

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO DE UNA RED INALAMBRICA BAJO EL ESTANDAR IEEE 802.11 n/ac PARA LA EMPRESA NGT. S.A

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

FRANCISCO JAVIER LIMA GUAMANÍ

pancholima007@hotmail.com

DIRECTOR: ING. PABLO ANÍBAL LUPERA MORILLO PhD

pablo.lupera@epn.edu.ec

Quito, febrero 2019

AVAL

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Francisco Javier Lima Guamaní, bajo mi supervisión.

Ing. PABLO ANÍBAL LUPERA MORILLO PhD
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Francisco Javier Lima Guamaní, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Francisco Javier Lima Guamaní

DEDICATORIA

A mí Francisco Lima, quien pese a las dificultades y adversidades nunca renunció a terminar lo que un día empezó, luego a mi madre Aida quien siempre ha estado detrás de mis pasos apoyándome, alentándome y que no permitió que me rinda, a ella quien es la razón de mis días.

A mis queridos hermanos Johanna y Édison quienes también me han apoyado y me inspiran a continuar y a mi sobrina Emilia quien ha llenado mi vida de ternura y felicidad alegrando mi existencia y a quien la quiero como una hija.

Francisco

AGRADECIMIENTO

A Jehová primeramente por haberme permitido terminar esta meta, tarde pero que lo logre, por regalarme a mi familia, por lo que tengo y lo que no tengo.

A mis amigas: Sandrita, Miriansita, Alexandra y Carolina quienes con sus palabras de ánimo, consejo y aliento me impulsaban a terminar este proyecto.

A mis amigos: Álvaro, Daniel, Fernando y Julio por su aporte, por compartir sus conocimientos técnicos, por guiarme y por colaborar en el desarrollo de este proyecto con su experiencia.

A mis amigos: Cristian, Luis e Iván a quienes los conocí y compartí muchos momentos, anécdotas y experiencias durante mi pasó en las aulas de la Escuela Politécnica Nacional y que ahora son amigos para toda la vida.

Al Doctor Pablo Lupera, por su apertura, asesoría, colaboración y por dirigir acertadamente este proyecto.

Y finalmente agradezco a la empresa Tecnología de Próxima Generación NGT S.A por el apoyo y confianza depositada.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AVAL.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Alcance	2
1.3 Marco Teórico	3
1.3.1. Redes de Área Local Inalámbricas	4
1.3.2. Aplicaciones de las redes WLAN	6
1.3.3. Componentes de una red WLAN	6
1.3.4. Configuraciones de redes WLAN.....	10
1.3.5. Seguridad en las redes inalámbricas	11
1.3.6. Consideraciones para el diseño de una red inalámbrica	14
1.3.7. Fundamentos del Estándar IEEE 802.11	16
1.3.8. Seguridad en el estándar IEEE 802.11	21
1.3.9. Topologías del estándar IEEE 802.11	22
1.3.10. Arquitectura del estándar IEEE 802.11	26
1.3.11. Evolución del estándar IEEE 802.11	33
1.3.12. Calidad de servicio (QoS)	36
1.3.13. IEEE 802.11n.....	39
1.3.14. IEEE 802.11ac.....	45
2. METODOLOGÍA.....	48
2.1. Análisis técnico	48
2.1.1. La empresa Tecnología de Próxima Generación NGT. S.A	48
2.1.2. Infraestructura tecnológica de la red actual.....	51
2.1.3. Servicios disponibles en la red de NGT S.A.....	62
2.1.4. Segmentación de la red	67

2.1.5. Descripción de la red inalámbrica actual	68
2.1.6. Wireless Site Survey	71
2.1.7. Software para análisis de redes inalámbricas	72
2.1.8. Análisis técnico de la red inalámbrica existente	75
2.1.9. Modelos de Propagación de ondas electromagnéticas para ambientes interiores	86
2.2. Diseño de la red inalámbrica	92
2.2.1. Justificación de la red Inalámbrica	92
2.2.2. Especificaciones para el diseño de la red Inalámbrica	93
2.2.3. Dimensionamiento de usuarios	95
2.2.4. Demanda actual de equipos	100
2.2.5. Dimensionamiento de la capacidad requerida de la red	102
2.2.6. Segmentación de redes	110
2.2.7. Nomenclatura para los identificadores de red SSID	111
2.2.8. Seguridades a implementarse	112
2.2.9. Plan de direccionamiento IP	113
2.2.10. Dimensionamiento de la red inalámbrica	114
2.2.11. Parámetros para la simulación de la red inalámbrica	124
2.2.12. Características técnicas necesarias de los equipos	125
2.2.13. Administración de la red inalámbrica	127
2.2.14. Procedimiento para la integración a la infraestructura tecnológica actual	129
2.2.15. Soluciones disponibles en el mercado nacional	137
2.3. Presupuesto económico	143
2.3.1. Costos de implementación y operación	143
2.3.2. Costos iniciales de inversión	144
2.3.3. Costos de operación y mantenimiento	151
2.3.4. Costo total del proyecto	152
2.3.5. Comparación económica y técnica de las ofertas	154
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	155
3.1 Simulación cobertura de la red inalámbrica	155
3.2 Comparación técnica de los equipos seleccionados	164
3.3 Pruebas de las soluciones propuestas	167
3.3.1 Configuraciones con soluciones Grandstream	167
3.3.2. Configuraciones con soluciones Ubiquiti	171

3.3.3. Configuraciones con soluciones Cisco.....	174
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	179
4.1 Conclusiones	179
4.2 Recomendaciones	181
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	182
6. ANEXOS	190
ANEXO I	191
ANEXO II	192
ANEXO III	193
ANEXO IV	194
ORDEN DE EMPASTADO.....	195

RESUMEN

La empresa "Tecnología de Próxima Generación" NGT S.A en la actualidad cuenta con una red inalámbrica bajo el estándar IEEE 802.11 a/b/g. La cobertura, rendimiento, capacidad y confiabilidad de la red inalámbrica se han visto disminuidas por la vigencia tecnológica de los equipos, ocasionando a los usuarios: falta de movilidad y un acceso limitado a los recursos tecnológicos.

En base a esta problemática, el presente proyecto técnico tiene como objetivo principal el diseñar una red inalámbrica moderna bajo el estándar IEEE 802.11n/ac, para satisfacer los requerimientos actuales y futuros de la empresa NGT S.A. en cuanto a: cobertura, capacidad, escalabilidad y seguridad dirigidos a una implementación a corto plazo.

En la parte inicial se describen los conceptos y la teoría relacionada con las WLAN y el estándar IEEE 802.11, en cuanto a su arquitectura, aplicaciones, ventajas, desventajas, seguridades, evolución y topología.

A continuación se realiza la descripción actual de la infraestructura tecnológica, sus diferentes redes, equipamiento y su funcionamiento. Adicionalmente se hace un análisis de la red inalámbrica actual y una descripción de los modelos de propagación de ondas electromagnéticas en ambientes interiores.

Luego se hace el diseño de la red inalámbrica, tomando en cuenta el crecimiento a futuro, dimensionando: tráfico, capacidad, seguridad y escalabilidad.

Y finalmente se presenta un presupuesto económico, evaluando las soluciones disponibles en el mercado en base a las ofertas de diferentes proveedores.

PALABRAS CLAVE: Diseño de una red inalámbrica, IEEE 802.11.

ABSTRACT

The company "Next Generation Technology" NGT S.A currently has a wireless network under the IEEE 802.11 a/b/g standard. The coverage, performance, capacity and reliability of the wireless network have been diminished by the technological force of the equipment, causing users: lack of mobility and limited access to technological resources.

Based on this problem, the main objective of this technical project is to design a modern wireless network under the IEEE 802.11n/ac standard, to meet the current and future requirements of the company NGT S.A. in terms of: coverage, capacity, scalability and security aimed at a short-term implementation.

In the initial part, the concepts and theory related to WLANs and the IEEE 802.11 standard are described, in terms of their architecture, applications, advantages, disadvantages, securities, evolution and topology.

Next, the current description of the technological infrastructure, its different networks, equipment and its operation is made. Additionally, an analysis of the current wireless network and a description of the propagation models of electromagnetic waves in indoor environments is made.

Then the design of the wireless network is made, taking into account the growth in the future, sizing: traffic, capacity, security and scalability.

And finally, an economic budget is presented, evaluating the solutions available in the market based on the offers of different suppliers.

KEYWORDS: Design of a wireless network, IEEE 802.11.

1. INTRODUCCIÓN

La constante evolución, desarrollo y gran aceptación de las redes inalámbricas bajo el estándar IEEE 802.11, han permitido brindar, a organizaciones, empresas, entidades de gobierno, centros de educación, universidades, etc., movilidad y flexibilidad a los usuarios para acceder a los recursos tecnológicos y al mundo del internet.

En la publicación realizada por la CEPAL en 2013 “Banda Ancha para América Latina: más allá de la conectividad [1].” Se afirmó que “En los últimos años el aumento de la información de los usuarios y organizaciones que generan, consumen y almacenan información ha crecido exponencialmente tanto desde usuarios como de dispositivos móviles, Smartphone, Smart TV, redes sociales, aplicaciones de audio video, IoT internet de las cosas. Aprovechar estos medios es valioso para la personalización y focalización de actividades como la comercialización, la publicidad, y otros servicios vinculados a los medios sociales y al diseño de alcance social que relevan y utilizan esta información sobre la conducta individual, lo que es básico para la manufactura avanzada y los nuevos procesos de negocios”. Por lo tanto, la infraestructura tecnológica para las empresas no sólo debe ser considerada como una herramienta de conectividad, sino como un medio para la aplicación de políticas que apunten a lograr una mayor inclusión social y competitividad económica.

Cifras del Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (Mintel) destacan que hasta finales del 2016 [2], el 92,11% de personas en el Ecuador usaron Wi-Fi en sus dispositivos móviles. Es decir, desde el 2011 hasta el 2016 hubo un aumento del 7,22% en el acceso a esta tecnología.

De acuerdo con el INEC de 2011 al 2016 pasaron de 522.000 usuarios a 4,5 millones de usuarios de teléfonos inteligentes [3]; 4,5 millones de ecuatorianos cuentan hoy con un teléfono inteligente a través del cual pueden acceder o conectarse a internet por Wi-Fi.

La empresa Tecnología de Próxima Generación NGT S.A como integradora de soluciones tecnológicas, prestadora de servicios y comercializadora de varias marcas reconocidas a nivel mundial, busca estar a la par de la tecnología, modernizando su red inalámbrica y dar un valor agregado a sus servicios con el objetivo de soportar las tecnologías y aplicaciones de los dispositivos móviles actuales.

El diseño de la nueva red inalámbrica tiene como objetivo ser una guía referencial técnico económica que permita determinar los requerimientos necesarios para una futura implementación a corto plazo. El diseño de la red considera satisfacer los requerimientos de cobertura, capacidad, flexibilidad, modernidad, escalabilidad, seguridad,

interoperabilidad y sobre todo la proyección a futuro; permitiéndole a la empresa brindar un servicio de conectividad de calidad, eficiente y sustentable en el tiempo.

1.1 Objetivos

El objetivo general de este Proyecto Técnico es: diseñar una red inalámbrica con el estándar 802.11n/ac para satisfacer los requerimientos de la empresa NGT.S.A.

Los objetivos específicos de este Estudio Técnico son:

- Establecer las características de la red inalámbrica actual y de la infraestructura de comunicaciones disponible.
- Determinar los requerimientos técnicos de la red a diseñar.
- Diseñar la red inalámbrica estableciendo el procedimiento de integración a la infraestructura actual con los equipos de seguridad, networking, la segmentación de la red, creación de políticas de acceso y seguridades.
- Realizar simulaciones y mapas de cobertura que permitan obtener información acerca del comportamiento de la red diseñada.
- Determinar el costo económico de la nueva solución.

1.2 Alcance

El proyecto técnico, "DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA BAJO EL ESTÁNDAR IEEE 802.11n/ac PARA LA EMPRESA NGT S.A", presenta una metodología para el diseño de una red inalámbrica considerando la propagación de la ondas electromagnéticas en ambientes interiores, la integración e interoperabilidad con la infraestructura tecnológica existente, la proyección de usuarios, dispositivos y tráfico a futuro, así también la seguridad, escalabilidad, cobertura y flexibilidad.

Se describirán los conceptos fundamentales de las redes WLAN y del estándar IEEE 802.11, las diferentes versiones, su estructura por capas, la arquitectura de red, seguridad, etc. Además se revisarán y describirán los modelos de propagación en ambientes INDOOR, también se analizará el estado y el funcionamiento de la red inalámbrica actual. En base a esta información obtenida se establecerán los requerimientos y especificaciones técnicas para la nueva red inalámbrica y se detallará el procedimiento para integrarla a la infraestructura tecnológica existente.

Se diseñará la red inalámbrica que deberá soportar los estándares 802.11 n/ac, y con las siguientes características: administrable, eficiente, escalable y segura. Se utilizará software especializado para el análisis de la red inalámbrica actual, al igual que para el diseño determinándose la ubicación de los puntos de acceso por medio de mapas de calor, mediciones de potencia, interferencia, etc., de tal manera que presten la cobertura y capacidad necesaria para permitir el acceso a los usuarios móviles: a aplicaciones corporativas, internet, recursos locales y en el cloud.

También se usará hardware para la realización de pruebas de conectividad mediante Access Point, controladoras inalámbricas, laptops, Smartphones, etc. y de Software Cisco Packet Tracer para la simulación de la integración lógica a la infraestructura.

Se presentará un análisis comparativo del software y del Hardware utilizado. Y como parte final del estudio se presentaran tres ofertas de soluciones existentes en el mercado local, las cuales se ajustaran a las necesidades de la empresa.

1.3 Marco Teórico

En la actualidad gracias a la continua evolución de las tecnologías se ha generado nuevas formas de comunicación y de servicios. En las últimas décadas ha existido un importante desarrollo de las comunicaciones a niveles empresariales y comerciales, que fue posible gracias a las redes de comunicaciones alámbricas e inalámbricas. Esto ha impulsado cada vez más la necesidad de que estas soluciones logren una conexión directa entre usuarios desde cualquier punto sin importar las distancias.

El desarrollo de las comunicaciones inalámbricas ha experimentado una continua evolución en los últimos años, pudiendo soportar la convergencia para la transmisión de voz, datos, imágenes y contenido multimedia, que anteriormente se concentraban en redes cableadas. La capacidad de permitir la movilidad le ha significado estar cada vez más presentes en ambientes interiores, en los cuales las redes cableadas representan costos elevados para su implementación.

Para permitir el desarrollo ordenado, la interoperabilidad, reducción de costos y masificación de las redes inalámbricas, se han creado organizaciones internacionales destinadas a crear estándares que permiten se cumpla lo anteriormente dicho. En

nuestro caso de estudio por tratarse de un ambiente interior de oficinas, nos guiaremos del estándar IEEE¹ 802.11 para el diseño de la red inalámbrica.

En esta fase se describirán las redes inalámbricas, la evolución del estándar, su arquitectura, ventajas y desventajas.

1.3.1. Redes de Área Local Inalámbricas

Una de las tecnologías más aceptadas para las comunicaciones inalámbricas en ambientes pequeños o interiores con alcances no mayores a los doscientos metros son las redes de área local más conocidas como WLAN (*Wireless Local Area Network*) que ha originado que exista una infinidad de dispositivos de usuario que aprovechan esta tecnología para la transmisión de información. Los beneficios de este tipo de redes son equiparables a las redes de área local LAN (*Local Area Network*) con la diferencia de que permiten cubrir lugares de difícil acceso con costos más reducidos [4].

Una WLAN es un sistema de comunicación que utiliza como medio de transmisión las ondas electromagnéticas en las bandas de frecuencia libres de 2.4 y 5 GHz permitiendo todas las funciones de una red cableada facilitando la movilidad de los usuarios y dispositivos sin la necesidad de conexiones alámbricas [4].

Las WLAN aparecieron a finales de los años 70, gracias a IBM, quienes realizaron transmisiones experimentales con enlaces infrarrojos y radio microondas [1]. Como parte del desarrollo de esta tecnología la FCC (*Federal Communications Commission*) en el año 1985, regula esta tecnología asignándole el grupo de bandas de frecuencia de uso libre ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). En la actualidad esta tecnología se encuentra ampliamente difundida gracias a su desarrollo ordenado y regulado bajo el estándar IEEE 802.11 [4].

Ventajas de una WLAN

A continuación se describen las principales ventajas de una red inalámbrica de área local [5].

- **Movilidad:** permiten a los usuarios acceder a la infraestructura tecnológica sin la necesidad de cables permitiendo moverse dentro del alcance de la misma. De esta forma cualquier dispositivo que esté preparado para trabajar bajo esta red podrá acceder a los recursos y aplicaciones independientes de su ubicación.

¹ **IEEE:** El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos IEEE (The Institute of Electrical and Electronic Engineers), es una asociación mundial de ingenieros dedicada a la estandarización y el desarrollo en áreas técnicas

- **Flexibilidad:** Los usuarios y dispositivos pueden incrementarse y colocarse en cualquier lugar sin tener que modificar la infraestructura tecnológica, además permite desplegar fácilmente una red en lugares en los cuales por cuestiones económicas, de tiempo, dificultades civiles las soluciones cableadas son poco viables. El desmontaje, cambio, remplazo o readecuación generan un impacto mínimo en la infraestructura y es posible garantizar la disponibilidad de los servicios y aplicaciones.
- **Ahorro de costos:** la estandarización, el continuo desarrollo, la mejora en prestaciones, la interoperabilidad de las redes inalámbricas ha generado la aparición de diferentes marcas en el mercado que permite la reducción de costos de fabricación y comercialización. Además la rapidez de despliegue permite una reducción de costos económicos y de implementación.
- **Escalabilidad:** expandir la red inalámbrica no representa mayor dificultad, ni implica cambios significativos en la red inalámbrica, tampoco se requiere de mucho tiempo en contraste con expandir una red cableada.

Desventajas de una WLAN

A continuación se describen las principales desventajas de una red inalámbrica de área local [5].

- **Velocidad de transmisión:** desde sus inicios las redes inalámbricas no ofrecían velocidades de transmisión comparables con las redes cableadas, por lo que siempre se han utilizado como complemento de las mismas. Sin embargo, con la continua mejora en las prestaciones técnicas se ha logrado tener tasas de transmisión cada vez más equiparables.

Tabla 1.3.1. Tasas de transmisión para el estándar 802.11 [4]

Estándar	Velocidad teórica	Velocidad esperada
802.11 legacy	2 Mbps	1 Mbps
802.11 b	11 Mbps	6 Mbps
802.11 a	54 Mbps	25 Mbps
802.11 g	54 Mbps	25 Mbps
802.11 n	450 Mbps	180 a 220 Mbps
802.11 ac	1300 Mbps	Hasta 750 Mbps

- **Seguridad:** debido a que la información no se transmite por un medio físico que pueda confinarla, cualquier dispositivo que se encuentre en las proximidades puede intentar acceder a la información que se transmite por el canal inalámbrico. En la actualidad existen muchos mecanismos para proveer de seguridad a la

información que se transmite por el medio inalámbrico, evitando el acceso a usuarios no autorizados, sin embargo también se han desarrollado mecanismos para evadirlos como por ejemplo: sniffing, spoofing, hijacking, denegación de servicio, ingeniería social, etc. [5].

- **Interferencia:** la transmisión de la información se la realiza por ondas de radio en las frecuencias libres de 2.4 GHz y 5 GHz, siendo estas bandas también ocupadas por otras tecnologías ocasionando la interferencia mutua lo que genera una disminución del rendimiento de la misma.
- **Cobertura:** el alcance de las redes inalámbricas es variable porque se ve afectado por el ambiente en el cual son desplegadas, puesto que la cobertura se ve afectada por la presencia de obstáculos, edificaciones y vegetación más aún en ambientes interiores en los cuales la presencia de paredes, ventanas, personas causan una mayor atenuación en la potencia de la señal reduciendo su alcance.

1.3.2. Aplicaciones de las redes WLAN

Entre las aplicaciones mayormente utilizadas están las siguientes [6].

Extensión de LAN's

Una WLAN permite brindar acceso a la red en lugares en los cuales las redes cableadas no pueden alcanzar a los usuarios, sea por las condiciones físicas de las edificaciones o económicas que dificultan su despliegue. Bajo estas circunstancias las redes inalámbricas permiten extender el acceso a los recursos.

Interconexión entre edificios

Mediante enlaces de radio punto a punto de corto alcance se pueden interconectar dos edificios que se encuentren relativamente cerca y entre ellos exista línea de vista. Ampliamente utilizadas en ambientes, en los cuales la implementación de redes cableadas son poco factibles sea por costo económico, o por cuestiones técnicas.

Acceso Nómada

Permite a los usuarios de la red acceder a los recursos proporcionándoles la libertad de movilizarse con su equipo terminal dentro de la cobertura de la WLAN.

1.3.3. Componentes de una red WLAN

Los componentes principales de una red WLAN se describen a continuación [7]:

Punto de acceso (AP)

Los puntos de acceso o (*Access Point*) son el componente fundamental de las redes inalámbricas, puesto que es el dispositivo que proporciona los recursos del canal de radio, gestiona la asignación de canales de frecuencias y controla que los usuarios puedan acceder a los recursos alojados en la infraestructura tecnológica. Una vez que los usuarios han sido asociados a un punto de acceso, este permite la comunicación con la red cableada, es decir, es el equipo que adapta el protocolo IEEE 802.11 al IEEE 802.3 (*Ethernet*).



Figura 1.3.1. Punto de acceso (AP) [8]

Un punto de acceso mostrado en la figura 1.3.1, es un dispositivo de la capa de datos, puesto que el control y gestión de los dispositivos conectados se los hace por medio del manejo de las direcciones MAC², al igual que en los switches. Esto permite redirigir los paquetes a los equipos donde se encuentra la MAC de destino con la ayuda de las tablas dinámicas que se actualizan en cada equipo Switch o AP.

El SSID *Identificador de Conjunto de Servicios* corresponde al nombre que se le asigna a una red inalámbrica, se representa por una cadena de caracteres que actúa como una especie de contraseña para identificarse en el SSID. Un SSID diferencia una red de otra, por lo que las estaciones que se encuentran dentro del mismo SSID podrán comunicarse entre ellas. Cuando no se cuenta con un dispositivo que gestione a las estaciones (modo Ad-Hoc que se describirá en la *sección 1.3.5*), el SSID se conoce como BSSID (*Basic*

² **Dirección MAC:** es el identificador único asignado por el fabricante a una pieza de hardware de red (como una tarjeta inalámbrica o una tarjeta Ethernet). «MAC» significa Media Access Control, y cada código tiene la intención de ser único para un dispositivo en particular. Una dirección MAC consiste en seis grupos de dos caracteres, cada uno de ellos separado por dos puntos. 00:1B:44:11:3A:B7 es un ejemplo de dirección MAC.

Service Set Identifier), mientras que en las redes de infraestructura se conoce como ESSID (*Extended Service Set Identifier*).

Controladoras inalámbricas

En redes inalámbricas con más de un par de puntos de acceso, la administración, gestión, cambios y mantenimiento en la red se convierte en un trabajo tedioso para los administradores. Una controladora inalámbrica WLC (*Wireless LAN Controller*) permite centralizar la administración, gestión y control de redes extensas, el control de los puntos de acceso se lo hace por capa de datos o capa de red. Redes centralizadas con controladoras inalámbricas reducen gastos operativos, en la figura 1.3.2, se muestra el hardware de una controladora inalámbrica de la marca Cisco aunque en la actualidad existen controladoras virtualizadas.



Figura 1.3.2. Controladoras inalámbricas marca *Cisco System* [9]

Adaptadores de red

En los inicios de las redes inalámbricas, los dispositivos o equipos anteriores a estas tecnologías no disponían de interfaces propias³ que le permitían acceder a la WLAN, para evitar que esta nueva tecnología implique en incurrir en la compra de nuevos equipos se crearon adaptadores, que permiten a los computadores conectarse a las redes inalámbricas.

En la actualidad se continúan fabricando estos adaptadores que han evolucionado a la par de los avances tecnológicos. A continuación se detallan algunos adaptadores.

- **Adaptadores PCMCIA** (*Personal Computer Memory Card International Association*): este adaptador fue utilizado en computadores portátiles. Los adaptadores PCMCIA no disponen de antenas externas por motivos de

³ **Interfaces propias:** hace referencia a interfaces de red como por ejemplo Ethernet, que le permitan conectarse a redes inalámbricas sin requerir de hardware adicional.

compatibilidad y discreción de equipos, la antena se encuentra integrada dentro de la tarjeta. En la actualidad los dispositivos cuentan con tarjetas de red inalámbricas embebidas sin la necesidad de requerir adaptadores.

- **Adaptadores USB** (*Universal Serial Bus*): los adaptadores utilizan esta interfaz por su gran aceptación y compatibilidad en cualquier dispositivo, permite a equipos que no cuentan con la tarjetería necesaria para acceder a la red inalámbrica. Estos adaptadores no requieren de mayores configuraciones, ni de controladores a nivel de software, muchos de estos son usados como remplazo cuando las tarjetas inalámbricas internas dejan de funcionar.
- **Adaptadores PCI** (*Peripheral Component Interconnect*): son adaptadores que se instalan directamente en las placas de computadores de escritorio, requieren de la instalación de controladores a nivel de software, en la actualidad han sido remplazados por adaptadores USB.

Antenas

Las antenas son los elementos utilizados para la trasmisión de las ondas, puesto que son los encargados de convertir las señales eléctricas a ondas electromagnéticas y viceversa. Las antenas son dispositivos pasivos, sin embargo un parámetro muy usado y que se considera es la ganancia expresada en dBi^4 , que es la medida de la direccionalidad de una antena comparada con la antena isotrópica, la cual radia la energía en todas las direcciones por igual.

La clasificación de las antenas se la realiza de acuerdo al patrón de radiación, a continuación se detallarán brevemente:

- **Antenas omnidireccionales:** el patrón de radiación de una antena omnidireccional radia de forma uniforme en todas las direcciones del plano horizontal. Son ampliamente utilizadas en aplicaciones punto a multipunto, como por ejemplo televisión y radio VHF.
- **Antenas directivas:** el patrón de radiación está concentrada en una dirección con ángulo de cobertura reducido, su alcance en la dirección que se apunta es mayor a comparación de una omnidireccional. Estos tipos de antenas son ampliamente utilizadas en aplicaciones punto a punto como en enlaces microonda.

⁴ **dBi:** dBi es la escala para expresar la ganancia de una antena, mientras dBd es la ganancia de una antena dipolo.

- **Antenas sectoriales:** son antenas que combinan los principios de las antenas directivas. Generalmente los lóbulos de radiación están en el orden de los 60 a 120 grados y son muy utilizadas en comunicaciones celulares, en las cuales las celdas disponen de arreglos de antenas sectoriales para ayudar al reuso de canales de frecuencia.

1.3.4. Configuraciones de redes WLAN

Las redes inalámbricas WLAN se pueden configurar de dos formas características, redes tipo infraestructura y redes Ad-Hoc [10].

Redes Ad-Hoc

Una red Ad-Hoc es una red independiente, que no está conectada a una infraestructura cableada y en la cual todas las estaciones están conectadas directamente una a otras en una especie de red tipo malla. Este tipo de configuración se la suele utilizar para la interconexión de dispositivos en los cuales no se requieren compartir servicios de valor agregado⁵ sino más bien al intercambio de datos de forma rápida y por corto tiempo. En la figura 1.3.3, se muestra una red típica la cual no requiere de equipos adicionales ni de infraestructura para establecer la comunicación entre las estaciones [10].

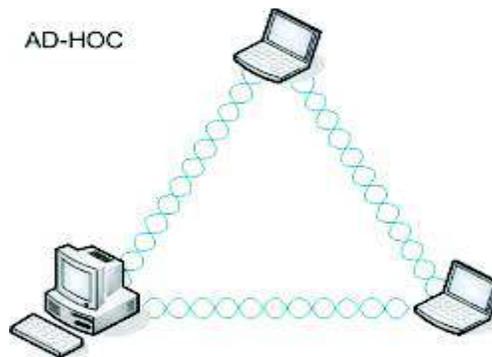


Figura 1.3.3. Red inalámbrica tipo Ad-Hoc

Redes de infraestructura

Las redes de infraestructura son plataformas en las cuales los puntos de acceso permiten integrar la red inalámbrica con la red cableada y de esta forma proveer a los clientes inalámbricos de acceso a los servicios y recursos de la red. En la figura 1.3.4, se muestra una red de infraestructura en el que el AP es el intermediario entre la red cableada y los dispositivos móviles.

⁵ **Servicios de valor agregado:** hace referencia a servicios como telefonía IP, acceso a aplicaciones corporativas, navegación web, etc.

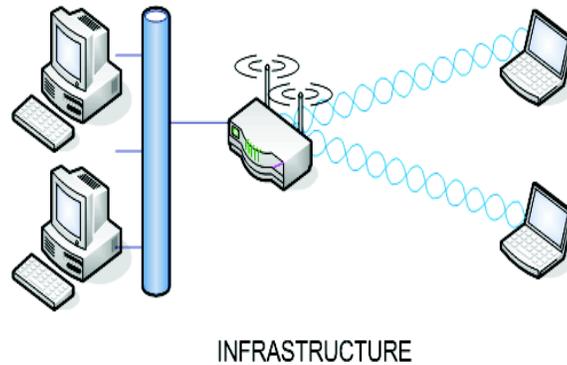


Figura 1.3.4. Red inalámbrica tipo infraestructura

1.3.5. Seguridad en las redes inalámbricas

En sus orígenes las redes inalámbricas fueron muy vulnerables a los ataques, ya que la información se transmitía por el aire sin ninguna seguridad, esta característica la hacía muy susceptible a que los datos que se transmitían por este medio podían ser interceptados por cualquier dispositivo dentro del radio de cobertura. Cuando se vulnera la seguridad del canal de radio, la información pierde su integridad y confidencialidad. En la actualidad se han desarrollado diferentes mecanismos para disminuir los riesgos ante ataques de usuarios o dispositivos no autorizados que intentan acceder a la red, mecanismos como el cifrado, protocolos de autenticación, y llaves de seguridad, han permitido a estas redes brindar seguridad equiparable a las redes cableadas [10] [11].

