



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“ANÁLISIS Y REDISEÑO DE UNA RED DE ACCESO
INALÁMBRICA PARA EL SERVICIO DE DATOS E INTERNET
CON ALTA DENSIDAD Y DIVERSIDAD DE USUARIOS
ACADÉMICOS, CASO FIEC-ESPOL”

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

JEFFERSON GABRIEL TELLO PALMA
GUILLERMO ANDRÉ ZAMBRANO MORA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2015

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer el presente proyecto de manera especial a Dios, por darme la sabiduría y ser mi guía para llegar hasta esta etapa de mi vida, por ser mi fortaleza y refugio en mis momentos de debilidad.

A mis padres Rosario y Lorenzo quienes han sido mi fuente de apoyo constante e incondicional a lo largo de toda mi formación académica, y más aún en los momentos difíciles de la misma. A Mis hermanos por ver en mí un ejemplo de superación.

A toda mi familia, en especial a mis Tíos Henri y Laura, por sus consejos, apoyo y confianza entregada. A mis primos Denisse, Erika y Álvaro por ser mi compañía en estos largos años de mi carrera, por todos los buenos momentos compartidos y por ser mis hermanos de corazón.

De manera especial quiero agradecer a Guillermo Zambrano por ser un excelente compañero y amigo, por su paciencia, dedicación y entusiasmo entregado en el transcurso de este trabajo.

Al ingeniero Edison Del Rosario por compartir con nosotros parte de sus conocimientos, por su orientación, paciencia y por toda su dedicación en la elaboración del proyecto.

Gracias a todos los miembros del Departamento de Soporte Técnico de la Facultad, en especial a la Ing. Margarita Filian y la Ing. Katherine Campos por el importante aporte de información que nos brindaron para el desarrollo del proyecto.

A la ESPOL por permitir formar mi carrera profesional en esta prestigiosa institución, además porque aquí he conocido a mucha gente maravillosa como son mis amigos, y maestros.

Y por último, no puedo dejar de agradecer a mis amigos, por ser mis compañeros de estudios, diversión y complicidad en todo momento.

Jefferson Tello Palma

Mis más sinceros agradecimientos a mis padres Janeth y Gerardo, que siempre me brindaron todo su apoyo y paciencia, y son mi modelo a seguir.

A mis hermanos Andrea y Javier, por haberme tenido paciencia y brindarme su apoyo a lo largo de la carrera.

A mis familiares y amigos que siempre estuvieron pendientes en este proceso de culminación de mi carrera.

A Jefferson Tello, quien fue un excelente compañero de trabajo y un gran amigo en este proyecto.

Al Ingeniero Edison del Rosario, por su guía y paciencia en el desarrollo de este proyecto.

A las Ingenieras Margarita Filian y Katherine Campos, por su gran aporte de información que fue de muchísima ayuda en el desarrollo del proyecto.

A Malena Anda y Steven Pichardo, los mejores compañeros de estudio y amigos, que siempre me apoyaron a lo largo de mi carrera y me brindaron los momentos más felices de la misma.

Guillermo Zambrano Mora

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajado a Dios ya que sin el nada es posible. A mis amados padres que me han enseñado a perseguir mis sueños y no abandonar por más difícil que sea la situación.

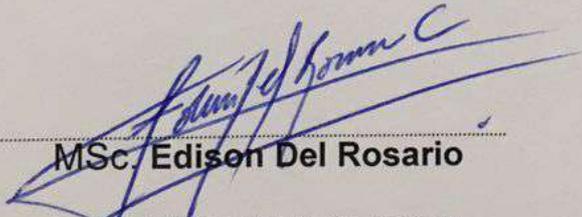
A mi Abuela María Eufemia, que hoy ya no se encuentra físicamente a mi lado, pero estoy seguro que desde el cielo estuvo conmigo en cada proceso de este largo caminar. A ella quien se convirtió en mi inspiración, y que estoy seguro que en estos momentos se siente tan orgullosa de mí.

Jefferson Tello Palma

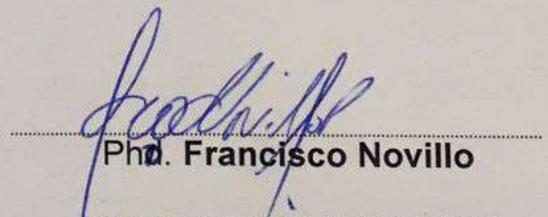
Les dedico este proyecto principalmente a mis padres, por haberme enseñado a ser persistente y dedicado en mis objetivos, y a ser una mejor persona día a día. A mis hermanos, que siempre estuvieron apoyándome y compartiendo mis logros y fracasos.

Guillermo Zambrano Mora

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



MSc. Edison Del Rosario
PROFESOR EVALUADOR



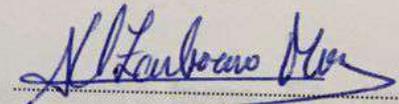
Phd. Francisco Novillo
PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Jefferson Tello Palma



Guillermo Zambrano Mora

RESUMEN

En la ESPOL, la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación cada año aumenta su número de estudiantes, lo que influye en la cantidad de usuarios que requieren los servicios de información y el ancho de banda necesario para un servicio de calidad. Ante el crecimiento de usuarios, la red en operación actualmente presenta saturación, y tiene alcance limitado comparado con las tecnologías más recientes.

El proyecto propone un rediseño y actualización para la red inalámbrica que brinda los servicios en la FIEC, con la finalidad que la comunidad académica y demás personal disponga de un servicio de datos e internet con una amplia cobertura, disponibilidad y capacidad.

La metodología aplicada en el diseño se desarrolla en cuatro fases. En primera instancia realiza un estimado de la demanda de dispositivos terminales a cubrir, luego se revisan las nuevas tecnologías disponibles para la implementación de redes inalámbricas tomando en cuenta las seguridades incorporadas, de esta manera eligiendo los criterios para el uso adecuado de la tecnología.

En el siguiente paso se plantea el diseño de la red, determinando las posiciones estratégicas de los puntos de acceso. Finalmente se realiza un análisis económico donde se detallan los costos e inversiones del proyecto para un periodo prudencial de operación antes de cambio de tecnología, obteniendo un estimado de costos por dispositivo que permite considerar la sostenibilidad del servicio.

La metodología aplicada permitirá ampliar posteriormente el proyecto a otras facultades de la institución u otras instituciones.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA	iv
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	v
DECLARACIÓN EXPRESA.....	vi
RESUMEN.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
CAPÍTULO 1	1
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Problema.....	2
1.3. Objetivo General	2
1.4. Objetivos Específicos.....	2
1.5. Justificación	3
1.6. Demanda De Usuarios.....	4
1.6.1. Profesores	4
1.6.2. Estudiantes.....	4
1.6.3. Personal Administrativo Y Otros.....	6
1.7. Alcance	9
1.8. Limitaciones	9
CAPÍTULO 2.....	10
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	10
2.1. Red	10

2.2.	Topologías de Red.....	10
2.3.	Elementos de una Red.....	11
2.3.1.	Servidores	11
2.3.2.	Enrutadores	12
2.3.3.	Conmutadores.....	13
2.3.4.	Puntos De Acceso.....	13
2.3.5.	Dispositivos Terminales.....	14
2.4.	Red Inalámbrica (Wireless Network).....	15
2.5.	Características de una red inalámbrica.....	17
2.5.1.	Movilidad	17
2.5.2.	Fácil Instalación.....	18
2.5.3.	Flexibilidad.....	18
2.6.	Clasificación De Redes Inalámbricas.....	18
2.6.1.	WPAN: Wireless Personal Area Network	19
2.6.2.	WMAN: Wireless Metropolitan Area Network	20
2.6.3.	WWAN: Wireless Wide Area Network	21
2.6.4.	WLAN: Wireless Local Area Network	21
2.7.	Modelo de Referencia.....	22
2.7.1.	Modelo de Referencia OSI	22
2.7.2.	Modelo de Referencia TCP/IP	23
2.8.	Estándar IEEE 802.11.....	24
2.8.1.	802.11b	26
2.8.2.	802.11a	26
2.8.3.	802.11g	27

2.8.4.	802.11n	27
2.8.5.	802.11ac.....	28
2.9.	Otras Tecnologías.....	29
2.9.1.	Bluetooth (802.15.1).....	29
2.9.2.	Hiperlan	30
2.9.3.	WAP	31
2.9.4.	MOBILE IP.....	31
2.10.	Seguridad en la Red	32
2.10.1.	WEP (Wired Equivalent Privacy)	33
2.10.2.	WPA (Wi-Fi Protected Access).....	33
2.10.3.	Autenticación de Clave compartida (ASK).....	33
2.10.4.	Filtrado de Direcciones MAC	33
2.10.5.	Autenticación 802.1x	34
2.10.6.	Protocolo de autenticación extensible (EAP).....	34
2.10.7.	Redes Privadas Virtuales (VPN's).....	34
2.10.8.	Radius (Remote Authentication Dial-In User Server)	35
2.10.9.	Portal Cautivo	36
CAPÍTULO 3.....		37
3.	PROPUESTA DE DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA.....	37
3.1.	Parámetros de Diseño	37
3.2.	Esquema de Red Propuesto	39
3.3.	Características de equipos a utilizarse.....	40
3.4.	Área de cobertura	45
3.5.	Criterios de ubicación de AP's	47

3.6.	Posición del AP	48
3.7.	Análisis de la ubicación de los AP's	49
3.8.	Análisis de prototipo de Access Point	53
3.8.1.	Entorno de pruebas	55
3.8.2.	Criterio de evaluación	55
3.8.3.	Orden de Pruebas	55
3.8.4.	Puntos de acceso y dispositivos usados	56
3.8.5.	Resultados de pruebas.....	58
3.9.	Pérdidas de la señal.....	67
3.10.	Ancho De Banda	69
3.11.	Detalle de Equipos	71
CAPÍTULO 4.....		72
4.	ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO.....	72
4.1.	Inversión Inicial	72
4.1.1.	Inversión de equipos de operación.....	72
4.1.2.	Inversión de cableado	73
4.1.3.	Inversión total	74
4.2.	Costos.....	74
4.2.1.	Costo de Ancho de Banda.....	75
4.2.2.	Costo por Sueldos	75
4.2.3.	Costo de consumo eléctrico	76
4.2.4.	Costos Totales.....	77
4.3.	Cálculo del Valor Actual Neto.	78
4.4.	Costo de acceso por dispositivo.	79

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA.....	81
ANEXOS.....	84

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este capítulo presenta una descripción sobre la zona de estudio y la problemática que presenta la gran demanda de usuarios en la red inalámbrica que actualmente funciona en la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación de la ESPOL.

1.1. Antecedentes

La Escuela Superior Politécnica del Litoral se encuentra ubicada en la ciudad de Guayaquil, en el Campus Gustavo Galindo. Abarca 690 hectáreas, de las cuales 40 están urbanizadas, y en las que podemos encontrar Facultades, Edificios Administrativos, Bares, Comedores, etc. Está considerada entre las mejores universidades del país, ya que sus múltiples lineamientos la han llevado a ganarse esta designación, lo cual impulsa a mantener la innovación y mejoramiento constante como lo hacen las mejores universidades del mundo. El uso de la tecnología de comunicación y acceso a la información dentro de las actividades cotidianas como las clases, llevan a profesores y estudiantes a usar aplicativos web y otras herramientas que sirvan para intercambiar información académica y de trabajo.

La ESPOL actualmente cuenta con una red inalámbrica con acceso a internet. La Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC), cada semestre tiene un mayor incremento de estudiantes, y en consecuencia administra una red inalámbrica complementaria de los servicios generales de la universidad.

Actualmente, el servicio inalámbrico presenta problemas de saturación ya que la infraestructura actual se diseñó para satisfacer cierto incremento de usuarios a una tecnología disponible al momento de implementación. Sin embargo, es común que se presenten fallas en la conexión, o conexión sin disponibilidad de servicio.

1.2. Problema

En la actualidad, la mayoría de las personas prefiere usar dispositivos portátiles que te facilitan acceder o enviar información desde cualquier lugar. En las Universidades, donde se ofrecen y usan servicios en línea son necesarias las redes inalámbricas que brinden acceso a Internet a los estudiantes, profesores y personal administrativo. En la FIEC, los servicios tienen inconvenientes de conexión, acceso, autenticación, etc.

La red en operación, tiene alcance limitado por el tipo de tecnología heredada y por compatibilidad hacia atrás, que afecta a la cobertura, ancho de banda y niveles de seguridad, por lo que es necesario que la misma permita al personal, tanto docente como estudiantil, conectarse en cualquier punto de los edificios de la FIEC.

Varias de las razones por las cuales esta red llega a un punto de saturación son: el incremento de estudiantes en cada semestre, la ubicación de los puntos de acceso, y las características de los equipos usados en la actualidad.

1.3. Objetivo General

Proponer un rediseño y actualización de la Red Inalámbrica para la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación basada en un análisis de alcance, rendimiento y seguridad con el propósito de optimizar y mejorar el servicio de Internet.

1.4. Objetivos Específicos

- Proponer un rediseño de la red inalámbrica de datos e Internet que proporcione un óptimo servicio de Internet de la FIEC.
- Determinar los factores que influyen en la calidad de servicio (QoS) de la red inalámbrica de la FIEC.

- Realizar un estudio sobre el uso de nuevas tecnologías y equipos que permitan optimizar las redes inalámbricas.
- Incrementar el alcance de la red inalámbrica en los lugares más frecuentados por los estudiantes de la FIEC.

1.5. Justificación

En la actualidad, el desarrollo tecnológico va en aumento cada vez a una mayor velocidad y se encuentra al alcance de una gran parte de la población. Una gran cantidad de la población mundial posee dispositivos portátiles los cuales permiten acceder a múltiples dominios en la internet, que permiten tanto a estudiantes, maestros y a las personas en general realizar varias actividades, principalmente académicas; además de tener acceso a diversa información de cualquier parte del mundo a través de aplicaciones, redes sociales, etc.

En el campo de la educación, la tecnología se ha convertido en una herramienta indispensable para todo estudiante, y actualmente muchos de ellos usan teléfonos inteligentes, tabletas, computadoras portátiles, entre otros.

Debido a esto, es necesario e indispensable que dentro de la FIEC, se cuente con una red inalámbrica para que los profesores y estudiantes puedan tener acceso a toda la información publicada en Internet y los servicios en línea que brinda la Universidad que son: SidWeb, Académico de Pregrado para estudiantes, Académico de Postgrado Académico de Profesores, Biblioteca Virtual, Cenacad, Sistema de Consejerías, Repositorio de exámenes, entre otros.

Al plantear un rediseño de la red inalámbrica, la FIEC podrá contar con una mejor cobertura y mayor disponibilidad.

1.6. Demanda De Usuarios

Anteriormente se mencionó que el análisis del presente proyecto es para la FIEC, por lo tanto se enfoca para su comunidad.

La comunidad se la analiza por partes: profesores, estudiantes y trabajadores administrativos que hacen uso del servicio de la red inalámbrica, basado en la publicación de la revista FIEC 2015.

1.6.1 Profesores

Actualmente la FIEC cuenta con 52 docentes con nombramiento (Titulares), 53 profesores contratados (no titulares), 9 profesores honorarios, y 14 técnicos docentes, como se muestra en la Tabla 1. [21].

PROFESORES	CANTIDAD
Titulares	52
No Titulares	53
Honorarios	9
Técnico Docente	14
TOTAL	128

Tabla 1: Profesores de la FIEC

1.6.2 Estudiantes

Actualmente la FIEC cuenta con 2378 estudiantes de pregrado que se encuentran distribuidos en las diferentes carreras y especializaciones que se detallan en la Tabla 2. [21]

CARRERAS	NÚMERO DE ESTUDIANTES REGISTRADOS 2015-2016 II	PORCENTAJE (%)
Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones	643	27
Ingeniería en Telemática	282	12
Ingeniería en Electricidad Especialización Potencia	320	13
Ingeniería en Electricidad Especialización Electrónica y Automatización Industrial	353	15
Ingeniería en Ciencias Computacionales: Sistemas de Información	44	2
Ingeniería en Ciencias Computacionales: Sistema Multimedia	91	4
Ingeniería en Ciencias Computacionales: Sistemas Tecnológicos.	298	13
Licenciatura en Redes y Sistemas Operativos	221	9
Licenciatura en Sistemas de Información	126	5
TOTAL	2378	100

Tabla 2: Estudiantes de la FIEC

A lo largo de estos años la cantidad de estudiantes que se registran cada semestre en la FIEC va en aumento, y en la figura 1.1 se detallan los últimos cinco términos:



Figura 1.1: Estudiantes registrados por término
Gráfica autores. Datos obtenidos de Revista FIEC 2015.

1.6.3 Personal Administrativo Y Otros.

El personal administrativo también forma parte de la demanda de usuarios del presente proyecto, ya que las oficinas de estos se encuentran dispersas en los diferentes bloques de la FIEC. En la Tabla 3 se detalla el número de usuarios de esta sección.

OFICINAS	NÚMERO DE PERSONAS
SECRETARIA GENERAL	3
SECRETARIA DECANATO	3
MAESTRÍAS	8
CEEMP	5
CAPACITACION MICROSOFT	4
CAPACITACION CISCO	5
CONSERJES	7
TOTAL	35

Tabla 3: Personal Administrativo y otros de la FIEC

Analizado la cantidad de estudiantes, profesores y demás personal que labora en la FIEC podemos observar la tabla 4 la cantidad total de usuarios que harán uso de la red inalámbrica, que es un parámetro muy importante para el diseño de la red al momento de la elección de equipos que soporte una densidad de usuarios bastante alta.

