuesto necesario, adquirir los equipos que tienen las mejores prestaciones.
4. Las redes inalámbricas utilizan el aire como medio de transmisión y se ven afectados por factores físicos. Los resultados que se obtuvieron pueden variar, dependiendo de los obstáculos que un futuro pueden presentarse. Por esta razón es necesario desplegar cuanto antes el diseño de la red inalámbrica propuesta.
5. La red inalámbrica será principalmente para acceso a Internet, por eso es necesario la creación de un portal captivo basado en tiempo de conexión, para tener un mejor control de los usuarios y el ancho de banda, con la finalidad de mantener un servicio óptimo.

6. Para poder cumplir con las necesidades de nuestro diseño y soportar la cantidad de usuarios que puedan conectarse a la red, se recomienda adquirir por parte de una empresa de telecomunicaciones, un enlace por fibra óptica que proporcione acceso a Internet y otros servicios. La cotización se solicitó en el año 2016, por lo que los precios están sujetos a cambios.

BIBLIOGRAFÍA

1. CARBALLEIRO, Gustavo. *Redes Wi-Fi en entornos Windows*. Argentina: Fox Andina, 2012. 192 p.
2. CARDAMA, Á.; et. al. *Antenas*. 2a ed. Barcelona, España: Edicions UPC, 2002. 460 p.
3. Cisco Systems, Inc. *Fundamentos de LAN inalámbricas*. España: Pearson Educación, 2007. 816 p.
4. _____. *Guía del primer año CCNA 1 y 2*. 3a. ed. Madrid, España: Pearson Educación, 2004. 974 p.
5. CONSTANTINE, A. Balanis. *Antenna theory: analysis and design*. 2a ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, 1997. 960 p.
6. *Estándares IEEE 802.11*. [en línea]. <<http://standards.ieee.org/about/get/802/802.11.html>>. [Consulta: 12 de junio de 2016].
7. PERÉZ, C.; ZAMANILLO, J.; CASANUEVA A. *Sistemas de Telecomunicación*. Colombia: Santander, Servicios de Publicaciones de la Universidad de Cantabria, 2007. 503 p.
8. TOMASI, Wayne. *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. 4a ed. México: Pearson Educación, 2003. 976 p.

9. WNDW. *Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo*. 4a ed. Estados Unidos: Creative commons, 2013. 530 p.