Entender y aplicar los mecanismos de seguridad nos permiten explotar y beneficiarnos de las WLAN de forma eficiente y segura. Una red inalámbrica se considera segura si cumple con los siguientes principios [11]:

- **Autenticación:** permite identificar y garantizar el acceso a los recursos a los usuarios que demuestren ser quien dicen ser, mediante la validación de ciertos parámetros como credenciales, token's, etc.
- **Integridad:** la información que se transmite no debe ser adulterada, modificada, o cercenada durante la transmisión y recepción de la misma. WEP utiliza como mecanismo CRC (*Códigos de redundancia cíclica*), mientras WPA incluyen un mensaje código de autenticación y la inclusión de un contador de segmentos.
- **Confidencialidad:** los datos que se transmiten deben ser recibidos únicamente por el destinatario autorizado. WEP utiliza como mecanismo el manejo de llaves basados en RC4, mientras WPA hace uso de llaves previamente compartidas PSK (*Pre Shared Key*) y distribución de llaves de forma dinámica.

- **Disponibilidad:** asegurar que los ataques a la red no generen lograr que los recursos no estén disponibles a los usuarios. Las WLAN están expuestas a los ataques, los mecanismos de seguridad como WEP y WPA pueden ser vulnerados, por lo cual se deben considerar conjuntos de mecanismo de seguridad orientados a disminuir el riesgo de que un ataque deje sin servicio a los usuarios. Entre los mecanismos recomendados están: evitar interferencias con otras redes, no publicar los SSID's, monitorear y controlar el tráfico de la red [11].

Vulnerabilidades en las redes WLAN

Las vulnerabilidades son debilidades inherentes al diseño, configuración o implementación de una red inalámbrica y se convierten en una amenaza cuando atentan contra la seguridad, funcionamiento, operación, integridad, disponibilidad y confidencialidad. Existen herramientas que explotan la falta o deficiencia de políticas de seguridad como por ejemplo: Aircrack, wepckrack, kismac, aircrack [11]. Entre las principales vulnerabilidades están las siguientes [11]:

- **Autenticación débil:** Cuando se limita a autenticar al dispositivo y no se hace una autenticación de usuario.
- **Encriptación débil:** Cuando los mecanismos de seguridad y encriptación son muy débiles como por ejemplo WEP⁶.
- **Ausencia de integridad:** cuando los mecanismos para garantizar la integridad de los mensajes no son efectivos o están ausentes. En la actualidad WEP se considera un mecanismo obsoleto, puesto que el código CRC puede ser alterado sin la necesidad de conocer la llave.

Amenazas en la WLAN

Existen muchos tipos de amenazas a las que se encuentra expuesta una red WLAN, el identificarlas ayuda a mitigarlas pudiendo establecerse algún mecanismo orientado a reducirlas. Entre las amenazas más conocidas están [11]:

- **Estructuradas:** son técnicas especializadas realizadas por personas técnicamente preparadas que con la ayuda de equipos y software analizan las vulnerabilidades de las WLAN y la explotan profundamente con el objetivo de causar daño o robar información importante.

⁶ **WEP:** su propósito fue brindar, a las redes inalámbricas, un nivel de seguridad comparable a las redes 802.3 Ethernet. La vida de WEP fue muy corta; un diseño deficiente la hicieron susceptibles a ataques debido a una falta de manejo de llaves. Un mecanismo muy efectivo para vulnerar su seguridad es "aircrack" [7].

- **No Estructuradas:** Estas técnicas son realizadas por individuos de forma aislada y con la ayuda de herramientas básicas que no requieren de habilidades ni equipos sofisticados, comúnmente están dirigidas a descifrar contraseñas para acceder al servicio de navegación en Internet.
- **Internas:** técnicas realizadas por personas dentro de las organizaciones, orientadas a acceder a información o recursos a los cuales no se encuentran autorizados.
- **Externas:** técnicas realizadas por personas fuera de las organizaciones orientadas a acceder a la red.

Ataques

El ataque a una red inalámbrica tiene por objeto tomar el control, dañar o robar información. Los ataques de acuerdo a su comportamiento dentro de la red se dividen en dos clases [11]:

- **Ataques pasivos:** destinados únicamente al espionaje de la información de la red, sin afectar o modificar los datos a los que han logrado acceder.
- **Ataques activos:** destinados a causar daño en la información o interrumpir los servicios de la red inalámbrica.

Un ataque tiene las siguientes fases [11]:

- **Reconocimiento:** consiste en la obtención de información de la víctima con la ayuda de herramientas de exploración o ingeniería social.
- **Exploración:** con la obtención de la información obtenida se busca determinar los recursos de red, usuarios privilegiados, información relevante y las vulnerabilidades para determinar los mecanismos o herramientas requeridas para acceder a la red.
- **Acceso:** una vez que se han identificado las vulnerabilidades y el mecanismo adecuado, el siguiente paso es acceder a la red, una vez dentro de la red se puede materializar el ataque.
- **Mantener el acceso:** El ataque puede asegurar un acceso continuo y de esta forma explotar la red durante el periodo que sea considere el atacante.
- **Borrado de evidencias:** cuando el ataque ha sido consumado, el atacante busca eliminar las evidencias con el objetivo de que los mecanismos de seguridad no puedan detectar el origen, comportamiento o la forma de ejecución del ataque.

Tipos de defensa contra ataques

Para la mitigación de las vulnerabilidades de las redes inalámbricas existen muchos mecanismos de seguridad, los cuales se describirán brevemente a continuación [11].

- **Open System Authentication (OSA):** algoritmo de autenticación definido por defecto en el estándar IEEE 802.11, con este mecanismo cualquier usuario puede asociarse al Access Point. De esta forma el dispositivo que requiera autenticarse deberá conocer el SSID, los mecanismo de autenticación utilizados son WEP o WPA.
- **Closed Network Access control (CNAC):** mecanismo de control de acceso por red cerrada, en el cual solo los clientes que conocen el SSID pueden asociarse a la red. El identificador de red actúa como contraseña, sin embargo el mismo puede capturarse con un sniffer si su distribución no ha sido deshabilitada. De esta forma se autentifica a los usuarios mediante redes ocultas.
- **Shared Key Authentication (SKA):** es un método de autenticación por clave compartida, en el cual tanto el usuario y el punto de acceso poseen la misma clave de encriptación WEP. Para la asociación, el AP envía una trama con un desafío al usuario, quien debe enviar la respuesta correcta codificada para poder asociarse.
- **Access Control List (ACL):** mecanismo orientado al control de acceso de los dispositivos a la red mediante el filtrado de direcciones o segmentos de redes a nivel de dirección IP, estos datos se cotejan con listas de control de acceso permitiendo o denegando el acceso a los recursos de la red.
- **Virtual Local Area Networks (VLANs):** mecanismo de seguridad mediante el cual se segmenta la red a nivel de direccionamiento IP con el propósito de separar los diferentes recursos de la red y de esta forma controlar el acceso a la red de los usuarios de acuerdo a sus perfiles.

1.3.6. Consideraciones para el diseño de una red inalámbrica

La implementación de redes inalámbricas, especialmente las WLAN, es un procedimiento relativamente sencillo en lo que respecta a la instalación y adquisición de equipos, sin embargo una configuración óptima resulta compleja, ya que se deben considerar aspectos que permitan proteger y aprovechar todas las capacidades de esta tecnología. Entre las consideraciones a tomar en cuenta al momento de diseñar una red inalámbrica están las siguientes [12]:

Pérdidas de señal

Las ondas de radio frecuencia (RF) transmitidas por las redes inalámbricas son susceptibles a ser atenuadas e interferidas por obstáculos, ruido producido por dispositivos operando en la misma frecuencia, condiciones climáticas, construcciones, vegetación, etc. Para determinar las pérdidas se debe tomar en cuenta la distancia entre el receptor y transmisor ya que a medida que nos alejamos del punto de acceso la potencia de la señal disminuye.

En las redes WLAN en ambientes interiores, los factores más importantes que inciden en la atenuación de las señales de radio son:

- El tipo de edificación tomando en cuenta los materiales de construcción.
- Presencia de elementos metálicos como puertas, armarios, divisiones, etc.

Por lo cual, para el diseño de la red se consideraran las características específicas de la edificación y las pérdidas introducidas por obstáculos y mobiliario para asegurar que la predicción de la cobertura sea lo más aproximada a la realidad.

Roaming

El roaming es la capacidad que proveen las redes inalámbricas para que un dispositivo no pierda comunicación mientras se desplaza por el área de cobertura de varios puntos de acceso. Para poder permitir esta característica es necesario colocar los AP's de tal manera que sus radios de cobertura estén superpuestos.

La superposición permite a los dispositivos móviles se desplacen por el área de cobertura de dos puntos de acceso contiguos sin perder comunicación y de forma transparente.

Por lo tanto, la ubicación de los puntos de acceso debe permitir la itinerancia o roaming así como la cobertura de todas las áreas.

Capacidad y cobertura

Los puntos de acceso permiten acceder a una cantidad limitada de usuarios al mismo tiempo, esta característica se denomina capacidad y depende del tipo de aplicaciones y servicios que se utilicen. Mientras más dispositivos requieran conectarse a la red, la capacidad del AP deberá distribuirse a todos, disminuyendo su rendimiento y dificultando que nuevos clientes puedan utilizar los recursos.

La cobertura es el alcance que una WLAN puede brindar, mientras mayor sea la potencia del punto de acceso mayor será su alcance, sin embargo la misma no debe causar

interferencia a otros puntos de acceso, por lo que es necesario planificar la asignación de canales de frecuencias.

Por esto una red inalámbrica debe proveer la cobertura y la capacidad suficiente para todos los usuarios.

Site Survey

Un Site Survey (*estudio del sitio*) es un procedimiento técnico ejecutado con la finalidad de obtener datos importantes del estado actual del sitio para el diseño o rediseño de redes inalámbricas. Un Survey permite tener información sobre [12]:

- Obstáculos, facilidad y complicaciones civiles o arquitectónicas.
- Posibles lugares para la ubicación de los AP's.
- Identificar interferencias de redes WLAN cercanas.
- Identificar puntos de energía y datos.
- Determinar nivel de señal y cobertura de redes ya existentes.

La utilización de surveys con la ayuda de software permite simular el comportamiento de una red nueva o mejorar una red implementada.

1.3.7. Fundamentos del Estándar IEEE 802.11

El estándar IEEE 802.11 de comunicaciones que define el primero y segundo nivel de la arquitectura OSI (capa física y de datos), especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN. En general, se conoce que los protocolos de la familia 802.x definen las tecnologías de las redes de área local [6].

La Familia del estándar 802.11 tiene su origen en el año 1997, especificaba velocidades desde 1 hasta 2 Mbps, trabajando en la banda de frecuencia de 2.4 GHz. El estándar inicial 802.11 es comúnmente llamado legacy u original.

Tabla 1.3.2. Principales características para el estándar 802.11 [10]

Estándar 802.11	Frecuencia GHz	Modulación	Velocidad Mbps	Flujos espectrales
Legacy	2,4	DSSS, FHSS	2	1
a	5	OFDM (SISO)	54	1
b	2,4	DSSS (SISO)	11	1
g	2.4	OFDM, DSSS (SISO)	54	1
n	2.4 y 5	OFDM MIMO	450	4
ac	5	OFDM Mu-MIMO	1300	8

Bandas de frecuencias

El estándar IEEE 802.11 define el uso de la bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), las frecuencias utilizadas en la actualidad son de 2.4 GHz y 5 GHz. Estas bandas no requieren licenciamiento, sin embargo existen restricciones dependiendo de la región continental en el cual trabajan [10].

- **Banda de 2.4 GHz:** el rango de frecuencias asignado para las redes 802.11 está dentro del rango de 2.402 a 2.483 GHz [10], se definen un total de 14 canales con un ancho de banda de 22 MHz con una separación de guarda de 5 MHz provocando un solapamiento de todos los canales con sus adyacentes. Al momento de asignar las frecuencias para obtener un rendimiento óptimo se recomienda usar los canales que estén más separados el uno con el otro. En la figura 1.3.5, se muestran los canales disponibles para la banda de 2.4 GHz, los canales 1, 6 y 11 no presentan interferencia.

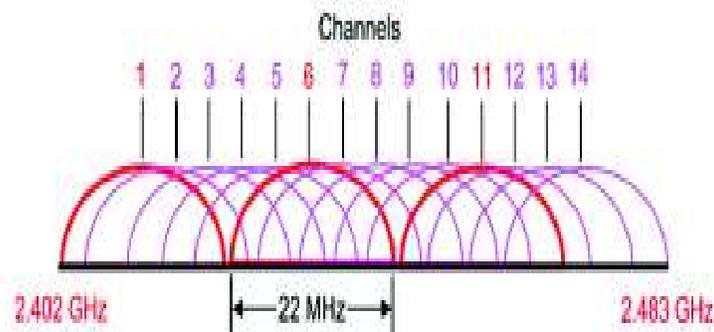


Figura 1.3.5 Canales de frecuencia en la banda de 2.4 GHz

- **Banda de 5 GHz:** esta banda dispone de un mayor ancho de banda que la de 2.4 GHz y presenta un menor nivel de interferencias, puesto que se encuentra explotada en menor grado. Los canales están separados 20 MHz con un ancho de banda de 16.6 MHz [10], para esta banda ningún canal se solapa con otro adyacente, pudiendo ser utilizados todos al mismo tiempo en el plan de frecuencias. La banda de 5GHz está dentro del rango de 5.150 a 5.725 GHz, en la figura 1.3.6, se muestran los canales disponibles para la banda de 5 GHz.

Banda de frecuencia (MHz)	Número canal	Frecuencia central
5150-5250	36	5180
	40	5200
	44	5220
	48	5240
5250-5350	52	5260
	56	5280
	60	5300
	64	5320
5470-5725	100	5500
	104	5520
	108	5540
	112	5560
	116	5580
	120	5600
	124	5620
	128	5640
	132	5660
	136	5680
5725-5825	140	5700
	149	5745
	153	5765
	157	5785
	161	5805

Figura 1.3.6 Canales de frecuencia en la banda de 5 GHz [10]

La Ley Orgánica de Telecomunicaciones LOT, publicada en el Registro Oficial No. 439 del 18 de febrero de 2015, en su artículo 142 crea a la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones ARCOTEL, como entidad encargada de la administración, regulación y control de las telecomunicaciones y del espectro radioeléctrico y su gestión, así como de los aspectos técnicos de la gestión de los medios de comunicación social que usen frecuencias del espectro radioeléctrico o que instalen y operen redes [13].

El numeral 1 del artículo 96 de la LOT determina que el espectro de uso libre “Son aquellas bandas de frecuencias que pueden ser utilizadas por el público en general, con sujeción a lo que establezca el ordenamiento jurídico vigente y sin necesidad de título habilitante, ni registro” [13].

Plan Nacional de Frecuencias aprobado mediante Resolución No. 12-09-ARCOTEL-2017 del 13 de diciembre de 2017, publicada en la Edición Especial No. 250 del Registro Oficial el 31 de enero de 2018, establece que: “En las bandas 915 – 928 MHz, 2 400 – 2 483,5 MHz, 5 150 – 5 350 MHz, 5 470 – 5 725 MHz y 5 725 – 5 850 MHz y 24,05 – 24,25 GHz operan, a título secundario, sistemas que ocupan espectro radioeléctrico para Uso Determinado en Bandas Libres (UDBL), para los servicios fijo y móvil [13].

De acuerdo a la norma técnica de espectro de uso libre y de espectro para uso determinado en bandas libres en el capítulo dos, artículo 6 “Los equipos que utilicen

espectro de uso libre y las estaciones que pertenezcan a los servicios de radiocomunicaciones que funcionan en estas bandas, deben aceptar la interferencia perjudicial resultante de las aplicaciones ICM” [13].

Técnicas de acceso al medio

En el estándar IEEE 802.11 define el acceso al medio se lo hace por medio de la técnica CSMA (*acceso aleatorio al medio*), esta técnica escucha el medio para determinar si existe presencia de portadora en los momentos que se ocupa el canal con la finalidad de evitar colisiones, es decir que no se permite que dos dispositivos accedan al medio al mismo tiempo: Se definen mecanismos que se deben seguir si se llegase a utilizar el medio de forma simultánea [6] [10].

- **CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*):** “Acceso Múltiple con Censado de Portadora y Detección de Colisiones”, es una técnica usada en redes Ethernet para mejorar sus prestaciones. El método de acceso CSMA/CD, los dispositivos de la red que quieren transmitir deberán determinar si el medio está ocupados o no [6] [10].
- **CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*):** “Acceso Múltiple con Censado de Portadora y evasión de colisiones”, es una técnica en la cual cada equipo anuncia su intención de transmitir para evitar colisiones entre los paquetes de datos, de esta forma el resto de equipos de la red sabrán cuando existan colisiones y en lugar de transmitir esperarán cierto tiempo aleatorio para volver a intentar transmitir [6] [10].

Multiplexación basada en la técnica de espectro ensanchado

En la tecnología de espectro ensanchado, también llamada espectro esparcido, spread spectrum o SS, la señal transmitida se ensancha a lo largo de una banda muy ancha de frecuencias; en lugar de utilizar una portadora para concentrar la energía a su alrededor, hace uso de todo el ancho de banda disponible [14].

- **Multiplexación DSSS:** El espectro ensanchado por secuencia directa es una técnica de multiplexación que utiliza un código de pseudo⁷ ruido para multiplexar directamente una portadora, de tal manera que aumente el ancho de banda y reduciendo la densidad de potencia espectral. La señal resultante tiene un

⁷ **Seudo Ruido:** Secuencias de Pseudo-Ruido La secuencia de pseudo-ruido (PN, pseudo-noise) es una secuencia binaria que parece ser aleatoria pero puede ser reproducida por los receptores (determinística). Por lo cual se llama pseudo aleatoria.

espectro muy parecido al del ruido, de esta forma solo el receptor deseado podrá captar la información [15] [16].

- **Multiplexación FHSS:** El espectro ensanchado por salto de frecuencia es una técnica de multiplexación, en el cual la señal se transmite sobre una serie de radiofrecuencias aparentemente aleatorias, saltando de frecuencia en frecuencia de forma sincronizada por el transmisor. Los receptores que no conocen la secuencia de saltos no podrán recibir la señal, este tipo de señales son altamente resistentes al ruido y la interferencia [15] [16].

Multiplexación OFDM

La multiplexación por división de frecuencias ortogonales OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) consiste en transmitir un conjunto de portadoras de diferentes frecuencias moduladas en QAM⁸ o PSK⁹. Esta técnica divide el ancho de banda en subcanales que operan en paralelo, consiguiendo velocidades de transmisión de hasta 54 Mbps [6]. OFDM está basada en la FTT (*Fast Fourier Transform*) la cual permite la transmisión con 52 subportadoras solapadas, 48 de estas son utilizadas para transmitir datos y las otras cuatro para alinear las frecuencias en el receptor [6] [15] [16].

La principal característica de las señales OFDM es la ortogonalidad de las portadoras, puesto que permite la transmisión simultánea en un estrecho rango de frecuencias, reduciendo el ancho de banda y sin producir interferencias entre ellas [6] [15] [16].

En la figura 1.3.7, se muestra a la izquierda la técnica de multiplexación FDM y a la derecha se muestra OFDM. Se aprecia en la técnica FDM las portadoras se encuentran distribuidas una a continuación de otra con la finalidad de evitar interferencias, mientras que en OFDM las portadoras se encuentran superpuestas, sin embargo cuando una portadora se encuentra en su pico máximo las adyacentes están en su pico mínimo, evitándose así las interferencias entre canales de frecuencia. De esta forma OFDM logra reducir el ancho de banda y enviar una mayor cantidad de información [15] [16].

⁸ **QAM:** (Quadrature Amplitude Modulation). Consiste en modular por desplazamiento en amplitud (ASK) de forma independiente, dos señales portadoras que tienen la misma frecuencia pero que están desfasadas entre sí 90°. La señal modulada QAM es el resultado de sumar ambas señales ASK. Estas pueden operar por el mismo canal sin interferencia mutua porque sus portadoras al tener tal desfase, se dice que están en cuadratura. Estas dos ondas generalmente son señales sinusoidales en la cual una onda es la portadora y la otra es la señal de datos.

⁹ **PSK:** PSK (Phase-shift keying), es una modulación de fase donde la señal moduladora (datos) es digital. Existen dos alternativas de modulación PSK: PSK convencional, donde se tienen en cuenta los desplazamientos de fase y PSK diferencial, en la cual se consideran las transiciones.

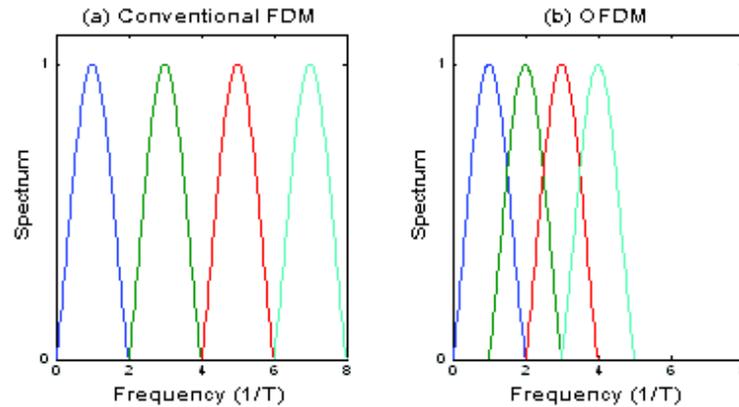


Figura 1.3.7. Comparativa entre FDM y OFDM [16]

MIMO (*Multiple Input Multiple Output*)

Es una tecnología que usa múltiples antenas transmisoras y receptoras, mejorando el desempeño del sistema. Esta mejora se consigue gracias al desfase de la señal, de tal forma que las reflexiones en lugar de ser destructivas sean constructivas por el multiplexado por división espacial SDM [6] [14].

MIMO aprovecha fenómenos físicos como la propagación multitrayecto para incrementar la tasa de transmisión y reducir la tasa de error. Esta técnica multiplexa espacialmente flujos de datos independientes, transferidos simultáneamente por un canal [6] [14].

Wi-Fi (*Wireless Fidelity*)

Wi-Fi es una marca de la Wi-Fi Alliance, esta organización comercial se encarga de adoptar, probar y certifica que los equipos cumplen los estándares 802.11. La Wi-Fi Alliance asegura que la compatibilidad entre dispositivos con la marca Wi-Fi sea completa [6] [14].

1.3.8. Seguridad en el estándar IEEE 802.11

La seguridad en las redes incluidas las inalámbricas, se basan en dos aspectos la autenticación y el cifrado. La autenticación apunta a identificar al usuario en el punto de acceso y viceversa, mientras el cifrado busca asegurar que el tráfico de la red no pueda ser decodificado. Por lo tanto, los mecanismos y protocolos de seguridad en las redes WLAN deben estar orientados a proteger estos dos aspectos [6] [15]. A continuación se describen los métodos de seguridad definidos en el estándar 802.11:

- WEP (*Wired Equivalent Protocol*),
- WPA (*Wi-Fi Protected Access*),

- EAP (*Extensible Authentication Protocol*),
- 802.1x.

Para el diseño de la red inalámbrica, el tipo de seguridad corresponderá a WPA2 PSK, del cual se realizará la descripción a continuación:

WPA2

La segunda versión WPA permite a los dispositivos emplear tecnología de cifrado que considera conveniente, una de las opciones más robustas es AES (*Advanced Encryption Estándar*) y algoritmo ya mencionado RC4 conjuntamente con el protocolo TKIP. Cuando el dispositivo emplea un cifrado mediante AES utiliza también el protocolo CCMP (*Counter Mode Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol*) el cual asegura la confidencialidad de los datos permitiendo solamente a los usuarios autorizados acceder a la información así también proporciona la autenticación de los usuarios [6] [15].

WPA PSK (*Pre-Shared Key*)

Es una modalidad para ambientes domésticos en los cuales no es posible contar con un servidor de autenticación centralizado. Para unirse a un punto de acceso se requiere de una contraseña compartida tanto en el AP's como en el dispositivo, únicamente quienes conozcan la contraseña podrán acceder a la red. De esta forma se evita ataques basados en escuchas así como del acceso a usuarios no autorizados. Aunque la contraseña es única, las claves de cifrado son diferentes para cada dispositivo [6] [15].

1.3.9. Topologías del estándar IEEE 802.11

En el estándar IEEE 802.11 se definen las topologías BSS (*Basic Service Set*), ESS (*Extended Service Set*) e IBSS (*Independent Basic Service Set*) [6] [14] [15] [16].

Basic Service Set

La topología BSS está compuesta por dos o más estaciones inalámbricas que se comunican mediante un punto de acceso, el mismo que se encarga de coordinar las transmisiones entre ellos. Conocida también como el modo infraestructura, ya que interconecta la red inalámbrica con la red cableada.

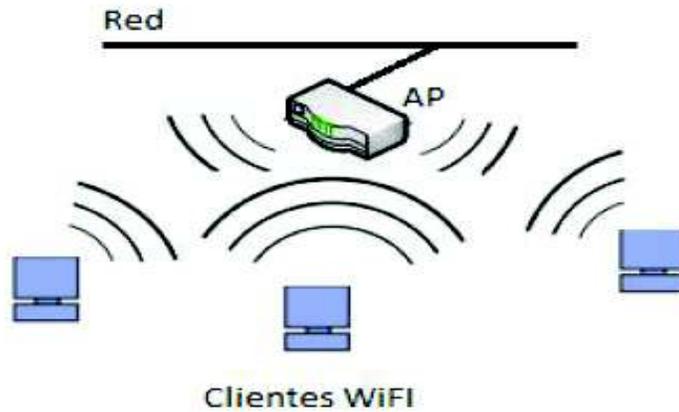


Figura 1.3.8. Topología BSS [15]

Extended Service Set

Corresponde a la interconexión de varios BSS mediante un DS (*Distribución System*) que puede ser por cable o inalámbrico, en este último tomara el nombre de WDS (*Wireless Distribución System*). En esta topología los usuarios se pueden unir a cualquier AP's, ya que la conexión es transparente para las estaciones y es posible el traspaso de una BSS a otra sin perder conectividad.

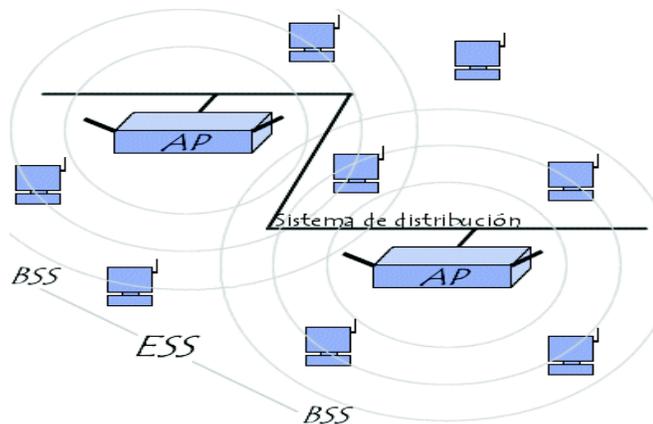


Figura 1.3.9. Topología ESS [15]

Independent Basic Service Set

Esta topología se implementa para que las estaciones se comuniquen de igual a igual sin la necesidad de un punto de acceso que gestione o coordine las transmisiones. Son muy utilizadas para proveer una conexión temporal y para un limitado número de estaciones.

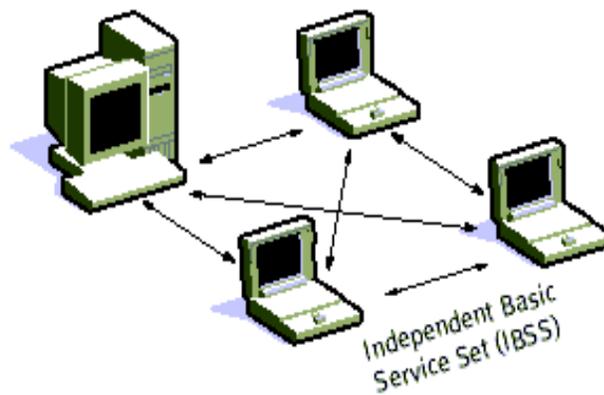


Figura 1.3.10. Topología IBSS [15]

La topología que será usada en el diseño de la red inalámbrica para la empresa NGT S.A, corresponderá a la ESS (*Extended Service Set*), que permitirá movilidad, e interconectar la red inalámbrica con la red cableada.

Servicios

Se definen dos tipos de servicios [15]:

- Servicios de estación (SS)
- Servicios del sistema de distribución (DSS)

Los servicios de estación están definidos únicamente a las estaciones móviles y puntos de acceso, mientras los servicios del sistema de distribución se aplican a los puntos de acceso que se conectan al DSS conformados por varios BSS.

Servicios de estación

Autenticación: El punto de acceso genera una serie de retos dirigidos a las estaciones inalámbricas, para que se identifiquen y demuestren ser quien dicen ser, antes de formar parte de la red. En el estándar IEEE 802.11 se establecen dos tipos de sistemas para la autenticación de las estaciones, el primero mediante el sistema OSA¹⁰ (*Open System Authentication*) y el segundo mediante el sistema de clave compartida SKA¹¹ (*Shared Key Authentication*).

¹⁰ **OSA (Open System Authentication):** El proceso de autenticación se la hace sin realizar encriptación, no existe verificación del usuario ni del equipo.

¹¹ **SKA (Shared Key Authentication):** Se requiere que el AP y cliente posean la misma llave, el AP envía un reto, si el cliente no posee la llave correcta, el proceso de autenticación falla.