	CANTIDAD
PROFESORES	128
ESTUDIANTES	2378
ADMINISTRATIVOS Y OTROS	35
TOTAL	2541

Tabla 4: Personal académico y administrativo de la FIEC

Para estimar la cantidad total de usuarios que utilizarán la red inalámbrica se estima que cada estudiante, profesor y personal administrativo posee un dispositivo inalámbrico para conectarse. En la actualidad esto es distinto, ya que en el caso de los estudiantes y

profesores un cierto grupo de ellos posee más de un dispositivo inalámbrico por medio del cual se conectan a la red. Estos usuarios que poseen más de un dispositivo serán considerados para obtener el total de dispositivos que posiblemente se conectaran a la red.

Se ha considerado que 11 de cada 14 profesores (78%), poseen más de un dispositivo; de acuerdo a las condiciones de trabajo se ven en la necesidad de utilizar portátiles y Smartphone. Por otra parte, se ha observado en los estudiantes que el 40% de ellos poseen 2 dispositivos; debido a que la FIEC cuenta con estudiantes de todos los niveles económicos, y la gran mayoría solo cuenta con un dispositivo para conectarse pudiendo ser una Tablet/Smartphone o una portátil. Finalmente, en el caso de personal administrativo se ha considerado un porcentaje muy pequeño, pues en su sitio de trabajo cuentan con máquinas de escritorio con acceso a internet por red alámbrica y solo algunos se conectan usando un dispositivo móvil.

De acuerdo a la Tabla 5 se puede observar que el total de usuarios que tienen 2 dispositivos es 1059, y que la demanda total de dispositivos a conectarse que es 3600.

	1 Dispositivo	2 Dispositivos (%)	2 Dispositivos (#)	Dispositivos a Conectarse
PROFESORES	128	78%	100	228
ESTUDIANTES	2378	40%	951	3329
ADMINISTRATIVOS Y OTROS	35	23%	8	43
TOTAL	2541		1059	3600

Tabla 5: Estimación de dispositivos a atender

1.7. Alcance

Este proyecto tiene como fin determinar qué factores determinan el desempeño de la red inalámbrica de la FIEC, para presentar un diseño de la solución de la misma. Se incluirá los cambios de equipos con mejores características, ubicación de los mismos y una correcta administración del ancho de banda, y de esta manera asegurar un mejor servicio en la FIEC.

1.8. Limitaciones

El caso de estudio cubre la comunidad de la FIEC y sus áreas de estudio y trabajo, evaluando varias tecnologías que mejor se adapten a una red que tiene un número de usuarios en continuo crecimiento, como es la red de la FIEC. Con esto se abre camino para ampliar en futuro el proyecto para cubrir toda la red de la ESPOL que abarca 40 hectáreas (la región urbanizada).

CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

Este capítulo describe los fundamentos teóricos de las redes de computadoras, los equipos necesarios y los estándares usados en la actualidad

2.1. Red

Una red es un conjunto de elementos que se encuentran interconectados entre sí a través de un medio, con el fin de intercambiar información y compartir recursos. Cuando nos referimos a dispositivos en una red, se los puede clasificar en dos: los que gestionan la red (servidores, enrutadores, conmutadores, puntos de acceso) y los que son utilizados por el usuario final (computadoras, laptops, teléfonos inteligentes, tabletas, etc.).

Se entiende como medio, el lugar por donde se transportará la información, y puede ser de dos tipos: guiado (cable coaxial, cobre, fibra óptica) y no guiado (por aire). [1]

2.2. Topologías de Red

Existen varias formas de conectar dos o más equipos en una red. La forma en que se encuentran conectadas no es aleatoria, estos deben seguir ciertos estándares de conexión física que reciben el nombre de Topologías. De acuerdo a la Topología con la que se escoja para operar una red, será la asignación o ubicación física de cada uno de los elementos de la misma.

A continuación en la Tabla 6 se detallan las topologías de redes básicas:

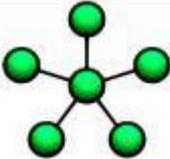
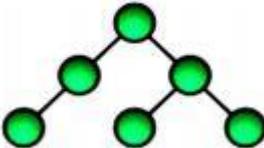
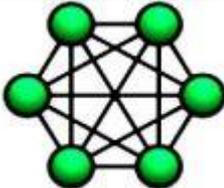
Topología	Esquema	Descripción
Estrella		Topología estándar donde cada nodo se conecta a un dispositivo central.
Árbol		Típica usada por los Proveedores de servicio de Internet.
Malla		Todos los dispositivos están conectados entre sí.
Punto a punto		Conexión únicamente entre dos dispositivos.

Tabla 6: Topologías básicas de WLAN [2]

2.3. Elementos de una Red

Para implementar o diseñar una red es de suma importancia conocer los elementos principales que la componen.

2.3.1. Servidores

Un servidor es una computadora que está al “servicio” de otras computadoras (clientes) suministrando todo tipo de información.

Por lo general, los servidores suelen tener más capacidad que una computadora cliente (almacenamiento de información y memoria RAM), dado que tienen que dar servicio a muchos clientes. [3]



Figura 2.1: Servidores [3]

2.3.2. Enrutadores

Un enrutador, también conocido como “router”, tiene la función lógica de interconectar redes de computadores, indicando la ruta más rápida que puedan seguir, y busca alternativas en caso de que las principales rutas no estén disponibles. [4]



Figura 2.2: Enrutador [4]

2.3.3. Conmutadores

Un conmutador, conocido como “switch”, tiene como función interconectar dispositivos en una red local de forma cableada, permitiendo el uso de recursos compartidos como archivos, carpetas, hasta uso de impresoras. [5]

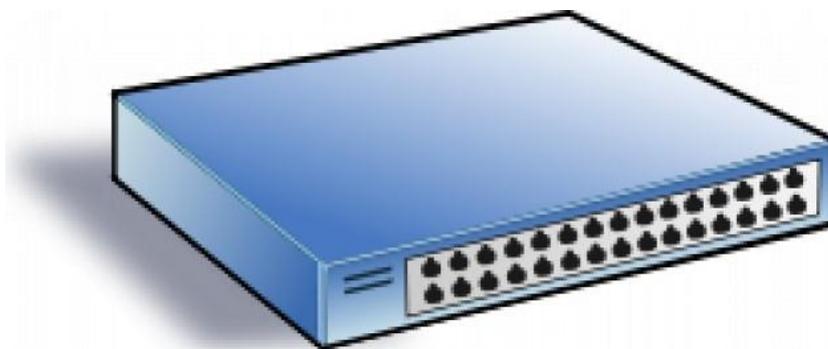


Figura 2.3: Conmutador [5]

2.3.4. Puntos De Acceso

Un punto de acceso, mejor conocido por sus siglas en inglés como AP (Access Point), es un dispositivo que sirve para brindar conectividad inalámbrica dentro de una red local o como extensión o amplificador de la señal de una misma red.

Los AP's se conectan a un switch o router expandiendo la cobertura de las redes a inalámbrica, por lo general mediante un puerto RJ45.

La forma en la que transportan la información es mediante ondas de radio, las cuales pueden traspasar paredes y obstáculos con pérdidas que dependen del material con el que se encontraron.

Cuentan con una antena interna o externa que dan las características del rango que alcanzará la señal. [6]



Figura 2.4: Punto de acceso [6]

2.3.5. Dispositivos Terminales

Los dispositivos terminales son equipos que el usuario utiliza para mantener una conexión con la red inalámbrica, como pueden ser: computadoras portátiles, de escritorio, Tablets, iPod, PDA's, Smartphones, cámaras, sensores, entre otros. [7]

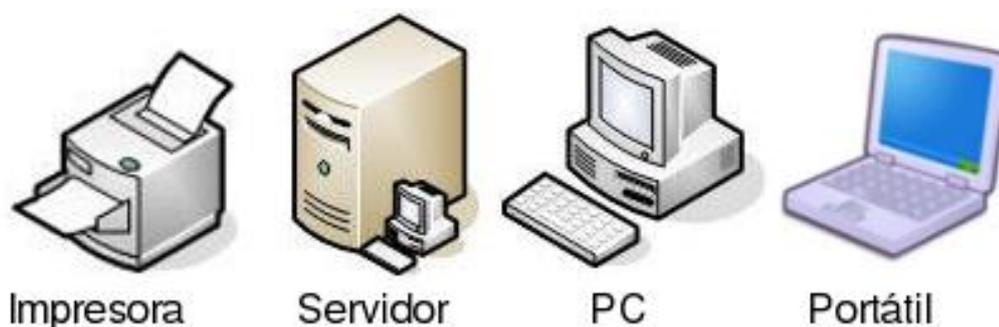


Figura 2.5: Dispositivos terminales

2.4. Red Inalámbrica (Wireless Network)

La historia de redes de datos inalámbrica se remonta a finales del año 1970, ya que en Suiza se publican las ideas iniciales de una red inalámbrica la cual hacia uso de la luz infrarroja para transmitir la información, esta fue realizada en los laboratorios de la empresa IBM con el fin de utilizarse para plantas industriales. [8]

En el mismo año, en California, en la localidad de Palo Alto, la empresa HP contaba con laboratorios con fines de investigación, los cuales implementaron una red de datos inalámbricas que alcanzaba velocidades de 100 Kbps, y además funcionaba en la frecuencia de 900 MHz.

En esta época, las bandas de frecuencia eran licenciadas, y las redes inalámbricas no garantizaban posicionarse en el mercado, y tampoco aseguraban la reposición en las inversiones lo que desanimaba a grandes inversionistas, debido a los altos costos por el uso de las licencias las cuales eran reguladas por la Federal Communications Commission (FCC) en Estados Unidos.

Para la mitad de los años 80, posteriormente de haberse realizado muchas pruebas, era una realidad que se requería de un gran ancho de banda para el uso de las redes inalámbricas.

Para mediados del año 1985, son liberadas ciertas bandas de frecuencias no licenciadas por parte de la FCC, las cuales recibieron el nombre de Bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical Band). Estas fueron las primeras bandas por las cuales no se paga ningún costo por su uso (sin licencia), las mismas que se usaron para realizar otros productos comerciales, y fueron de suma importancia para el crecimiento de redes inalámbricas.

Las bandas ISM comprenden 3 partes del Espectro electromagnéticos las cuales son:

- 902 - 928 MHz (26 MHz)
- 2.4 - 4.4835 GHz (83.5 MHz)
- 5.725 - 5.850 GHz (125 MHz)

Años más tarde la FCC libera otras bandas sin licencia, las cuales recibieron el nombre de U-NII (Unlicensed National Information Infraestructura), la que abarca o comprende los siguientes rangos de frecuencia en la banda de 5GHz:

- 5.15 - 5.25 GHz
- 5.15 - 5.25 GHz
- 5.725 a 5.825 GHz

Los rango liberados por la U-NII en la banda de 5 GHz tienen uso restringido, el primer rango tiene dirigido su uso hacia aplicaciones internas, el segundo rango es utilizada en Campus, y el ultimo rango para usarlo en redes comunitarias.

La estandarización de las Redes inalámbricas comienza en el año de 1987 en donde el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) escoge al 802.4L, un grupo encargado para investigar el tema en cuestión. A inicios de los años 90 el grupo fue renombrado y recibió el nombre de IEEE 802.11 y a finales de los 90 sale al mundo el que sería el primer estándar para redes inalámbricas IEEE 802.11, quien más tarde se lo conocería como Legacy. [9]

Para los años 2002 y 2003 la inserción de las redes inalámbricas operadas en el estándar 802.11 fue de suma trascendencia, primordialmente se dio en hogares, residencias y también en terminales, aeropuertos, cafeterías, etc.

El operar en bandas sin licencia causó un efecto que hizo desplegar las redes inalámbricas y se extendió hasta emplearse en redes empresariales.

En el 2003, empieza a llegar al mercado el primer dispositivo que operaba en 802.16 (WiMAX), pero este fue construido o realizado para implementar redes inalámbricas de área metropolitana.

802.16 en sus comienzos prometía proveer altas velocidades para ubicaciones fijas, pero ese no permitía la movilidad. Luego también se desarrollaron los estándares 802.16-2009 y 802.20, quienes permiten manejar velocidades por encima de los 2 Mbps. Posteriormente, se desarrollaron otros estándares hasta cuando se publicó el 802.16m-2011 más conocido como WiMAX Release 2, con tasas de velocidades de 100Mbps para conexiones móviles.

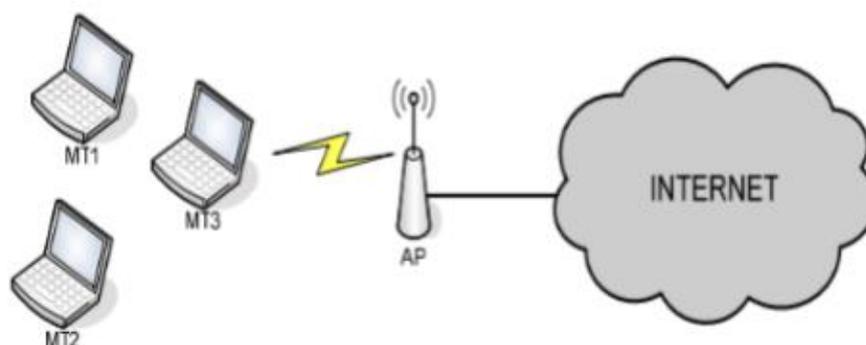


Figura 2.6: Esquema de red inalámbrica

2.5. Características de una red inalámbrica

Entre las principales características de una red inalámbrica se tiene: movilidad, fácil instalación y flexibilidad.

2.5.1. Movilidad

Le permite al usuario tener acceso a cualquier tipo de información en tiempo real desde cualquier lugar que se encuentre en la cobertura de la red, ofreciendo mayor productividad.

2.5.2. Fácil Instalación

Debido a que no usa cables, se logra eludir la inversión en obras de cableado de una red común, lo cual permite reducir el tiempo de instalación.

2.5.3. Flexibilidad

Esta característica se da por su medio de transmisión, ya que al no usar cable permite llegar a lugares donde no se tenía acceso, superando obstáculos como paredes, puertas, vidrios, entre otros. [22]

2.6. Clasificación De Redes Inalámbricas

Las redes inalámbricas se clasifican según su alcance geográfico como se observa en la Figura 2.7.

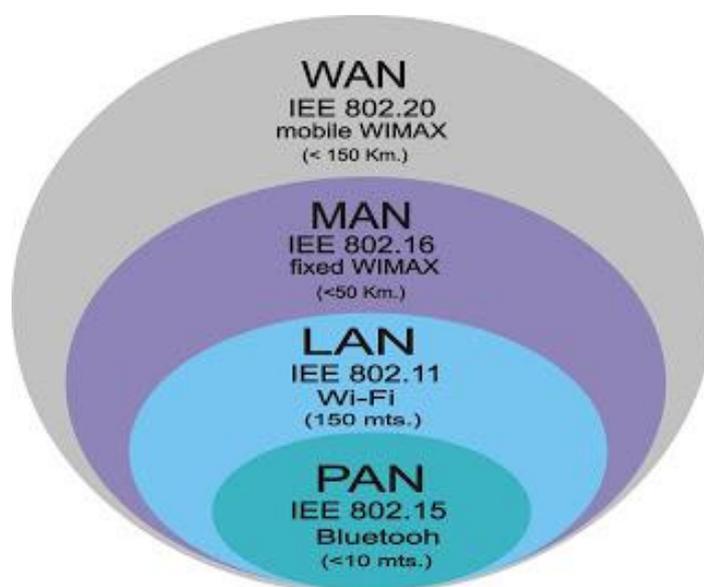


Figura 2:7: Clasificación de Redes Inalámbricas según su alcance geográfico. [22]

2.6.1. WPAN: Wireless Personal Area Network

Las WPAN (Redes Inalámbricas de Área personal) son redes de corto alcance que permiten comunicar dispositivos inalámbricos. Las tecnologías existentes y más usadas para implementar este tipo de redes son: Bluetooth, ZigBee e Infrarrojo. Debido a su corto alcance y limitado ancho de banda, ofrecen una mayor seguridad en la transferencia de información y tiene costos muy bajos de instalación. Este Tipo de redes se ve limitada cuando se desea transferir una gran cantidad de información. En la figura 2.8 se muestra un esquema de una red WPAN. [22]



Figura 2.8: Esquema de red WPAN

2.6.2. WMAN: Wireless Metropolitan Area Network

Son redes de área metropolitana inalámbrica y están diseñadas para ser usadas en ciudades, pueblos o lugares más extensos; su rango de cobertura es mayor que las WLAN pero a su vez también son más cortas comparadas con la WWAN, su cobertura es medida en kilómetros. Las redes de área metropolitana están basadas en el estándar WiMax el cual usa ondas de radio para transmitir en la frecuencia de 2.5 a 2.8 GHz, la cual se encuentra establecida en el estándar IEEE 802.16. [22]

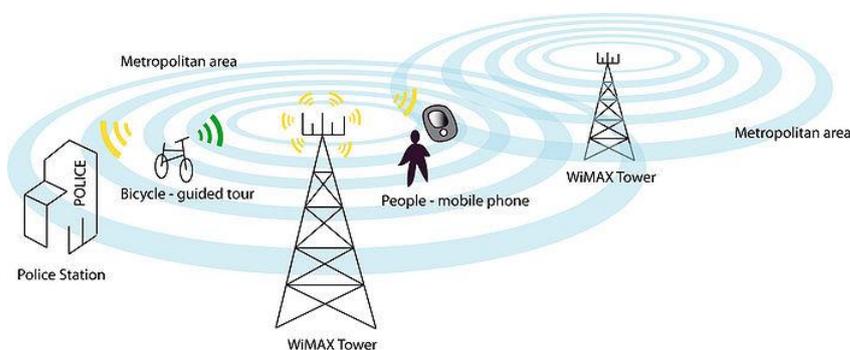


Figura 2.9: Esquema de red WMAN

2.6.3. WWAN: Wireless Wide Area Network

Las redes inalámbricas de área extensa, tal como lo expresa su nombre, son redes que poseen un gran alcance geográfico en cuanto a su cobertura. Son utilizadas en las redes de telefonía celular y utilizan tecnologías de los sistemas celulares como GPRS, GSM, HSPA, 3G, entre otros.