- **Des-autenticación:** El servicio tiene por objetivo llevar a cabo la des-asociación de la estación inalámbrica de la BSS o ESS, cuando se requiere terminar el proceso de autenticación al salir de la red.
- **Privacidad:** El servicio tiene por objeto asegurar la confidencialidad de los datos, previniendo a la red de ataques con el uso de mecanismos de seguridad. El estándar IEEE 802.11 incorpora sistemas de encriptación como WEP, TKIP¹² y CCMP¹³.
- **Transporte del MSDU:** El transporte de la unidad de datos del servicio de la subcapa MAC (*MSDU MAC Service Data Unit*) se lo realiza con la finalidad de transportar entre los AP's la información sobre la operación de la subcapa MAC.

Servicios del sistema de distribución

- **Asociación:** Este servicio tiene por objetivo que el sistema de distribución conozca el Punto de Acceso, al cual se encuentra unida una estación inalámbrica para entregar correctamente la información al destinatario. Una estación inalámbrica puede estar asociada a un único AP.
- **Disociación:** Este servicio permite a una estación desunirse de un punto de acceso cuando la misma se desconecta o sale de zona de la cobertura.
- **Re-asociación:** al igual que la asociación, la re-asociación es un servicio iniciado por la estación inalámbrica cuando esta detecta un nivel de señal más fuerte que el que ofrece el AP
- **Distribución:** Este servicio hace posible la entrega de la información a los destinatarios. Las tramas son entregadas al AP al cual está asociada la estación inalámbrica, luego son transportadas a través del sistema de distribución al AP remoto en el que se encuentra asociado el destinatario. El proceso se lo realiza incluso si las estaciones están asociadas al mismo Punto de Acceso.
- **Integración:** El servicio de integración permite la conexión de la red inalámbrica a otro tipo de red, garantizando la compatibilidad y la interoperabilidad a nivel de protocolos.

¹² **TKIP (Temporal Key Integrity Protocol):** es también llamado hashing de clave WEP WPA, incluye mecanismos del estándar emergente 802.11i para mejorar el cifrado de datos inalámbricos. WPA tiene TKIP, que utiliza el mismo algoritmo que WEP, pero construye claves en una forma diferente. Esto era necesario porque la ruptura de WEP había dejado a las redes WiFi sin seguridad en la capa de enlace, y se necesitaba una solución para el hardware ya desplegado.

¹³ **CCMP (Counter Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol):** es un protocolo de encriptación de IEEE 802.11i. Fue creado para reemplazar TKIP (el protocolo obligatorio en el WPA), y WEP (un protocolo inseguro). CCMP es obligatorio en el estándar WPA2, opcional en WPA y obligatorio en las redes RSN (Robust Security Network).

1.3.10. Arquitectura del estándar IEEE 802.11

El estándar IEEE 802.11, se apega a los lineamientos de la arquitectura de la familia de estándares 802, en la cual a la capa de datos como a la capa física del modelo OSI se las divide en dos; LLC (*Logical Link Control*) y MAC (*Media Access Control*) para la capa de enlace, mientras que para la capa física se divide en PLCP (*Physical Layer Convergence Procedure*) y PMD (*Physical Medium Dependent*) como se muestra en la figura 1.3.11.

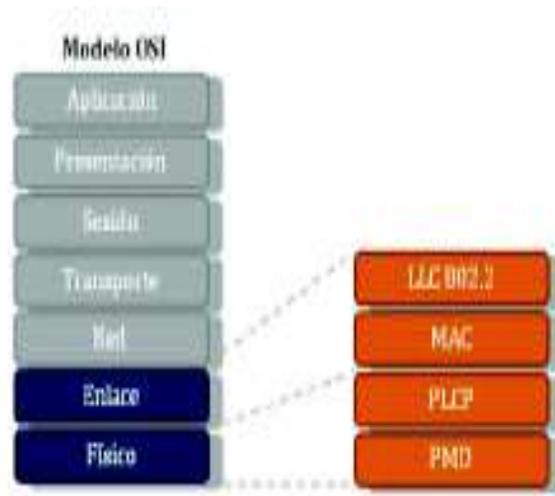


Figura 1.3.11. Esquema de la trama MAC 802.11 [16]

El estándar 802.11 define la forma de transmitir los datos en la subcapa MAC de la capa de enlace de datos y la capa física. Además de que la subcapa de control de enlace lógico LLC que se emplea es la definida en el estándar 802.2 [15] [16].

Subcapa MAC

La subcapa MAC es la que se encarga de asignar el medio inalámbrico para las transmisiones en la red, determinando cual es la estación que puede transmitir o recibir datos. Para la asignación de canales a una estación inalámbrica se utilizan las técnicas de acceso al medio CSMA-CA y MACA [6] [16].

Trama MAC

Es el bloque de datos que se transfiere a la capa física como resultado de lo gestionado en la subcapa MAC. La trama (Figura 1.3.12) está compuesta por una cabecera de 30 bytes, seguida del cuerpo de datos recibidos de la subcapa LLC con una longitud máxima de 2312 bytes y por último la cola FCS (*Frame Check Sequence*) de 4 bytes que realiza el chequeo de errores en la trama con un código de redundancia cíclica CRC-32 [16].



Figura 1.3.12. Esquema de la trama MAC 802.11 [6]

A continuación se describen los componentes de la trama MAC [16]:

Control de trama

- **Versión de protocolo:** Corresponden a 2 bits que especifican la versión del protocolo utilizado en la trama, por defecto tiene el valor de 0.
- **Tipo:** Corresponden a 2 bits, los cuales informan si se trata de una trama de administración, control o datos.
- **Subtipo:** Este campo contiene 4 bits, indica la función de cada trama las cuales pueden ser de: administración, control e información.
- **Hacia el DS:** Corresponde a un bit, que indica con el valor de 1L que las tramas están destinadas al DS (*Distribution System*).
- **Desde el DS:** Corresponde a un bit, que indica con el valor de 1L que las tramas provienen del DS (*Distribution System*).
- **Más Fragmentos:** Corresponde a un bit, que indica con el valor de 1L que la trama contiene un fragmento de la MSDU.
- **Reintentar:** Corresponde a un bit, que indica con el valor de 1L la retransmisión de una trama anterior.
- **Administración de energía:** Corresponde a un bit, el cual indica el estado de la energía¹⁴ que se tendrá una vez que se termine el intercambio de tramas.
- **Más datos:** Corresponde a un bit, que indica con el valor de 1L que existe una MSDU's en espera de ser transmitidas al receptor.

¹⁴**Estado de la energía:** Estaciones móviles pueden estar trabajando en modo de baterías, de tal manera que con la ayuda de este campo, con un 1L la estación indica que se encuentra en modo de ahorro de energía, de lo contrario enviara un 0L indicando que se encuentra en modo activo.

- **WEP:** Corresponde a un bit que indica con el valor de 1L que los datos están codificados con el algoritmo WEP.
- **Orden:** Corresponde a un bit que indica con el valor de 1L a la estación receptora que el procesamiento de tramas se lo realice en el orden de llegada de las mismas.

Duración ID

Corresponde a un campo de 16 bits, el cual indica la duración de la trama en milisegundos considerado también como el tiempo de ocupación.

Dirección 1, 2, 3 y 4

Corresponden a los campos que indican las direcciones MAC de los dispositivos involucrados en la transmisión y recepción de las tramas [16].

- **Dirección 1:** Dirección MAC de la estación de destino.
- **Dirección 2:** Dirección MAC de la estación de origen de la trama.
- **Dirección 3:** Dirección MAC de la estación receptora inmediata en el medio de transmisión sin ser necesariamente la estación de destino.
- **Dirección 4:** Dirección MAC de la estación que realizó la última transmisión hacia la estación de destino sin ser necesariamente la estación que originó la trama.

Control de secuencia

Corresponde a un campo de 16 bits el cual se divide en dos sub-campos.

- **Número de fragmento:** Corresponden a 4 bits para la identificación del número de fragmento de una MSDU.
- **Número de secuencia:** Corresponden a 12 bits, los cuales especifican el número de secuencia de una MSDU y que permanece sin incremento cuando han existido retransmisiones o fragmentos de una MSDU.

Datos o cuerpo de la trama

Corresponde a la información que proviene de la subcapa LLC y puede tener una longitud entre 0 y 2312 bytes.

Secuencia de verificación de trama

Corresponde al código de redundancia cíclica de 32 bits CRC- 32, el cual es calculado sobre la cabecera y el cuerpo de la trama.

Tipos de Tramas

El estándar IEEE 802.11 define tres tipos de tramas en la subcapa MAC: tramas de control, tramas de datos y tramas de administración [16].

Tramas de Control

Son tramas que ayudan a coordinar la entrega adecuada de las tramas de datos, entre las cuales están:

- **Trama RTS (Request to Send):** enviada por la estación que desea iniciar una transmisión con el objetivo de reservar el canal inalámbrico y de esta forma evitar posibles colisiones.
- **Trama CTS (Clear to Send):** es la trama enviada por la estación de destino a la estación de origen para autorizar la transmisión de tramas.
- **Trama ACK (Acknowledgement):** es la trama proveniente desde el destino hacia el origen para avisarle sobre la correcta recepción de la trama enviada.

Tramas de Datos

Corresponden a las tramas que se encargan de llevar datos a través de la red y se dividen en:

- **Tramas de información:** estas tramas se encargan de llevar los datos provenientes de las capas superiores a la subcapa MAC; para el estándar IEEE 802.11 la información es entregada por la subcapa LLC.
- **Tramas de función nula:** Estas tramas no transportan datos de capas superiores, únicamente llevan el bit de administración de energía del campo de control de trama hacia el punto de acceso, para indicarle que la estación pasará al estado de operación de baja potencia.

Tramas de administración

Corresponden a las tramas que permiten administrar las comunicaciones entre la estación y el punto de acceso.

- **Association Request:** Trama enviada al punto de acceso por la estación, solicitando la asociación a la BSS controlada por el AP. En esta trama se envía información como el tipo de encriptación que está empleando la estación.
- **Association Response:** Trama enviada por el punto de acceso como respuesta a la trama anterior, indicando la aceptación o negación de la estación en la BSS.

- **Beacon:** Corresponden a tramas transmitidas de forma periódica por el punto de acceso a las estaciones, indicando que pueden conectarse a la BSS que el AP controla.
- **Dissociation:** Trama que indica que la estación móvil termina la asociación.
- **Reassociation Request:** Trama enviada por la estación cuando esta requiere cambiar de BSS sin perder conectividad. El destinatario de esta trama es el AP que controla la nueva BSS.
- **Reassociation Response:** Trama enviada por el punto de acceso para indicarle a la estación si la solicitud de re-asociación ha sido aceptada.

Acceso al medio

En la subcapa MAC del estándar IEEE 802.11 se especifican dos algoritmos para controlar el acceso al medio de transmisión, los cuales son: DCF y PCF [6] [16].

DCF (*Distributed Coordination Function*)

Representa el principal método de acceso al canal de transmisión y es utilizado durante el intervalo temporal de contención CP¹⁵ (*Contention Period*). El método DCF emplea el protocolo de acceso al medio CSMA/CA, el protocolo MACA y el algoritmo de *Backoff*¹⁶ para controlar el procedimiento de contención del canal realizado por las estaciones antes de transmitir las tramas por el medio inalámbrico [6] [16].

El protocolo CSMA/CA especifica que una estación antes de iniciar una transmisión debe escuchar el canal durante un periodo de tiempo denominado DIFS (*Distributed Inter Frame Space*), con el propósito de determinar si el canal se encuentra ocupado por otra estación. Si el canal se encuentra libre se procederá con la transmisión, en caso de que el canal se encuentre ocupado, la estación inalámbrica deberá esperar un tiempo aleatorio de espera para volver a intentar transmitir.

El método DCF, Figura 1.3.14, requiere de tramas ACK que confirman la recepción por parte de la estación receptora luego de un periodo de tiempo SIFS (*Short Inter Frame Space*), el cual es de menor duración que un DIFS, de esta manera se garantiza la prioridad de las tramas de confirmación. El protocolo CSMA/CA tiene como objetivo evitar colisiones con la ayuda del método DCF, sin embargo se pueden presentar problemas como:

¹⁵ **Contention Period:** es un periodo de tiempo en el cual las estaciones compiten por el canal utilizando el método DCF.

¹⁶ **Algoritmo de backoff:** Cuando una estación encuentra el canal ocupado, inicia un tiempo de espera aleatorio, el cual va decrementando mientras la estación continúa censando el canal. Cuando el contador llega a cero la estación puede transmitir, estableciendo prioridad para tener acceso al canal.

- **Estación Oculta:** En un escenario en el que se tienen tres estaciones, se tiene que aquellas que se encuentran en los extremos no pueden escucharse debido a los obstáculos entre ellas. Al momento en el cual una estación transmite a la estación intermedia, la tercera estación supondrá que el canal está libre y transmitirá provocándose una colisión.
- **Estación Expuesta:** De acuerdo a la figura 1.3.13, el problema de las estaciones expuestas ocurre cuando la estación B envía una trama a la estación A, la estación C (expuesta) escucha la transmisión de B y se abstiene de transmitir a la estación D aunque la misma no esté involucrada pero se encuentra dentro del radio de cobertura.

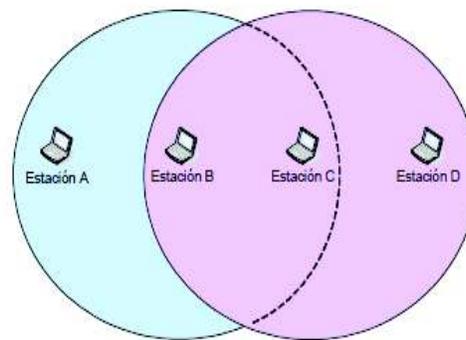


Figura 1.3.13. Problema de estación expuesta [16].

El protocolo MACA resuelve los problemas de estación expuesta y oculta, mediante el uso de tramas RTS (*Request to Send*) y CTS (*Clear to Send*) para la reservación del canal durante un intervalo de tiempo determinado. Para que una estación pueda transmitir debe esperar un tiempo DIFS, y enviar una trama RTS en la cual especifica la duración de la trama que desea transmitir a lo que deberá esperar una respuesta del receptor mediante una trama CTS, confirmando la reserva del canal por el tiempo solicitado. Las estaciones que no participan en la transmisión almacenan el tiempo de ocupación en el NAV (*Network Allocation Vector*), que es un mecanismo de censado virtual de portadora.

El algoritmo de backoff establece el mecanismo por el cual una estación al escuchar el canal inalámbrico después de un tiempo DIFS, espera un tiempo aleatorio para volver a censar el canal. El algoritmo de backoff calcula el tiempo con la multiplicación de un número aleatorio entre cero y valor de la ventana de contención CW (*Contention Window*) por un time slot, el cual dependerá de la capa física; para FHSS el time slot es de 50us, en DSSS, 20 us en Infrarrojo es de 8us.

Cuando una estación detecta el canal ocupado, seguirá censándolo para identificar si el mismo se encuentra libre, mientras continúa decrementando el valor del backoff hasta llegar a cero, momento en el cual la estación podrá transmitir puesto que este mecanismo establece prioridad para el acceso al canal inalámbrico. El valor de la CW necesario para calcular el tiempo de backoff se incrementa de manera exponencial con cada colisión existente, de esta forma el nuevo valor del CW resulta de sumarle una unidad a la multiplicación del valor de CW que se tenía en la colisión anterior por dos [6] [16].

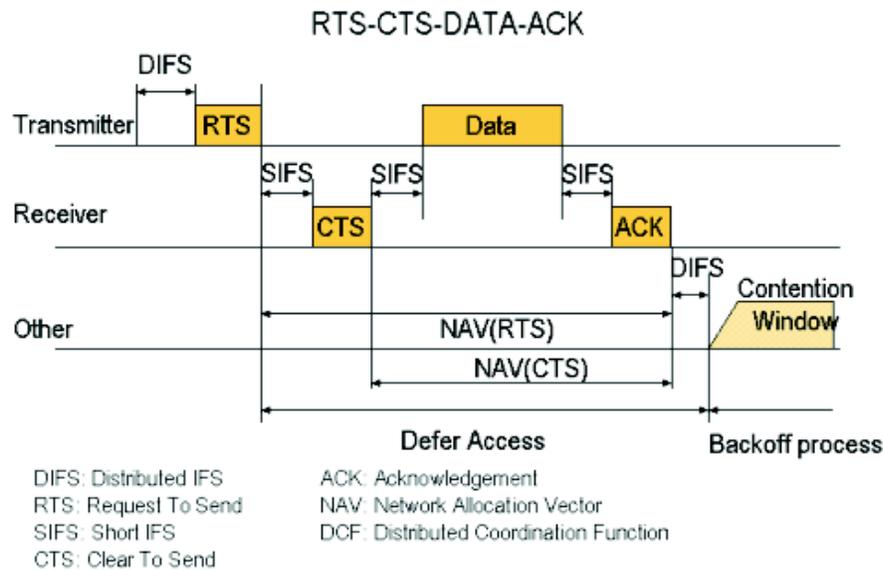
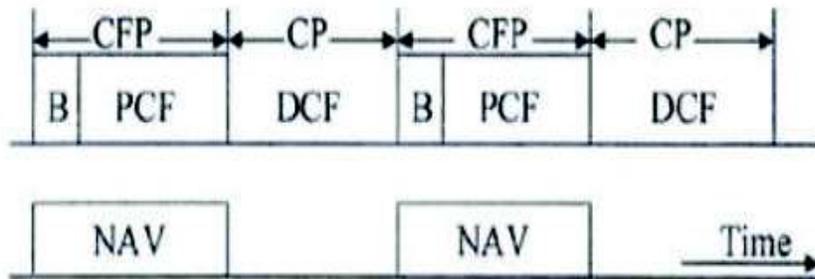


Figura 1.3.14. Distributed Coordination Function [6]

PCF (Point Coordination Function)

El algoritmo PCF, Figura 1.3.15, usa dos intervalos de tiempo, los cuales son alternos por el punto de acceso, quien es el responsable de controlar el acceso al canal de transmisión. El primer intervalo de tiempo se denomina periodo de contención CP (*Contention Period*), en el cual las estaciones que requieren transmitir compiten por el acceso al canal utilizando DCF y el segundo intervalo denominado periodo de libre contención CFP (*Contention Free Period*), en el cual el AP controla de forma sincronizada que estación puede transmitir, logrando de esta manera gestionar de alguna manera la calidad de servicio [16].



CFP: Contention-Free Period B: Beacon
 CP: Contention Period NAV: Network Allocation Vector

Figura 1.3.15. Point Coordination Function [6]

Capa Física

La capa física de cualquier red define la modulación y la señalización características de la transmisión de datos. La capa física se estructura lógicamente por dos subcapas la PLCP y PMD [6] [16].

- **PLCP (*Physical Layer Convergence Procedure*):** Su función es la de adaptar los paquetes que son entregados por la subcapa MAC a la subcapa PMD formando la unidad de datos PDU (*Protocol Data Unit*) para su posterior transmisión por el canal inalámbrico.
- **PMD (*Physical Medium Depent*):** Es el transductor que se encarga de convertir los bits de información a una señal electromagnética que se transmitirá en el medio, también realiza la señalización, codificación y la selección de la frecuencia de operación.

En el estándar 802.11 se definen cuatro técnicas de transmisión: infrarrojos, FHSS, DHSS y OFDM.

1.3.11. Evolución del estándar IEEE 802.11

La versión original del estándar IEEE 802.11 fue publicada en 1997, se especificaron dos tasas de transmisión teóricas de 1 y 2 megabits por segundo (Mbps por medio de señales infrarrojas. El estándar original usa el protocolo CSMA/CA "Acceso múltiple con detección de portadora y prevención de colisiones" [16].

El estándar IEEE 802.11 define el uso de dos de los niveles inferiores del modelo OSI, la capa física y capa de datos, especificando las normas de funcionamiento, aunque la

versión original no tuvo aplicaciones prácticas se continuó con el desarrollo permitiendo así la aparición de nuevas versiones del estándar [6][15][16][17][18].

Estándar IEEE 802.11b

El estándar 802.11b fue publicado en el año de 1999 y fue de gran aceptación en el mercado tecnológico, entre las características más importantes están la velocidad máxima de transmisión de 11 Mbps, utiliza la banda de frecuencia de 2.4 GHz que no necesita licencia, conserva el método de acceso definido en el estándar original CSMA/CD e incorpora mecanismos de seguridad en las comunicaciones, como el protocolo WEP (*Wired Equivalent Privacy*).

Estándar IEEE 802.11a

El estándar 802.11a, fue publicado en 1999, siendo comercializado por primera vez en el año 2002, entre las características más importantes está la velocidad máxima teórica de 54 Mbps, utiliza la banda de 5GHz, es el primero dentro de esta familia de estándares en utilizar la técnica OFDM (*Orthogonal Frequency-División Multiplexing*) con 52 portadoras, se definen doce canales sin solapamiento, ocho de ellos para redes punto multipunto y cuatro punto a punto. Este estándar no fue concebido para interoperar con el estándar anterior [6].

Estándar IEEE 802.11g

En el 2003 se ratifica el estándar 802.11g que cual garantizaba la compatibilidad con el estándar 802.11b, mantiene la velocidad de 54 Mbps en la banda de 2.4 GHz utilizando modulación DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) y OFDM. Sin embargo, pese a la compatibilidad se reduce notablemente el rendimiento de la tasa de transmisión, a causa que los clientes 802.11b no están diseñados para trabajar con OFDM.

Estándar IEEE 802.11n

El estándar 802.11n fue ratificado en septiembre de 2009, utiliza la tecnología MIMO¹⁷ (*Multiple Input Multiple Output*) que permite enviar y recibir datos simultáneamente gracias a la incorporación de varias antenas que usan varios canales.

En el estándar 802.11n se mejora el uso del ancho de banda y en consecuencia la tasa de transmisión neta, entre las mejoras más importantes están [17]:

¹⁷ **MIMO (*Multiple Input Multiple Output*)**: Es una tecnología que usa múltiples antenas transmisoras y receptoras, mejorando el desempeño del sistema.

- Incremento del ancho de banda del canal de transmisión: a diferencia de los estándares a/b y g que utilizan un ancho de banda de 20MHz, el estándar “n” usa canales de 20 y 40 MHz. Un canal de 40MHz está conformado por una combinación de dos canales de 20 MHz adyacentes, esta característica permite el aumento de la velocidad de transmisión.
- Mayor tasa de modulación: el estándar 802.11n usa la modulación OFDM, el cual divide un canal de transmisión en varios subcanales cada uno con su propia sub-portadora que transporta información por separado. El aumento del ancho de banda proporciona más portadoras, traduciéndose en un aumento de la velocidad de transmisión de hasta 600 Mbps.
- Aumento de los intervalos de guarda: los intervalos de guarda se utilizan para evitar la interferencia entre diferentes transmisiones, mientras los estándares a y g utilizan un intervalo de guarda de 0.8 microsegundos; 802.11n añadió un soporte para un intervalo adicional de 0.4 microsegundos que proporciona un aumento del 11% en la velocidad de transmisión.

El estándar 802.11n introduce cambios en la trama MAC con la introducción de Frame Agregación que consiste en el envío de dos o más fragmentos de una sola transmisión [17].

A diferencia de los estándares anteriores, este estándar puede trabajar en las dos bandas de 2.4 GHz y 5 GHz de forma simultánea, lo que lo hace interoperable con las tecnologías anteriores.

Estándar IEEE 802.11ac

El estándar 802.11ac es una mejora de su antecesor, fue desarrollado entre el 2012 y 2013. El nuevo estándar permite una tasa de transferencia de 1Gbps en la banda de 5 GHz con canales de 80 y 160 MHz con hasta ocho flujos MIMO. Otra ventaja es el alcance de cobertura que puede llegar de 90 a 100 metros mediante el uso de tres antenas internas [18].

En la figura 1.3.16, se muestra las diferentes versiones del estándar 802.11, se puede observar el año de publicación, la frecuencia de operación, el ancho de banda del canal y la tasa de transmisión.

Protocolo	Año de publicación	Frecuencia	Ancho de banda	Velocidad de datos (típica)	Velocidad máxima	Alcance interior	Alcance exterior
802.11b	1999	2.4 GHz	20 MHz	6.5 Mbps	11 Mbps	~100 m	~200 m
802.11a	1999	5 GHz	20 MHz	25 Mbps	54 Mbps	~ 70 m	~ 70 m
802.11g	2003	2.4 GHz	20 MHz	25 Mbps	54 Mbps	~ 38 m	~ 140 m
802.11n	2009	2.4 GHz 5 GHz	20 MHz a 40 MHz	200 Mbps	600 Mbps	~ 70 m	~ 250 m
802.11ac	2012	5 GHz	20, 40, 50 y 160 MHz	-	>1 Gbps	~70 m	~ 250 m

Figura 1.3.16. Estándares IEEE 802.11 [18]

En la actualidad se encuentra en desarrollo la nueva versión del estándar 802.11 ay, el cual es una mejora del estándar 802.11ad denominado WiGi que empezó en el año 2010 bajo la WiFi Gigabit Alliance y su entrada en el mercado fue el 2016 [19]. El estándar ad está destinado a trabajar en la banda de 60 GHz, con una tasa de transmisión de 7 Gbit/s. El ancho de banda del canal es de 2160 MHz con una sola portadora o también OFDM, orientada para aplicaciones punto a punto dirigida a soportar aplicaciones HDMI, WiHD [20]. El estándar ay supone el uso de canales de 8164 MHz con modulación MIMO con cuatro flujos espectrales, alcanzando una velocidad de transmisión de 167 Gbit/s, se estima sea liberado para el 2019 [20].

1.3.12. Calidad de servicio (QoS)

Cuando se habla de QoS (*Quality of Service*) en una red, según la UIT¹⁸ se refiere a la medida que refleja la calidad y disponibilidad de los servicios. La calidad de servicio de la red está determinada por los siguientes parámetros [1]:

- **Latencia:** es la medida máxima de tiempo, que le toma a un paquete de información llegar a su destino desde que fue transmitido. Este periodo de tiempo se lo conoce como retardo del extremo a extremo.

¹⁸ **UIT:** La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es el organismo especializado en telecomunicaciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras.

- **Jitter:** Se refiere a la diferencia en la latencia extremo a extremo existente entre paquetes.
- **Pérdida de paquetes:** Es la relación numérica entre los paquetes recibidos y los transmitidos.
- **Ancho de banda:** Es la capacidad de un canal para transferir datos en un periodo a través de un sistema de comunicaciones de extremo a extremo.

La implementación de la Calidad de servicio QoS, nos proporciona la capacidad en una red para diferenciar el tráfico que circula sobre ella, para de esta forma priorizar el tráfico proveniente de aplicaciones sensibles a los retardos como video y voz. El protocolo IEEE 802.11e proporciona los mecanismos para lograr priorizar el tráfico de las redes WLAN de acuerdo a las necesidades de los servicios disponibles en ella. La aplicación de la calidad de servicio permite a las redes tener los siguientes beneficios:

- Administrar eficientemente los recursos, priorizando las aplicaciones más críticas.
- Asignar un ancho de banda dedicado a usuarios y aplicaciones sensibles a los retardos.
- Reducir congestiones en la red, modelando el tráfico con la ayuda de SLA's¹⁹ (*Niveles de Acuerdo de Servicio*) a nivel de clientes.
- Proporciona convergencia de los servicios de voz, datos y video, garantizando el nivel de satisfacción, capacidad y disponibilidad para los diferentes tipos de tráfico.

Función de Coordinación Híbrida

Con el estándar 802.11e²⁰ los puntos de acceso tienen la capacidad de priorizar el tráfico, de forma que se distribuyen los recursos entre las diferentes aplicaciones, lo que no ocurre con la operación de DCF y PCF, en la que todos los dispositivos tienen la misma prioridad. Para hacer frente a esta desventaja se incorporó la Función de Coordinación Híbrida HFC la cual basa su funcionamiento en [21]:

- Dos mecanismos de acceso al canal: EDCA²¹ (*Enhanced Distributed Channel Acces*) y HCCA²² (*HCF Controlled Channel Access*), las cuales mejoran las funcionalidades de DCF y PCF.

¹⁹ **SLA: (acuerdos de nivel de servicio)**

²⁰ **802.11e:** Estándar que permite interoperar entre entornos públicos, de negocios y usuarios residenciales, añade características QoS (Quality of Service) y de soporte multimedia. Mantiene la compatibilidad con el estándar b y a, el sistema de gestión centralizado integrado en QoS evita la colisión y cuellos de botella mejorando la capacidad.

²¹ **EDCA:** se utiliza en redes inalámbricas que admiten el estándar de calidad de servicio IEEE 802.11e. Admite el acceso distribuido y diferenciado al medio inalámbrico mediante ocho subcampos de prioridad de

- Se incluye el campo QoS en la trama MAC de 16 bits, los siete primeros bits son reservados para EDCA y los restantes para HCCA.
- Se incluye el TXOP (Oportunidad de Transmisión), que indica el intervalo de tiempo durante el cual una QSTA²³ tiene permiso para transmitir sus tramas.
- Las tramas ACK de confirmación son opcionales, mejorando el rendimiento, sin embargo se sacrifica la fiabilidad de la transmisión.
- Se incluyen dos nuevas funcionalidades: DLP (*Direct Link Protocol*) permite la comunicación directa de estación a estación de un mismo BSS sin la intermediación de un AP y APSD (*Automatic Power Save Delivery*) para la gestión eficiente de energía en dispositivos que operan con baterías.

WMM

La alianza Wi-Fi desarrollo WMM (*Wi-Fi Multimedia*) en el 2004, a la par que se realizaba la aprobación del estándar IEEE 802.11e, con el objetivo de facilitar la extensión e interoperabilidad de QoS en las WLAN adoptando los mecanismo usados en las redes LAN. De esta forma el tráfico que recibe el punto de acceso que viene de la red cableada y que se encuentre identificado como prioritario mediante 802.1p será remarcado, brindando la prioridad en la red inalámbrica [21].

Con WMM se tienen las siguientes categorías: Platino (AC_VO), Oro (AC_VI), Plata (AC-BK) y Bronce (AC_BE), el tráfico con la más alta prioridad pertenecería a la clase platino como se muestra en la tabla 1.3.3:

Tabla 1.3.3. Categorías de Acceso WMM

Tipo de Tráfico	Categoría WMM	Nivel de prioridad 802.11e
Voz	Platino	6 o 7
Video	Oro	4 o 5
BackGround	Plata	1 o 2
Best Effort	Bronce	0 o 3

usuario diferentes que admiten cuatro categorías de acceso diferentes. Estos son Voz, Video, Mejor Esfuerzo y Fondo.

²² **HCCA:** se utiliza en redes inalámbricas que admiten el estándar de calidad de servicio IEEE 802.11e. Es un componente del HCF y proporciona soporte para la calidad de servicio parametrizada. Hereda algunas de las reglas del PCF heredado, así como la introducción de muchas adiciones. HCCA proporciona acceso por sondeo al medio inalámbrico, pero a diferencia del funcionamiento con PCF, esto puede tener lugar tanto en el CP como en el CFP.

²³ **QSTA:** (QoS Station) es una estación móvil la cual soporta calidad de servicio ejemplo: Teléfono IP, Videoconferencia.

1.3.13. IEEE 802.11n

En la nueva versión del estándar IEEE 802.11n, también aparece la utilización de la técnica de transmisión MIMO el estándar define las siguientes tasas de transmisión: 150 Mbps (canal 20 MHz con MIMO 2x2), 300 Mbps (canal 40 MHz con MIMO 2x2), 450 Mbps (canal 40 MHz con MIMO 3x3) y 600 Mbps (canal de 40 MHz con MIMO 4x4) [22] [23] [24] [25]. Esta se basa en el uso de varias antenas para el transporte de múltiples ráfagas de datos que aprovechan la reflexión y multitrayectoria. De esta forma se consigue un aumento en la velocidad, alcance y rango de cobertura.

Subcapa MAC

En el estándar IEEE 802.11n se presentan algunas mejoras en la subcapa MAC: se reduce el espaciado entre tramas RIFS (*Reduced Inter Frame Space*), se tiene agregación de tramas y una técnica espacial de acuses de recibido (ACK) [22].

RIFS

Para el estándar 802.11n se utiliza el espaciado de tramas reducido, el cual tiene una duración de 2 microsegundos, a diferencia del anteriormente usado SIFS (*Short Inter Frame Space*) que posee una duración de 16 microsegundos, lográndose una mayor tasa de transmisión.

Agregación de tramas

La necesidad de agrupar las tramas dieron como resultado las técnicas para la agregación de tramas: A-MSDU y AMPDU, las cuales consisten en la eliminación de los espacios entre tramas, colocando una trama a continuación de otra con el objetivo de mejorar el rendimiento.

A-MSDU

El A-MSDU (*Aggregate MAC Service Data Unit*) consiste en la agregación de sub-tramas MSDU en una trama única denominada MAC MPDU (Figura 1.3.17). En esta técnica todas las tramas deben estar dirigidas al mismo receptor y deben tener la misma categoría de servicio²⁴. La longitud máxima de una A-MSDU que una estación inalámbrica puede recibir es de 3839 o 7935 bytes, una sub-trama está compuesta por los campos que se describen a continuación [22]:

²⁴ **Categoría de servicio:** hace referencia al mismo tipo de tráfico, es decir: datos, VoIP, RoIP, etc.

- **Dirección de destino (*Destination Address*):** Corresponden a 6 bytes que indican la dirección MAC de las estaciones receptoras de la trama.
- **Dirección de origen (*Source Address*):** Corresponde a 6 bytes que indican la dirección MAC de la estación que transmite la trama.
- **Longitud (*Length*):** Corresponde a 2 bytes que indican la longitud del campo MSDU.
- **MSDU:** Corresponde al campo destinado a transportar los datos que vienen de las capas superiores, con una longitud de 0 a 2304 bytes.
- **Relleno (*Padding*):** Corresponde al relleno de 0 a 3 bits, cuando los bits de la sub-trama no son múltiplos de cuatro bytes.

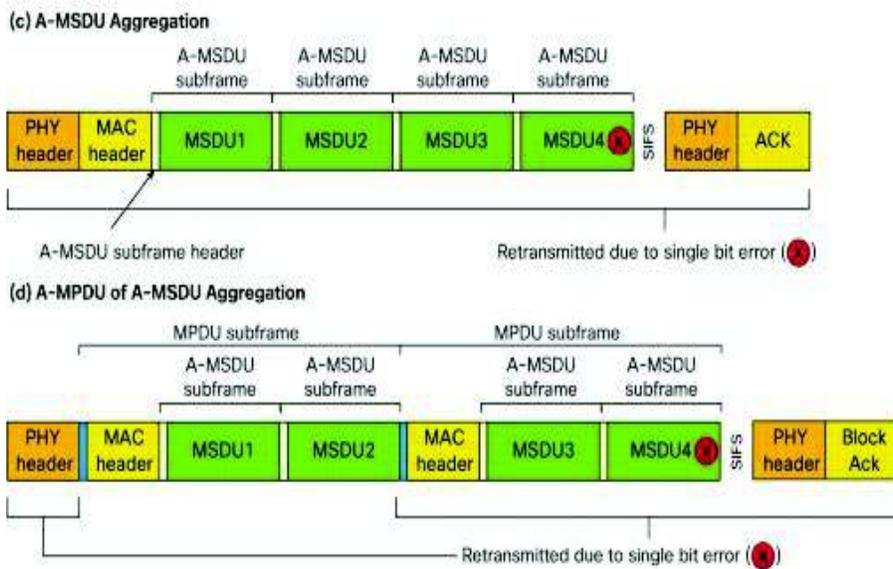


Figura 1.3.17. Agregación A-MSDU [24]

A-MPDU

El A-MPDU (*Aggregate MAC Protocol Data Unit*) consiste en la agregación de varias tramas MAC MPDU (Figura 1.3.18), las cuales deben estar dirigidas al mismo receptor y con la misma categoría de servicio. La longitud máxima para este tipo de tramas es de 65535 bytes. Una sub-trama MPDU está compuesta por los siguientes campos [9]:

- **Delimitador:** Corresponde a un campo de 8 bytes, el cual indica la posición de la sub-trama dentro de la trama agregada.
- **PAD:** Corresponde al campo de 0 a 3 bytes, el cual es usado por todas las sub-tramas excepto la última para agregar relleno.

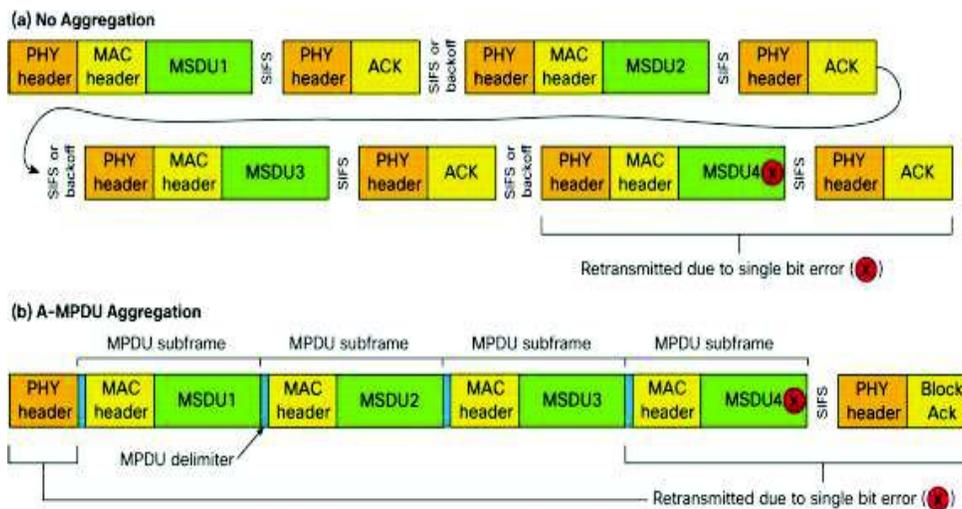


Figura 1.3.18. Agregación A-MPDU [24]

La principal distinción entre MSDU y MPDU es que la primera corresponde a la parte superior de la subcapa MAC donde [22]:

A-MSDU: el concepto de A-MSDU es permitir que se envíen múltiples MSDU al mismo receptor concatenado en una sola MPDU. Esta función de soporte para A-MSDU dentro de 802.11n es obligatoria en el receptor. Debido a que la Dirección de Destino (DA) y la Dirección del remitente (SA) en el encabezado de subtrama deben coincidir con la misma dirección de receptor (RA) y la dirección del transmisor (TA) en el encabezado de MAC, A-MSDU no se puede usar multidifusión [22].

A-MPDU: el concepto de agregación A-MPDU es unir múltiples sub marcos MPDU con un único encabezado PHY. Una diferencia clave de la agregación A-MSDU es que A-MPDU funciona después del proceso de encapsulación del encabezado MAC. Este método ofrece un mayor rendimiento de MAC en comparación con A-MSDU [22].

Acuses de recibido (ACK)

El estándar IEEE 802.11n basa su funcionamiento de acuse de recibido de la versión del estándar 802.11e que previamente había introducido la confirmación para un grupo de tramas con un único bloque de confirmación BA (*Block Acknowledgement*), en contraste a un ACK por cada trama individual. El estándar define cuatro tipos de acuse de recibido [22]: ACK retrasado y ACK inmediato y creando dos tipos adicionales para alto rendimiento HT- ACK retrasado y HT-ACK inmediato. Para asegurar la compatibilidad con los estándares anteriores una estación 802.11n puede soportar los cuatro mecanismos.

En la figura 1.3.19, se muestra el proceso de ACK retrasado e inmediato, los cuales poseen capacidad de soportar calidad de servicio.

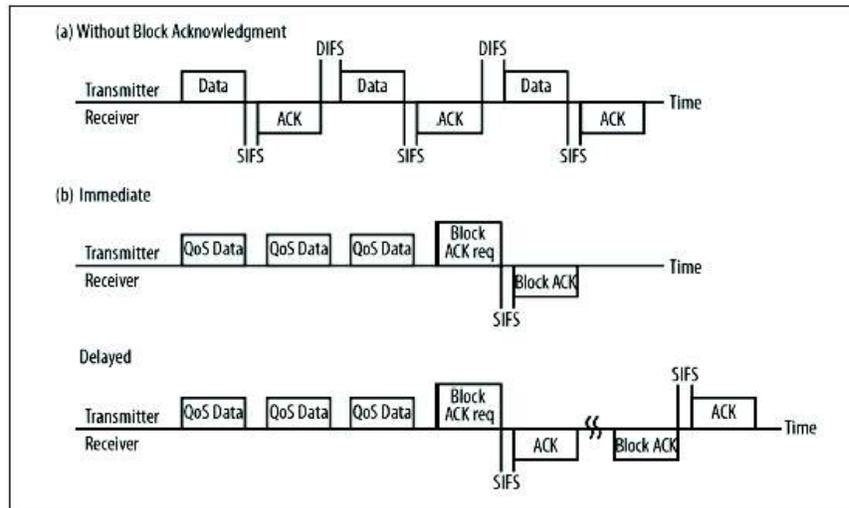


Figura 1.3.19. Gráfico tipos de ACK [22]

Ahorro de potencia

El consumo de potencia en 802.11n es mucho mayor en comparación de las versiones anteriores, debido a que es necesario mantener varias cadenas de recepción en marcha. Con el objetivo de contrarrestar el consumo excesivo de potencia se introducen dos mecanismos que permiten el ahorro de potencia, estos son: ahorro de potencia por multiplexado espacial y de potencia multi-consulta.

Ahorro de potencia con multiplexado espacial

El modo de ahorro por multiplexado espacial permite a un dispositivo, desactivar todas las cadenas de radio frecuencia²⁵ excepto una con dos modos de operación²⁶.

- **Multiplexado espacial estático:** El cliente decide cuándo debe activar las todas las cadenas de radio frecuencia y notifica al AP que se encuentra en este modo, pidiendo al punto de acceso solo le envíe un flujo espacial²⁷.

²⁵ **Cadenas de radio frecuencia:** hace referencia al flujo de datos transmitidos por el canal inalámbrico, pudiendo estar inactivos cuando no hay tráfico para permitir el ahorro de energía.

²⁶ **Modos de operación:** el estándar 802.11n en la capa física define tres modos de operación el modo (HT no), el modo mixto (HT mixed) y el modo (HT greenfield) que es usado únicamente para trabajar bajo el estándar "n".

²⁷ **Flujo espacial:** Se define como flujo espacial en MIMO a los bits transmitidos sobre dimensiones espaciales separadas. Cuando se utilizan múltiples flujos espaciales se denomina multiplexación por división espacial.

- **Multiplexado espacial dinámico:** El cliente puede activar las cadenas de radio frecuencia mientras recibe una trama, y al finalizar la transmisión la estación regresará al modo de ahorro de energía.

Ahorro de potencia multiconsulta

El mecanismo de ahorro de potencia con multiconsulta, está orientado para la optimización del acceso al canal para dispositivos que transmiten pequeñas cantidades de datos de forma periódica, así como para mantener la cadena de radio frecuencia inactivo para el ahorro de energía. El punto de acceso establece un periodo en el cual se transmiten en forma conjunta los datos acumulados en forma de ráfaga, de esta forma se hace un uso eficiente del medio mientras los dispositivos pueden pasar al modo de ahorro de energía [22].

Trama MAC

La trama definida en la versión 802.11n se muestra en la Figura 1.3.20, es muy similar al formato de la trama MAC IEEE 802.11 y se agrega un nuevo campo de cuatro bytes para el control de alto rendimiento²⁸, los demás campos se mantienen.

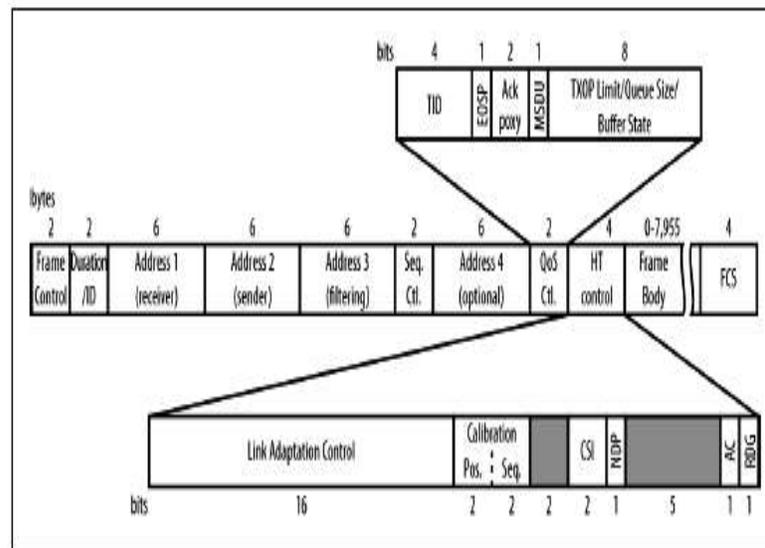


Figura 1.3.20. Trama 802.11n [22]

²⁸ **Control de alto rendimiento:** el modo (HT greenfield), con el cual se obtiene el máximo rendimiento. Este modo no es interoperable con los estándares a/b y g por lo que únicamente se presenta cuando en la red va trabajar con dispositivos bajo el estándar "n". La trama MAC incluye un campo de 4 bits (HT Control) que le permite hacer el control y adaptar el canal para trabajar en los diferentes modos de operación en especial bajo el de alto rendimiento.

El campo de control, permanece igual a diferencia de la trama “control Wrapper” la cual es introducida en esta versión del estándar IEEE 802.11 y puede ser usada en lugar de otra trama de control, con el objetivo de no ampliar la longitud.

Capa Física

La capa física del estándar IEEE 802.11n presenta mejoras con respecto a los estándares antecesores. Entre las innovaciones se tiene la utilización de MIMO, aumento del ancho de banda e intervalos de guarda más pequeños [23].

Canales de 20MHz y 40MHz

El estándar 802.11n introduce la operación con canales de 40MHz de ancho de banda, en función de este parámetro se tienen tres tipos de dispositivos [23]: legados 20MHz 802.11a/g, de alto rendimiento 20MHz y de dispositivos de alto rendimiento de 20/40 MHz.

Para la operación con canales de 40MHz se requiere de dos canales adyacentes de 20 MHz, en la banda de 5GHz uno de los canales es denominado primario y el otro canal secundario. La banda de 5GHz posee un mayor ancho de banda y permite mayor facilidad para trabajar con canales de 40MHz. En la banda de 2.4 GHz el limitado espectro y la presencia de dispositivos legados hacen difícil la operación con canales de 40MHz [23].

Modulación y codificación

El estándar 802.11n define 77 MCS (*Modulation and Codification Scheme*) Anexo I, de los cuales los 16 primeros son obligatorios en los puntos de acceso. Los AP's deben soportar desde el MCS0 hasta el MCS15, en los clientes se define el uso desde el MCS0 hasta el MCS7 los demás son opcionales [23].

Cada MCS es una combinación de una modulación determinada, por ejemplo BPSK, QPSK y una tasa de codificación, como por ejemplo, se utiliza el CR (*Code Rate*) tasa de codificación de $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ [24].

OFDM

Al igual que sus antecesores 802.11 a y g, 802.11n hace uso de OFDM con la diferencia que incrementa el número de subportadoras en cada uno de los canales de 20MHz de 42 a 52 [24].

MIMO

El estándar IEEE 802.11n hace uso de la tecnología MIMO (*Multiple Inputs Multiple Outputs*), mediante el uso de varias antenas y radios el cual al combinarlos con un proceso avanzado, permiten a este estándar incrementar su velocidad, fiabilidad puesto que reduce la probabilidad de que se descarten o pierdan paquetes [23].

Con la utilización de la tecnología MIMO el transmisor puede enviar la misma señal por varias antenas, la señal que llega al receptor debe estar en fase para lo cual el transmisor debe aumentar el nivel de potencia, permitiendo un mayor alcance. Este proceso se llama Beamforming que permite a los Puntos de Acceso determinar la ubicación de los dispositivos inalámbricos y dirigir una señal más fuerte hacia ellos. [24].

También se pueden enviar diferentes señales simultáneamente provenientes de diferentes radios, todos los radios en el receptor recibirán estas señales la misma que deberán decodificar independientemente por cada radio. El proceso por el cual se combinan las señales de diferentes radios se llama multiplexación espacial y ayuda a mejorar el rendimiento.

1.3.14. IEEE 802.11ac

El estándar IEEE 802.11ac denominado como Gigabit Wi-Fi, es una actualización de la norma 802.11n. La versión 802.11ac opera exclusivamente en la banda de 5 GHz, usando la modulación OFDM. La tasa de transmisión se aumenta aproximadamente tres veces y se tiene una duplicación del ancho de banda del canal desde 80 MHz a 160MHz [26] [27] [28].

Subcapa MAC

El estándar IEEE 802.11ac conserva la mayoría de las características de la subcapa MAC definidas en el estándar original, sin embargo se mencionan sus características principales.

Agregación de tramas

La nueva versión del estándar al igual que su antecesor, implementan el mecanismo de agregación de tramas, de esta forma un usuario que requiere enviar más de una trama, podrá agregarlas en una trama de mayor tamaño disminuyendo la sobrecarga y el número de contenciones para transmitir la misma información. Para la agregación de tramas se tienen los mismos mecanismos que en la versión 802.11n, conocidos como A-MSDU y A-MPDU descritos anteriormente en la sección 1.14 [26].

Capa Física

El estándar IEEE 802.11ac define diez tipos de MCS (*Modulation and Coding Scheme*) (Anexo I) de los cuales ocho de ellos son equivalentes con las tasas de bits del estándar IEEE 802.11n [26].

Canales de 80MHz y 160MHz

El estándar IEEE 802.11ac duplica y cuadruplica los canales de 40MHz, que junto con otros mecanismos permiten alcanzar velocidades de transmisión en el orden de los Gbps. Los canales de 80 MHz se forman con la unión de dos canales de 40MHz, mientras que para los canales de 160 MHz se permiten que dos canales de 80 MHz no contiguos trabajen juntos esto se conoce como 80+80 [27].

Modulación y codificación

El estándar 802.11ac implementa un esquema de modulación en cuadratura de 256 QAM, la tasa de codificación es de $\frac{3}{4}$ y $\frac{5}{6}$ [27].

OFDM

Ya que en el estándar IEEE 802.11ac, el canal de 40MHz fue duplicado y cuadruplicado, debido a esto el número de subportadoras también se incrementó, para los canales de 80 MHz se tienen 242 subportadoras y 484 subportadoras para los canales de 160 MHz [27].

MU-MIMO

Multiusuario MIMO es un tipo de multiplexación por diversidad espacial de acceso múltiple, en el cual varias antenas transmiten la información de forma independiente. En este tipo de multiplexación se debe tener la capacidad de enviar múltiples flujos de datos entre varios dispositivos de forma simultánea, por esta razón los puntos de acceso cuentan con un mayor número de antenas. Los AP's bajo el nuevo estándar son capaces de enviar datos de forma simultánea a múltiples equipos [28].

Comparación IEEE 802.11ac con IEEE 802.11n

IEEE 802.11ac es una mejora del estándar 802.11n, orientada a soportar servicios de transmisión de video en HD (*alta definición*), voz y datos con altas tasas de transmisión. Entre las diferencias respecto a su antecesor se muestran en la tabla [26][27][28]:

Tabla 1.3.4. Comparativa entre el estándar 802.11n/ac [27]

Característica	802.11n	802.11ac
Ancho de canal (MHz)	20-40	20-40-80 y 160
Flujos Espaciales	4	8
Modulación	64 QAM	256 QAM
Banda de frecuencia (GHz)	2.4 y 5	5
Modulación	ODFM MIMO	OFDM Mu-MIMO
Intervalo de guarda (nano segundos)	800	400
Tasa de Transmisión (Mbps)	450	1300
Número de portadoras	52 con canales de 20 MHz	484 con canales de 80 MHz
MCS obligatorios	16	10

2. METODOLOGÍA

Inicialmente se realizará la evaluación técnica de la red inalámbrica y cableada actual, se incluirán detalles del estado actual, número de usuarios, cobertura, etc, para posteriormente hacer un análisis técnico que incluirá la selección de los modelos de propagación para ambientes INDOOR más adecuados y se establecerán los requerimientos específicos de la empresa.

Luego se realizará el diseño de la red inalámbrica que incluirá políticas de acceso, segmentación de la red, seguridades, calidad de servicio, etc. Se utilizará software especializado para obtener mapas de cobertura, y de acuerdo a las características del hardware (AccessPoint, Controladoras Inalámbricas, Laptops, Smartphone) se establecerán las condiciones de funcionamiento. En esta fase también se definirá el procedimiento de integración de la nueva red con los equipos de seguridad y networking.

Finalmente presentarán las cotizaciones de diferentes soluciones existentes en el mercado con el objetivo de determinar la que más se ajuste a las necesidades de la empresa .Se presentarán las conclusiones y recomendaciones del estudio.

2.1. Análisis técnico

El análisis técnico actual busca realizar una descripción general de la empresa, su estructura organizacional, el giro de negocio, la infraestructura tecnológica con la que cuenta la empresa, sus servicios y aplicaciones tecnológicas, segmentación lógica a nivel de red y políticas de seguridad informática a las que deberá integrarse la nueva red inalámbrica. Además de verificar el funcionamiento de la red inalámbrica actual y así determinar las deficiencias de cobertura y problemas de interferencia, tomando en cuenta la propagación de las ondas electromagnéticas de redes inalámbricas en ambientes interiores Indoor y de esta forma generar las directrices técnicas para la fase de diseño de la solución.

2.1.1. La empresa Tecnología de Próxima Generación NGT. S.A

Es una compañía de Servicios que diseña, construye y brinda soporte en redes, seguridades, networking y telecomunicaciones [29].

Misión

“NGT S.A es una empresa especializada que posee un alto nivel de experiencia y trayectoria en el análisis, diseño, ingeniería de tráfico, instalación, configuración,

capacitación, y soporte técnico (pre y post venta) de Networking, Telecomunicaciones, Seguridades de Frontera, Seguridades Internas, Almacenamiento de datos, Administración de ancho de banda, Virtualización, Mantenimientos preventivos y correctivos, Capacitaciones Tecnológicas y Certificaciones (Técnicas - Comerciales). Con una constante vocación de servicio de calidad para todos y cada uno de nuestros clientes [29]”.

Visión

“Convertirse en una de las empresas líderes en el mercado ecuatoriano, con reconocimiento nacional por sus altísimos niveles de calidad para la prestación de Soluciones y Servicios en arquitecturas de voz, video, datos, y almacenamiento para pequeñas, medianas y grandes empresas [29]”.

Servicios

“NGT. S.A en respuesta de la evolución y mayor presencia de las tecnologías de comunicación en pequeñas, medianas, grandes empresas e industrias, ha enfocado sus actividades a brindar servicios en las siguientes áreas [30]”.

- Soluciones de conectividad,
- Soluciones de colaboración,
- Soluciones de seguridad,
- Soluciones de virtualización,
- Almacenamiento y replicación,
- Gestión de TI,
- Análisis y rediseños de redes LAN & WAN,
- Alquiler de equipamiento,
- Centro de Capacitaciones Tecnológicas,
- Cableado inteligente.

La empresa “Tecnología de Próxima Generación NGT S.A” está ubicada en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, en las calles Cristóbal de Acuña Oe3-238 y Avenida América, Edificio Molina [31].

El edificio en el cual funciona la empresa fue construido en los años noventa, de estructura de hormigón con ventanales de aluminio y paredes de ladrillo. Las actividades de la empresa se desarrollan desde el año 2001.

Este edificio cuenta con seis plantas, actualmente la empresa ocupa cuatro oficinas distribuidas en cuatro pisos.

El personal en su mayoría labora dentro de las instalaciones, sin embargo por razones de giro del negocio existen empleados que realizan sus actividades fuera de la empresa.

Ubicación geográfica e infraestructura física



Figura 2.1. Edificio Molina ubicación de la empresa NGT. S.A

Distributivo de personal

El personal de la empresa que se encuentra distribuida en las diferentes áreas como se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Distributivo de Personal

Áreas	Número mínimo de personas
Gerencia general	2
Gerencia administrativa y financiera	2
Gerencia comercial	2
Gerencia técnica	2
Administrativo y financiero	8
Recursos humanos	3
Comercial preventa y postventa	10
Tecnologías	3
Ingeniería	7
Soporte técnico	18
Laboratorio	2
Instructores centro de capacitaciones	5
Alumnos promedio	45
Invitados	8
Total	117

2.1.2. Infraestructura tecnológica de la red actual

Actualmente, la empresa cuenta con un DataCenter ubicado en el tercer piso, en el cual se albergan los equipos de Networking, Seguridades, Telefonía IP, Servidores de aplicaciones tales como: directorio Activo, DNS²⁹ (*Domain Name Service*), DHCP³⁰ (*Dynamic Host Configuration Protocol*), correo electrónico, antivirus y anti Spam y el rack de comunicaciones que interconecta a todos los pisos como se muestra en la Figura 2.2.

²⁹ **DNS:** su labor primordial consiste en resolver las peticiones de asignación de nombres.

³⁰ **DHCP:** asigna dinámicamente una dirección IP y otros parámetros de configuración de red a cada dispositivo en una red para que puedan comunicarse con otras redes IP

Los equipos de cada piso se conectan por medio de la red cableada hacia el centro de datos, como complemento se ha implementado una red inalámbrica, sin embargo la misma no satisface los requerimientos de conectividad, cobertura y movilidad de los usuarios.

Ante el incremento del uso de dispositivos móviles como: computadoras personales, teléfonos inteligentes, tabletas, etc., se requiere de una red inalámbrica que permitirá acceder a los recursos de la empresa, para esto se diseñara una solución moderna que permita brindar conectividad y movilidad.

Red pasiva

La red pasiva está conformada por los cuartos de equipos distribuidos en cada piso los que contienen los armarios de distribución (*Secondary Distribution Frames SFDs*), los cuales se conectan al armario de distribución principal (*Main Distribucion Frames MDFs*) ubicado en el centro de datos, cableado estructurado, el cableado horizontal, el cableado vertical y los puntos de datos en las estaciones de trabajo.

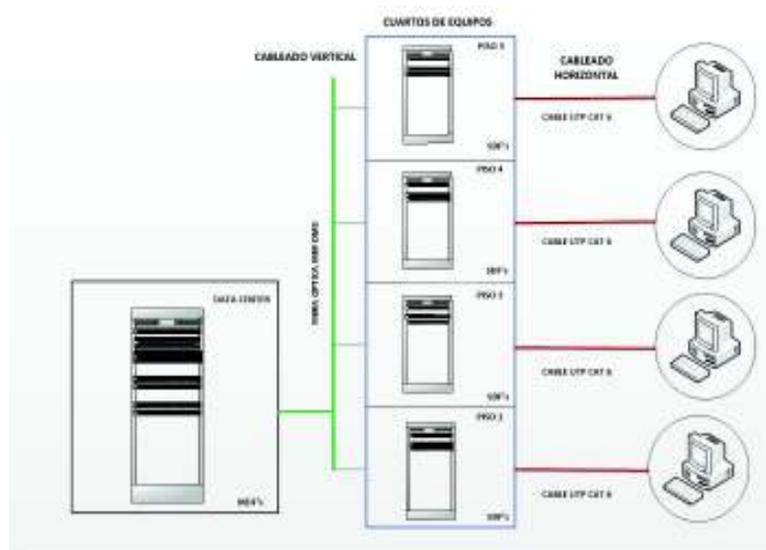


Figura 2.2. Diagrama de la red pasiva de NGT S.A

- **Cableado estructurado**

La empresa cuenta con un cableado estructurado, el cual provee de conexión a los usuarios, servidores, puntos de acceso inalámbrico, etc. De acuerdo a las normas ANSI/TIA/EIA 568B, 568C.