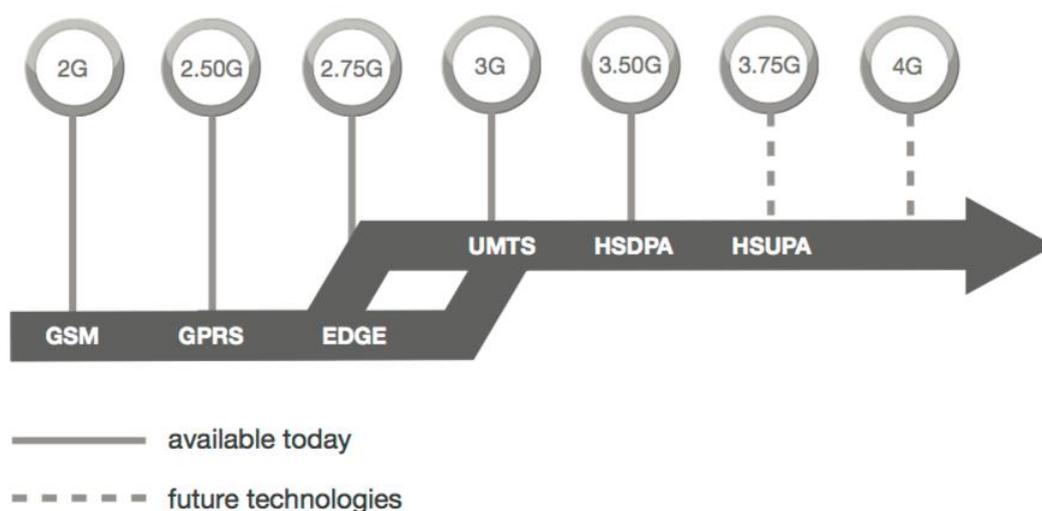


Figura 2.10: Tecnologías usadas en WWAN

2.6.4. WLAN: Wireless Local Area Network

Son redes de alcance local que usan el aire como medio para propagar las ondas electromagnéticas. Su cobertura se encuentra limitada a una superficie dentro de un edificio, campus universitario, o dentro de una vivienda.

Debido a las tecnologías con las cuales se implementan en este tipo de redes, el usuario puede minimizar los enlaces cableados que se

utilizan en redes convencionales para transportar la información, como par trenzado, fibra óptica, entre otros, que son usados para cablear este tipo de red.

Las WLAN son redes que propagan la información a través de ondas electromagnéticas, la cual se transporta a través de canales inalámbricos enganchando los dispositivos asociados a la misma. Permite al usuario poder desplazarse sobre el área en la cual ha sido implementada la red sin perder la conexión con la misma. Las velocidades de transmisión que nos ofrecen este tipo de redes dependen de la versión del estándar IEEE 802.11 con el que se implemente la red.

2.7. Modelo de Referencia

Para una mejor comprensión sobre el proceso de comunicación en términos de capas, se muestran a continuación los dos modelos de referencia:

2.7.1. Modelo de Referencia OSI

OSI (Open system Interconnections) es un modelo de referencia para protocolos de red que permiten la interconexión de distintos equipos, permitiendo que exista comunicación entre ellos.

Fue creado a principios de los años 80 por la International Organization for Standardization (ISO), aunque su desarrollo empezó desde 1977.

El modelo OSI se divide en 7 capas o niveles distintos, lo que permite que al estudiar el modelo sea más fácil poder comprender todos los protocolos que intervienen en cada uno de los niveles. [24]

En la figura 2.11 que se muestra a continuación se observan los 7 niveles del modelo OSI:

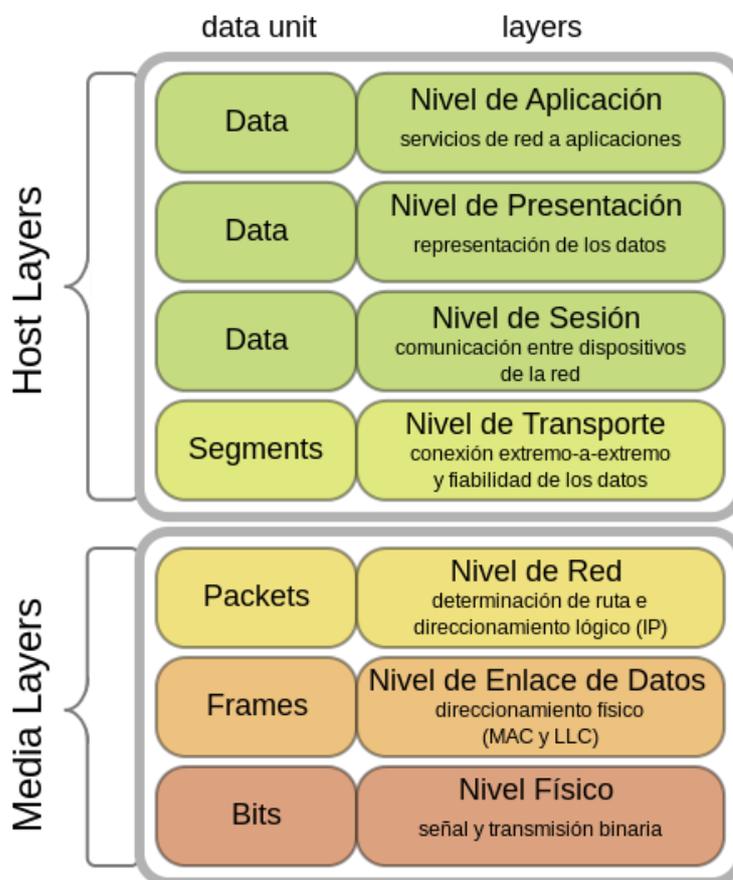


Figura 2.11: Niveles del modelo OSI

2.7.2. Modelo de Referencia TCP/IP

El modelo TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) a diferencia del OSI, tiene 4 capas o niveles, la capa de aplicación, la capa de transporte, la capa de internet y la capa de acceso a la red, tal como se muestra en la figura 2.12. [24]



Figura 2.12: Modelo de Referencia TCP/IP

2.8. Estándar IEEE 802.11

Su inicio de salida al mercado se da en los años 1997. Es la versión original que es conocida como LEGACY y que posteriormente fue evolucionando, y se desarrollaron nuevas versiones de este estándar. Ofrece velocidades que van desde 1 hasta 2 Mbit/s. En el mercado comercial este estándar se lo conoce como WIFI. Se encuentra operando en las capas más bajas del modelo OSI como son la capa física y la capa de enlace. [10]

El estándar 802.11 en sus inicios adoptó dos técnicas diferentes para la transmisión: FHSS Y DSSS, y además se pensaron en un método de transmisión por medio de luz Infrarroja el cual no fue desarrollada.

Espectro ensanchado por salto de frecuencia o más conocido por sus siglas en inglés FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) es una técnica de modulación que se utiliza para la transmisión en radiofrecuencia que su principal característica es el cambio o salto de frecuencia. Debido a esto las señales que son transmitidas con esta técnica son difíciles de interceptar, y son fuertemente resistentes a la interferencia o ruido.

Espectro ensanchado por secuencia directa o DSSS, conocido en sistemas de comunicaciones móviles como DS-CDMA, la banda de operación de esta técnica es de 2.4 a 2.4835 GHz, la cual se ha dividido en canales con un ancho de banda de 22 MHz, y que se encuentran distanciados a 5 MHz del canal anterior. En la Figura 2.13 se muestra en detalle:

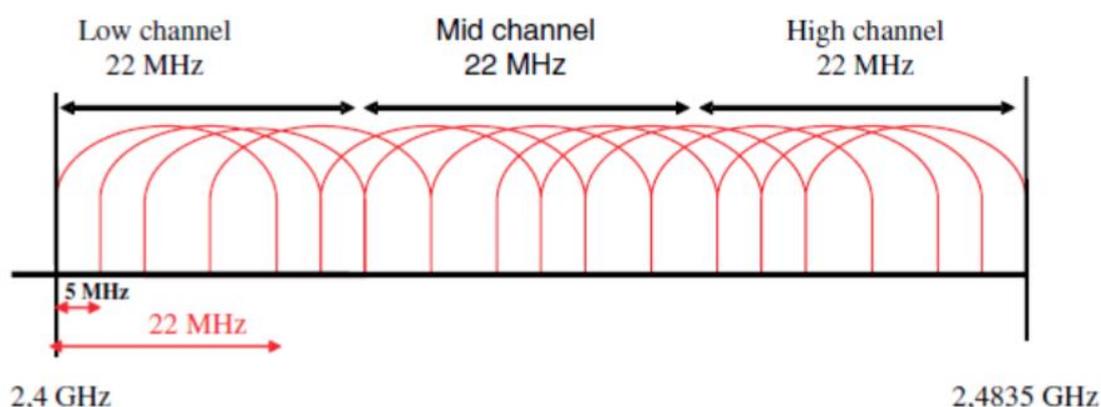


Figura 2.13: Espectro en la banda de los 2.4 GHz

2.8.1. 802.11b

La publicación del estándar 802.11b se da 1999, este es una reforma de la versión original modificando las debilidades o limitaciones que este ofrecía. Opera en la misma banda de 2.4 GHz y entrega velocidades de transferencia de datos hasta 11 Mbit/s. Alcanza un rango máximo de cobertura de 100 metros, por lo cual es muy utilizado para hogares, oficinas, etc. Las modificaciones que se realizaron fueron solo en la capa física, escogiendo como única técnica de esta capa a DSSS, lo cual permite la interoperabilidad solo con los sistemas DSSS de 1 y 2 Mbit/s de la versión original. [22]

2.8.2. 802.11a

Esta versión también es aprobada en 1999 al igual que la versión 802.11b, a diferencia de las versiones anteriores este se encuentra operando en la banda de 5GHz, ofreciendo mayores velocidades en la transmisión de datos alcanzado hasta 54 Mbit/s. Se encuentra basado en la tecnología OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), en la cual usa 52 subportadoras. Además 802.11a posee 12 canales que no se solapan, de los cuales 8 son para redes inalámbricas y 4 para las conexiones point-to-point (punto a punto). No es compatible con las versiones 802.11b y 802.11g, excepto en el caso que el dispositivo soporta ambas tecnologías, los cuales reciben el nombre de dispositivos de “dual-band” (banda doble). El flujo de datos puede reducirse a 48, 36, 24, 28, 12, 9 o 6 según el caso. [22]

2.8.3. 802.11g

Esta versión al igual que 802.11a ofrece una tasa máxima de transferencia de datos de 54 Mbit/s pero utilizando la misma banda de 802.11b de 2.4 GHz. Tiene su salida al mercado aproximadamente en Junio del 2003. Funciona con el mismo esquema de 802.11a con respecto a la modulación como es OFDM. Es compatible con los dispositivos que operan con la versión 802.11b, pero en redes que estén operando bajo el estándar g la presencia de dispositivos de la versión b implica una reducción de la velocidad de datos. [22]

2.8.4. 802.11n

Esta versión fue una propuesta planteada por IEEE para mejorar notablemente el funcionamiento de la red con respecto a versiones anteriores, presenta un aumento relevante en el flujo máximo de transferencia de datos de 54 Mbit/s a 600 Mbit/s.

Basado en versiones anteriores de la familia 802.11, pero a diferencia de las demás este agrega la tecnología MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) por medio de la cual este estándar puede ofrecer velocidades de transmisión mayores, aumento en el rango de cobertura y mejorar la capacidad de usuarios, y unión de interfaces de red (Channel Bonding), y también añadió tramas a la capa MAC.

La unión de interfaces de red que se incluye en este estándar más conocido como Channel Bonding es el que permite usar 2 canales que no se solapen con el fin de poder transmitir datos sincronizados y a su vez la cantidad de datos que se transmiten aumenta.

802.11n opera en las bandas de 2.4 y 5Ghz por lo cual es compatible con versiones anteriores como 802.11 a/b/g.[22]

2.8.5. 802.11ac

Basado en el estándar 802.11n, es también llamado como Gigabit Wi-Fi. Ofrece una cobertura mejorada con respecto a otras versiones, alcanza hasta un máximo de 100 metros. El aumento de velocidades en el estándar 802.11 ac se debe a las siguientes características:

- **Aumento en el Ancho de canales:** En el estándar 802.11n el máximo ancho de canal para la transmisión era de 40 MHz, en esta versión aumenta el ancho de canal a 80 MHz hasta 160 MHz.
- **Modulación:** Utiliza una modulación de 256 QAM, lo cual permite manejar grandes transferencias de datos.
- **MIMO:** Puede mantener a varios clientes en transmisiones simultáneas.

En la figura 2.14 se puede observar las diferentes tasas de datos entre la versión ac y la n:

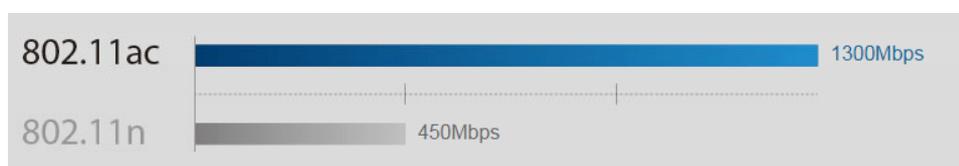


Figura 2.14: Comparación entre 802.11 ac y n

En la tabla 7 se detalla un resumen de las características más importantes de los estándares IEEE utilizados para implementar una red inalámbrica.

Estándar IEEE	Publicación	Frecuencia	Velocidad máxima	Tecnología MIMO	Modulación	Compatibilidad con versiones anteriores
802.11	1997	2.4 GHz	2 Mbit/s	–		-
802.11 a	1999	5 GHz	54 Mbit/s	–	OFDM	-
802.11 b	1999	2.4 GHz	11 Mbit/s	–	DSSS	-
802.11 g	2003	2.4 GHz	54 Mbit/s	–	OFDM, DSSS	802.11 b
802.11 n	2009	2.4 GHz, 5 GHz	600 Mbit/s	SI	OFDM	802.11 a/b/g
802.11 ac	2012	5 GHz	1300 Mbit/s	SI	OFDM	802.11 a/b/g/n

Tabla 7: Comparación de los estándares 802.11

2.9. Otras Tecnologías

Existen otras tecnologías que son usadas en el mercado para implementar las redes inalámbricas como Bluetooth, Hiperlan y además de Protocolos: WAP, Mobile IP, Mobile TCP.

2.9.1. Bluetooth (802.15.1)

El estándar IEEE 802.15.1, mejor conocido como Bluetooth, es una de las tecnologías que permiten comunicación inalámbrica entre dos o más dispositivos. Generalmente el alcance máximo que alcanza es 10 metros, pero con ayuda de amplificadores se pueden llegar a los 100.

Este sistema opera en la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical), la cual es de uso libre, y su frecuencia está fijada en 2.45 GHz. La última versión de este estándar (Bluetooth 4.1) alcanza velocidades de hasta 32 Mbps. Actualmente se está desarrollando la versión 4.2, que permitirá la conexión a Internet sin la necesidad de vincularse a un dispositivo con ésta tecnología. La topología de red que usa es piconet, la cual puede llegar a tener hasta 7 dispositivos, siendo uno el maestro, y los demás esclavos. Puede que existan varias piconet, y en este caso se denomina “scatternet”.

Las aplicaciones más comunes son: uso de periféricos, “Manos Libres”, y de puente a Internet. [11]

2.9.2. Hiperlan

Hiperlan, que hace referencia a “High Performance Radio LAN”, es un estándar creado por el ETSI (Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo), que tuvo como objetivo superar la tasa de transferencia de datos de IEEE 802.11. Se crearon dos versiones: Hiperlan/1 e Hiperlan/2.

En Hiperlan/1 la tasa de datos llega hasta los 23.5 Mbps. En la versión Hiperlan2, debido al uso de modulación OFDM y parámetros de calidad de servicio (QoS), alcanza una velocidad de 54 Mbps a nivel físico, y su principal diferencia con las demás tecnologías es que opera en la banda de los 5 GHz. [12]

2.9.3. WAP

WAP (Protocolo de Aplicaciones Inalámbricas), es un estándar que fue creado debido a la necesidad de navegación en internet con dispositivos móviles. En un principio, los sitios webs se diseñaron para computadoras de escritorio y portátiles, y éstos presentan ciertas características de memoria, pantalla, uso de energía, etc. La finalidad de este protocolo es brindar la adaptación de estos diseños a los “Smartphone”, “Tablets”, PDA’s, walkie-talkies, y demás.

El uso de WAP permite realizar cualquier actividad que haga uso de Internet en un dispositivo móvil (transacciones bancarias, comprar-reservar entradas de espectáculos, comercio electrónico, etc.), de una manera segura y confiable gracias a WTLS (Wireless Transport Layer Security). [13]

2.9.4. MOBILE IP

Mobile IP (IP móvil) es un protocolo creado por la IETF (Internet Engineering Task Force) que proporciona conectividad móvil cuando los dispositivos no se encuentran en su red principal.

Cada vez que un dispositivo portátil se desplace a través de varias redes inalámbricas, su IP irá variando, entonces su conectividad se perderá cada vez que salga de una red. Este protocolo permite que nuestros teléfonos, Tablets, PDA’s, etc., hagan el cambio de red automático y que no se pierda la conexión a internet, siempre y cuando sea lento. Es decir, si vamos en un automóvil es muy probable que no se aprovechen las características de estándar. [14]

2.10. Seguridad en la Red

Las redes inalámbricas son por naturaleza inseguras debido a que usan el aire como medio para propagar la señal, y son accesibles por cualquier dispositivo que se encuentre en el área de cobertura. En un sistema inalámbrico que no implemente niveles de seguridad, cualquier intruso que se encuentre cercano al área de cobertura podría ingresar con el equipo adecuado y acceder a la información que fluye a través de la red, además de consumir ancho de banda y recursos, estropeando el rendimiento de la misma.

Es aún más importante cuando nuestra WLAN es parte de una red corporativa, debido a que el usuario mal intencionado (intruso) puede evadir sistemas de seguridad como un Firewall, accediendo a la estructura principal de la red teniendo total entrada a equipos como routers, servidores, etc. Para combatir estos problemas a lo largo de los años se han creado sistemas de seguridad para las WLANs, como:

- WEP
- WPA
- Autenticación de Clave Compartida (ASK)
- Filtrado de direcciones MAC
- Autenticación 802.1x y EAP
- Redes Privadas Virtuales (VPN)
- Radius
- Portal Cautivo

El objetivo principal de los sistemas de seguridad es impedir el acceso de cualquier usuario no autorizado, ya que la red se encuentra protegida.

2.10.1.WEP (Wired Equivalent Privacy)

Es un sistema de seguridad que comparte una clave secreta con todos los dispositivos conectados, para cifrar los datos a enviar. Presenta grandes vulnerabilidades por lo que no se usa en la actualidad.

2.10.2.WPA (Wi-Fi Protected Access)

Se creó como mejora del WEP, y se usa en servidores de autenticación que les otorgan distintas claves a los usuarios. Cubre algunas debilidades de WEP, y las que quedaron se eliminaron con WPA2.

2.10.3.Autenticación de Clave compartida (ASK)

Se refiere a cuando se realiza la identificación de los usuarios con una misma clave para todos.

2.10.4.Filtrado de Direcciones MAC

Consiste en la creación de una tabla de direcciones en cada AP de la red inalámbrica. Como cada equipo tiene MAC única, se logra autenticar a cada uno. Es ideal para redes pequeñas en la que la escalabilidad no esté en planes futuros, ya que se debe ingresar cada dirección MAC en cada uno de los dispositivos a utilizar en la red.

2.10.5. Autenticación 802.1x

Es un estándar de la IEEE que permite la identificación de los usuarios mediante un servidor de autenticación, el cual realiza este proceso.

2.10.6. Protocolo de autenticación extensible (EAP)

Realiza un intercambio de mensajes en el proceso de autenticación. Cliente y servidor deben utilizar el mismo método (certificados, tarjetas inteligentes, credenciales) para lograr la identificación.

2.10.7. Redes Privadas Virtuales (VPN's)

Las VPN's son redes privadas virtuales, y es "Virtual" ya que permite conectar dos redes locales "físicas" a través de Internet, haciendo uso de protocolos de túnel, el cual tiene el objetivo de actuar como un conducto entre ambos puntos.

Los protocolos de Túnel son los encargados de cifrar la información que se transmite entre ambos puntos.

En una VPN de dos equipos, el cliente de VPN es la parte que cifra y descifra los datos del lado del usuario y el servidor VPN (comúnmente llamado servidor de acceso remoto) es el elemento que descifra los datos del lado de la organización. En la figura 2.15 se muestra el funcionamiento de una VPN:

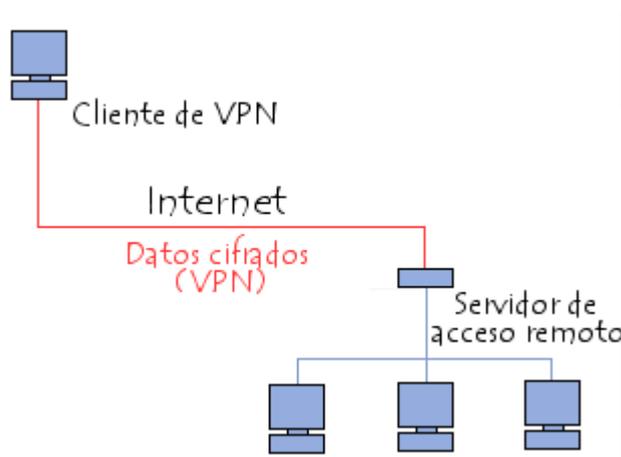


Figura 2.15: Funcionamiento de una VPN [15]

2.10.8. Radius (Remote Authentication Dial-In User Server)

Es un protocolo que gestiona la autenticación, autorización y el registro de los usuarios (AAA); es utilizado por el estándar IEEE 802.1X, para mejorar los métodos de encriptación. En la figura 2.16 se muestra su funcionamiento:

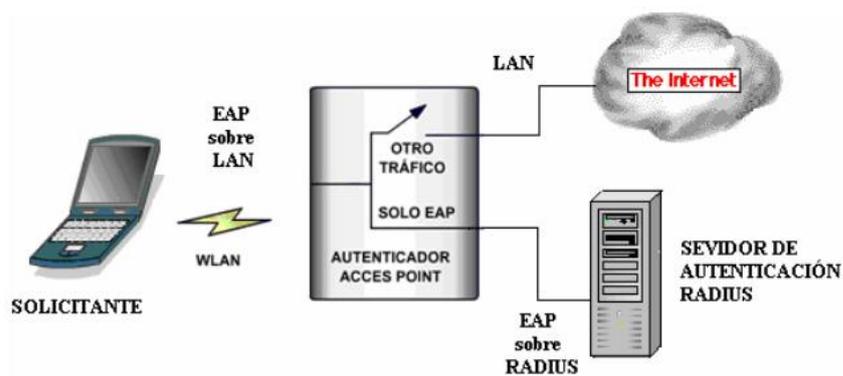


Figura 2.16: Autenticación 802.1x y EAP [16]

2.10.9. Portal Cautivo

Es una página Web que se ejecuta cuando una red pública o privada tiene configurada la restricción a los usuarios, y es común encontrarla en centros comerciales, aeropuertos, hoteles, universidades, etc. Pueden ser programables para limitar su tiempo de uso, ancho de banda, cantidad de usuarios, contenido a descargar, etc. En la figura 2.17 se presenta el Portal Cautivo que usa actualmente la FIEC: [17]



Figura 2.17: Portal Cautivo de la FIEC [18]

CAPÍTULO 3

3. PROPUESTA DE DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA

En este capítulo se mostrará la tecnología seleccionada en base a la revisión de realizada en el capítulo 2 para presentar una propuesta de diseño de la red inalámbrica de la FIEC, con el cual se tiene como objetivo mejorar el acceso de la comunidad académica a los múltiples servicios en línea que ofrece la universidad y a toda la información necesaria para el desarrollo académico que se encuentra en el internet.

Para la red propuesta se utilizará la topología en estrella, la cual es estándar para las redes inalámbricas, y además los equipos seleccionados para el diseño de la red trabajan con el estándar 802.11 ac ya que son compatibles con las versiones anteriores.

3.1. Parámetros de Diseño

Para la elaboración del diseño se consideró factores muy importantes que permitan garantizar el funcionamiento óptimo de la red, ofreciendo características diferenciadoras con la red anterior tales como:

- Cobertura
- Capacidad
- Administración

Al realizar un nuevo diseño para la red inalámbrica en la FIEC lo que se pretende es proporcionar al usuario movilidad sin que pase por algún tiempo de afectación en el servicio cuando cambie de la cobertura de un AP y pase a otra, minimizando la interferencia que se puede producir debido a las señales que pasan por el mismo lugar.

Una red que ofrezca movilidad, es una aquella que posee cobertura en todas las áreas de trabajo donde se encuentre personal académico y administrativo; debido a esto se busca asegurar que la señal se propague por todos estos lugares incluyendo donde actualmente no llega la cobertura.

El objetivo es que cada edificio de la FIEC, aulas de clases, laboratorios de trabajos, oficinas de profesores, biblioteca, auditorio, entre otros lugares, se encuentren con la disponibilidad de la red inalámbrica y que el usuario no esté limitado en su movilidad.

La disponibilidad es otro factor muy importante, debido a que los usuarios interrumpen su trabajo al quedarse sin servicio de forma imprevista, entre algunas causas está la saturación e interferencia. Para lograr alcanzar una alta disponibilidad es fundamental usar equipos que administren dinámicamente las conexiones de usuarios, que están diseñados para trabajar en condiciones de saturación sin tener mayor afectación.

Para la administración se necesita de equipos que sean configurables de forma retoma y dinámica, tales como router, switch y puntos de acceso, además para la administración de los AP's se utilizará un equipo de control y gestión (controladora) desde el cual se podrán realizar cualquier tipo de cambio en los mismos.

Con el propósito de lograr todo lo mencionado anteriormente, es de suma importancia obtener o adquirir equipos de mayor robustez y mirando hacia el futuro de las redes inalámbricas que soporten el estándar 802.11 ac con la tecnología MIMO, que manejen una transferencia de información rápida y eficaz (throughput), que posea roaming, que trabajen en condiciones de alta densidad de usuarios sin perder la disponibilidad de la red, que permitan cubrir la mayor demanda de usuarios en los AP's. Considerando que cada semestre la cantidad de estudiantes aumentan, y que las áreas de cobertura podrían crecer al ampliar o construir nuevos edificios.

Se presenta el esquema general de una red inalámbrica en la figura 3.1:

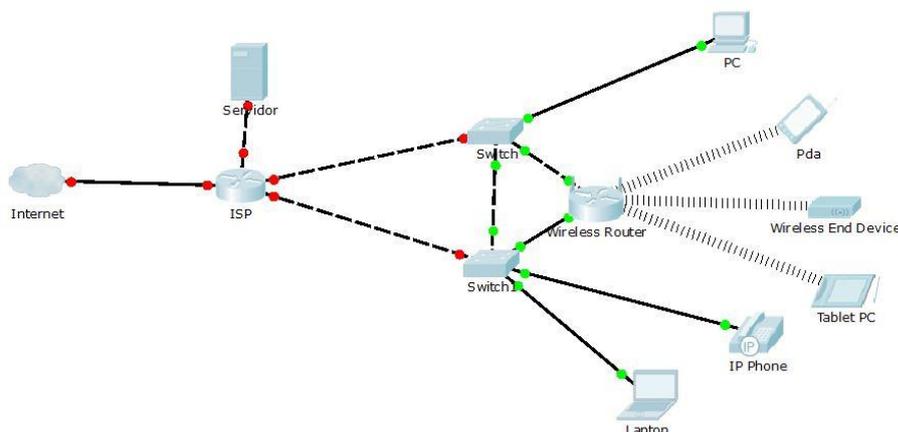


Figura 3.1: Esquema general de una red local inalámbrica

Como se puede observar en el esquema general, los puntos de acceso inalámbricos están conectados a switches o routers, los cuales les entregan el servicio de internet a los usuarios.

3.2. Esquema de Red Propuesto

En la siguiente figura se observa el esquema de red propuesto, en donde el nodo central se encuentra ubicado en el bloque 2 dado que actualmente ya existe una sala acondicionada para mantener los equipos de alto procesamiento a temperaturas reguladas, aquí se encontrarán los equipos que realicen las funciones principales de la red.

Los equipos comprendidos para el nodo central son el switch de capa 3, los servidores de autenticación y el equipo de administración y control de los puntos de acceso. Estos son los encargados de hacer el enrutamiento respectivo, la validación de usuarios.

Además en cada bloque (excepto bloque 2) se necesitará un switch en capa 2, el cual permitirá la conexión de los puntos de acceso con el nodo central.

Los puntos de acceso se conectarán a los switches y serán los encargados de brindar la conexión inalámbrica a los usuarios de la FIEC, cabe mencionar que estos AP's deberán ser exclusivamente para uso de interiores. En la figura 3.2 se detallan las ubicaciones en cada bloque de la FIEC.

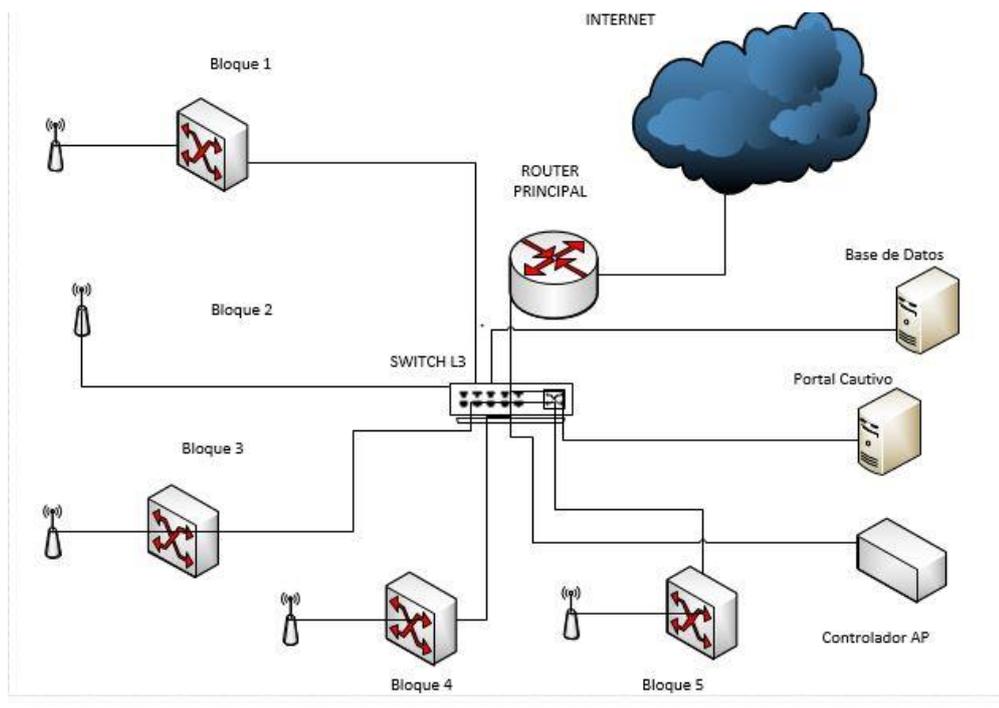


Figura 3.2: Esquema de la red

3.3. Características de equipos a utilizarse

Para el switch de capa 3, se requieren las siguientes características:

Detalles de interfaces/puertos:

- 24 x RJ-45 10/100/1000Base-T Auto-sensing/Auto-negotiating/MDI/MDI-X LAN
- 1 x RJ-45 consola gestión
- Ratio de transferencia de datos :

- 10Mbps Ethernet Half/Full-duplex
- 100Mbps Fast Ethernet Half/Full-duplex
- 1Gbps Ethernet Gigabit Half/Full-duplex

Tipo de conexión:

- Categoría 5 UTP 10/100/1000Base-T
- Categoría 6 UTP 10/100/1000Base-T

Tabla de direcciones: Soporte 12K Dirección MAC.

Soporte de nivel:

- 2 Conmutación
- 3 Enrutamiento

Control de flujo: IEEE 802.3x (Full-duplex)

Sistema operativo: Standard Multilayer Software Image (SMI) instalado

Memoria:

- 128MB DRAM
- 32MB Memoria Flash

Fiabilidad

MTBF: 87600 Hora(s) (Mean Time before Failure)

Descripción de la alimentación

Voltaje de entrada: 100 V AC a 240 V AC Auto Rango

Frecuencia: 50 Hz o 60 Hz

Corriente de entrada: 1,5 A - 3 A

Consumo de corriente: 100 W Máx.

Condiciones ambientales

- Temperatura de actividad: de 32 a 113 F (de 0 a 45 C)
- Temperatura de almacenamiento: de -4 a 149 F (de -20 a 65 C)
- Humedad relativa en actividad: de 10 a 85% sin condensación

En cuanto al switch de capa 2, que cumplan las siguientes características:

- Función Power over Ethernet (PoE).
- Puertos: 16 mínimo
- Opción de Fast Ethernet (transferencia de datos de 100 megabits por segundo) o Gigabit Ethernet (transferencia de datos de 1000 megabits por segundo).
- Capacidad de configurar LAN virtuales de forma que los empleados estén conectados a través de funciones de organización, equipos de proyecto o aplicaciones en lugar de por criterios físicos o geográficos.
- Garantía de hardware: 5 años mínimos.