- **Cableado estructurado vertical**

El cableado vertical o vertebral se compone de un backbone de fibra multimodo OM3 como enlace principal que interconecta a través de los (*Optical Distribucion Frames ODF's*) a los SDF's con el MDF, el enlace alternativo o redundante está conformado por cable UTP³¹ categoría 6.

- **Cableado estructurado horizontal**

El cableado horizontal se despliega con cable UTP categoría 6, para la conexión de las estaciones de trabajo, impresoras y puntos de acceso inalámbrico hacia los SDF's en cada piso.

Red activa

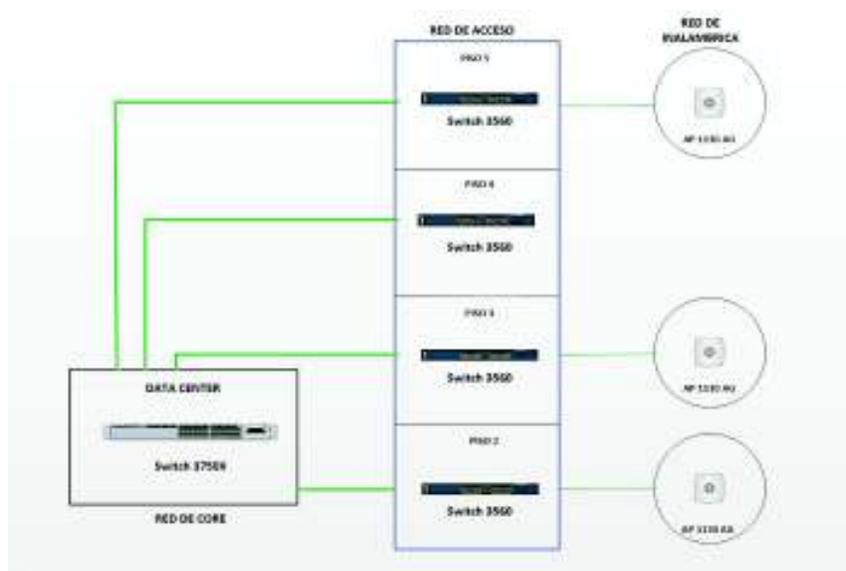


Figura 2.3. Diagrama de la red activa de NGT S.A

La red activa está compuesta por los equipos electrónicos que proveen conectividad mediante los dispositivos de capa de acceso³², capa de core³³ y la red inalámbrica.

En la figura 2.3 se muestran los equipos de capa de acceso se encuentran ubicados en los cuartos de equipos dentro de los SDF's, los cuales mediante enlaces principales de fibra óptica se conectan al equipo de capa de Core, ubicado en el centro de datos.

³¹ **UTP:** (Unshielded Twisted Pair) es una clase de cable que no se encuentra blindado y que suele emplearse en las telecomunicaciones.

³² **Capa de acceso:** controla a los usuarios y el acceso de grupos de trabajo (workgroup access) o los recursos de internetwork, y a veces se le llama desktop layer.

³³ **Capa de núcleo:** Es el backbone de una red, es la encargada de transportar grandes cantidades de datos entre diferentes redes.

Equipos capa de acceso

La capa de acceso de la empresa está compuesta por Switch cisco 3560 de capa 2 distribuidos en cada piso, los cuales soportan POE³⁴ (*Power over Ethernet*) para energizar a los terminales de telefonía IP y se conectan a través de puertos de fibra óptica al equipo de Core.

La empresa en cada uno de sus pisos cuenta con switches de la marca Cisco modelo 3560 catalyst que corresponden a la capa de acceso, estos equipos permiten una conexión segura, confiable y de alta velocidad mediante sus puertos de cobre FastEthernet y puertos de Fibra Óptica a 1 GigabitEthernet.

Estos equipos concentran y permiten conectar a todas las estaciones de trabajo hacia las aplicaciones, servicios, internet, telefonía, videoconferencia, etc., sus características más importantes se describen a continuación [32]:

- Dos puertos duales SFP³⁵ (*small form-factor pluggable transceptor*) para Uplink a 1 Gbps.
- Soporta 802.3af POE.
- 48 puertos 10/100 Ethernet.
- Protocolos: CDP “Cisco Discovery Protocol”, QoS “Quality of Service” y 802.1d Spanning Tree Protocol.

Equipos de la capa de Core

La capa de Core está conformada por switches de capa 3 ubicados en el Centro de Datos, los cuales proveen de conectividad a los equipos de capa de acceso a través de los enlaces de fibra óptica.

Estos equipos constituyen el núcleo de la red, su función más importante es procesar gran cantidad de tráfico de forma segura y veloz. Sobre ellos se ejecutan los protocolos más importantes a nivel de capa de red (IP, TCP), transporte (UDP), aplicación (HTTP, ICMP SNMP), etc.

Los equipos que constituyen la capa de core son switches de la marca cisco modelo 3750x series, en ellos se han configurado las redes segmentadas, el grupo de VLAN, las

³⁴ **POE:** La alimentación a través de Ethernet (Power over Ethernet, PoE) es una tecnología que incorpora alimentación eléctrica a una infraestructura LAN estándar.

³⁵ **SFP:** es un transceptor compacto y conectable en caliente utilizado para las aplicaciones de comunicaciones de datos y telecomunicaciones. Están diseñados para soportar Sonet, canal de Fibra, Gigabit Ethernet y otros estándares de comunicaciones.

interconexiones entre VLAN's y rutas estáticas para los equipos de seguridad e internet, Calidad de Servicio, etc.

Los servidores, central telefónica y Firewall se conectan directamente a estos equipos y difunden sus servicios. Las características más importantes se describen a continuación [33]:

- Cuatro módulos de fibra que soportan hasta 10Gpbs.
- 24 puertos 10/10/1000 Ethernet.
- Doble fuente de poder y ventilación.
- Calidad de Servicio QoS.
- Tolerancia a falla con PSVT 802.1s.

Red inalámbrica de la empresa NGT S.A

La empresa cuenta con una red inalámbrica compuesta por tres puntos de acceso inalámbrico ubicados en lugares puntuales como el área de tecnologías piso 3, sala de capacitaciones piso 2 y, oficina de gerencia piso 5.

Equipos de la red inalámbrica

Cada punto de acceso inalámbrico trabaja de manera independiente, con su propio segmento de red, con SSID's por separado. De acuerdo a la percepción de autoridades, colaboradores, visitantes y alumnos, la red inalámbrica actual no satisface las necesidades de cobertura, de movilidad y acceso a las aplicaciones corporativas, motivando la modernización hacia una red centralizada, robusta y que brinde una cobertura a toda la empresa.

Los puntos de acceso que conforman la red inalámbrica son de la marca Cisco modelo 1130ag como se muestra en la (figura 2.4), en ellos se han configurado tres redes; la red de tecnologías, gerencia y sala de capacitación.

Los equipos se encuentran trabajando en modo autónomo teniendo que actualizar las configuraciones en cada punto de acceso por separado. Entre las características más importantes de estos equipos son las siguientes [34]:

- Soporta los estándares 802.11 a/b/g.
- Transmisión en banda dual³⁶ 2.4 GHz y 5 GHz 802.11a y g.
- Soporte para 15 canales sin solapamiento³⁷.

³⁶ **Banda dual:** Hace referencia a la capacidad de operar simultáneamente en las bandas de frecuencia de 2.4 y 5 GHz.

- Antenas integradas.
- Seguridad 802.11i WPA2 y WPA.



Figura 2.4. Punto de Acceso Cisco Aironet 1130AG[34]

Red de seguridad perimetral

La empresa cuenta con una red de seguridad perimetral mostrado en la (figura 2.5), que previene de accesos no autorizados a los recursos internos, así como también de ataques externos.

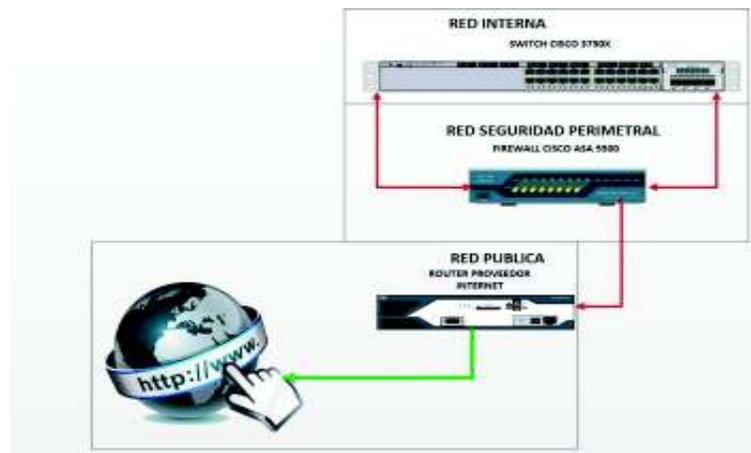


Figura 2.5. Diagrama de la red de seguridad perimetral de la empresa NGT .S.A

La red de seguridad perimetral está compuesta por un Firewall, el cual se encuentra en el centro de datos, la red de seguridad se encuentra definida de forma separada de la red interna, mediante una VLAN dedicada. En él Firewall se han definido de acuerdo a los requerimientos de la empresa las políticas de seguridad que controlan todas las subredes internas.

³⁷ **Sobrelapamiento:** Hace referencia a la interferencia entre canales de frecuencia adyacentes.

El equipo de seguridad perimetral es de marca Cisco modelo 5505, el firewall se conecta al equipo de Core y a él se conectan los equipos del proveedor de internet. En él se han definido las seguridades a nivel de puertos lógicos, IPSec VPN, listas de acceso; también se han definido las VPN's para el acceso remoto a los recursos de la empresa. Entre las características más relevantes del Firewall se detallan las siguientes [35]:

- Firewall de alto performance (hace referencia a las características de rendimiento, robustez, disponibilidad y servicios avanzados que soporta)
- IPS³⁸, SSL³⁹ y IPsec VPN⁴⁰.
- Conexiones concurrentes hasta 25000 (hace referencia a la cantidad de equipos a los que puede proteger).
- Conexiones por segundo 4000 (hace referencia al número de peticiones de seguridad que puede procesar en un segundo).
- Interfaces virtuales VLAN's hasta 20.

Infraestructura tecnológica de servidores

La infraestructura de servidores con la que cuenta la empresa está constituida por una plataforma de servidores físicos y virtualizados, en los cuales se han dispuesto los diferentes servicios y aplicaciones con las que cuentan la empresa. Estos equipos se encuentran ubicados en el centro de datos en el armario principal MDF.

Para asegurar la disponibilidad de los servicios y aplicaciones estos equipos se encuentran energizados por un UPS⁴¹ al igual que los equipos de core y acceso. En la figura 2.6 se muestran: la infraestructura de servidores físicos esta compuestas por equipos los cuales contienen las aplicaciones corporativas, la infraestructura de servidores virtualizados en dos plataformas VMWARE y XENSERVER los cuales contienen ambientes de pruebas y producción, la administración de esta infraestructura se encuentra a cargo del departamento de tecnologías.

³⁸ **IPS:** (Intrusion Prevention System), Sistema de Prevención de Intrusos, es un sistema de prevención de intrusos, en seguridad informática un demonio orientado a la protección proactiva del sistema operativo.

³⁹ **SSL:** (Secure Sockets Layer/capa de puertos seguros) son protocolos criptográficos, que proporcionan comunicaciones seguras por una red, comúnmente Internet.

⁴⁰ **IPsec VPN:** (Internet Protocol security) es un conjunto de protocolos cuya función es asegurar las comunicaciones sobre el Protocolo de Internet (IP) autenticando y/o cifrando cada paquete IP en un flujo de datos.

⁴¹ **UPS:** Uninterruptible Power System, (Sistema de Energía Ininterrumpida). Se usa para alimentar a un equipo electrónico o eléctrico, que si se detiene o se altera su funcionamiento por un problema en la alimentación eléctrica, resulta costoso, tanto en dinero como en tiempo, por pérdida de información o en daños en sus componentes.

Los servidores físicos están compuestos por equipos robustos, de buena capacidad de memoria, almacenamiento, procesamiento, etc. Con sistemas operativos acordes a las exigencias de los servicios que ofrece la empresa a los usuarios.

Por consideraciones técnicas estos servidores albergan las aplicaciones más sensibles y que no han sido desplegadas en los ambientes virtualizados.

La infraestructura de servidores físicos se encuentra conformada por servidores de la marca IBM modelo X3250, estos servidores proveen las aplicaciones más importantes tales como: Directorio Activo⁴², DNS, DHCP, facturación electrónica, correo electrónico, bases de datos, archivos y carpetas compartidas. Las características más importantes de los servidores detallan a continuación [36]:

- Un procesador Intel Xeon serie E3 de 3.6 GHz, con cuatro núcleos.
- 8MB de memoria cache.
- 4GB DDR3 de memoria RAM expandible hasta 32GB.
- Soporta Raid 5⁴³ con hardware adicional.
- Dos Discos Duros SATA 3.5" y dos Slots para Discos Swap.

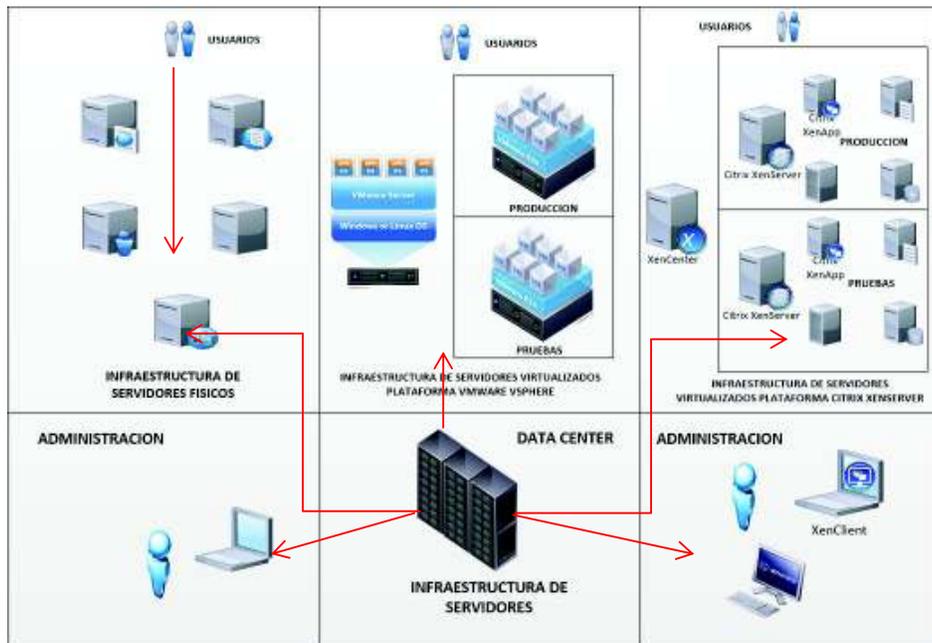


Figura 2.6. Infraestructura de Servidores

⁴² **Directorio Activo:** es un servicio establecido en uno o varios servidores en donde se crean objetos tales como usuarios, equipos o grupos, con el objetivo de administrar los inicios de sesión en los equipos conectados a la red, así como también la administración de políticas en toda la red

⁴³ **RAID:** hace referencia a un sistema de almacenamiento de datos que utiliza múltiples unidades (discos duros), entre las cuales se distribuyen o replican los datos.

Los servidores virtualizados se encuentran alojados en equipos físicos, en los cuales se han instalado sistemas operativos para virtualización a nivel de DataCenter como: XenServer⁴⁴ y VMware vSphere⁴⁵, estas plataformas han permitido albergar a las aplicaciones institucionales complementarias.

Estas tecnologías han permitido a la empresa llevar a cabo capacitaciones, cursos, demos, y pruebas de concepto⁴⁶ dentro del giro de negocio.

Los servidores de la marca HP Proliant DL380 G7, se han instalado las máquinas virtuales que alojan las aplicaciones de producción y de pruebas. Se han separado en dos ambientes producción y pruebas.

El ambiente de producción está conformado por: antivirus y antimalware, sistema biométrico, mesa de ayuda, gestión y monitoreo de la red.

El ambiente de pruebas es usado para albergar aplicaciones en fase de desarrollo, aprendizaje y como laboratorio en el centro de capacitación. Entre las aplicaciones más importantes están: seguridades con Mikrotic y Checkpoint, comunicaciones unificadas Cisco, Elastix, Linux, Whatsupgold network monitor y PRTG network monitor.

Entre las características más importantes de estos equipos están [37]:

- Procesador Intel Xeon E5606 (2.13GHz, 8MB, 4 núcleos, 80 Watts)
- Interfaces de red 2 x NC382i, 1 Gbe de 2 puertos.
- Memoria RAM de 4GB expandible a 32 GB DIMM.
- Ranuras de expansión 2 x PCI-E Generación 2.
- 8 x SFF (*Small Form Factor*) SAS (*Serial Attached SCSI*) /SATA (*Serial Advanced Technology Attachment*) /SSD⁴⁷.

Plataforma de virtualización Citrix XenServer

Esta plataforma está compuesta por un hypervisor XenServer instalado en un hosts que proporciona los recursos de microprocesador y memoria RAM a las máquinas virtuales, una interfaz de administración y un recurso de almacenamiento local o remoto [38].

⁴⁴ **XenServer:** es una plataforma de virtualización de clase empresarial y probada para la nube que nos brinda todas las características necesarias para una implementación de un Datacenter virtualizado.

⁴⁵ **VMware vSphere:** Es la plataforma de virtualización líder del sector para construir infraestructuras de cloud.

⁴⁶ **Pruebas de concepto:** Implementaciones resumidas o incompletas, de una tecnología, plataforma, sistema con el propósito de verificar, entender o demostrar las funcionalidades.

⁴⁷ **SAS/SATA/SDD:** Hace referencia a la capacidad y el tipo de interfaz entre el disco duro y la placa que soporta el equipo.

XenServer

Es el hypervisor que a través de un sistema operativo basado en Linux, sirve como hosts y ejecutar las máquinas virtuales almacenadas, es el encargado de proveer de los recursos de hardware y de la conectividad a la red de datos.

XenServerClient

Es la aplicación de escritorio que permite administrar y gestionar las máquinas virtuales.

Plataforma de Virtualización VMware vSphere

Mediante un servidor físico anfitrión al cual se denomina hypervisor o host, se puede ejecutar una variedad de máquinas virtuales. VMware vSphere es un paquete completo compuesto por dos productos: VMware Esxi y VMware vCenter server [39].

VMware Esxi

Es el sistema operativo que lleva el servidor anfitrión o hypervisor, el cual permite correr las máquinas virtuales dentro de él.

Esxi se apoya para su funcionamiento en sistema GNU/Linux Red Hat Enterprise modificado para la ejecución del hypervisor y los componentes de virtualización.

VMware vCenter server

Es la herramienta que permite administrar todos los Esxi's y máquinas virtuales de forma sencilla y centralizada, por medio de un cliente o aplicación de escritorio llamado vClient además de un webClient desde un navegador web.

Sistemas operativos en servidores

Tabla 2.2. Servidores, sistemas operativos y aplicaciones en el ambiente de producción

Servidor	Sistema Operativo	Aplicación	Tipo
IBM X3250_1	Windows Server 2008 R2 SP1	Directorio Activo/DHCP/DNS	Físico
IBM X3250_2	GNU/Linux Red Hat. Enterprise 5.6	Correo Electrónico	Físico
IBM X3250_3	Windows Server 2008 R2 SP1	Facturación Electrónica	Físico

IBM X3250_4	Windows Server 2008 R2 SP1	Archivos y Carpetas compartidas.	Físico
IBM X3250_5	Windows Server 2008 R2 SP1	Base de Datos MySQL.	Físico
HP Proliant G7_1	Windows Server 2008 R2 SP1	Mesa de Ayuda Aranda.	Virtualizado VMware
HP Proliant G7_1	Windows Server 2008 R2 SP1	Antivirus y Antimalware Symantec.	Virtualizado VMware
HP Proliant G7_2	GNU/Linux Red Hat. Enterprise	Sistema Biométrico.	Virtualizado XenServer
HP Proliant G7_2	GNU/Linux Red Hat. Enterprise	Repositorio digital y respaldos.	Virtualizado XenServer
HP Proliant G7_2	Windows Server 2008 R2 SP1	PRTG Monitoreo de Red.	Virtualizado XenServer

Los sistemas operativos que se encuentran en los servidores de la empresa se instalaron de acuerdo a los requerimientos y necesidades de los servicios y aplicaciones institucionales de acuerdo a las Tablas 2.2 y 2.3.

Tabla 2.3. Servidores, sistemas operativos y aplicaciones en el ambiente de pruebas

Servidor	Sistema Operativo	Aplicación	Tipo
HP Proliant G7_3	Windows Server 2008 R2 SP1	Consola de antivirus Symantec	Virtualizado VMware
HP Proliant G7_3	Windows Server 2008 R2 SP1	Monitoreo Whatsup Gold	Virtualizado VMware
HP Proliant G7_3	Windows Server 2008 R2 SP1	Monitoreo PRTG.	Virtualizado VMware
HP Proliant G7_3	Windows Server 2008 R2 SP1	Directorio Activo Pruebas.	Virtualizado VMware
HP Proliant G7_4	GNU/Linux	PBX Elastic.	Virtualizado XenServer
HP Proliant G7_4	GNU/Linux	PBX Cisco CUCM.	Virtualizado XenServer
HP Proliant G7_4	GNU/Linux	Firewall Checkpoint	Virtualizado XenServer
HP Proliant G7_4	GNU/Linux	Firewall Mikrotic	Virtualizado XenServer

2.1.3. Servicios disponibles en la red de NGT S.A

La infraestructura tecnológica ha permitido a la empresa proveer de servicios y aplicaciones a las diferentes áreas, como son: gerencias, contabilidad, talento humano, ventas, soporte técnico e ingeniería. El mantenimiento, actualización y mejora de los servicios en la empresa está a cargo del departamento de tecnologías de la información. Los servicios a los que acceden a través de la red son:

- Servicio de acceso a internet,
- Servicio de antivirus y antimalware,
- Servicio de telefonía IP,
- Servicio de videoconferencia,
- Servicio de correo electrónico,
- Servicio de directorio activo y asignación de direcciones IP,
- Servicio de control de acceso,
- Servicio de archivos y carpetas compartidas,
- Servicio de mesa de ayuda,
- Servicio de ambientes de prueba y desarrollo.

Servicio de acceso a internet

El acceso a internet está disponible para todos los colaboradores, sin embargo se encuentra controlado por medio del filtrado web disponible en la plataforma Symantec⁴⁸, es decir se ha definido un grupo de políticas de acuerdo al área y perfil de cada usuario.

Las áreas de gerencia, centro de capacitación e ingeniería tienen acceso sin restricciones, las áreas de ventas tienen acceso a redes sociales y aplicaciones de video llamada en línea.

Servicio de antivirus y antimalware

La infraestructura tecnológica se encuentra protegida por medio de una plataforma corporativa a nivel de Endpoint⁴⁹ de antivirus y antimalware.

Symantec Endpoint Manager es la solución, está compuesta por la consola de administración y gestión alojada en una máquina virtual bajo un sistema operativo

⁴⁸**Symantec:** Es una corporación que desarrolla y comercializa software para computadoras, particularmente en el dominio de la seguridad.

⁴⁹**Endpoint:** En plataformas de antivirus y antispam se denomina endpoint al dispositivo final, pc de escritorio, teléfono móvil, computador portátil, sobre el cual se aplican políticas, restricciones. El equipo final recibe las actualizaciones de amenazas de la consola central.

Windows server 2008, la cual se actualiza diariamente. Los servidores y equipos de escritorio se conectan a la consola por medio de un cliente para las actualizaciones.

Los tipos de políticas se encuentran divididos por departamentos, servidores, y pruebas.

Servicio de telefonía IP

La telefonía se encuentra disponible por medio de una plataforma *Grandstream* mediante un equipo central, el cual gestiona las líneas públicas de telefonía, terminales telefónicos, mensaje de bienvenida, buzón de voz, grabación de llamadas y reportes de llamadas.

En la figura 2.7 se muestra la plataforma de telefonía IP la cual está conformada por una PBXIP ubicada en el centro de datos, los usuarios normales disponen de terminales telefónicos IP con funcionalidades básicas, mientras las gerencias, sala de reuniones, soporte técnico y operadora cuentan con terminales especiales de acuerdo a las actividades que desempeñan

Los equipos terminales y las preferencias de las extensiones telefónicas se encuentran personalizados de acuerdo al usuario, solo el área de ventas y gerencia pueden realizar llamadas a teléfonos móviles.

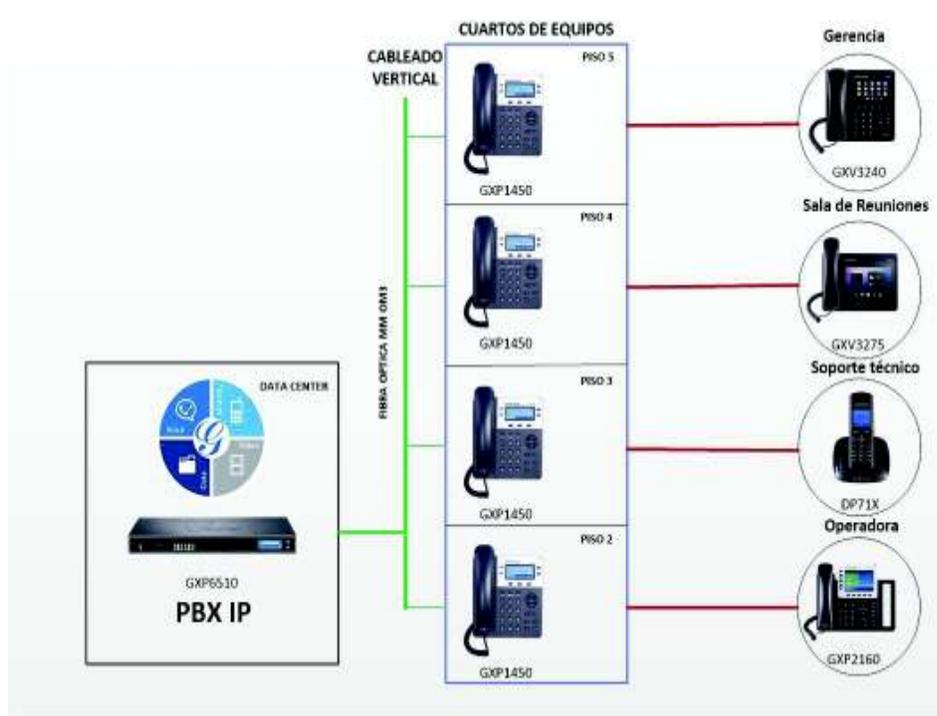


Figura 2.7. Diagrama telefonía IP de la empresa NGT S.A

Servicio de videoconferencia y video vigilancia

La plataforma de video conferencia *Grandstream* es una de las últimas implementaciones en la empresa, este recurso ha sido pensado para proveer de una herramienta multimedia para la promoción de servicios a potenciales clientes fuera de la ciudad o provincia, su uso se ha extendido al centro de capacitación que ha permitido innovar con capacitaciones y cursos online.

En la figura 2.8 se muestra la plataforma de videoconferencia compuesta por los equipos para conferencia online, los cuales se encuentran ubicados en la sala de reuniones, gerencia, centro de capacitación y de video vigilancia conformado por un circuito cerrado de TV en cada piso y dentro del centro de datos que permiten brindar un mecanismo de seguridad para empleados, alumnos y visitantes.

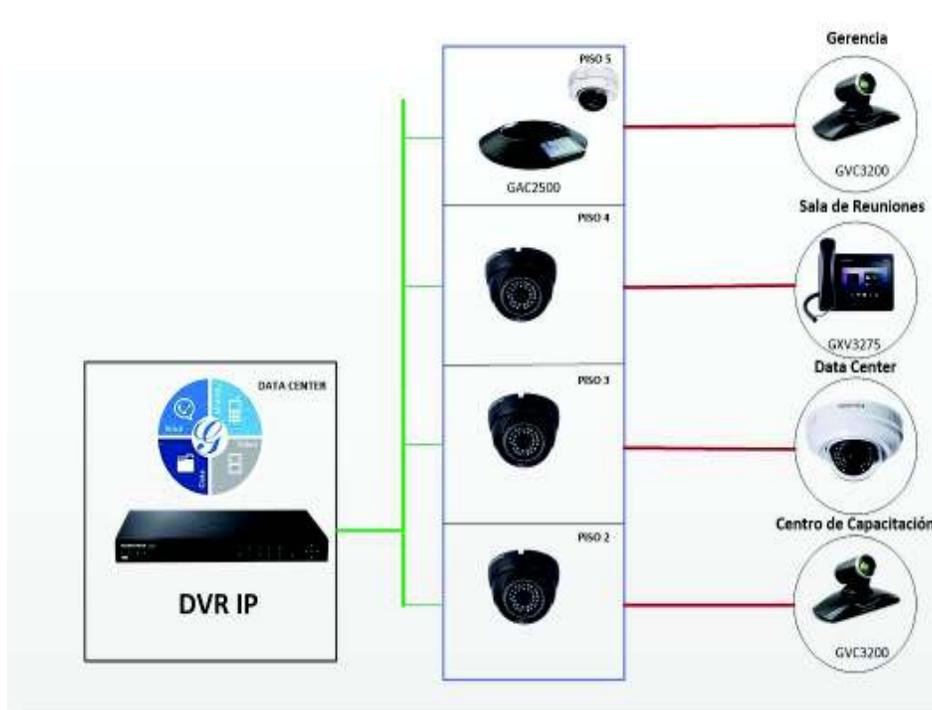


Figura 2.8. Diagrama de la plataforma de videoconferencia de la empresa NGT S.A

Servicio de correo electrónico

El servicio de correo electrónico está basado en la plataforma Zimbra⁵⁰ alojada en un servidor Linux, la administración y gestión del correo electrónico empresarial está a cargo

⁵⁰ **Zimbra:** Es una plataforma de servicio de correo electrónico, algunas versiones de código abierto soportadas por comunidades.

del departamento de tecnologías, quienes realizan la creación de cuentas, grupos de correo, cierre y respaldos de cuentas.

A cada usuario se le asigna una cuenta de correo con un tamaño de 1GByte, mientras que al personal directivo se le asigna un buzón de 3GByte's. Esta herramienta le permite enviar archivos adjuntos de hasta 10MByte, crear agendas, compartir agendas, crear políticas para la recepción y organización de correos y chat interno.

El acceso a las cuentas no requiere un cliente de escritorio, el ingreso se lo hace por medio de acceso web de manera interna o desde afuera de la empresa, por seguridad se permite al usuario ingresar las credenciales incorrectamente por tres ocasiones antes de bloquearse.

Servicio de directorio activo y asignación de direcciones IP

El servicio de directorio activo se encuentra sobre un servidor Windows server 2008, permite la administración, control, seguridad, registro de los equipos de escritorio y de los usuarios que pueden acceder a los recursos de la red a través de un dominio⁵¹.

Se ha organizado a los host y usuarios por medio de grupos de acuerdo a cada departamento. La creación, cierre de cuentas de usuario y la personalización de los hosts de acuerdo al perfil, está a cargo del departamento de tecnologías.

Esta herramienta permite a los administradores limitar a los usuarios la ejecución de aplicaciones no autorizadas, cambios en las configuraciones de red o del equipo. La seguridad se controla mediante cuentas de usuario que le permiten llevar un control y auditoría de quienes acceden a la red.

Otra funcionalidad del directorio activo es la asignación de IP's por medio del protocolo DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*) a impresoras, sistema biométrico, terminales telefónicos IP, computadoras de escritorio, laptops dispositivos móviles, etc.

Adicionalmente el directorio activo permite el servicio de resolución de nombres de dominio DNS (*Domain Name System*) que convierte las direcciones IP a nombres de los servidores, aplicaciones, etc.

⁵¹ **Dominio:** Conjunto de computadoras conectadas en una red informática que confían a uno de los equipos de dicha red, la administración de los usuarios y los privilegios que cada uno de los usuarios tiene en dicha red.

Servicio de control de acceso

La empresa cuenta con una herramienta para el control del ingreso y salida de sus colaboradores, permisos y vacaciones. Esta plataforma está administrada por el área de recursos humanos. El acceso al servicio se lo hace a través del navegador, en el cual el usuario ingresa con sus credenciales para solicitar permisos o solicitar vacaciones, en cambio el ingreso y salida de la jornada laboral se controla por medio del reloj biométrico.

Para poder soportar este servicio se ha dispuesto un servidor para la aplicación así como una base de datos para almacenar los registros. El mantenimiento de la aplicación y la base de datos están a cargo del departamento de tecnologías.

Servicio de archivos y carpetas compartidas

El almacenamiento y acceso a archivos, documentos, catálogos, imágenes e información digital de la empresa se encuentra centralizada en un servidor de archivos, el cual está organizado por departamentos.

En cada unidad organizativa se almacena la información de cada área, el acceso se encuentra controlado por el directorio activo.

La información almacenada en este servicio es respaldada de acuerdo a las políticas del área de tecnologías.

Servicio de mesa de ayuda

Es una plataforma que permite a los usuarios internos solicitar soporte de escritorio y a clientes solicitar soporte en los servicios contratados. Este servicio se encuentra disponible en un servidor, en el cual se registran los requerimientos de acuerdo al tipo, criticidad, servicio, incidente, etc. Para luego ser asignados al especialista o técnico de turno para la atención correspondiente, la apertura de casos se lo hace a través de un aplicativo web.

Servicio de ambientes de prueba y desarrollo

El servicio de ambientes de prueba y desarrollo está conformado por los servidores, bases de datos, plataforma de virtualización, software y equipos que permiten al área de ingeniería, laboratorio y centro de capacitación impartir cursos, pruebas de concepto, demos, etc.

Este servicio es independiente del ambiente de producción, sin embargo esta plataforma es de mucha utilidad para el personal técnico porque le provee de un centro de entrenamiento y capacitación en los servicios que ofrece la empresa.

2.1.4. Segmentación de la red

La red de datos se encuentra organizada, identificada y segmentada de tal manera que permite una eficiente gestión, control y administración. De esta manera la red es flexible y se adapta a los cambios. La red se ha segmentado en subredes e identificadas por VLAN's, con las cuales se logra separar los grupos de servidores de producción, pruebas, equipos de seguridad perimetral, equipos de networking, telefonía, control de accesos, usuarios, etc.

La Tabla 2.4 se muestran las redes y a la aplicación que pertenecen en su totalidad corresponden a la red cableada a excepción de la red 10.10.12.0 la cual representa a la red inalámbrica actual.

Tabla 2.4. Redes IP.

Descripción	Red
Red Inalámbrica actual	10.10.12.0
Red de Pruebas	10.10.10.0
Red de administración de equipos de networking	10.10.8.0
Red de video vigilancia y control de accesos	10.10.6.0
Red de telefonía y videoconferencia	10.10.4.0
Red de usuarios	10.10.2.0
Red de Servidores Físicos	10.10.1.0
Red de Servidores Virtuales	10.10.0.0
Red de seguridad perimetral	192.168.40.0

Redes y VLAN's

La red de la empresa se encuentra segmentada e identificada por VLAN's de acuerdo a la siguiente Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Redes disponibles

Red	Segmento de red	Puerta de enlace	Máscara	VLAN
Seguridad Perimetral	192.168.40.0	192.168.40.251	255.255.255.0	9
Servidores Físicos	10.10.0.0	10.10.0.1	255.255.255.0	10
Servidores Virtuales	10.10.1.0	10.10.1.1	255.255.255.0	11
Red de Usuarios	10.10.2.0	10.10.2.1	255.255.254.0	12
Red de Telefonía y Videoconferencia	10.10.4.0	10.10.4.1	255.255.254.0	13
Control de accesos y video vigilancia	10.10.6.0	10.10.6.1	255.255.254.0	14
Red de networking	10.10.8.0	10.10.8.1	255.255.255.0	15
Red de pruebas	10.10.10.0	10.10.9.1	255.255.254.0	16
Red inalámbrica actual	10.10.12.0	10.10.12.1	255.255.255.0	17

2.1.5. Descripción de la red inalámbrica actual

La red inalámbrica desplegada en el año 2001 está compuesta por tres puntos de acceso ubicados en tres lugares puntuales que proveen de cobertura de manera focalizada. Desde su implementación la red inalámbrica no fue pensada para proveer de cobertura a todas las áreas de la empresa, se apuntó a facilitar la conectividad en las áreas de gerencia y salas de reuniones, puesto que la demanda de equipos que requerían conectarse de manera inalámbrica era relativamente pequeña.

La evolución de las redes inalámbricas, la aparición y uso cada vez mayor de dispositivos móviles, el desarrollo de nuevas aplicaciones y tecnologías requieren de una red inalámbrica moderna. La red actual se ha visto sobrepasada por estos avances tecnológicos, al momento presenta una cobertura deficiente, saturación al acceder a la recursos de red por la cantidad de dispositivos móviles que acceden por este medio, intermitencia en las conexiones ocasionando molestias a los usuarios.

En la figura 2.9 se muestra la red inalámbrica actual, la misma que está compuesto por tres puntos de acceso ubicados en: quinto piso gerencia, tercer piso tecnologías y

segundo piso centro de capacitación. Cada AP trabaja de manera independientes con su propio SSID, sin embargo todos se encuentra dentro del mismo segmento de red en VLAN 17.

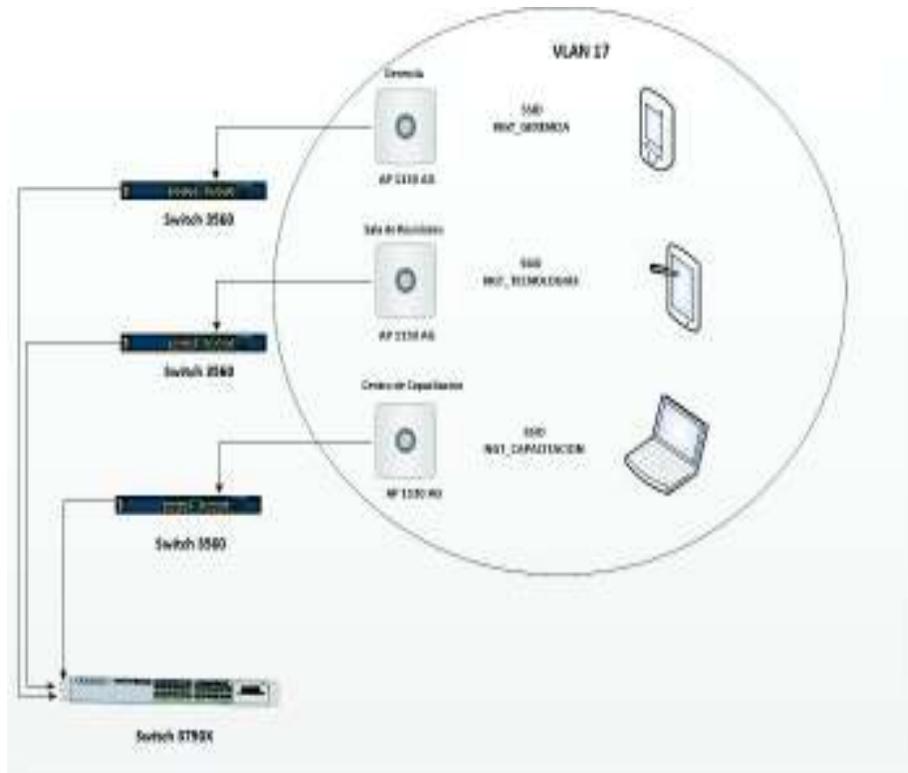


Figura 2.9. Diagrama de la red Inalámbrica actual

Distribución de puntos de acceso inalámbrico

Cada punto de acceso trabaja de manera autónoma con sus propios identificadores de red SSID's y están ubicados en los siguientes lugares de acuerdo a lo que se muestra en la tabla 2.6.

Punto de acceso gerencia

La figura 2.10 muestra la ubicación del punto de acceso gerencia, el cual se encuentra colocado en el quinto piso de la empresa. El AP está colocado en el techo en la parte central de la secretaría de la gerencia.

Punto de acceso centro de capacitación

La figura 2.12, muestra la ubicación del punto de acceso centro de capacitación en el segundo piso, el cual se encuentra colocado en el segundo piso de la empresa. El AP está colocado en el techo en el ingreso al centro de capacitación.



Figura 2.12. Ubicación del punto de acceso centro de capacitación

Tabla 2.6. Ubicación de los puntos de acceso

Punto de Acceso	Modelo	Dirección IP	Mascara	Gateway	SSID's	VLAN
Gerencia	CISCO 1130AG	10.10.11.254	255.255.254.0	10.10.11.1	NGT_GERENCIA	17
Tecnologías	CISCO 1130AG	10.10.11.253	255.255.254.0	10.10.11.1	NGT_TECNOLOGIAS	17
Centro de capacitación	CISCO 1130AG	10.10.11.252	255.255.254.0	10.10.11.1	NGT_CAPACITACION	17

2.1.6. Wireless Site Survey

Es una técnica para el análisis del funcionamiento de redes inalámbricas basados en la medición de parámetros en sitio, que busca con la ayuda de equipos y programas computacionales determinar el comportamiento de la red, la influencia de otras redes cercanas, la cobertura, la tasa de transmisión, interferencias de frecuencias, etc.

Permitiendo evaluar y mejorar una red existente o diseñar una nueva tomando en consideración redes cercanas.

El Wireless Site Survey para redes inalámbricas se divide en dos partes, un Survey pasivo y Survey activo.

Site Survey Pasivo

El Survey Pasivo está destinado a obtener información de redes cercanas al lugar en el cual se encuentra la red sujeta de análisis. Los parámetros a medir son: canales de operación⁵², niveles de señal, interferencia de frecuencias y tasas de transmisión de las redes aledañas.

La información obtenida permitirá ajustar los parámetros de la red en estudio o servirá para que una nueva red no interfiera con las existentes.

Site Survey Activo

El Survey Activo está destinado a obtener un análisis de la cobertura actual de la red inalámbrica, niveles de intensidad y potencia, permitiendo ajustar la ubicación de los puntos de acceso de una red.

2.1.7. Software para análisis de redes inalámbricas

Para el análisis de redes inalámbricas existen herramientas que permiten realizar diversas mediciones orientadas a proporcionar datos sobre: cobertura (mapas de calor), interferencia, potencia, velocidad, frecuencia y canal. Estos datos permiten realizar una evaluación técnica detallada y sirven para diseñar una nueva red inalámbrica, optimizar o rediseñar una ya existente.

En la actualidad están disponibles aplicaciones propietarias, gratuitas o libres, tanto para escritorio o para dispositivos móviles. El uso de estas herramientas para el análisis de la red inalámbrica reduce tiempo y costos.

Se describirán algunas de las siguientes aplicaciones a continuación.

WiFi Heatmap

WiFi Heatmap versión 2.5.0, es una herramienta de software diseñada por WiFi Solutions: para la medición de parámetros de redes inalámbricas como: cobertura de la

⁵² **Canales de operación:** corresponden a los canales de frecuencia en los cuales opera la red inalámbrica, pudiendo estar en la banda de 2.4 GHz o 5 GHz.

señal, velocidad de conexión, canales de frecuencia e interferencia permite la generación de mapas de calor. Soporta los estándares 802.11 a/b/g/n/ac pero depende de la tarjeta de red del equipo en el que sea instalado. Es un software libre y se encuentra disponible para la descarga en la tienda de Play Store [40].

WiFi Analyzer and Surveyor

WiFi Analyzer and Surveyor versión 2.22, es una herramienta de software diseñada por Manage Engine que permite la medición y generación de: mapa interferencia de canal de todas las redes, mapa de la intensidad de la señal, mapa de canal y mapa de cobertura. Soporta los estándares 802.11 a/b/g/n/ac pero depende de la tarjeta de red del equipo en el que sea instalado. Es un software libre y se encuentra disponible para la descarga en la tienda de Play Store [41].

WiFi Heat Map Survey

WiFi Heat Map Survey versión 1.00.4 es una herramienta de software diseñada por Meter.net que permite la medición y generación de: mapa interferencia de canal de todas las redes, mapa de la intensidad de la señal, mapa de canal y mapa de cobertura. Soporta los estándares 802.11 a/b/g/n/ac pero depende de la tarjeta de red del equipo en el que sea instalado. Es un software de pago y se encuentra disponible para la descarga en la tienda de Play Store [42].

TamoGraph Site Survey

TamoGraph versión 5.0 diseñada por Tamosofth, es una herramienta de software de analisis de sitios inalámbricos, potente y fácil de usar para recopilar, visualizar y analizar datos de Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac. . Es un software de pago y se encuentra disponible la versión de prueba para su descarga en [43].

Acrilic WiFi Heatmap

Acrylic WiFi Heatmaps 3.0 diseñada por Tarlogic research, es un software de site survey que permite analizar, de modo sencillo, la cobertura y la correcta propagación de señal de tu red WiFi para mejorar su rendimiento. Soporta los estándares 802.11 a/b/g/n y ac pero depende de la tarjeta de red del equipo en el que sea instalado. Es un software de pago y se encuentra disponible la versión de prueba para su descarga en [44].

Ekahau Site Survey

Ekahau Site Survey & Planner versión 8.7.0 diseñada por Ekahau Wireless solutions, es una herramienta de software para el mantenimiento y diseño de redes Wi-Fi [17]. Soporta los estándares 802.11 a/b/g/n/ac pero depende de la tarjeta de red del equipo en el que sea instalado. Es un software libre y se encuentra disponible para su descarga en [45].

Análisis comparativo de las herramientas

En la Tabla 2.7 se muestra un análisis comparativo de las aplicaciones, indicando los parámetros que permiten evaluar la red inalámbrica actual y para el diseño de la nueva red.

Tabla 2.7. Análisis comparativo entre aplicaciones

Aplicación	WiFi Heatmap	WiFi Analyzer and Surveyor	Wifi Heat Map-Survey	TamoGraph Site Survey	Acrilic Wifi Heat Map	Ekahau Site Survey
Mapa de Cobertura	X	X	X	X	X	X
Medición de Potencia (dBm)	X	X	X	X	X	X
Interferencia	X	X		X	X	X
Velocidad de canal	X	X		X		
Frecuencia	X	X	X	X	X	X
Canal	X	X		X	X	X
Software Libre	X	X	X	X		X
De pago				X	X	

Muestra dirección MAC	X			X		
Muestra dirección IP	X			X		
Indoor	X	X	X	X	X	X
Outdoor				X	X	
Escala	X			X	X	
Pérdidas por obstáculos				X		
Estándares a/b/g/n y ac	X	X	X	X	X	X

Del estudio comparativo se ha seleccionado el software *WiFi Heat Map* para la realización del análisis de la red actual por presentar las características que mejor se ajustan a nuestros requerimientos.

Para el diseño de la nueva red inalámbrica se utilizará el software *TamoGraph Site Survey*, puesto que permite un diseño de acuerdo al estándar 802.11ac, además se puede incluir en el análisis los efectos en la propagación de obstáculos propios de los ambientes indoor que se describen en la sección 2.1.10 *Modelos de propagación indoor*.

2.1.8. Análisis técnico de la red inalámbrica existente

El análisis de la red inalámbrica permitirá tener una visión detallada de las condiciones actuales de funcionamiento, se empezará ubicando los puntos de acceso dentro de cada piso, para luego mediante el software de análisis realizar un Survey para determinar: cobertura con mapas de calor, potencia, interferencia, canales utilizados, etc.

Software y equipo a utilizar

El software *WiFi Heat Map* se utilizará junto al el equipo que se soporta los estándares IEEE 802.11 a/b/g/n/ac con las características técnicas indicadas en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8. Características de los equipos

Equipo	Computador	Smartphone	Tablet
Marca	ACER	SONY	Samsung
Procesador	Core i5	Dual Core	Dual Core
Sistema Operativo	Windows 10	Android 7.0	Android 5.1
Memoria RAM	4GB	1.5GB	1.5GB
Almacenamiento	1TB	16GB	8GB
Tarjeta Inalámbrica	802.11 a/b/g/n/ac	802.11 a/b/g/n/ac	802.11 a/b/g/n/ac

Procedimiento Wireless Site Survey

Para el análisis se requerirá de un plano arquitectónico en formato de imagen JPEG⁵³ de cada piso, el cual será cargado en el software y permitirá realizar el mapa de cobertura por medio de la toma de medidas en las diferentes áreas walktest⁵⁴ con el equipo por todas las áreas. El procedimiento consiste en:

- Selección de la red Inalámbrica.
- Ajuste de parámetros.
- Carga del plano.
- Mediciones.
- Generación de reportes.

Análisis de resultados

De acuerdo a los resultados de los mapas de cobertura, interferencia y canal obtenidos después de realizados los Survey en cada uno de los pisos en los que se encuentran los puntos de acceso se llega a lo siguiente:

- Survey punto de acceso gerencia,
- Survey punto de acceso tecnologías,
- Survey punto de acceso centro de capacitación.

⁵³ **JPEG:** Estándar de compresión y codificación de archivos e imágenes fijas.

⁵⁴ **Walktest:** mediciones peatonales del desempeño de redes de telefonía móvil o redes inalámbricas.

Survey Punto de Acceso Gerencia

La Figura 2.13 corresponde al área del quinto piso sobre el cual se realizó el Survey, se puede apreciar los ambientes de oficinas que en su mayor parte de los espacios están contruidos de divisiones mixtas de madera, aluminio y vidrio. La gerencia general, sala de reuniones, archivo y baños sus paredes son de ladrillo.



Figura 2.13. Plano piso 5

Mapa de Cobertura

En la Figura 2.14 en el cual se muestra el mapa de cobertura obtenido con el software *WiFi Heat Map*, se observa que en las áreas de recepción, gerencia y sala de reuniones el nivel de señal decae considerablemente esto a causa de la presencia de obstáculos, como paredes de ladrillo que dividen los ambientes.

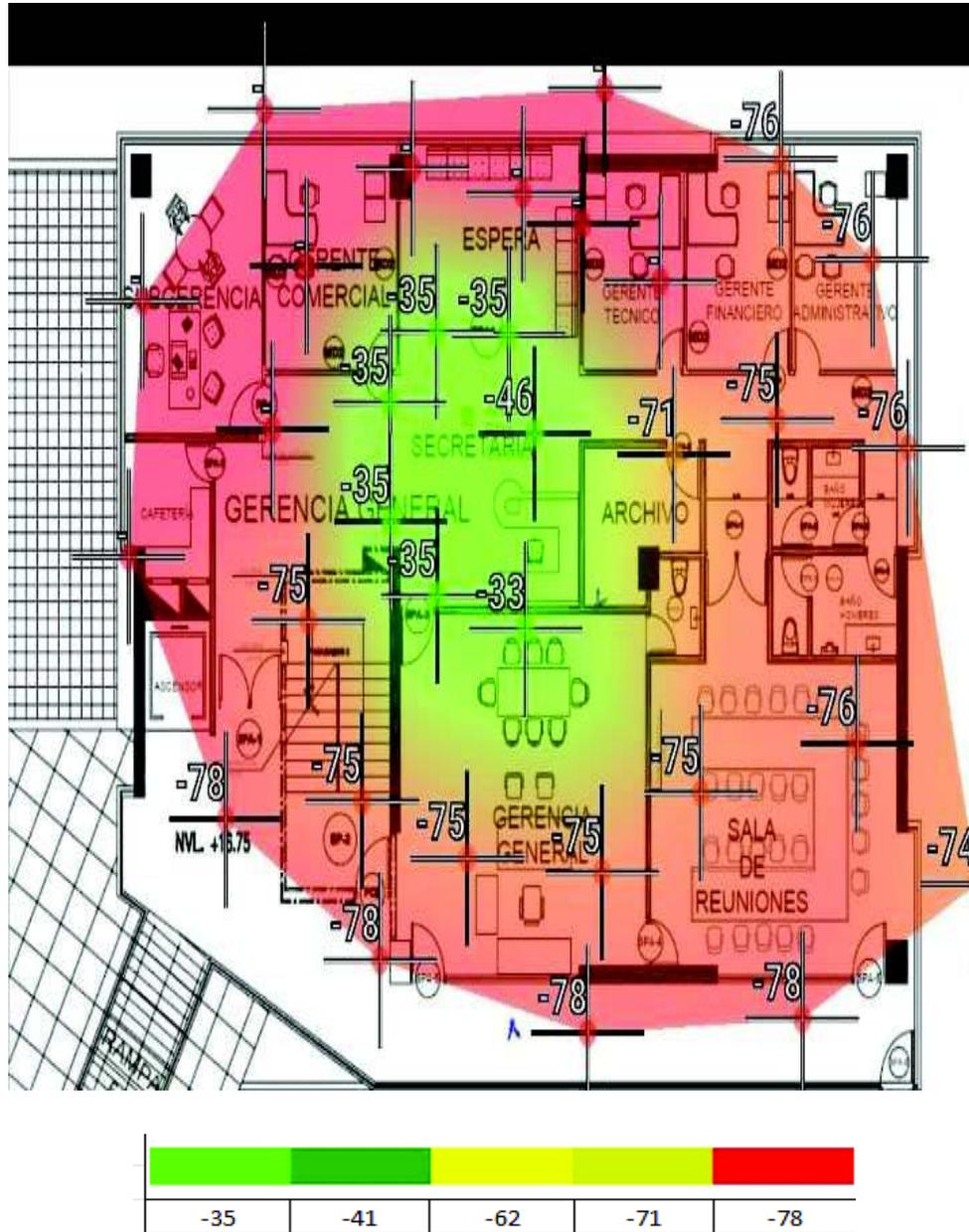


Figura 2.14. Mapa de cobertura Gerencia piso 5

Interferencia

La Figura 2.15 muestra que para este punto de acceso que funciona en el canal número 4 no se observan otras redes que interfieran.



Figura 2.15. Gráfico de interferencia

Canal

La Figura 2.16 muestra el canal y la potencia de NGT_GERENCIA, en la medición realizada se observa que la potencia de la señal es de -54dBm en las cercanías del punto de acceso.



Figura 2.16. Gráfico de canal

Survey Punto de Acceso Tecnologías

La Figura 2.17 corresponde al área del tercer piso sobre el cual se realizó el Survey, se puede apreciar los ambientes de oficinas, la mayor parte de los espacios están contruidos de divisiones mixtas de madera, aluminio y vidrio. En este piso las áreas de ingeniería y tecnologías se encuentran separadas por una pared de ladrillo, las bodegas, sala de reuniones, centro de datos y baños sus paredes son de ladrillo.

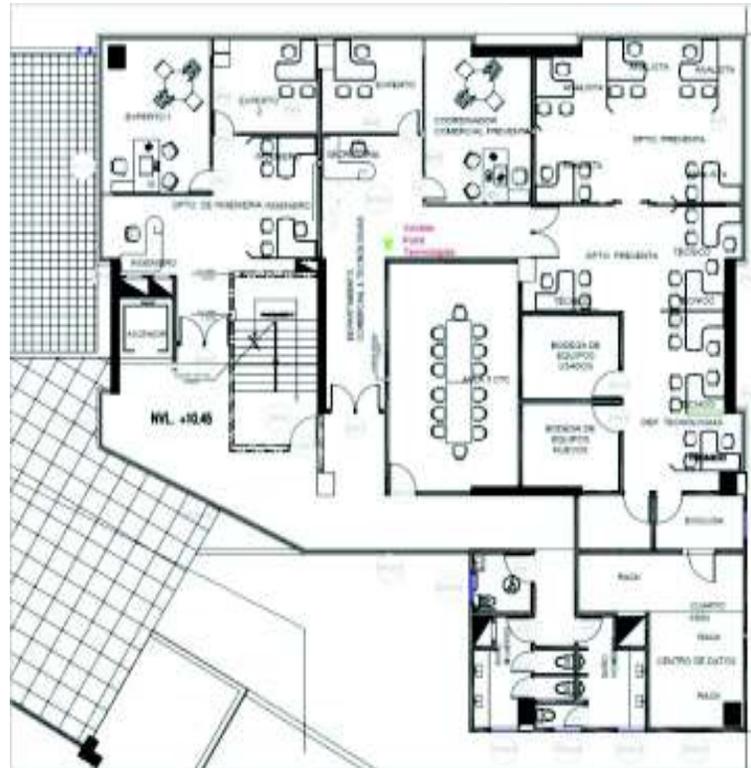


Figura 2.17. Plano piso 3

Mapa de Cobertura

En la Figura 2.18 en el cual se muestra el mapa de cobertura obtenido con el software *WiFi Heat Map*, se puede apreciar que el nivel de señal es aceptable únicamente en las cercanías al punto de acceso, mientras que en las áreas de recepción, tecnologías y oficinas, el nivel de señal decae considerablemente, esto a causa de la presencia de obstáculos como paredes de ladrillo que dividen los ambientes.

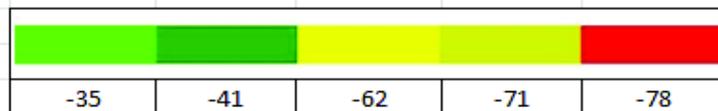
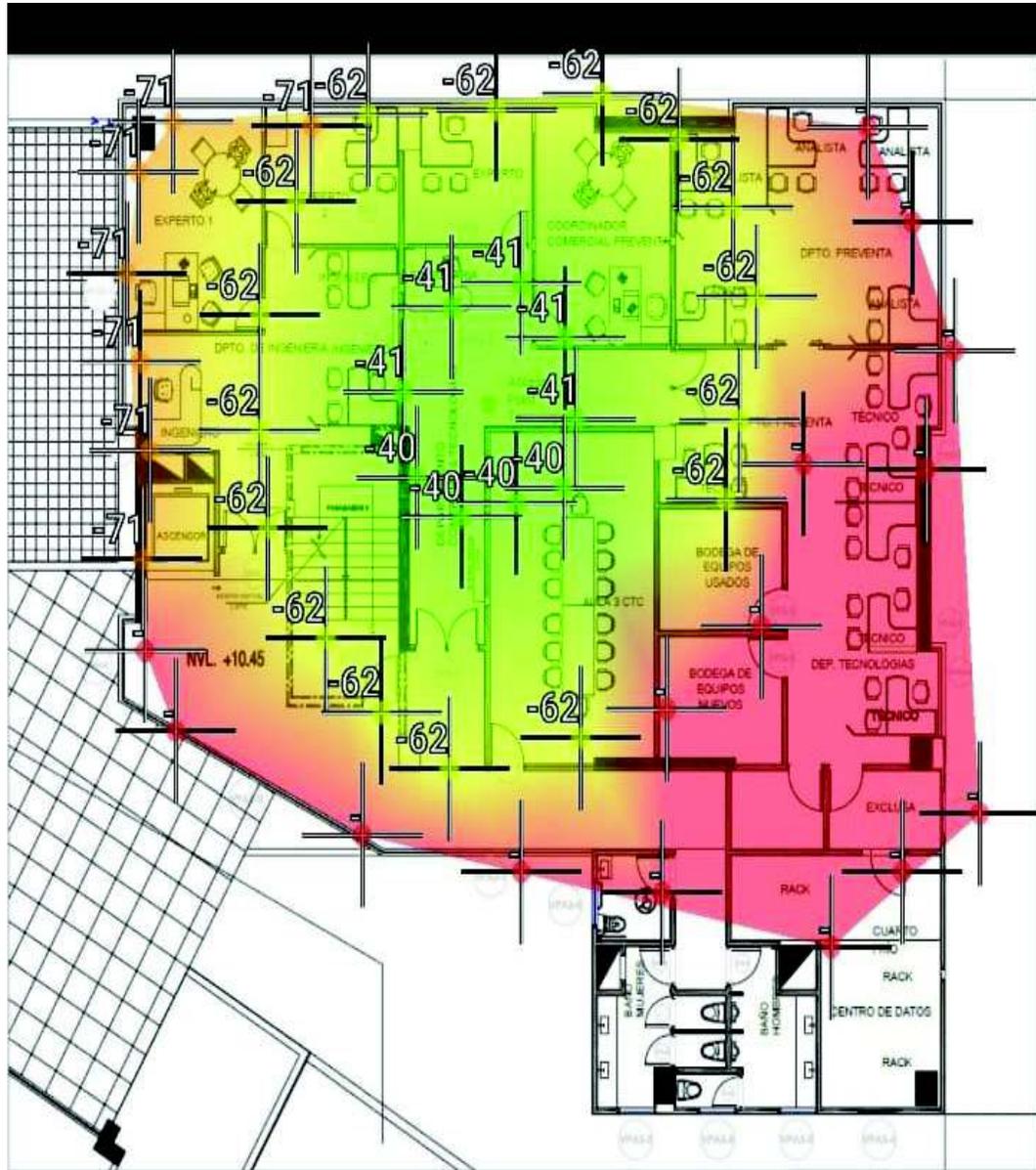


Figura 2.18. Mapa de cobertura tecnologías piso 3

Interferencia

La Figura 2.19 muestra que para este punto de acceso que funciona en el canal número 11 no se observan otras redes que interfieran.