Como se va a implementar autenticación en la red inalámbrica, es necesario contar con un servidor que cumpla con las siguientes características:

- Procesador Intel® Pentium® G2120 o superior (3MB Caché, 3.10 GHz)
- Sin sistema operativo
- Sin RAID - SATA integrado, soporta de 1 a 3 disco duros conectados al controlador SATA integrado
- Memoria de 4 GB mínimo, 1.600 MT/s, bajo voltaje, clasificación simple, ancho de datos x8
- Disco duro 500GB mínimo (7200 RPM), SATA 3.5" 3Gps - cableado
- 1 Año de garantía básica en el sitio con respuesta al siguiente día laborable.
- Chassis with Cabled 4x3.5 Hard Drives
- DVD-ROM (segundo dispositivo óptico Interno)

Para el acceso inalámbrico se necesitará de puntos de acceso que al menos cumplan las siguientes características:

Alimentación

- Adaptador de energía externa: entrada 110-240V AC, salida 12V CC – 1A
- Alimentación a través de Ethernet clase 0

Puertos Ethernet

- 1 auto-MDX, detección automática 10/100/1000 Mbps, RJ-45, puerto POE
- 2 auto-MDX, detección automática 10/100 Mbps, RJ-45 puertos (7463/7363 únicamente)

Condiciones del entorno

- Temperatura de funcionamiento: 0°C – 40°C
- Humedad de funcionamiento: 15% - 95%, sin condensación

Estándar WI-FI

- IEEE 802.11a/b/g/n/ac (2.4 y 5 GHz)

Capacidad

- Estaciones simultáneas: mínimo 500

Velocidades de datos

- 130 Mbps en 20 MHz
- 300 Mbps en 40 MHz

Seguridad inalámbrica

- WEP, WPA-PSK, WPA-TKIP, WPA2 AES, 802.11i

- Autenticación a través de 802.1X con el equipo de administración y control, base de datos de autenticación local, soporte para RADIUS y Active Directory.

Para la administración de todos los puntos de acceso se necesitará un controlador con las siguientes características

Alimentación

- Adaptador de energía externa
- Entrada: 110 – 240 V CA
- Salida: 12 V CC, 1A

Puertos Ethernet

- 2 puertos, auto MDX, detección automática 10/100/1000 Mbps, RJ-45

Condiciones del entorno

- Temperatura de funcionamiento: 32 °F (0°C) – 122 °F (50°C)
- Humedad de funcionamiento: 15 % - 95 % sin condensación

Capacidad

- Puntos de acceso administrables: 50
- WLAN (BSSID): 128
- Estaciones simultáneas: 1200

Aplicaciones

- Acceso de invitados
- Portal cautivo

Seguridad

- Estándares: WPA, WPA2, 802.11i

- Autenticación: 802.1x, dirección MAC
- Base de datos de usuarios: interna 1200 usuarios, externa RADIUS, LDAP, Active Directory.

3.4. Área de cobertura

Anteriormente ya se ha mencionado que este proyecto está enfocado en el rediseño de la red inalámbrica de la FIEC, a continuación en la figura 3.3 se puede observar el perímetro de la misma.



Figura 3.3: Zona De Estudio

Para un mejor análisis se ha dividido el área de la FIEC presentada en primera instancia en la Figura 3.3 en bloques de trabajo para de esta manera facilitar el estudio de la densidad estudiantil que se encuentra en cada uno de ellos.

- **Bloque 1:** comprende todo el edificio 15A donde en la planta baja se encuentran las oficinas administrativas, decanato, subdecanato, y profesores, auditorio, salón de eventos, CEEMP, en el primer piso alto

se encuentran aulas de clases, biblioteca, oficina de gestión estratégica, y en el segundo piso alto encontramos todos los laboratorios de distintas asignaturas donde se imparten clases.

- **Bloque 2:** comprende el edificio 16 C donde se encuentran los laboratorios de computación, oficinas de Microsoft, oficinas de maestría, sala de asistentes y dos aulas.
- **Bloque 3:** comprende el edificio 16 A, en el cual también se encuentran diferentes laboratorios de la FIEC.
- **Bloque 4:** comprende el edificio 15 en el cual encontramos oficinas de profesores, cisco y de grupos estudiantiles.
- **Bloque 5:** comprende el edificio 24 en donde están el resto de aulas de clases de la FIEC, el cual cuenta con planta baja y planta alta.

En la figura 3.4 se muestran las zonas de estudio para el nuevo diseño de la red:

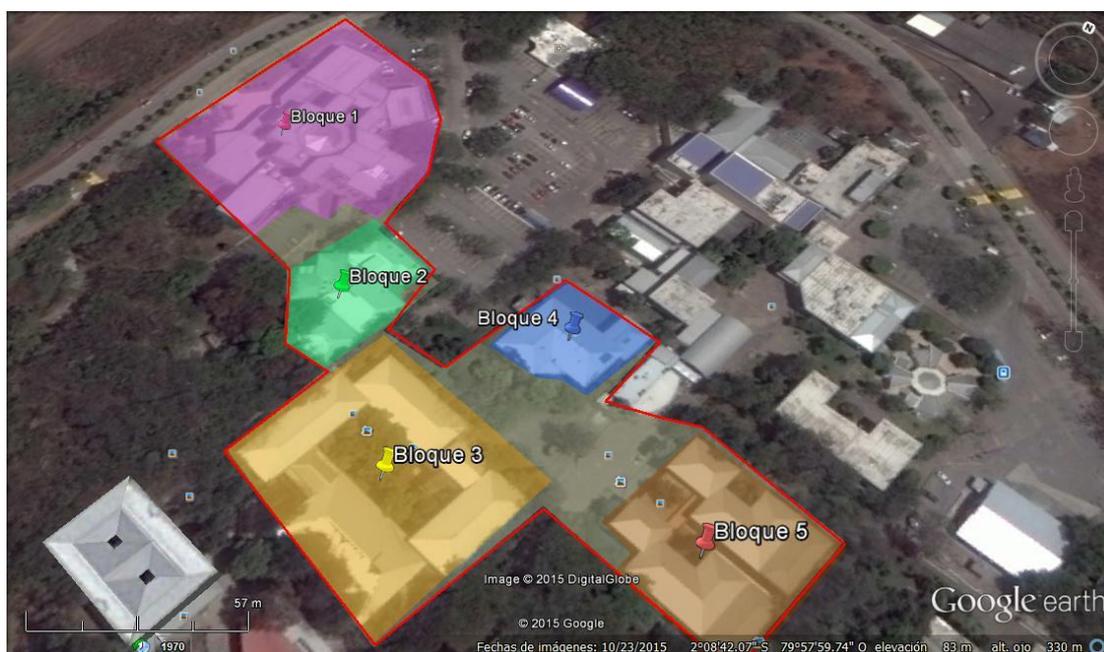


Figura 3.4: Zona de estudio dividida por Bloques.

3.5. Criterios de ubicación de AP's

Para poder establecer la ubicación de cada punto de acceso, nos apoyaremos en un plano o esquema de edificios de la FIEC, para el presente proyecto se realizará el análisis en el bloque i y a su vez dentro este bloque lo dividiremos por pisos.

- Es importante a considerar que los punto de acceso a utilizarse trabajan en el estándar 802.11 ac y poseen una cobertura nominal de 80 a 100 metros, la cual se deteriora por los obstáculos que se encuentren en el medio como paredes, puertas, que interfieran en la propagación de la señal.
- En lugares que se encuentren contruidos con materiales sólidos como cemento, ladrillos, loza, etc., se supondrá que la señal no atraviesa más de una pared y además utilizar un punto de acceso mínimo por piso o nivel.
- Además existen otros materiales que también afectan en la propagación de la señal como pueden ser puertas metálicas y de vidrio, paredes de mampara.

En tabla 8 se muestra el nivel de interferencia que produce los materiales ante la propagación de las ondas de radiofrecuencia, los cuales deben ser considerados al momento de elegir la mejor ubicación de los AP's.

Material	Ejemplo	Interferencia
Madera	Techos	Baja
Vidrio	Ventanas	Baja
Amianto	Techos	Baja
Yeso	Paredes	Baja
Ladrillo	Paredes	Media
Hojas	Arboles	Media
Cuerpo Humano	Muchedumbre	Media
Agua	Lluvia / Niebla	Alta
Cerámica	Tejas	Alta
Papel	Rollos de papel	Alta
Vidrio (con mucho plomo)	Ventanas	Alta
Metal	Vigas, Puertas	Muy Alta

Tabla 8: Tipos de materiales con su nivel de interferencia

3.6. Posición del AP

En la implementación de una red inalámbrica los puntos de acceso se deben colocar lo más alto posible para así evitar la manipulación de los usuarios y por seguridad de los equipos, se sugiere colocarlo a una altura mínima de 2,3m.

De acuerdo a la posición en la que el administrador de la red coloque el punto de acceso (colgado o sobre algún equipo), es importante que las antenas siempre permanezcan en forma vertical (figura 3.5) para que la señal se propague correctamente.

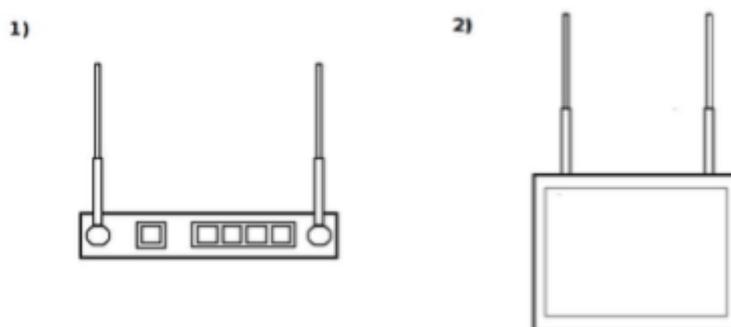


Figura 3.5: Posición correcta de los puntos de acceso de acuerdo sus antenas.

Ubicarlos físicamente lo más distante posible uno del otro dentro de la dependencia. Con esto se logra una mejor y uniforme cobertura de la señal dentro de la localidad.

3.7. Análisis de la ubicación de los AP's

Inicialmente en este proyecto solo se analizara el bloque I, que es el edificio principal de la FIEC donde encontramos tantos profesores, estudiantes, y demás personal, y como este consta de tres pisos se subdividirá este análisis por pisos.

Análisis de la planta baja:

En el anexo 1 se muestra el plano de la planta baja del edificio principal donde contamos con varios escenarios para analizar y muy importantes para tomar

en consideración al momento de sugerir la ubicación de los AP's. En el plano se observa que hay unos puntos rojos los cuales representan las oficinas de los profesores, donde se observa gran concentración de líneas amarillas se encuentra el auditorio, el resto son oficinas administrativas y el salón de eventos.

Para poder realizar este análisis hemos tomado en cuenta los materiales con los que se encuentra construido el edificio principal, entre ellos tenemos paredes de bloques, puertas de vidrios, entre otros.

En la figura 3.6 sobre el plano de la FIEC se han trazado círculos diferenciados por colores que representan la cobertura de cada AP y la ubicación de cada uno de ellos sería el punto central, y trabajarían cada uno en canales distintos para evitar la interferencia.

El primer espacio a tomar en cuenta es el auditorio donde se necesita un solo AP para este lugar, ya que debido a las condiciones de construcción es un lugar cerrado con materiales de alta interferencia, y además debido a la gran cantidad de estudiantes y demás personas asisten al mismo.

Para el resto de la planta baja se han colocado tres AP's como se observa en la figura 3.6.

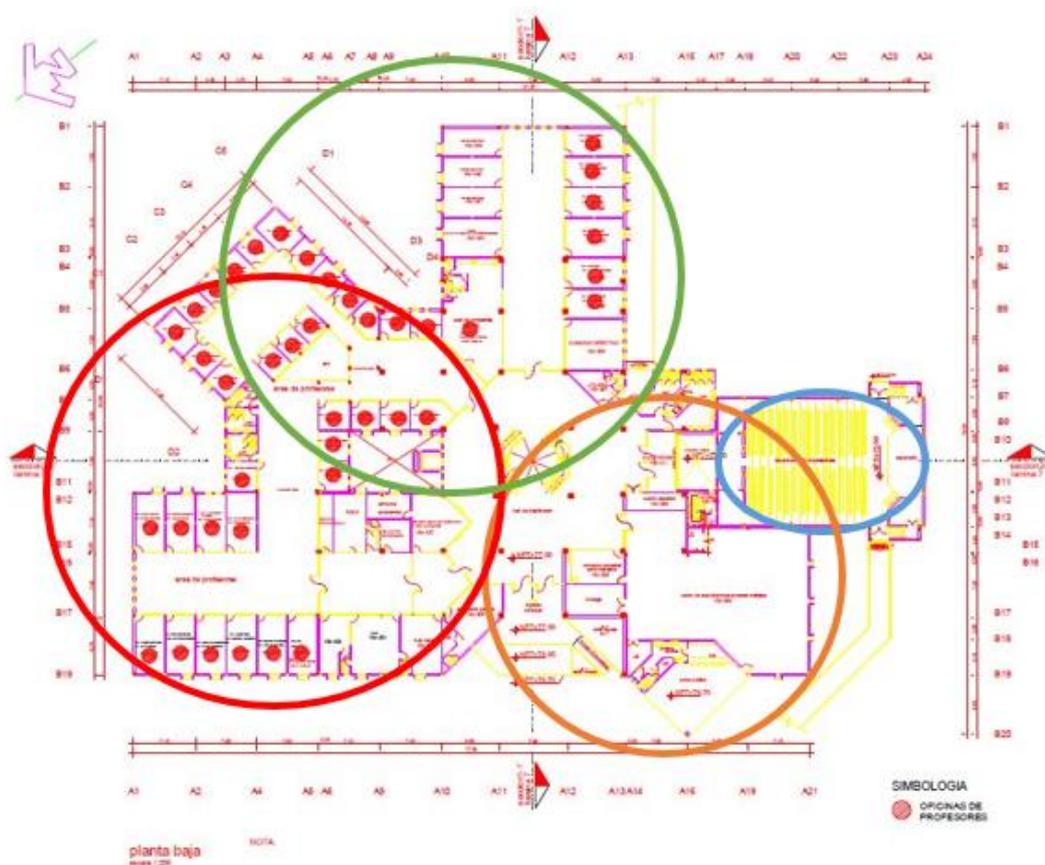


Figura 3.6: Cobertura esperada por la nueva red

Análisis del primer piso alto:

Para el primer piso alto al igual que en el anterior análisis se ha tomado a consideración la infraestructura del lugar, y para el presente proyecto es de suma importancia que la cobertura de la red esté disponible en los lugares de trabajos como salones de clase.

Los salones de clase están contruidos con materiales que impiden que la señal llegue al interior de ellas cuando los AP están colocados fuera de las mismas debido a que tienen puertas metálicas, y el aula actuaría como una “jaula de Faraday”.

Considerando que en este nivel o piso consta de 5 aulas contiguas, es decir están contruidas unas al lado de la otra, se colocaran 2 AP’s entre las 5

aulas en los puntos medios de las mismas al interior de ellas, para de esta forma garantizar que al interior de las aulas los estudiantes y profesores hagan uso del servicio. Además se coloca otro AP en el área exterior de la biblioteca de la FIEC para cubrir esa zona del edificio, como se muestra en la figura 3.7:

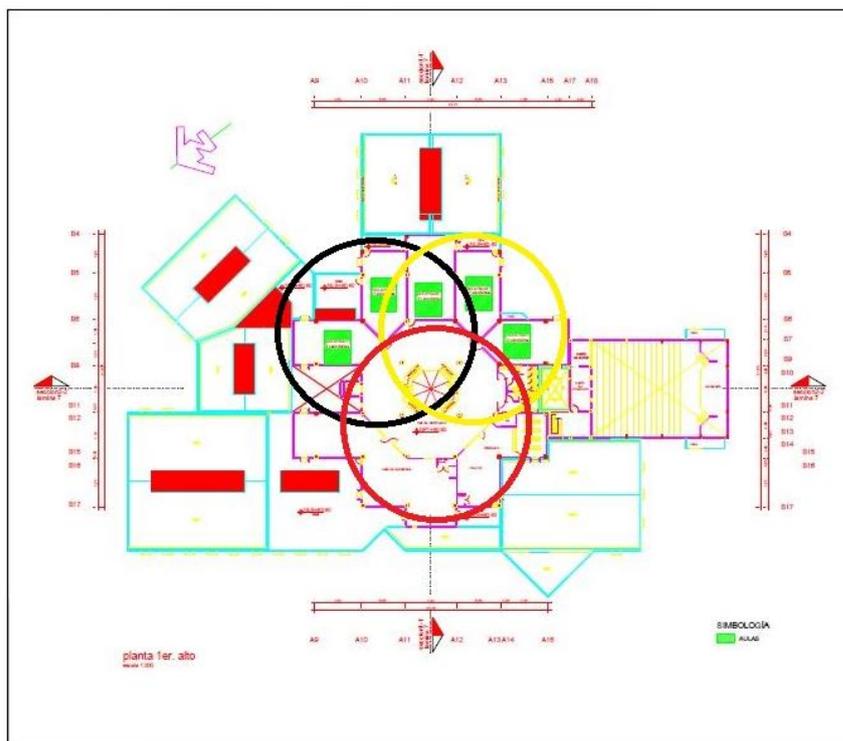


Figura 3.7: Cobertura esperada por la nueva red

Análisis del segundo piso alto:

Para el segundo piso el análisis es similar al del primer piso, ya que tienen características parecidas de construcción. En este edificio se encuentran los laboratorios de clases, y se colocan 2 AP's, tal como se puede observar en la figura 3.8 donde sobre el plano del nivel o piso se trazó la cobertura de cada uno, cabe recalcar que cada AP va a operar en una canal distinto para que no exista ninguna interferencia entre ellos.