Figura 2.19. Gráfico de interferencia

Canal

La Figura 2.20 muestra el canal y la potencia de NGT_TECNOLOGIAS, en la medición realizada se observa que la potencia de la señal es de -36dBm en las cercanías del punto de acceso.



Figura 2.20. Gráfico de canal

Survey punto de acceso centro de capacitación

La Figura 2.21 corresponde al área del segundo piso sobre el cual se realizó el Survey, se puede apreciar los ambientes de oficinas, la mayor parte de los espacios están contruidos de divisiones mixtas de madera, aluminio y vidrio. La sala de reuniones, aulas y baños sus paredes son de ladrillo.



Figura 2.21. Plano piso 2

Mapa de Cobertura

En la Figura 2.22 en el cual se muestra el mapa de cobertura obtenido con el software *WiFi Heat Map*, se puede apreciar que el nivel de señal es aceptable únicamente en las cercanías al punto de acceso, mientras que en las áreas de recepción, aulas y oficinas el nivel de señal decae considerablemente, esto a causa de la presencia de obstáculos como paredes de ladrillo que dividen los ambientes.

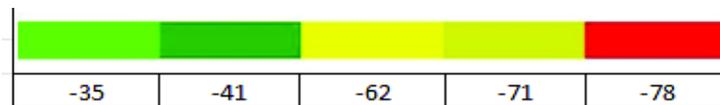
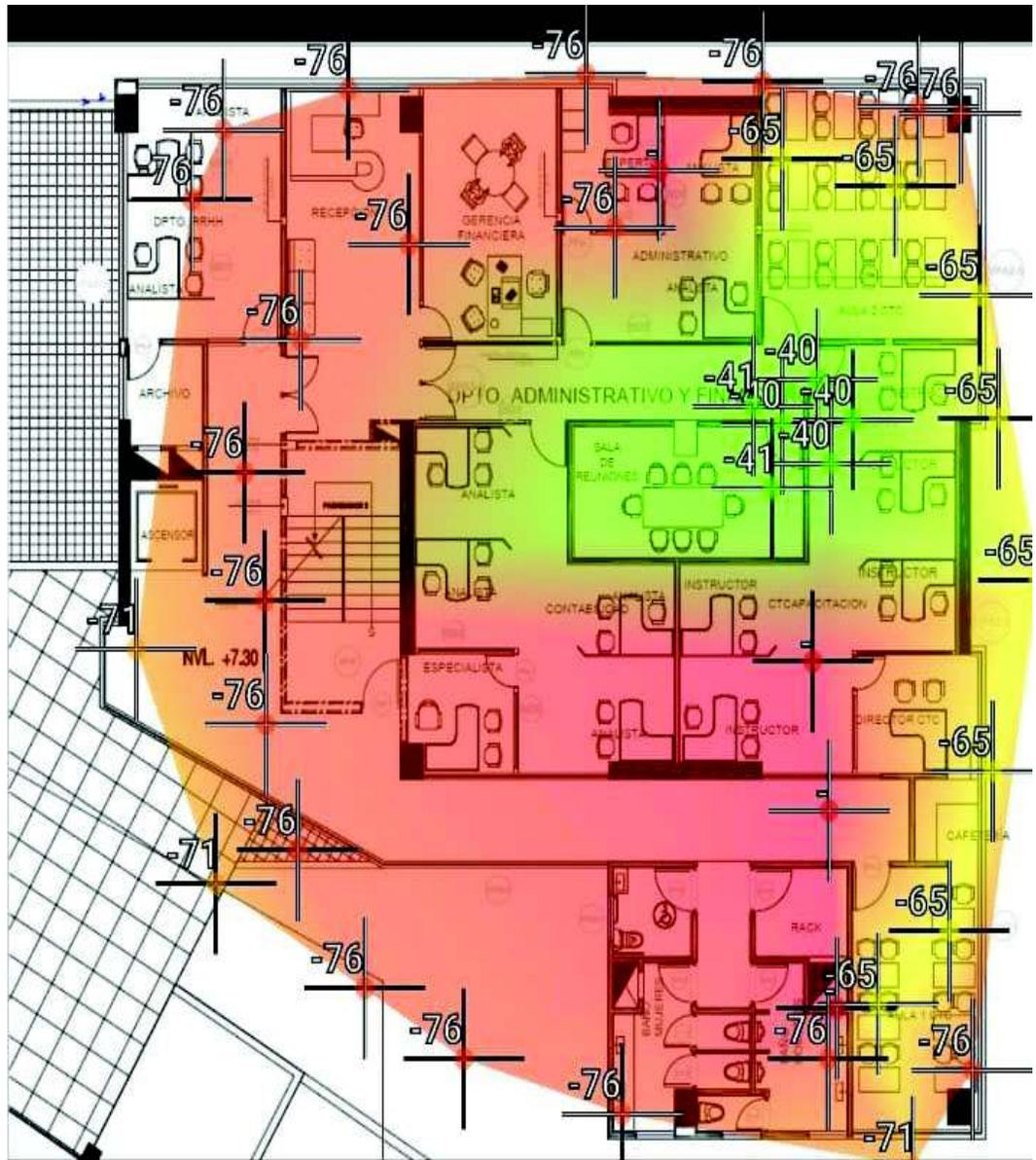


Figura 2.22. Mapa de cobertura centro de capacitación piso 2

Interferencia

La Figura 2.23 muestra que para este punto de acceso que funciona en el canal número 8 no se observan otras redes que interfieran.



Figura 2.23. Gráfico de Interferencia

Canal

La Figura 2.24 muestra el canal y la potencia de NGT_CAPACITACION, en la medición realizada se observa que la potencia de la señal es de -50dBm en las cercanías del punto de acceso.



Figura 2.24. Gráfico de canal

2.1.9. Modelos de Propagación de ondas electromagnéticas para ambientes interiores

Los modelos de propagación de señales electromagnéticas se han desarrollado para predecir la potencia promedio de la señal recibida, así también la variación de la potencia en las proximidades de un lugar determinado.

Un modelo de propagación es un conjunto de ecuaciones matemáticas, diagramas y algoritmos que se utilizan para representar las características de un ambiente dado y como afectan a las señales electromagnéticas [46].

Los modelos se clasifican en empíricos, teóricos o deterministas. Los modelos para ambientes indoor son relativamente nuevos, las primeras investigaciones se registran desde 1980 [18]. La llegada de las WLAN hace todavía más necesario disponer de modelos de propagación indoor para predecir su cobertura.

Los resultados de la predicción de cobertura de un Punto de Acceso son de mucha utilidad para:

- Predecir el área de cobertura de un AP.
- Planificar la ubicación del AP.

En ambientes interiores el nivel de potencia de la señal de radio fluctúa en mayor proporción que en exteriores esto a causa de que el campo eléctrico se forma de un mayor número de componentes indirectos.

Modelo de propagación en el espacio libre

En el espacio libre la energía radiada por una antena omnidireccional se propaga como una esfera. El área de la superficie de una esfera de radio d es: $(4\pi)^2 d^2$.

El modelo de propagación en espacio libre se utiliza para predecir la potencia de la señal cuando entre el transmisor y el receptor existe una clara línea de vista. La potencia recibida por una antena receptora en el espacio libre separada una distancia d está dada por la ecuación de Friss:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

Ecuación 2.1. Potencia recibida con el modelo de propagación en el espacio libre [46]

$P_r(d)$: Potencia recibida.

P_t : Potencia transmitida.

G_t : Ganancia de la antena transmisora.

G_r : Ganancia de la antena receptora.

λ : Longitud de onda en metros.

(d): separación entre Tx y Rx en metros.

L: pérdidas del sistema.

La potencia recibida en función de la apertura efectiva de la antena está dada por:

$$P_r(d) = \frac{(4\pi)^2 * A_e}{\lambda^2}$$

Ecuación 2.2. Potencia recibida en función de la apertura efectiva de la antena [46]

La apertura efectiva A_e se relaciona con el tamaño físico de la antena, Las perdidas por trayectoria representan la atenuación de la señal como una cantidad negativa medida en dB y se define como la diferencia entre la potencia recibida y la potencia radiada.

Las pérdidas del sistema son debidas a atenuaciones en las líneas de transmisión, pérdidas por filtros y pérdidas en los conectores y antenas. Cuando L es igual a 1, significa que no hay pérdidas en el sistema.

$$P_L = 10 \log\left(\frac{P_t}{P_r}\right) = -10 \log\left(\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}\right)$$

Ecuación 2.3. Pérdidas por espacio libre expresadas en dB's [46]

Modelo Long-Normal Shadowing Path Loss Model

La mayoría de los modelos empíricos se basan en el siguiente modelo, según el cual, las pérdidas por trayecto se pueden expresar según la ecuación:

$$P_L(d) = P_L(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X\sigma$$

Ecuación 2.4. Pérdidas generales [18]

n: variable de pérdida de trayecto.

$P_L(d_0)$: Pérdida a la distancia de referencia (d_0).

$X\sigma$: Desviación típica.

“n” es una variable de pérdida de trayecto que depende del tipo de entorno, $X\sigma$ es una variable aleatoria expresada en dB's que indica una desviación típica. Se calcula $P_L(d_0)$ utilizando el modelo de propagación en el espacio libre.

Tabla 2.9. Variable de pérdida de trayecto para interiores [46]

Entorno	n
Edificios (condiciones visión directa)	1.6 a 2
Edificios (sin visión directa)	2 a 4
Edificios (sin visión directa, separación de uno a tres pisos)	4 a 6

Este modelo tiene como ventaja que su aplicación es muy simple, lo que lo hace muy práctico para la estimación de pérdidas.

Modelos por pérdida de trayecto en Cost 231

Es un modelo de propagación en interiores utilizado en UMTS⁵⁵, está basado en el modelo COST 231 definido como:

$$L = L_{fs} + L_c + \sum K_{wi}L_{wi} + n \left(\frac{n+2}{n+1} - b \right) * L_f$$

Ecuación 2.5. Pérdidas modelo COST 231 [18]

L_{fs} : Pérdida en espacio libre entre transmisor y receptor.

L_c : Constante de pérdida (37dB normalmente).

K_{wi} : Número de paredes de tipo i penetradas.

(n): número de pisos penetrados.

L_{wi} : Pérdida debida a muro de tipo i

L_f : Pérdida entre pisos adyacentes.

⁵⁵ **UMTS:** (Universal Mobile Telecommunications Systems) es una de las tecnologías para telefonía móvil de tercera generación.

(b): parámetro empírico (depende del número de pisos que las señales necesita atravesar).

Tabla 2.10. Valores medios de los factores de pérdida [46]

	Descripción	Factor (dB)
L_f	Suelos (estructura típica)- Baldosas-revestimiento de hormigón-Espesor típico<30cm.	18.3
L_{wi}	Muros internos finos-Yeso- Muros con muchos huecos ⁵⁶ (ventanas).	3.4
L_{wi}	Muros internos -Hormigón, ladrillos-mínimo número de huecos.	6.9

El modelo COST 231 es un modelo empírico que tiene en cuenta las pérdidas de propagación en espacio abierto, así como las de las paredes, suelos y techos que las ondas atraviesan entre el transmisor y receptor.

Modelo simplificado basado en el número de muros y pisos

El modelo caracteriza la pérdida de trayecto en interior por un exponente fijo de 2 (como en el espacio libre) y unos factores de pérdida relacionados con el número de suelos y muros que atraviesa la línea recta entre emisor y receptor.

$$L = L_1 + 20 \log(r) + n_f(a_f) + n_w(a_w)$$

Ecuación 2.6. Pérdidas basadas en el número de muros y pisos simplificado [18]

$$L = L_{fs} + L_1 + 20 \log(r) + n_f(a_f) + n_w(a_w)$$

Ecuación 2.7 Pérdidas de trayecto [18]

(r): Distancia en metros en línea recta.

L_1 : Pérdida de referencia con r=1 metro.

a_f : Atenuación por cada piso que atraviesa.

⁵⁶ **Huecos:** hace referencia a las ventanas presentes en las edificaciones

a_w : Atenuación por cada muro que atraviesa.

n_f : Número de pisos que atraviesa.

n_w : Número de muros que atraviesa.

Modelo ITU-R

Este modelo de pérdida es muy similar a los modelos por pérdida de trayecto de Cost 231 y el modelo simplificado basado en el número de pisos y suelos. La diferencia es que solamente se tiene en cuenta el número de suelos. Las pérdidas por atravesar muros se incluyen, cambiando el exponente en la pérdida de trayecto N en base a la frecuencia y el tipo de ambiente interior [47].

$$L_T = L_1 + 20 \log(fc[\text{MHz}]) + N \log(r[\text{m}]) + L_f n_f - 28$$

Ecuación 2.8. Pérdidas modelo ITU-R [47]

n_f : Número de pisos que atraviesa.

L_f : Factor de pérdidas por atravesar pisos.

N : Coeficiente de pérdidas por trayecto para un ambiente de oficinas con una frecuencia de 2.4 GHz y 5GHz $N=30$ [47].

(f): Frecuencia (MHz).

(r): Distancia de separación entre el transmisor y el terminal móvil $r > 1\text{m}$.

Modelo Linear Path Attenuation Model

Este modelo considera un transmisor y un receptor que se encuentran en la misma planta. Las pérdidas se obtienen del path loss en espacio libre PL_{fs} más un factor lineal.

$$PL(d) = PL_{fs} + a * d$$

Ecuación 2.9. Pérdidas de acuerdo al Linear Path Attenuation Model [46].

(a): coeficiente lineal de atenuación.

(d): es la distancia entre el transmisor y receptor.

Para el caso de un ambiente de oficinas, el coeficiente a sería 0.47 dB/m [46]. Este modelo es susceptible de ser específico para un sitio, debido a que el valor de a varía de un entorno a otro y debe ser medido con precisión.

Modelo Dual Slope-Model

El modelo fue desarrollado bajo el concepto de que las pérdidas se comportan de diferente manera a distancias cercanas y distancias largas. Para cuantificar este efecto, este modelo propone dos expresiones, unos para distancias cortas y otros para distancias largas.

Para diferenciar la utilización de ambos modelos se introduce la distancia de ruptura d_{BR} .

$$PL_{DS1}(d) = 10n_1 \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) - a_0$$

$$PL_{DS2}(d) = PL_{DS1}(d_{BR}) + 10n_2 \log\left(\frac{d}{d_{BR}}\right)$$

Ecuación 2.10. Pérdidas dual slope model [18]

d_{BR} : Distancia de ruptura.

λ : Longitud de onda.

n_1 : Exponente de path loss antes de d_{BR} (PL_{DS1}).

n_2 : Exponente de path loss después de d_{BR} (PL_{DS1}).

a_0 : Diferencia entre PL_{DS} y PL_{fs} a la distancia de 1 metro, (a_0) es causado por efectos en las ondas y varía entre 0 y 5 dB.

En las regiones cercanas, n_1 se suele establecer igual a 2; y para las regiones lejanas n_2 se suele ser igual un valor de 6 o mayor. Este modelo se puede hacer más específico para un sitio al poder introducir los valores de n_1 y n_2 . Además la distancia de ruptura juega un papel muy importante y debe ser un valor que se conozca lo mejor posible.

Modelo Keenan-Motley

Este modelo se basa en la teoría y en las medidas hechas en la práctica, La ecuación del modelo es:

$$PL_{KM} = PL_M + 10 \log(d) + K_f(PL_{fs})$$

Ecuación 2.11. Pérdidas con el modelo Keenan-Motley [46].

PL_M : Pathloss medido a 1 metro.

PL_{fs} : Pathloss en espacio libre; incluyendo pérdidas de penetración a través de suelos/techos.

K_f : Número de suelos/techos penetrados (0, 1, 2, ..., n).

Modelo Multi-Wall

Este modelo está caracterizado por un exponente de $n=2$, junto con factores de pérdida relacionados con el número de plantas (n_f) y muros (n_w) que se atraviesan en la línea de visión directa a la distancia (d) entre los terminales.

$$PL_{mw} = PL_{L1} + 20 \log(d) + n_f(a_f) + n_w(a_w)$$

Ecuación 2.12. Pérdidas modelo Multi-Wall [46]

PL_{L1} : Pérdidas a 1 metro.

a_f : Factor de atenuación de suelos.

a_w : Factor de atenuación de muros.

n_f : Número de pisos atravesados.

n_w : Número de muros atravesados.

Para el diseño de la red inalámbrica se utilizará el modelo Linear Path Attenuation Model.

2.2. Diseño de la red inalámbrica

El objetivo de esta fase es presentar el diseño de la nueva red inalámbrica conforme a los requerimientos técnicos y necesidades de la empresa Tecnología de Próxima Generación NGT S.A, en cuanto a la cobertura, capacidad de usuarios, integración a la infraestructura de red activa, pasiva y de seguridad perimetral.

El diseño pretende ser una guía técnica referencial para la implementación a futuro de diferentes soluciones tomado en cuenta: las necesidades tecnológicas presentes y futuras, la interoperabilidad entre todos los recursos tecnológicos, la escalabilidad, flexibilidad, capacidad y seguridad.

2.2.1. Justificación de la red Inalámbrica

Los crecientes avances tecnológicos en el ámbito de la movilidad, la mayor interacción y aceptación de los seres humanos con el uso de los dispositivos electrónicos móviles, ha generado la aparición de múltiples servicios y aplicaciones para estos dispositivos. Las

transmisiones de texto, audio e imágenes son las que más tráfico demandan dentro de las redes de datos inalámbricas [1], por lo tanto las infraestructuras que deben soportarlas deben estar a la par de estos requerimientos.

Dentro del mundo de las comunicaciones de datos se ha impulsado de gran manera el despliegue de las redes inalámbricas como un complemento necesario a las redes LAN y WAN. Esto ha generado que en las redes inalámbricas se requiera de interoperabilidad, compartición, administración centralizada, seguridad, interactividad, operatividad, compatibilidad para el tráfico de información y contenidos.

Sin embargo no todos los escenarios y necesidades son iguales para las organizaciones públicas como privadas, En consecuencia para poder potenciar las bondades de una red inalámbrica enfocada a impulsar la productividad de los usuarios y del negocio de las organizaciones es fundamental desarrollar un estudio que permita conocer componentes que son primordiales en la institución y buscar la integración de todas las etapas necesarias [1] [2].

En la actualidad la empresa Tecnología de Próxima Generación NGT .S.A cuenta con una red inalámbrica, la cual se detalló en la fase de análisis técnico en la sección 2.1.5 *Descripción de la red inalámbrica actual.*

Esta red forma parte de la infraestructura tecnológica desde el inicio de las actividades de la empresa y se ha adaptado a los requerimientos de la misma, sin embargo ante la constante evolución de los dispositivos electrónicos como: tabletas, Smartphone, Smart TV, computadoras personales, teléfonos inalámbricos IP, videocámaras y el continuo desarrollo de aplicaciones para estos dispositivos; la red inalámbrica actual se ha visto sobrepasada por las demandas de los dispositivos móviles y de los usuarios.

NGT S.A como integradora de soluciones tecnológicas, prestadora de servicios y comercializadora de varias marcas reconocidas a nivel mundial, busca estar a la par de la tecnología modernizando su red inalámbrica y dar un valor agregado a sus servicios con el objetivo de soportar las tecnologías y aplicaciones de los dispositivos móviles actuales.

2.2.2. Especificaciones para el diseño de la red Inalámbrica

Para el inicio del diseño se presentan los requerimientos que debe cumplir la nueva solución, entre los cuales están: cobertura, número de usuarios, seguridad y requerimiento de administración centralizada.

El cumplimiento de las especificaciones deberán ser soportadas por las soluciones disponibles en el mercado nacional y sobre ellas se direccionará el diseño.

Área de cobertura

La empresa Tecnología de Próxima Generación NGT S.A. ocupa cuatro plantas en el edificio Molina, en las cuales se han distribuido los diferentes departamentos. La nueva red deberá proveer de cobertura y capacidad de acceso a todos los ambientes permitiendo la movilidad de todos los usuarios y dispositivos que requieran conectarse por el medio inalámbrico.

Se debe considerar que el edificio en el cual se encuentra funcionando la empresa fue construido como un edificio de departamentos y en la actualidad ha sido adaptado para funcionar como un ambiente de oficinas. Por esta razón, se tomará en cuenta la presencia de obstáculos que afectarán la propagación de las señales de radio, tales como paredes de ladrillo que dividen los ambientes, pisos de concreto, puertas de madera, etc.

Estándar de la red inalámbrica

El estándar seleccionado para la nueva red es el IEEE 802.11n [22], que permite la interoperabilidad con los dispositivos que trabajan en la banda de 2.4 GHz y el estándar 802.11ac [26]. Este último 802.11ac es el más reciente dentro de la familia de estándares que permite el uso de la banda de 5 GHz a una velocidad teórica en el orden de 1 Gbps [26] así como la interoperabilidad con estándares anteriores.

Segmentación y capacidad de la red

El diseño de la red inalámbrica debe proveer acceso a todo el personal de la empresa NGT S.A, a los usuarios visitantes y a quienes asisten al centro de capacitación. Con este propósito la red inalámbrica debe estar segmentada e identificada mediante direccionamiento IP por separado, VLAN's, SSID y así de esta manera poder administrar cada uno de los grupos de acuerdo a las políticas de navegación, seguridad perimetral y de acceso a los recursos en red.

El diseño y direccionamiento IP de la red debe asegurar el acceso a todos los usuarios presentes y futuros, sin que ello signifique una reducción en la eficiencia y capacidad para proveer la conectividad a los recursos y servicios tecnológicos disponibles.

Seguridades

Un punto vulnerable de las redes inalámbricas desde sus inicios ha sido la seguridad del canal inalámbrico por el cual se transmite la información. Sin embargo, los avances en

este campo ofrecen diferentes mecanismos de seguridad orientados a mantener la integridad, confidencialidad y disponibilidad de la información [6].

Para el diseño de la red inalámbrica se deberá considerar un mecanismo de seguridad a nivel del canal inalámbrico por separado de acuerdo a las características y requerimientos de acceso conforme al perfil de cada SSID, debiendo cumplir como mecanismos de seguridad: WPA2.

En cuanto al acceso a los servicios y aplicaciones de la empresa se deberán crear las políticas en los equipos de seguridad perimetral, a fin de garantizar la seguridad de la información.

Administración centralizada

En la actualidad la tendencia de las soluciones para la implementación de redes inalámbricas modernas permiten centralizar la administración de todos los puntos de acceso, por medio de controladoras inalámbricas, que pueden ser: físicas, virtuales, o a través de software.

La administración centralizada logra que las redes sean, eficientes, flexibles, escalables, seguras y más fáciles de administrar por parte de los departamentos de TI [4], ya que permite crear, modificar y añadir nuevas características desde un solo elemento, el cual se comunica con los dispositivos remotos en una jerarquía cliente servidor. Por esta razón, la red a diseñarse debe permitir una administración centralizada.

Calidad de servicio QoS

Crece el uso de aplicaciones de tiempo real para dispositivos móviles que son sensibles a los retardos, tales como: video llamadas, telefonía, mensajería, multimedia, videoconferencia, etc. El diseño deberá considerar ofrecer QoS (*Quality of Service*) basado en el estándar 802.11e [21], en el cual se establezca prioridad en el tráfico de la red a los servicios disponibles de la empresa de voz y video.

2.2.3. Dimensionamiento de usuarios

Dimensionar la capacidad de la red es de suma importancia, así se evitará que la misma no soporte la demanda actual o a corto plazo se vea saturada, así como también evitar el sobredimensionamiento de la solución afectando su viabilidad técnico económico.

Cabe tener en cuenta que la demanda de usuarios es un factor dinámico en especial considerando las actividades de la empresa y del centro de capacitación que genera un

incremento de usuarios variable en el tiempo. Para la estimación de la cantidad de usuarios que accederán a la red inalámbrica de la empresa NGT .S.A se tomará en consideración lo siguiente:

- Número de usuarios actuales por día al año 2018.
- Proyección de usuarios por día al año 2022.
- Limitaciones físicas⁵⁷ para el crecimiento de usuarios.

Demanda actual de usuarios

La empresa NGT S.A. está conformada por un grupo de sesenta y tres empleados en las diferentes áreas, tales como: gerencias, departamentos, centro de capacitación y laboratorio. Otro grupo igual de importante que acude a las instalaciones a charlas, reuniones, capacitaciones, cursos, seminarios, desayunos tecnológicos, demostraciones de productos, son los visitantes y alumnos del centro de capacitación generando demanda de acceso a los servicios y aplicaciones de la empresa representando un 40% del total de usuarios.

Proyección de la demanda diaria de usuarios

Para un adecuado cálculo de la proyección de la cantidad de usuarios, se tomará como referencia para el análisis el historial de usuarios promedio durante un día normal de labores, de los empleados, visitante y alumnos de la empresa desde el año 2013 hasta la actualidad. Con el análisis retrospectivo se obtendrá el índice de crecimiento promedio en un día, con el cual se realizara la proyección de usuarios en los cinco posteriores años.

En la Tabla 2.11 se muestra la cantidad actual de empleados por área y el promedio de alumnos y visitantes en el transcurso de un día normal.

Tabla 2.11. Cantidad actual de usuarios de la red en un día normal

Áreas	Cantidad de usuarios en día
Gerencia general	2
Gerencia administrativa y financiera	2
Gerencia comercial	2
Gerencia técnica	2

⁵⁷ **Limitaciones físicas:** hace referencia a las limitaciones arquitectónicas de las oficinas para alojar a los usuarios futuros.

Departamento administrativo y financiero	8
Departamento de recursos humanos	3
Departamento comercial preventa y postventa	10
Departamento de tecnologías	3
Departamento de ingeniería	7
Departamento de soporte técnico	18
Laboratorio técnico	2
Instructores centro de capacitaciones	5
Alumnos	45
Invitados	8
Total	117

Se muestran los datos históricos por día, proporcionados por la empresa del periodo 2013-2017 en la Tabla 2.12 y en la Figura 2.25.

Tabla 2.12. Historial de usuarios promedio por día para el periodo 2013-2017

Año	Personal	Alumnos	Invitados	Total por día
2013	92	34	8	134
2014	83	64	9	156
2015	75	72	11	158
2016	68	78	13	159
2017	66	89	18	173

En la Figura 2.25, se muestra el grafico, en el cual se puede apreciar el historial de usuarios por día durante el periodo 2013-2017 para los tres grupos: personal, invitados y alumnos.

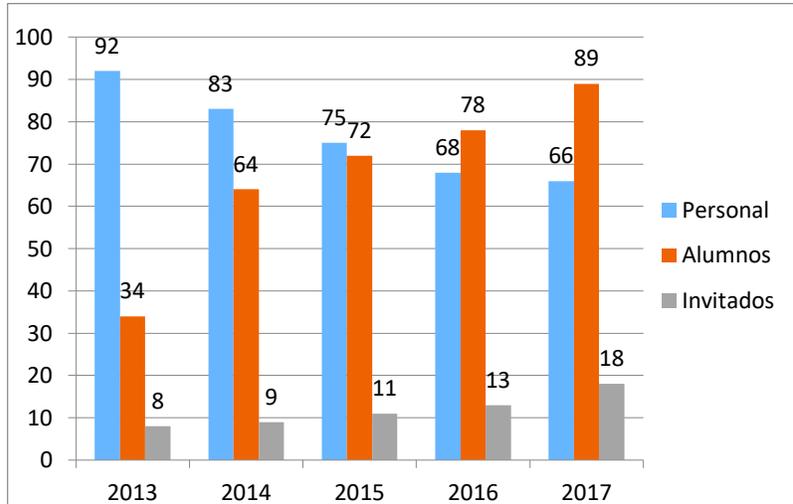


Figura 2.25. Historial promedio de usuarios por día para el periodo 2013-2017

Para el cálculo de la tasa de crecimiento anual en cada grupo de usuarios de la empresa se utilizará la ecuación 2.13.

Con las tasas de crecimiento se proyectará la cantidad de usuarios en los cinco próximos años.

$$\text{Tasa de crecimiento} = \frac{\text{población fin periodo} - \text{población principio periodo}}{\text{población principio periodo}}$$

Ecuación 2.13. Tasa de crecimiento [48]

Tabla 2.13. Tasa de crecimiento promedio por día durante el periodo 2013-2017

Periodo	Personal	Alumnos	Invitados
2013-2014	-10%	88%	12,5%
2014-2015	-10%	12,5%	22,23%
2015-2016	-9%	8,33%	18.18%
2016-2017	-3%	14,10%	38,46%
Promedio	-8%	30,73%	22,84%

La tasa de crecimiento se puede apreciar en la Tabla 2.13, se observa que el porcentaje para el personal de la empresa ha decrecido generando un valor promedio negativo.