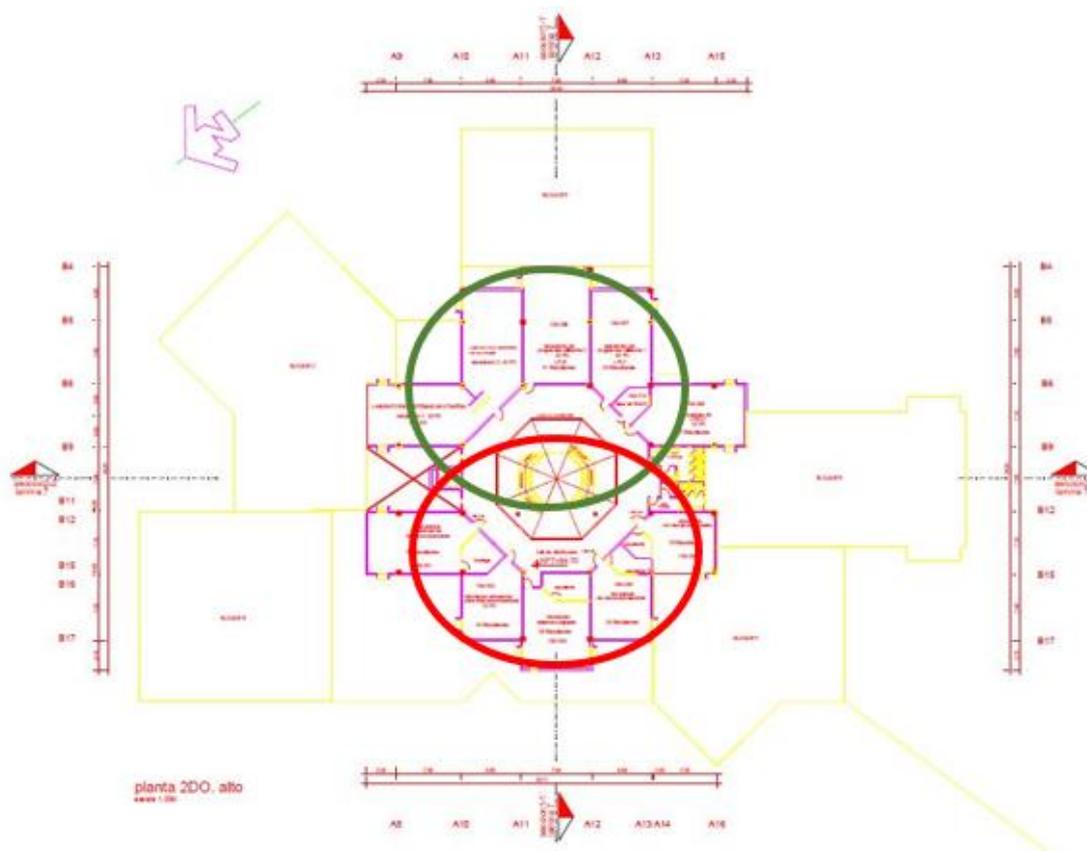


Figura 3.8: Cobertura esperada por la nueva red

3.8. Análisis de prototipo de Access Point

Para el presente proyecto se ha mencionado anteriormente las características de los AP's que se deberían utilizar, cabe recalcar que no se ha seleccionado algún fabricante específico para los equipos, ya que la elección de los equipos depende de un acuerdo entre la parte técnica y comercial.

En esta sección se muestran las pruebas realizadas por la Croatian Academic and Research Network – CARNet, es una red nacional de investigación y educación en Croacia, quienes evaluaron el desempeño de los mejores AP's existentes en el mercado que trabajan en el 802.11 ac y 808.11n, en condiciones reales, con gran capacidad e interferencia.

En esta prueba se escogieron un total de 19 puntos de acceso, los cuales fueron expuestos a varios cambios progresivos en los cuales se variaba o se aumentaba el número de usuarios, que fueron 12, 23, 36, 60 usuarios en un aula donde existía interferencia con el fin de observar los resultados en cuanto al throughput.

Los terminales de prueba para conectarse a la red, variaban en cuanto el estándar utilizado entre 802.11 ac y 802.11 n, además de operar en una y dos bandas.

Cada prueba fue realizada 3 veces para cada AP registrando el mayor resultado posible, y los modelos se muestran a continuación en la figura 3.9: [23]



Figura 3.9: Varios de los AP's sometidos a la prueba. [23]

3.8.1. Entorno de pruebas

Para las pruebas los AP's se ubicaron en el exterior del aula distanciados de los dispositivos terminales por medio de una construcción que generaba una pérdida de 5 dB. Los dispositivos terminales se encontraban en el interior del aula.

El aula tiene un área de 120 metros cuadrados, cabe recalcar que cada fabricante tuvo un tiempo determinando para realizar pruebas de que su AP trabaje según lo previsto y a su vez podría optimizar el rendimiento del mismo.

3.8.2. Criterio de evaluación

El criterio a ser evaluado en cada una de las pruebas es el Throughput, que se lo media usando la descarga de un archivo de 1MByte con la herramienta IxChariot.

Cabe resaltar que para cada prueba si una sesión TCP falla para los dispositivos terminales, se considera que el AP falló en la prueba, por lo tanto este AP no continua para las siguientes pruebas.

3.8.3. Orden de Pruebas

- Prueba 1: 13 terminales (entre 802.11 n y 802.11 ac)
- Prueba 2: agrega 10 terminales 802.11n
- Prueba 3: agrega 13 terminales 802.11n
- Prueba 4: agrega 24 terminales 802.11n
- Prueba 5: distribuye 36 terminales en un patrón de arco de 270°

3.8.4. Puntos de acceso y dispositivos usados

A continuación en la tabla 9 se muestra la descripción de los 19 AP's que se sometieron a las pruebas mencionadas.

Fabricante	Modelo	Estándar IEEE	Banda dual	TxR:SS
Aerohive	121	802.11n	Si	2x2:2
Aerohive	230	802.11ac	Si	3x3:3
Aerohive	330	802.11n	Si	3x3:3
Aruba	225	802.11ac	Si	3x3:3
Cisco	1700	802.11ac	Si	3x3:2
Cisco	2700	802.11ac	Si	3x4:3
Cisco	3700	802.11ac	Si	4x4:3
Hp	430	802.11n	Si	3x3:2
Hp	525	802.11ac	Si	2x2:2
Hp	560	802.11ac	Si	3x3:3
Meraki	MR34	802.11ac	Si	3x3:3
Ruckus	7372	802.11n	Si	2x2:2
Ruckus	7982	802.11n	Si	3x3:3
Ruckus	R300	802.11n	Si	2x2:2
Ruckus	R500	802.11ac	Si	2x2:2
Ruckus	R700	802.11ac	Si	3x3:3
Ubiquiti	Uni-Fi Pro	802.11n	Si	2x2:2
Xirrus	XR520	802.11n	Si	2x2:2
Xirrus	XR430	802.11n	Si	3x3:3

Tabla 9: Fabricantes de AP's [23]

Antes de mostrar los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas es importante mostrar los dispositivos terminales utilizados por los usuarios para conectarse a la red, ya que es de gran importancia mostrar ciertas características de estos dispositivos que influyen de gran manera en los resultados. En la tabla 10 se muestran las características de los dispositivos finales:

Dispositivo	Modelo	Cantidad	Estándar IEEE	Ancho de Banda Canal (MHz)	TxR:SS
Samsung	S-SM-T230	1	802.11 n	20	1x1:1
Samsung	S-SM-T235	1	802.11 n	20,40	2x2:2
Samsung	S-SM-T700	2	802.11ac	20,40,80	2x2:2
Samsung	S-SM-T705	1	802.11ac	20,40,80	2x2:2
Samsung	S-SM-T800	1	802.11ac	20,40,80	1x1:1
Samsung	S-SM-T805	1	802.11ac	20,40,80	1x1:1
Samsung	S-SM-N910C	1	802.11ac	20,40,80	2x2:2
Samsung	S-SM-P600	1	802.11ac	20,40	2x2:2
Samsung	N8000	6	802.11 n	20,40	1x1:1
iPad	3	4	802.11 n	20,40	1x1:1
iPad	4	1	802.11 n	20,40	1x1:1
MacBook	Pro 15 (2011)	1	802.11 n	20,40	3x3:3
Laptop	Lenovo X200	10	802.11 n	20,40	3x3:3
Laptop	Lenovo T400	14	802.11 n	20,40	3x3:3
HP	Pro Tablet 610 G1	15	802.11 n	20,40	2x2:2

Tabla 10: Dispositivos terminales en las pruebas [23]

3.8.5. Resultados de pruebas

Prueba 1

En la primera prueba cada AP fue sometido a 13 usuarios, obteniendo los siguientes resultados mostrados en la tabla 11.

Fabricante	Modelo	Throughput (Mbps)
Ruckus	R500	213,26
Ruckus	R700	187,69
Aruba	225	175,00
Meraki	MR34	168,19
Cisco	3700	162,66
Aerohive	330	158,92
Hp	560	153,48
Ruckus	7982	144,87
Hp	525	141,74
Cisco	1700	139,89
Ubiquiti	Uni-Fi Pro	130,78
Ruckus	7372	126,80
Cisco	2700	123,82
Aerohive	230	119,52
Aerohive	121	108,10
HP	430	89,06
Ruckus	R300	86,00
Xirrus	XR520	85,58
Xirrus	XR430	25,90

Tabla 11: Resultados de throughput prueba 1. [23]

En la figura 3.10 se muestra un detalle de los resultados obtenidos en prueba 1:

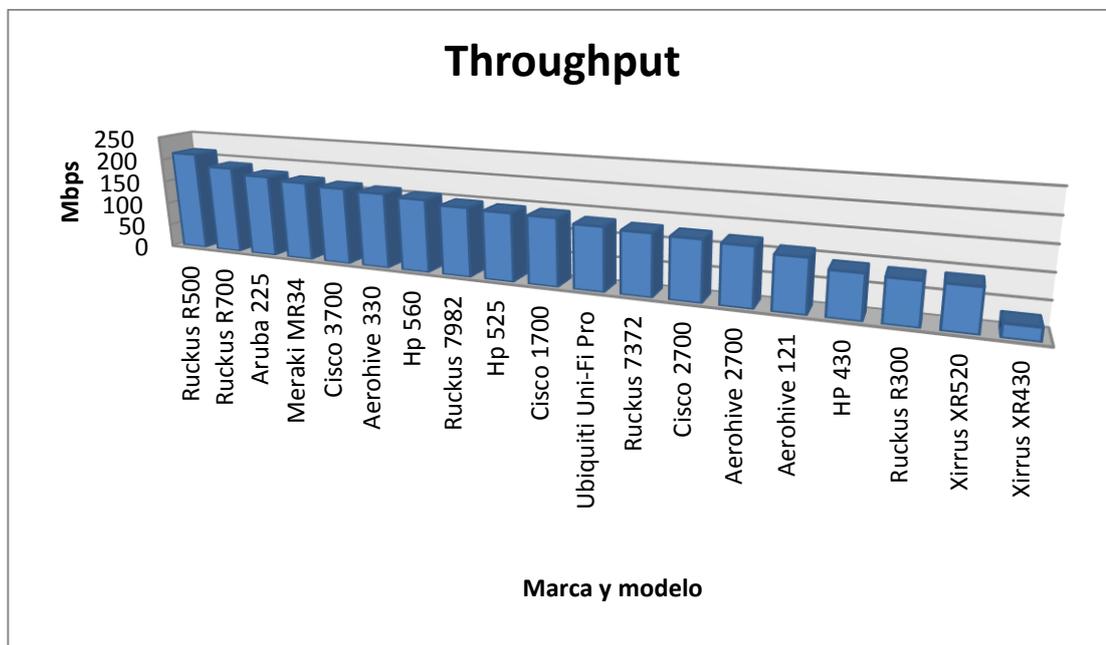


Figura 3.10: Gráfico de barras del resultado de throughput prueba 1. [23]

Prueba 2

Como se había mencionado anteriormente en cada prueba se aumentarían el número de dispositivos terminales con el fin de observar como varía el throughput, para esta prueba se agregaron 10 dispositivos.

A continuación se muestra la tabla 12 de los resultados obtenidos, ordenados de mayor a menor según el throughput obtenido:

Fabricante	Modelo	Throughput (Mbps)
Ruckus	R500	179,59
Ruckus	R700	174,92
Meraki	MR34	126,30
Aruba	225	124,09
Ruckus	7372	105,73
Cisco	3700	104,67
Ruckus	7982	104,36
Hp	560	103,03
Cisco	2700	99,41
Aerohive	330	98,66
Ubiquiti	Uni-Fi Pro	95,94
Cisco	1700	94,17
Ruckus	R300	78,90
Aerohive	121	77,29
HP	430	76,27
Xirrus	XR4430 (1 radio)	66,15
Aerohive	230	62,74
HP	525	58,00

Tabla 12: Resultados de throughput prueba 2. [23]

En la figura 3.11 se muestran los resultados de la prueba 2.

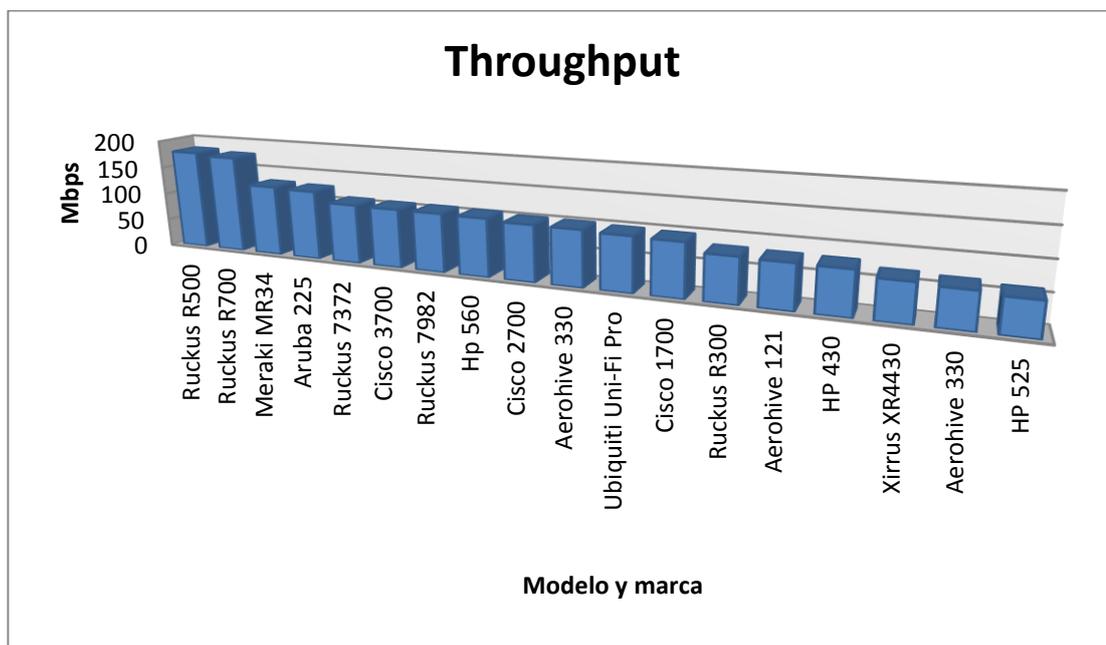


Figura 3.11: Gráfico de barras del resultado de throughput prueba 2. [23]

Prueba 3

En la tercera prueba se agregan 13 dispositivos terminales, y se tiene un total de 36 dispositivos sometidos a la prueba, de lo cual se tienen los siguientes resultados mostrados en la tabla 13.

Cabe resaltar que en la tabla 13 ya no constan los 19 AP's que aceptaron someterse a las pruebas, ya que 3 de ellos no superaron las pruebas anteriores por lo tanto no continuaron en las pruebas siguientes.

Fabricante	Modelo	Throughput (Mbps)
Ruckus	R700	137,00
Ruckus	R500	122,16
Ruckus	R300	95,24
Ruckus	7372	91,27
Ruckus	7982	85,23
Cisco	2700	83,56
Cisco	3700	76,21
Aruba	225	67,84
HP	560	65,09
HP	430	61,43
Meraki	MR34	56,00
Cisco	1700	54,50
Aerohive	330	54,45
Aerohive	230	42,68
Aerohive	121	38,16
HP	525	37,67

Tabla 13: Resultados de throughput prueba 3. [23]

En la figura 3.12 se detallan los resultados de la prueba 3:

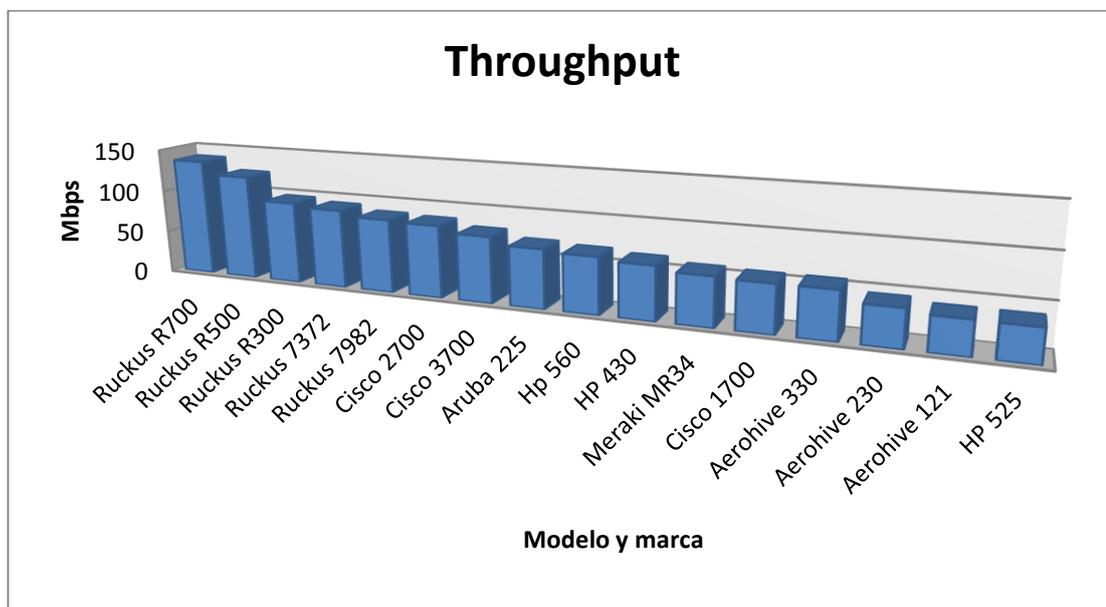


Figura 3.12: Gráfico de barras del resultado de throughput prueba 3. [23]

Prueba 4

Para la prueba 4 se cuenta con un total de 60 dispositivos terminales, 24 más que la prueba anterior, obteniendo los siguientes resultados mostrados en la tabla 14:

Fabricante	Modelo	Throughput (Mbps)
Ruckus	7982	113,65
Ruckus	R700	107,06
Ruckus	7372	87,85
Ruckus	R300	84,50
Ruckus	R500	80,25
Cisco	2700	64,48
Meraki	MR34	57,70
Hp	430	57,06
Cisco	3700	55,68
Aerohive	330	55,17
HP	560	53,35
Cisco	1700	51,66
HP	525	49,28
Aerohive	121	36,14
Aerohive	230	21,52
Aruba	225	17,78

Tabla 14: Resultados de throughput prueba 4. [23]

En la figura 3.13 se muestran los resultados de la prueba 4:

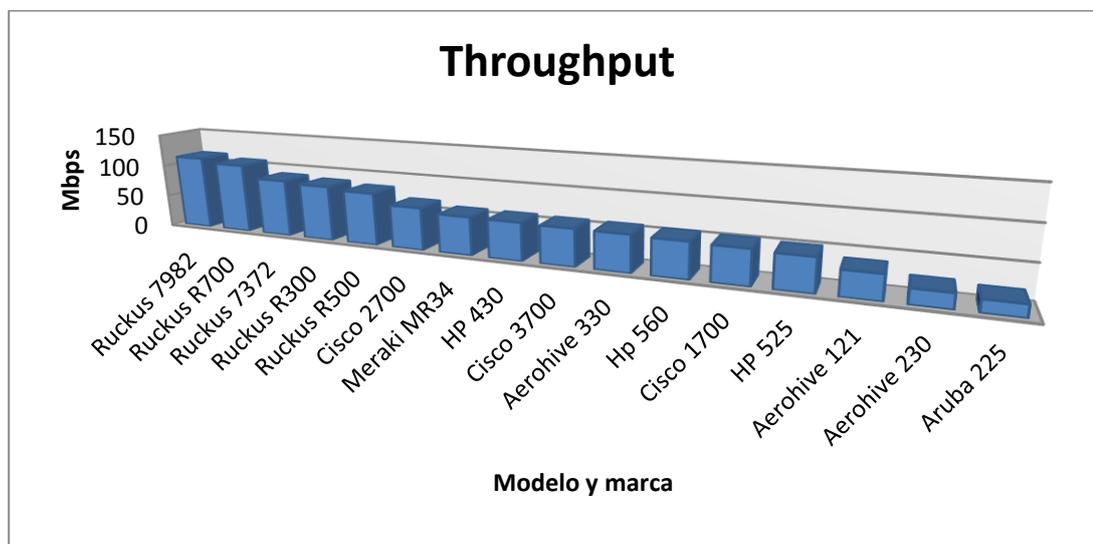


Figura 3.13: Gráfico de barras del resultado de throughput prueba 4. [23]

Prueba 5

Para realizar la prueba 5 se utilizan una cantidad de 36 dispositivos terminales, la misma cantidad utilizada en la prueba 3, pero la diferencia para esta prueba se da en que los dispositivos terminales se encuentran distribuidos de forma de arco de 270 grados con respecto al AP's como se muestra en la figura 3.14, con el fin de que los AP's tengan que variar la dirección de envío de las señales hacia los dispositivos y medir el rendimiento del mismo.



Figura 3.14: Distribución de los dispositivos. [23]

A continuación se muestra la tabla 15 con los resultados obtenidos:

Fabricante	Modelo	Throughput (Mbps)
Ruckus	7982	120,00
Ruckus	R700	116,42
Ruckus	R300	110,00
Ruckus	7372	98,00
Cisco	3700	86,95
Meraki	MR34	67,76
Cisco	2700	62,67
Ruckus	R500	57,19
Aruba	225	54,91
Cisco	1700	54,84
Aerohive	121	54,36
Aerohive	230	52,85
HP	430	52,53
Aerohive	330	38,00
HP	525	37,30
HP	560	33,36

Tabla 15: Resultados de throughput prueba 5. [23]

En la figura 3.16 se muestran los resultados de la prueba 5.

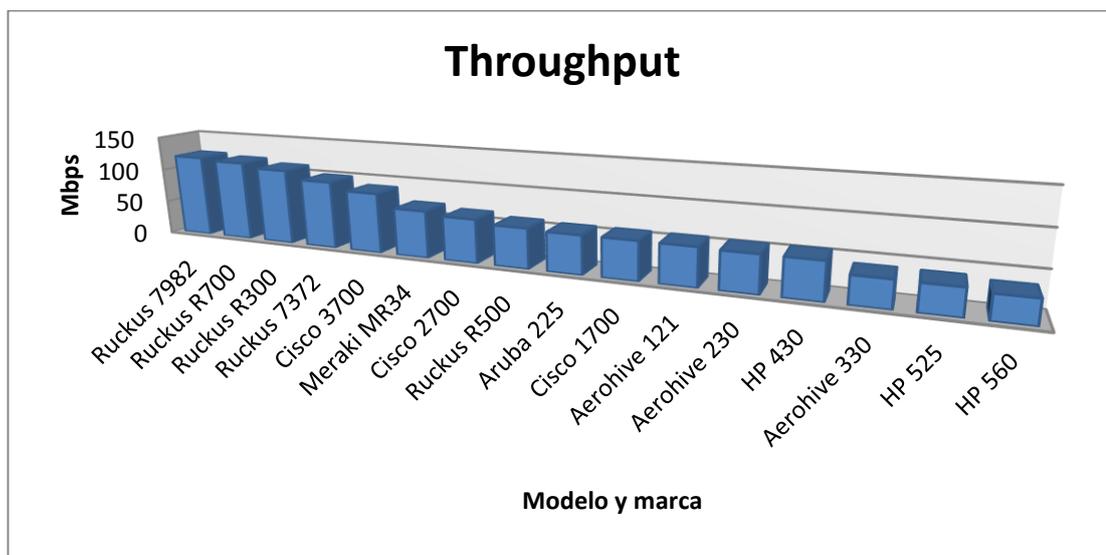


Figura 3.15: Gráfico de barras del resultado de throughput prueba 5. [23]

Una vez mostrada las pruebas realizadas por CARNet, se puede concluir que los fabricantes como ruckus y cisco, se sobreponen a la competencia en ambientes de alta densidad de dispositivos terminales, ya que presentan un valor de throughput alto en cada una de las pruebas en comparación con otros fabricantes.

Se recomienda que para la elección del AP a utilizar en la implementación del presente proyecto se escoja cualquiera de los 5 primeros AP que tengan el mayor throughput, ya que de acuerdo a la alta demanda de dispositivos terminales que hacen uso de la red inalámbrica este factor es muy importante a considerar para poder tener un óptimo rendimiento en la transferencia de datos.

3.9. Pérdidas de la señal

Cuando se realiza un enlace inalámbrico, la potencia de la señal transmitida tiende a disminuir debido a que ésta se distribuye en un frente de onda de

área proporcional a la distancia recorrida. Esto produce pérdidas en la potencia recibida, y se conoce como pérdida en el espacio libre, cuyo cálculo se lo realiza con la siguiente expresión matemática:

$$(3.1) \quad L_{fs} = 32.45 + 20\log(D) + 20\log(f) \quad [19]$$

Donde L_{fs} está en dB (decibeles), D en kilómetros y f en MHz.

Además, existen otros mecanismos de propagación que afectan a la potencia de la señal tales como: reflexión, refracción, difracción y dispersión. [19]

También es importante mencionar que la presencia de obstáculos afecta a la señal, y en la tabla 16 se presenta los más comunes.

Tipo de obstáculo	Atenuación en dB (2.4 GHz)
Ventana en pared de ladrillos	2
Pared de vidrio, bordes metálicos	6
Pared de oficina	6
Puerta metálica en pared de oficina	6
Puerta hecha con ceniza volcánica	4
Puerta metálica en pared de ladrillos	12.4
Pared de ladrillos junto a puerta metálica	3

Tabla 16: Pérdidas por tipo de obstáculo

En la tabla 17 se presentan las pérdidas de manera más general.

Tipo de obstáculo	Rango de pérdida en dB
Pérdidas a través de los pisos	13-27
Paredes ligeras de madera, puertas	2-4
Paredes gruesas, tabiques de ladrillo, cemento	8-12

Tabla 17: Rango de pérdidas por obstáculo [20]

Existen modelos de propagación que fueron desarrollados para específicos ambientes, a través de toma de datos y cálculos estadísticos. Los bloques en los que se dividió el análisis, son ambientes interiores, que constan de obstáculos como paredes, puertas, y además interferencias generadas por otros dispositivos cercanos.

3.10. Ancho De Banda

En el presente estudio, tenemos tres grupos en la demanda de usuarios como son los profesores, estudiantes y personal administrativo, para cada uno de estos grupos se ha propuesto segmentar un ancho de banda por usuario de cada grupo mostrado en la tabla 18.

Grupo	Ancho de banda por Dispositivo
Profesores	1 Mbps
Estudiantes	512 kbps
Personal Administrativo	512 kbps

Tabla 18: Asignación de ancho de banda por dispositivo

Lo que se muestra en la tabla 18 es el mínimo ancho de banda por cada dispositivo según al grupo que corresponda, en base a este valor se calcula

el ancho de banda total que es necesario para poder cubrir toda la demanda de dispositivos.

De acuerdo a la tabla 19 se obtiene que el ancho de banda total es de 1914,5 Mbps que para nuestro estudio lo vamos aproximar a 2000 Mbps. Este ancho de banda es el estimado asumiendo que se encuentran conectados los 3600 dispositivos a la red inalámbrica todo el tiempo.

Grupo	Ancho de banda por Dispositivo	Dispositivos por Grupo	Ancho de Banda por Grupo
Profesores	1 Mbps	228	228 Mbps
Estudiantes	512 kbps	3329	1665 Mbps
Personal Administrativo	512 kbps	43	21.5 Mbps
TOTAL		3600 dispositivos	1914,5 Mbps

Tabla 19: Cálculo de dispositivos finales posibles

En la realidad esto no es cierto ya que debido a las múltiples tareas que deben realizar los estudiantes, profesores y demás personal no están conectados permanentemente a la red, por eso para se ha considerado dos tipos de escenarios posibles: el primer escenario es que de cada 8 dispositivos solo 1 se encuentra conectado, y el segundo escenario a tomar en cuenta es que de cada 4 dispositivos solo 1 se encuentra conectado.

Bajo los escenarios mencionados, se procede a realizar la estimación del ancho de banda para obtener un valor más cercano a lo necesario para la realidad. En la tabla 20 se muestran los valores obtenidos:

Ancho de banda Total	Escenario 1 (1 de 8)	Escenario 2 (1 de 4)
2000 Mbps	250 Mbps	500 Mbps

Tabla 20: Descripción de ancho de banda por escenario

De acuerdo a la Tabla 20 se obtiene que los anchos de banda requeridos bajo las escenarios mencionados son de 500 Mbps y de 250 Mbps.

3.11. Detalle de Equipos

En la presente sección se detalla la cantidad de equipos a utilizarse para la implementación de la red inalámbrica en la FIEC, anteriormente se realizó el análisis del bloque I y basados en el mismo se ha estimado el número de equipos a utilizarse en el resto de bloque tal como se puede observar en la tabla 21.

Equipos	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Bloque V	Total
Servidores	-	2	-	-	-	2
Controladora	-	1	-	-	-	1
Switch L3	-	1	-	-	-	1
Switch L2	1	-	1	1	1	4
AP's	9	2	6	2	5	24

Tabla 21: Equipos a utilizarse por bloque

Además cabe mencionar que para el cableado de los puntos de acceso se utilizara cable utp categoría 6.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

En el presente capítulo se realiza un análisis económico en el cual se detallan las inversiones y costos totales del proyecto, cabe recalcar que para el presente estudios, los usuarios finales (estudiantes, profesores y demás personal) no pagarán valor por el servicio, por lo tanto se analiza el costo por usuario para la institución y como se podría sostener un proyecto de esta magnitud.

4.1. Inversión Inicial

Los valores iniciales son parte fundamental de cualquier proyecto, para nuestro caso en particular la inversión inicial es la cantidad de dinero requerida para poder llevar a cabo la implementación de la red inalámbrica de la FIEC, en el cual se encuentran comprendidos:

- Equipos de Operación
- Cableado

4.1.1. Inversión de equipos de operación

En esta sección se detallan los valores estimados de los equipos necesarios para la implementación de la red inalámbrica en la FIEC, los cuales se muestran en la tabla 22:

Elemento	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Switch L3	Funciones de enrutamiento y conmutación	1	\$ 600,00	\$ 600,00
Switch L2	Conmutación hacia los AP's	4	\$ 400,00	\$ 1.600,00
Puntos de acceso	Acceso a dispositivos finales	24	\$ 800,00	\$ 19.200,00
Controladora del AP	Administración de los AP's	1	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
Servidor	Autenticación con RADIUS y Base de Datos FIEC	2	\$ 1.300,00	\$ 2.600,00
TOTAL			\$	25.500,00

Tabla 22: Inversión de los equipos de operación.

El valor total de los equipos de operación alcanza la cifra de \$25500,00; resultado de una estimación de precios, dado que los mismos varían según su fabricante.

4.1.2. Inversión de cableado

A continuación en la tabla 23 se detallan los precios del cableado de los elementos de la red.

CABLEADO COMPLEMENTARIO				
Equipo	Descripción	Cantidad	Precio Cableado por Unidad	Precio Total
Puntos de Acceso	Cableado con tubería galvanizada	24	\$ 180,00	\$ 4.320,00
Switch	Cableado ENLACE EDIFICIOS	4	\$ 300,00	\$ 1.200,00
Resto de Equipos	Varios, Incluye cableado de Servidores, Controladora en la Sala Central	4	\$ 20,00	\$ 80,00
TOTAL			\$	5.600,00

Tabla 23: Inversión de cableado.

4.1.3. Inversión total

De acuerdo a los valores detallados anteriormente, se procede a calcular el monto de la inversión total para llevar a cabo la implementación de la red, tal como se muestra en la tabla 24:

INVERSIÓN TOTAL	
Equipos	\$ 25.500,00
Cableado complementario	\$ 5.600,00
INVERSIÓN TOTAL	\$ 31.100,00

Tabla 24: Inversión total del proyecto.

4.2. Costos

Dentro de los rubros a considerar como costos dentro del presente proyecto tenemos:

- Costos de Ancho de Banda
- Costo de Suelos

- Costos de Consumo Eléctrico

4.2.1. Costo de Ancho de Banda

De acuerdo al análisis realizado en el capítulo 3 acerca de los escenarios considerados para el ancho de banda necesario para el funcionamiento de la red, se estima el costo total de ambos.

Tal como se muestra en la tabla 25 para obtener los precios del ancho de banda requerido, se ha tomado como valor referencial el costo de un STM 1 de \$26000,00 (trimestral), debido a esto se buscó la equivalencia a un STM 1 del ancho de banda requerido para ambos escenarios para proceder a calcular su precio mensual y anual.

COSTO DE ANCHO DE BANDA		
Detalle	Escenario 1	Escenario 2
Cantidad (Mbps)	250	500
Equivalencia STM1	2	4
Precio Unitario STM1	\$ 8.666,67	\$ 8.666,67
Precio Mensual	\$ 17.333,33	\$ 34.666,67
Precio Anual	\$ 208.000,00	\$ 416.000,00

Tabla 25: Costo de ancho de banda.

4.2.2. Costo por Sueldos

En una red inalámbrica es necesario que exista personal encargado de la administración y soporte, para que la misma tenga un correcto funcionamiento.

Dentro de la FIEC existe el Departamento de Soporte Técnico (DST) el cual es un equipo de trabajo encargado de brindar soporte a

profesores, estudiantes y personal administrativo, además de administrar los recursos y sistemas tecnológicos de la misma.

En la actualidad, el DST cuenta con personal encargado de administrar la red alámbrica e inalámbrica existente, el cual es supervisado por el jefe del departamento.

Debido a esto, para obtener los costos por sueldos que demanda la administración de la red inalámbrica, se estimó un porcentaje del tiempo dedicado por el actual personal, tal como se puede observar en la tabla 26.

COSTOS POR SUELDOS				
	Mensual	Porcentaje	Sueldo equivalente	Total anual
Administrador de Red	\$ 812,00	50%	\$ 406,00	\$ 4.872,00
Jefe DST	\$ 1.200,00	20%	\$ 240,00	\$ 2.880,00
Total			\$ 646,00	\$ 7.752,00

Tabla 26: Costos por sueldos.

4.2.3. Costo de consumo eléctrico

Otros costos muy importantes a considerar son los de consumo eléctrico, ya que es un monto por el cual se paga mensualmente, y debido a que los equipos de una red permanecen constantemente encendidos.

Para estimar los gastos por consumo eléctricos, se tomó valores referenciales de consumo de potencia para los equipos y de esta forma se procede a calcular, tal como se muestra en la tabla 27.

COSTOS POR CONSUMO ELECTRICO								
Equipo	Consumo Energía		Precio kW/h	Precio por hora (dispositivo)	Cantidad	Precio Total por hora	Precio Mensual	Precio Anual
	W/h	kW/h						
AP	25	0,0250	\$ 0,17	\$ 0,00425	24	\$ 0,10200	\$ 73,44	\$ 881,28
Servidor	298	0,2980	\$ 0,17	\$ 0,05066	2	\$ 0,10132	\$ 72,95	\$ 875,40
Controlador	220	0,2200	\$ 0,17	\$ 0,03740	1	\$ 0,03740	\$ 26,93	\$ 323,14
Switch L2	240	0,2400	\$ 0,17	\$ 0,04080	4	\$ 0,16320	\$ 117,50	\$ 1.410,05
Switch L3	282	0,2820	\$ 0,17	\$ 0,04794	1	\$ 0,04794	\$ 34,52	\$ 414,20
TOTAL							\$ 325,34	\$ 3.904,07

Tabla 27: Costos por consumo eléctrico

4.2.4. Costos Totales

Una vez mostrado los costos detallados, se procede a calcular los costos totales del proyecto para ambos escenarios, y de acuerdo a la tabla 28 que se muestra a continuación se obtiene que para el escenario 1 los costos ascienden a \$219.656,07 por año, y para el escenario 2 son \$ 427.656,07 como era de esperarse el costo es aún mayor debido al mayor ancho de banda que se necesita para su implementación.

COSTOS TOTALES		
Detalle	Precio Anual	
	Escenario 1	Escenario 2
Costo ancho de banda	\$ 208.000,00	\$ 416.000,00
Costo de Soldos	\$ 7.752,00	\$ 7.752,00
Costo de Consumo Eléctrico	\$ 3.904,07	\$ 3.904,07
Total	\$ 219.656,07	\$ 427.656,07

Tabla 28: Costos totales

4.3. Cálculo del Valor Actual Neto.

Para el poder realizar el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) se necesita obtener los flujos de caja en un periodo de 5 años para ambos escenarios, y para calcular dicho valor necesitamos detallar los costos totales por cada escenario del presente proyecto ya que no existen ingresos, tal como se lo muestra a detalle en la tabla 29.

Escenario 1		Año				
Valores	año 0	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
Ingresos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversiones	\$ 31.100,00		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos		\$ 219.656,07	\$ 219.656,07	\$ 219.656,07	\$ 219.656,07	\$ 219.656,07
Flujo de caja	\$ (31.100,00)	\$ (219.656,07)	\$ (219.656,07)	\$ (219.656,07)	\$ (219.656,07)	\$ (219.656,07)
Acumulado		\$ (250.756,07)	\$ (470.412,14)	\$ (690.068,21)	\$ (909.724,28)	\$ (1.129.380,35)

Tabla 29: VAN de Escenario 1

Para el escenario 2 se consideran los costos que se necesitan para el mismo, y se calcula los flujos de caja mostrados en la tabla 30.

Escenario 2		Año				
Valores	año 0	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
Ingresos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversiones	\$ 31.100,00		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos		\$ 427.656,07	\$ 427.656,07	\$ 427.656,07	\$ 427.656,07	\$ 427.656,07
Flujo de caja	\$ (31.100,00)	\$ (427.656,07)	\$ (427.656,07)	\$ (427.656,07)	\$ (427.656,07)	\$ (427.656,07)
Acumulado		\$ (458.756,07)	\$ (886.412,14)	\$ (1.314.068,21)	\$ (1.741.724,28)	\$ (2.169.380,35)

Tabla 30: VAN de Escenario 2

Una vez obtenido los flujos de caja, se ha considerado una tasa de descuento del 12% para el cálculo de la VAN, teniendo como resultado un valor negativo de \$ 822.910,98 para el primer escenario, y para el segundo escenario se obtuvo un valor negativo de \$ 1.572.704,43 debido a que el presente proyecto no presenta ingresos por el servicio.

Cabe recalcar que para el presente proyecto no se ha realizado el cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) ya que no se dispone de ingresos por

tratarse de una dependencia que se encuentra incluido dentro de los servicios básicos de la educación.

4.4. Costo de acceso por dispositivo.

En base al cálculo de la VAN se analiza cual es el valor que tendría que invertir la ESPOL por brindar este servicio por cada dispositivo terminal en la FIEC, para esto se ha considerado la inversión en varios periodos de tiempos. Obteniendo que para el primer escenario el costo mensual por dispositivo es de \$ 3,81 y para el segundo escenario es de \$ 7,28 como se muestra en la tabla 31.

	Dispositivos terminales	Carrera	Anual	Mensual
Escenario 1	3600	\$ (228,59)	\$ (45,72)	\$ (3,81)
Escenario 2	3600	\$ (436,86)	\$ (87,37)	\$ (7,28)

Tabla 31: Costo de acceso por dispositivo

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. En base al análisis de alcance y rendimiento, se propone un diseño para la red inalámbrica de la FIEC para que de esta manera el personal académico y administrativo cuente con un servicio de internet de excelente calidad.
2. El principal factor determinante en los problemas de la red actual es el incremento periódico de estudiantes en cada semestre, y el alcance de la misma; debido a esto es necesario contar con equipos que operen bajo un alto número de conexiones simultáneas.
3. También es necesario que los equipos se encuentren ubicados en puntos estratégicos tales que abarquen la mayor zona posible frecuentada por los estudiantes sin ser afectados en gran porcentaje por los obstáculos a presentarse.
4. En este proyecto, el análisis financiero no presenta ingresos, ya que los usuarios finales (estudiantes, profesores, administrativos) no pagan por el servicio, y debido a esto, se logró estimar cuánto costaría implementar la red propuesta.
5. Si se desea obtener rentabilidad económica del proyecto, se podría realizar un convenio con alguna empresa privada interesada, en el que la misma proponga un sistema de cobro de datos de manera periódica o por límite de descargas.

Recomendaciones

1. Se podría realizar un estudio detallado sobre la densidad de dispositivos que existe en la FIEC, y de esta manera concentrarse en los puntos de mayor tráfico.
2. En los enlaces troncales, dado que algunos distan de más de 100 metros, es recomendable que se use fibra debido a que tienen mayor alcance, ya que el UTP no supera esta distancia.
3. Para mejorar el servicio en el resto de Facultades en la ESPOL, se recomienda realizar el análisis presentado en este proyecto, ya que de esta manera todos los estudiantes podrán contar con un mejor servicio de internet inalámbrico.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Russell, R. Cárdenes. (2000, Junio 27). Linux Networking-concepts HOWTO (1ª Ed.) [Online]. Disponible en: <http://www.netfilter.org/documentation/HOWTO/es/networking-concepts-HOWTO.html#toc2>
- [2] S. Bueltrich, A. Escudero. (2007, Julio). Unidad 04: Topología e Infraestructura Básica de Redes Inalámbricas (1ª ed.) [Online]. Disponible en: http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/04_es_topologia-e-infraestructura_guia_v02.pdf
- [3] M. Sierra. (2006, Junio). ¿Qué es un servidor y cuáles son los principales tipos de servidores? (Proxy, DNS, Web, FTP, SMTP, etc.) (1ª ed.) [Online]. Disponible en: http://www.aprenderaprogramar.com/index.php?option=com_attachments&task=download&id=487
- [4] Cisco (2013). CCNA Routing and Switching. Introduction to Networks [Online]. Disponible en: https://julioestrepo.files.wordpress.com/2015/03/pdf_ccna1_v5.pdf
- [5] M. Santos. (2013, Noviembre 8). El switch: cómo funciona y sus principales características (1ª ed.) [Online]. Disponible en: <http://redestelematicas.com/el-switch-como-funciona-y-sus-principales-caracteristicas/>
- [6] L. Ruiz. (2013, Julio 6). Access Point (Puntos de Acceso) (1ª ed.) [Online]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/LarryRuiz/access-pointpuntos-de-acceso>
- [7] M. Acosta. (2013, Octubre). Dispositivos finales y función de Redes (1ª ed.) [Online]. Disponible en: <https://acostamike.wordpress.com/2012/10/20/dispositivos-finales-y-funcion-de-redes/>
- [9] IEEE 802.11 – Inalámbricos. IEEE Standards for Information Technology -- Telecommunications and Information Exchange between Systems - Local and Metropolitan Area Network – Specific Requirements -- Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, 1999 Edition.

- [10] IEEE, "WIRELESS LAN MEDIUM ACCESS CONTROL AND PHYSICAL LAYER SPECIFICATIONS", IEEE 802.11. JUNIO 2007
- [11] L. A. Gama, E. Villa y C. Noguerón, "Bluetooth: un enfoque al estándar IEEE 802.15.1", Inst. Tec. De Zacatepec, Zacatepec, México. 2008.
- [12] J. M. Puentes (2012, Noviembre 16). HIPERLAN [Online]. Disponible en: https://prezi.com/-_ujxwgimscl/hiperlan/
- [13] E. López y R. Burriel, "WAP: Protocolo multiservicio para Comunicaciones Móviles", Alcatel España, Madrid, España. 2000.
- [14] E. García, R. Vidal, "Introducción de IP en las redes móviles celulares: Evolución del IETF, 3GPP y 3GPP2. Cellular IP como ejemplo de solución", JITEL 2001, Barcelona, Septiembre 2001.
- [15] R. Juan. (2011, Agosto 17). Redes Inalámbricas. Principales Protocolos [Online]. Disponible en: <http://deredes.net/redes-inalambricas-principales-protocolos/>
- [16] M. Á. Martín. (2015, Mayo 13). Seguridad Avanzada [Online]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/matardio/radius-2015>
- [17] V. Carrasco. (2010, Diciembre 19). Portal cautivo [Online]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/valericio1/portal-cautivo>
- [18] Departamento de Soporte Técnico de la FIEC. MANUAL DE CONFIGURACIÓN PARA ACCEDER A LA RED WIRELESS (FIEC) [Online]. Disponible en: <https://www.fiec.espol.edu.ec/images/anuncios/acceso-red-fiec.pdf>
- [19] J. Butler. (2013, Octubre). Redes Inalámbricas en los países en desarrollo (4ta ed.) [Online]. Disponible en <http://wndw.net/>
- [20] Diapositivas 'Características del medio Inalámbrico' autor: PhD. Boris Ramos.
- [21] Departamento de Soporte Técnico de la FIEC. Revista Informativa de la FIEC 2015 [Online]. Disponible en: <http://www.fiec.espol.edu.ec/index.php/en/folleto-fiec/2669-folleto-fiec-25-12-2015>

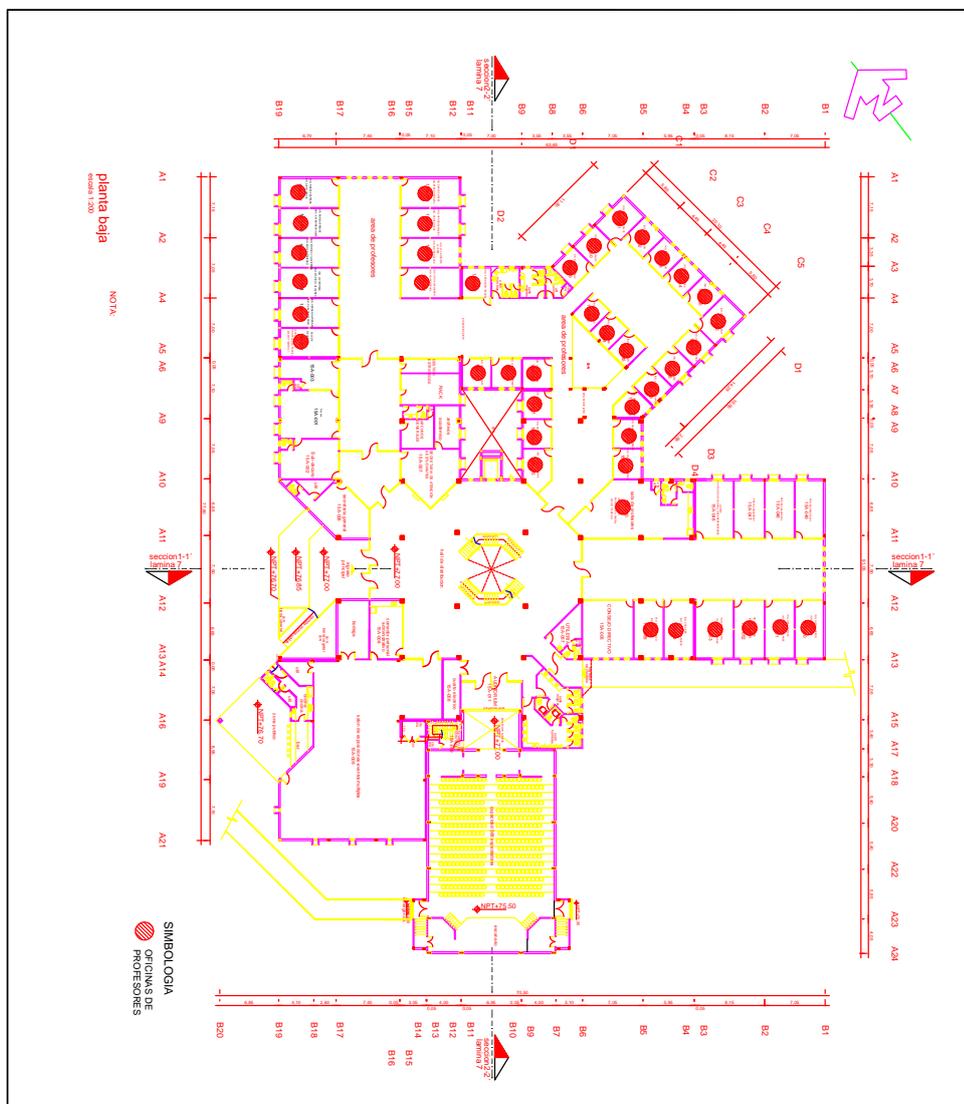
[22] R.A Espinoza, "Diagnóstico y rediseño de la red inalámbrica de la Universidad Católica de Pereira". Univ. De Pereira, Colombia, 2011.

[23] CARNet. (2015, Mayo), Comparación de puntos de acceso. [Online]. Disponible en: <http://www.carnet.hr/en>

[24] Diapositivas de CCNA1, Modulo 2: "Aspectos básicos de networking" Autor: Cisco.

ANEXOS

Anexo 1: Plano de Planta Baja del Edificio 15 A



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Profesores de la FIEC	4
Tabla 2: Estudiantes de la FIEC	5
Tabla 3: Personal Administrativo y otros de la FIEC	7
Tabla 4: Personal académico y administrativo de la FIEC	7
Tabla 5: Estimación de dispositivos a atender	8
Tabla 6: Topologías básicas de WLAN [2]	11
Tabla 7: Comparación de los estándares 802.11	29
Tabla 8: Tipos de materiales con su nivel de interferencia	48
Tabla 9: Fabricantes de AP's [23]	56
Tabla 10: Dispositivos terminales en las pruebas [23]	57
Tabla 11: Resultados de throughput prueba 1. [23]	58
Tabla 12: Resultados de throughput prueba 2. [23]	60
Tabla 13: Resultados de throughput prueba 3. [23]	62
Tabla 14: Resultados de throughput prueba 4. [23]	64
Tabla 15: Resultados de throughput prueba 5. [23]	66
Tabla 16: Pérdidas por tipo de obstáculo	68
Tabla 17: Rango de pérdidas por obstáculo [20]	69
Tabla 18: Asignación de ancho de banda por dispositivo	69
Tabla 19: Cálculo de dispositivos finales posibles	70
Tabla 20: Descripción de ancho de banda por escenario	71
Tabla 21: Equipos a utilizarse por bloque	71
Tabla 22: Inversión de los equipos de operación	73
Tabla 23: Inversión de cableado	74
Tabla 24: Inversión total del proyecto	74
Tabla 25: Costo de ancho de banda	75
Tabla 26: Costos por sueldos	76
Tabla 27: Costos por consumo eléctrico	77
Tabla 28: Costos totales	77

Tabla 29: VAN de Escenario 1	78
Tabla 30: VAN de Escenario 2.....	78
Tabla 31: Costo de acceso por dispositivo	79

GLOSARIO DE TÉRMINOS

AAA:	Authentication, authorization, and accounting
CSMA/CA:	Carrier sense multiple access – collision avoidance
DSSS:	direct sequence spread Spectrum
EDGE:	Enhanced Data Rates for GSM Evolution (Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM)
FIEC:	Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
FHSS:	Frequency Hopping Spread Spectrum
GPRS:	General Packet Radio Service
GSM:	Global System for Mobile communications.
HSDPA:	High Speed Downlink Packet Access
HSDPA:	High Speed Downlink Packet Access
HSUPA:	High Speed Uplink Packet Access
IEEE:	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM:	Industrial, Scientific and Medical
MAC:	Media Access Control
MIMO:	Multiple-Input Multiple-Output
OFDM:	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
OFDM:	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
OSI:	Open System Interconnection
QAM:	Quadrature Amplitude Modulation
UMTS:	Universal Mobile Telecommunications System
UTP:	Unshielded twisted pair
WIMAX:	Worldwide Interoperability for Microwave Access