El decrecimiento del personal de la empresa se ha visto relacionado a la contracción económica del país y la desinversión en tecnología y servicios relacionados, tanto en el

sector público como privado. Sin embargo, el porcentaje de crecimiento para los grupos de alumnos e invitados ha crecido, esto debido al impulso que se ha dado a la prestación de servicios de capacitación, así como a la inversión en atraer potenciales clientes por medio de charlas, desayunos, seminarios, etc.

En concordancia con el crecimiento del centro de capacitación e invitados proyectado la empresa tiene proyectado incrementar el número de personal de empleados en un 5% anual, de esta manera poder atender la demanda. En la tabla 2.14, se muestra la proyección promedio de usuarios por día para cada grupo para el periodo 2018-2022, se puede observar que el grupo de alumnos es el que mayor proyección de crecimiento por día presenta, en el grafico 2.26 se muestra la tendencia de crecimiento de forma general.

Tabla 2.14. Proyección de usuarios promedio por día para el periodo 2018-2022

Año	Personal	Alumnos	Invitados	Total por día
2018	69	117	22	208
2019	72	152	27	251
2020	76	199	33	308
2021	80	261	41	382
2022	84	342	50	476

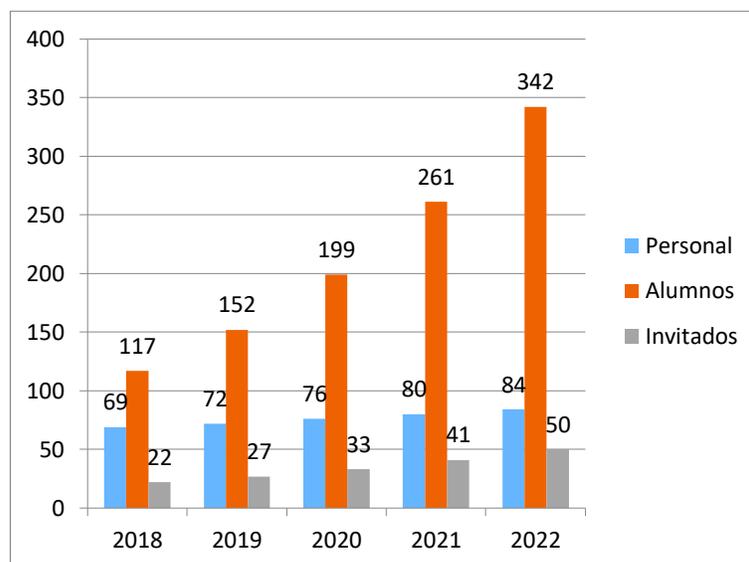


Figura 2.26. Gráfico de la proyección de usuarios por día para el periodo 2018-2022

El grupo que presenta la mayor tendencia al crecimiento es el grupo de estudiantes del centro de capacitación, y acorde al crecimiento esperado, la empresa NGT S.A se verá obligada a ampliar el área destinada a la capacitación.

2.2.4. Demanda actual de equipos

Se considerará para el diseño inicial de la red inalámbrica la demanda actual de equipos por día que se conectan a la red inalámbrica, a la cantidad de dispositivos para el año 2018 que se conectaran a la red de acuerdo a la tabla 2.14. La cantidad de teléfonos móviles será de uno por cada usuario independiente del grupo al que pertenezcan, el número de tabletas se estimará de una por cada diez usuarios, el número de computadores personales se considerará de uno por cada usuario invitado y uno por cada usuario alumno. Para el caso del personal de la empresa, se estimado un uso de cuatro computadores personales por cada diez empleados.

En la tabla 2.15 se muestra la cantidad anual de dispositivos para el año 2018, tales como; computadores personales, tabletas, y Smartphone.

Tabla 2.15. Cantidad por día de dispositivos que se conectan la red inalámbrica

Dispositivo	Personal	Alumnos	Invitados	Total por día
Teléfonos Móviles	69	117	22	208
Tabletas	7	12	2	21
Computadores personales	17	117	22	156
			Total	385

En la figura 2.27, se muestra el grafico que representa a la cantidad de dispositivos que se conectaran a la red inalámbrica para el año 2018. Se puede apreciar que los teléfonos móviles son los dispositivos que más requieren conectarse a la red inalámbrica.

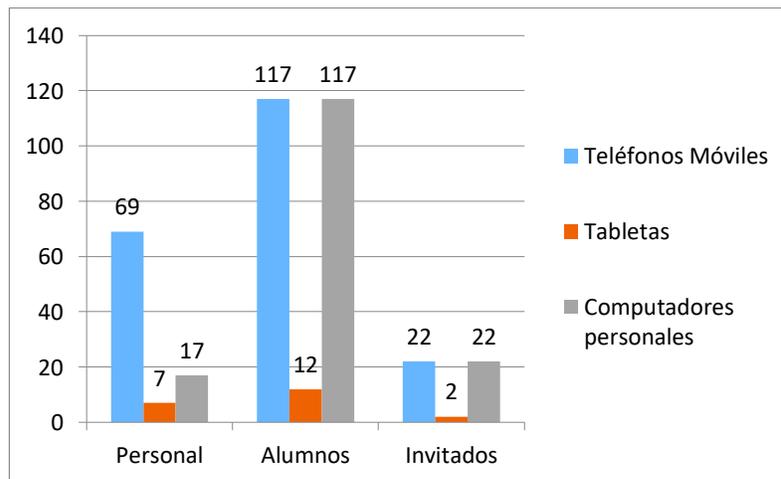


Figura 2.27. Gráfico de dispositivos por día que usan la red inalámbrica actual

Proyección de la demanda por día de equipos

Para la proyección de la cantidad de dispositivos futuros Tabla 2.16, se considera como referencia la cantidad de usuarios proyectados por día de acuerdo a la Sección 2.2.3 *Dimensionamiento de usuarios* para el año 2022. Se considerará que cada usuario para el año 2022 independiente del grupo al que pertenezca disponga por lo menos de tres dispositivos móviles tales como: (computadores personales, Smartphone, tableta u otro dispositivo), que puedan conectarse a la red inalámbrica.

Tabla 2.16. Cantidad por día de dispositivos proyectados al 2022

Grupo	Dispositivo 1	Dispositivo 2	Dispositivo 3	Total
				por día
Personal	84	84	84	476
Alumnos	342	342	342	476
Invitados	50	50	50	476
Total				1428

En el Figura 2.28 se muestra el grafico que representa a la proyección por día para el año 2022 de dispositivos que se conectaran a la red inalámbrica.

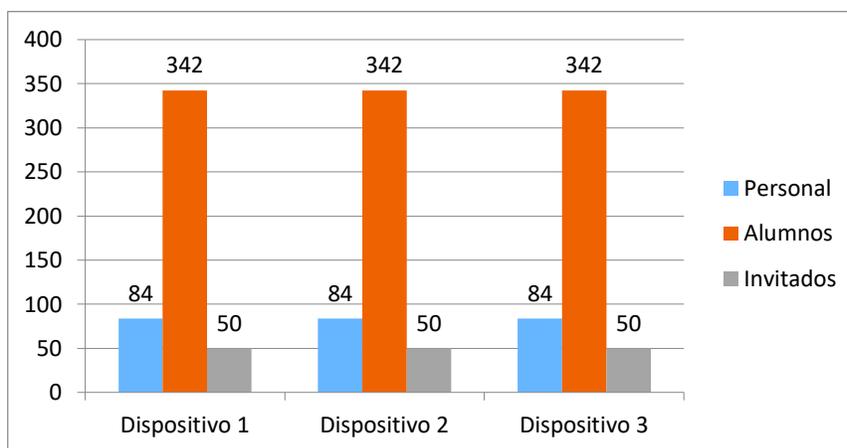


Figura 2.28. Gráfico de dispositivos por día proyectados al 2022

De acuerdo al análisis de la demanda de dispositivos actuales el promedio por día es de 385 equipos que se conectan a la red y la proyección por día para el año 2022 muestra un promedio de 1428 dispositivos, sin embargo se debe considerar que no necesariamente todos los dispositivos se conectaran a la red simultáneamente. Para poder determinar el porcentaje de uso simultáneo de la red inalámbrica y de la capacidad de tráfico, para que la red pueda tener la capacidad de garantizar el acceso eficiente al

igual que el direccionamiento IP, de proveer conectividad a todos los dispositivos actuales como futuros, a continuación se realizará el dimensionamiento de la capacidad y el factor de uso simultaneo.

2.2.5. Dimensionamiento de la capacidad requerida de la red

Para determinar la capacidad de la red inalámbrica necesaria para garantizar el acceso a las aplicaciones, se estimará el porcentaje de utilización simultanea de la red y se detallarán las aplicaciones que representan la mayor demanda de recursos de ancho de banda. Las aplicaciones que se utilizarán para el dimensionamiento de la capacidad son:

- Acceso a páginas Web,
- Correo electrónico,
- Video llamada,
- Voz sobre IP,
- Mensajería Instantánea,
- Redes Sociales,
- Video streaming.

Porcentaje de utilización o factor de simultaneidad

El factor de simultaneidad o porcentaje de utilización nos permite conocer el porcentaje de usuarios de una red inalámbrica que utilicen la red al mismo tiempo haciendo uso de cualquier aplicación [28].

Para determinar el factor de simultaneidad se tomó una muestra de los usuarios que acceden a la red en un día normal (sección 2.2.3 *Dimensionamiento de usuarios*). A la muestra se le realizó una encuesta con el 90% de confiabilidad, para determinar la hora de mayor uso de la red y del porcentaje de uso de cada aplicación anteriormente descrita. El proceso de cálculo con las encuestas se muestra a detalle en el ANEXO II.

Tabla 2.17. Porcentajes de simultaneidad por cada aplicación

Grupo	Web	Correo	Video llamada	Voz IP	Video	Redes Sociales	Mensajes	Total
Directivos	8,51%	8,51%	2,13%	6,38%	4,26%	6,38%	8,51%	6,38%
Empleados	25,53%	34,04%	10,64%	34,04%	8,51%	6,38%	36,17%	22,19%
Alumnos	42,55%	12,77%	4,26%	0,00%	25,53%	0,00%	17,02%	14,59%

Invitados	4,25%	6,38%	6,38%	2,13%	0,00%	6,38%	6,38%	4,56%
Promedio	80,84%	61,70%	23,40%	42,55%	38,30%	19,15%	68,09%	47,72%

De acuerdo a la Tabla 2.17, se muestran los valores correspondientes a los porcentajes de simultaneidad o de utilización de las aplicaciones que mayor demanda representan. Los cuatro grupos identificados que acceden a la red inalámbrica de la empresa NGT .S.A representan un porcentaje promedio del 47,72% en la hora de mayor uso de la red (11:00am a 12:00pm) de acuerdo a los datos de la encuesta. Para facilidad de cálculo se considerará el porcentaje de simultaneidad igual al **50%**.

Demanda de las aplicaciones sobre la red Inalámbrica

Para poder dimensionar los requerimientos de consumo de cada una de las aplicaciones se tomara en cuenta el tamaño de información que cada una genera y el porcentaje de uso estimado por cada aplicación durante la hora de mayor demanda de la red inalámbrica (hora pico).

Navegación Web

De acuerdo a [49] y [50] el ancho de banda promedio necesario para esta aplicación se encuentra entre 50 y 100 Kbps. De acuerdo a las estadísticas de Google el peso promedio de una página web es de 320 Kbytes de una muestra de 4,2 billones de páginas con un contenido de texto, imágenes y videos, con un promedio de carga de 10 segundos [51]. De acuerdo a los datos obtenidos realizaremos el cálculo del ancho de banda necesario por usuario.

$$Tamaño = Aplicación + TCP + IP + subcapaMAC$$

$$Tamaño = 320000bytes + 40bytes + 20bytes + 34bytes = 320,094Kbytes$$

$$AB = Tamaño \times \frac{8bits}{1byte} \times \frac{1página}{10segundos}$$

$$AB = 320.094Kbytes \times \frac{8bits}{1byte} \times \frac{1página}{10segundos} = 256,075kbps$$

Tabla 2.18. Capacidad requerida para acceso navegación web

Aplicación	Ancho de Banda (AB) (Kbps)
Navegación WEB	256,075

Correo electrónico.

Considerando que el correo electrónico es usado para el intercambio de texto, documentos y archivos PDF⁵⁸, el ancho de banda típico de esta aplicación es de 100 Kbps [49] [50]. Si se toma como referencia que en un correo electrónico se puede enviar adjuntos archivos adjunto hasta de 10 Mbytes, y que en promedio se envían y reciben aproximadamente 5 correos por usuario en una hora [50], realizaremos el cálculo del consumo de esta aplicación.

$$Tamaño = Aplicación + TCP + IP + subcapaMAC$$

$$Tamaño = 10000000bytes + 40bytes + 20bytes + 34bytes = 10000,094Kbytes$$

$$AB = Tamaño \times \frac{8bits}{1byte} \times \frac{5correos}{1hora} \times \frac{1h}{3600s}$$

$$AB = 10000.094Kbytes \times \frac{8bits}{1byte} \times \frac{5correos}{1hora} \times \frac{1h}{3600s} = 111,11kbps$$

Tabla 2.19. Capacidad requerida para acceder a correo electrónico

Aplicación	Ancho de Banda (Kbps)
Correo Electrónico	111.11

Video llamada

Para determinar la capacidad requerida por usuario, consideraremos dos maneras de video llamadas, tales como: video conferencia definida por la UIT y de aplicaciones de libre uso como Skype.

⁵⁸ **PDF:** (Portable Document Format) formato de documento portátil. es un formato de almacenamiento para documentos digitales.

Videoconferencia

La UIT define la familia de estándares en la serie H.32x, en los cuales la variable (x) corresponde al tipo de red utilizada. Para el cálculo de la capacidad nos referenciaremos al estándar H.323, definido sobre redes basadas en arquitecturas como Ethernet, Token Ring y FDDI que utilizan protocolos TCP/IP [50][51].

El estándar H.323 establece el códec⁵⁹ G.729 para la transmisión de voz en videoconferencia, el cual requiere de un ancho de banda de 31,2 Kbps [51][52][53], mientras que para la transmisión de video se define el códec H.263 que usa un ancho de banda de 175Kbps [51][52][53].

Tabla 2.10. Capacidad requerida para videoconferencia

Aplicación	Ancho de Banda Voz AB1	Ancho de Banda Video AB2	Total (AB1+AB2) (Kbps)
Video conferencia	31,2	175	206,2

Video llamada Skype

Para un correcto servicio esta aplicación requiere de una capacidad recomendada de 500 Kbps [54]. Con el propósito de asegurar la convivencia de las dos aplicaciones se considerará como la capacidad requerida la suma de los anchos de banda.

Tabla 2.11. Capacidad requerida para video llamadas

Aplicación	Ancho de Banda Skype AB1 (Kbps)	Ancho de Banda Videoconferencia AB2 (Kbps)	Total [(AB1+AB2)] (Kbps)
Video llamada	500	206,2	706,2

Voz sobre IP

Para determinar la capacidad requerida por usuario consideraremos dos maneras de voz sobre IP, tales como: la tradicional VoIP definida por la UIT y aplicaciones de libre uso

⁵⁹ **Códec:** Un códec es un programa o dispositivo hardware capaz de codificar o decodificar una señal o flujo de datos digitales.

como WhatsApp, Skype y Hangouts, que nos permite realizar llamadas a través de dispositivos móviles sobre redes IP.

La UIT define muchos códec estandarizados para la transmisión de voz sobre protocolos TCP/IP, para el cálculo de la capacidad se hará uso del estándar UIT G.711, el cual define un ancho de banda para la transmisión VoIP de 87,2 Kbps [52] [53].

En la Tabla 2.12 se muestran las aplicaciones más utilizadas para realizar llamadas sobre redes IP, así como la capacidad requerida [55].

Tabla 2.12. Capacidad requerida de aplicaciones móviles para llamadas VoIP

Aplicación	WhatsApp (kbps)	Skype (kbps)	Hangouts (kbps)
Consumo por llamada Kbps	80	67	120

Con el propósito de asegurar la convivencia de las dos aplicaciones se considerará como la capacidad requerida la suma de los anchos de banda.

Tabla 2.13. Capacidad requerida para VoIP

Aplicación	Ancho de Banda Aplicaciones AB1 (Kbps)	Ancho de Banda Códec G711 AB2 (Kbps)	Total [(AB1+AB2)] (Kbps)
Voz Sobre IP	120	87,2	187,2

Mensajería instantánea

El uso de aplicaciones de mensajería instantánea se ha vuelto muy frecuente y su uso en las actividades cotidianas de las personas ha marcado su aceptación en el ámbito laboral, académico y técnico, permitiendo desde cualquier lugar el intercambio de mensajes, imágenes, documentos y audio de forma rápida. Por esta razón se incluyó este tipo de aplicaciones para el cálculo de la capacidad de la red.

Para el cálculo del ancho de banda tomaremos como referencia las aplicaciones más populares como Messenger, WhatsApp y WeChat. Para estas aplicaciones se estima que cada usuario puede enviar cinco mensajes en un minuto o 300 mensajes por hora [56].

En la Tabla 2.14 se muestra el consumo de ancho de banda promedio para las aplicaciones de mensajería instantánea considerando el envío y recepción de: texto, imágenes, audio y ubicación [56].

Tabla 2.14. Capacidad requerida para acceder a mensajería

Aplicación	Consumo en Bytes x minuto Messenger	Consumo en Bytes x minuto WeChat	Consumo en Bytes x minuto WhatsApp	Total bytes
Mensajería Instantánea	809,71	456,38	679,38	1945,47

Para calcular el ancho de banda necesario tomaremos como referencia la suma de las tres aplicaciones igual a 1.945 Kbytes, asumiendo que los usuarios utilizan las tres aplicaciones.

$$Tamaño = Aplicación + TCP + IP + subcapaMAC$$

$$Tamaño = 1945,47bytes + 40bytes + 20bytes + 34bytes = 2,03947Kbytes$$

$$AB = Tamaño \times \frac{8bits}{1byte} \times \frac{300mensajes}{1hora} \times \frac{1hora}{3600s}$$

$$AB = 2,03947Kbytes \times \frac{8bits}{1byte} \times \frac{300mensajes}{1hora} \times \frac{1hora}{3600s} = 1,36kbps$$

Redes sociales

En la actualidad el uso de redes sociales ha sobrepasado el ámbito personal y se ha convertido en una herramienta de marketing empresarial, por esta razón se ha considerado como parte del cálculo de la capacidad de la red. El ancho de banda de las redes sociales por usuario está en el orden de los 307 Kbps [49].

Para el cálculo del consumo del ancho de banda de las aplicaciones de redes sociales, tomaremos como referencia a la plataforma Facebook, de acuerdo a [8] se estima que el consumo promedio es de 300Mbytes mientras revisa la cuenta, comparte, pública, etc. En cuanto al tiempo de uso de la aplicación considerando que se lo realizara en horas laborales el mismo será de 2 horas como máximo para las áreas de ventas y el centro de capacitación.

$$Tamaño = Aplicación + TCP + IP + subcapaMAC$$

$$Tamaño = 300000000bytes + 40bytes + 20bytes + 34bytes = 300Mbytes$$

$$AB = \frac{Tamaño}{horas} \times \frac{8bits}{1byte} \times \frac{1hora}{3600s}$$

$$AB = \frac{300Mbytes}{2horas} \times \frac{8bits}{1byte} \times \frac{1hora}{3600s} = 333,34kbps$$

Tabla 2.15. Capacidad requerida para acceder a redes sociales

Aplicación	Ancho de Banda (Kbps)
Redes Sociales	333,34

Video streaming

Considerando el giro de negocio de la empresa y el uso dado al centro de capacitación, el acceso a información técnica en su mayoría se encuentra disponible en forma de video streaming. Por esta razón, se ha considerado esta aplicación para el cálculo de la capacidad requerida por usuario. El ancho de banda típico de esta aplicación es de 360 Kbps [49].

Para el cálculo del consumo del ancho de banda de las aplicaciones de video streaming, tomaremos como referencia a la plataforma YouTube, de acuerdo a [57] se estima que el consumo promedio por usuario es de 2,8 Mbytes por minuto mientras se visualiza un video en HD (*High Definition*). En cuanto al tiempo de uso de la aplicación considerando que el centro de capacitación es el área que mayor demanda de este servicio de 8 horas por día.

$$Tamaño = Aplicación + TCP + IP + subcapaMAC$$

$$Tamaño = 280000000bytes + 40bytes + 20bytes + 34bytes = 28,000094Mbytes$$

$$AB = \frac{Tamaño}{horas} \times \frac{8bits}{1byte} \times \frac{1hora}{3600s}$$

$$AB = \frac{2,8Mbytes}{minuto} \times \frac{8bits}{1byte} \times \frac{60minutos}{1hora} \times \frac{8hora}{28800segundos} = 373,34kbps$$

Tabla 2.16. Capacidad requerida para video streaming

Aplicación	Ancho de Banda (Kbps)
Video streaming	373,34

Capacidad total requerida

Para estimar la capacidad total por cada usuario requerida realizaremos la suma de capacidades individuales por cada aplicación consideradas en esta sección. En la Tabla 2.17 se muestra el valor de la capacidad total.

Tabla 2.17. Capacidad total requerida por usuario en la hora de mayor demanda.

Aplicaciones	Capacidad requerida (Kbps)
Navegación WEB	256,075
Correo Electrónico	111,11
Redes Sociales	333,33
Video streaming	373,34
Video llamada	706,2
Voz Sobre IP	187,2
Mensajería Instantánea	1,36
Total (Kbps)	1968,61

De acuerdo al cálculo de la capacidad requerida se estima que se requiere de un ancho de banda de 1968,61 Kbps, aproximadamente 2 Mbps para asegurar un correcto acceso a cada una de las aplicaciones para los usuarios actuales. Sin embargo no se ha considerado la capacidad requerida para el acceso a las aplicaciones corporativas ni del

crecimiento futuro, para garantizar la capacidad futuro y el acceso a las aplicaciones que no se han considerado⁶⁰ añadiremos un porcentaje de crecimiento.

De acuerdo a la publicación de la CEPAL en el artículo “Estado de la banda ancha en América Latina y el Caribe 2017”, el promedio de la velocidad en las conexiones móviles que se conectan a internet se encuentra entre los 4 y 7,5 Mbps. Para el Ecuador desde el 2013 al 2017 las conexiones promedio son de 4 Mbps [58].

De acuerdo a la compañía Cisco en su publicación Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2016–2021[58]. “El tráfico de dispositivos inalámbricos y móviles representará más del 63 por ciento del tráfico total de IP para 2021”. “Para 2021, los dispositivos con cable representarán el 37 por ciento del tráfico IP, mientras que el Wi-Fi y los dispositivos móviles representarán el 63 por ciento del tráfico IP”. “En 2016, los dispositivos cableados representaron la mayor parte del tráfico de IP con un 51 por ciento [59]”.

De acuerdo a esta proyección de crecimiento, el tráfico proyectado hasta el 2022 para la red inalámbrica de la empresa NGT S.A, lo consideraremos de acuerdo a este porcentaje 63% que equivale a 1.25 Mbps de los 2Mbps por usuario actual requerido. Se establecerá el ancho de banda por cada usuario como la suma de: $(2\text{Mbps}+1.25\text{Mbps}+0.25\text{Mbps}^{72}=3.5\text{Mbps})$ en la hora de mayor uso de la red inalámbrica el cual permitirá el acceso actual y futuro.

2.2.6. Segmentación de redes

Los usuarios de la red inalámbrica se han identificado en cuatro grupos: directivos, personal de la empresa, alumnos de centro de capacitación e invitados. Cada grupo demanda de diferente forma el acceso a los recursos, servicios y aplicaciones. Con el propósito de organizar, separar y controlar de manera flexible y eficiente se crearán segmentos de red por cada grupo de acuerdo a las necesidades de cada uno.

Se crearán los siguientes subgrupos segmentos de red: directivos, personal en general, ingeniería y pruebas. Cada uno de los grupos estará identificado por su SSID y estará separado a nivel de red en VLAN's de acuerdo al gráfico 2.29.

⁶⁰ **Aplicaciones no consideradas:** se hace referencia a las aplicaciones de la empresa de las cuales no se posee información sobre la demanda en Mbps, por ejemplo acceso a bases de datos, archivos compartidos, aplicaciones corporativas, etc.

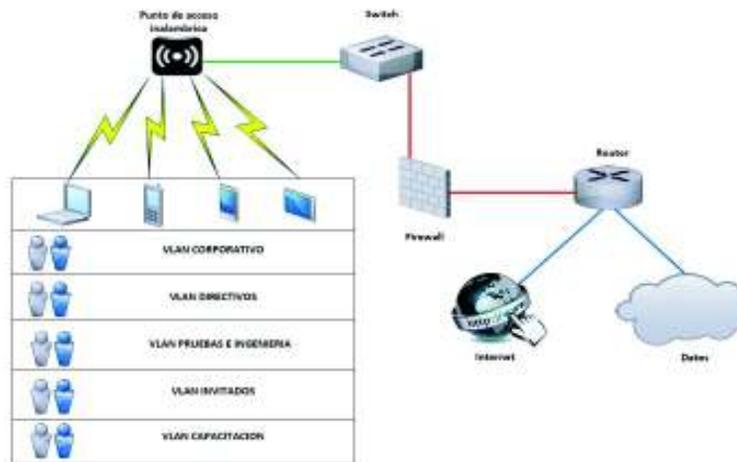


Figura 2.29. Segmentación de usuarios en redes y VLAN's

2.2.7. Nomenclatura para los identificadores de red SSID

Con el propósito de identificar cada segmento de usuarios de red, se utilizarán las iniciales de la empresa Tecnología de Próxima Generación NGT S.A. seguido del grupo de usuarios descritos en la sección 2.2.6 *Segmentación de redes*.

En la tabla 2.18 se muestra el nombre de cada VLAN, el identificador SSID para cada WLAN y también se hace referencia a los permisos, accesos, restricciones y tipo de seguridad. Para el control de navegación se cuenta con la plataforma de filtrado web, la cual permite la creación de políticas asociadas con las redes IP que identifican a cada uno de los grupos, de esta forma se tendrá políticas dedicadas para las WLAN: Corporativa, Directivos, Invitados (se limitara el ancho de banda y el acceso páginas web conforme a la reputación de cada una de ellas).

Tabla 2.18 Nomenclatura para los identificadores SSID

VLAN	Identificador (SSID)	Descripción
Corporativo	NGTSA_CORPORATIVO	Se permitirá el acceso únicamente al personal de la empresa, la seguridad para el ingreso y la autenticación se lo realizará mediante WPA2. Permitirá el acceso a navegación con restricciones de acuerdo al área y perfil del usuario (redes sociales, video streaming, etc.), acceso a los servicios y aplicaciones de la empresa.

Directivos	NGTSA_DIRECTIVOS	Se permitirá el acceso únicamente a los directivos de la empresa, la seguridad para el ingreso y la autenticación se lo realizará mediante WPA2. Permitirá el acceso a navegación sin restricciones, acceso a los servicios y aplicaciones de la empresa.
Pruebas	NGTSA_PRUEBAS	Se permitirá el acceso únicamente al personal de los departamentos de ingeniería, laboratorio y tecnologías. La seguridad para el ingreso se lo realizará mediante WPA2. Los recursos a los que tendrá acceso dependerán de las necesidades de los grupos que la utilizaran.
Invitados	NGTSA_INVITADOS	Se permitirá el acceso a cualquier usuario invitado, alumnos y personal de la empresa. La seguridad para el ingreso se lo realizará mediante WPA2. Este segmentó de red no tendrá acceso a los recursos, servicios y aplicaciones de la empresa, se permitirá el acceso a la navegación con ciertas restricciones (contenido adulto, armas, drogas, etc.) y consumo de ancho de banda estará limitado a 3 Mbps de un total de 30.
Capacitación	NGTSA_CAPACITACION	Se permitirá el acceso únicamente a alumnos e instructores del centro de capacitación. La seguridad para el ingreso se lo realizará mediante WPA2. Este segmentó de red no tendrá acceso a los recursos, servicios y aplicaciones de la empresa, el acceso a la navegación y ambientes de pruebas dependerá de las necesidades de los cursos impartidos (video streaming, páginas web, blogs, etc.), en el centro de capacitaciones.

2.2.8. Seguridades a implementarse

La seguridad para la red estará conformada tanto por las seguridades propias⁶¹ de las tecnologías inalámbricas y por las políticas a nivel de capa de acceso y perimetral definidas en los equipos de seguridad.

⁶¹ **Seguridades propias:** se refiere a las seguridades definidas en el estándar IEEE 802.11, por ejemplo: WEP, WAP, 802.1x, EAP.

Las medidas y políticas de seguridad están orientadas a proteger el canal inalámbrico y el acceso a los recursos de la red, de esta manera podremos garantizar la integridad, confidencialidad y disponibilidad de la información que se cursa por la red. Estas medidas también tendrán como objetivo proteger el acceso a la red corporativa de usuarios no autorizados, de esta manera se asegura la seguridad de la información de la empresa. Los mecanismos de seguridad en la red corporativa se lo realizara mediante protocolos WPA 2, PSK y ACL's⁶² (listas de control de acceso) tabla 2.19.

Tabla 2.19. Seguridades en las redes inalámbricas de NGT S.A

Identificador SSID	VLAN	Red	Oculto	Seguridad
NGTSA_CORPORATIVO	18	Corporativo	SI	WPA-2, PSK
NGTSA_DIRECTIVOS	19	Directivos	SI	WPA-2, PSK
NGTSA_PRUEBAS	20	Pruebas	NO	WPA-2, PSK
NGTSA_INVITADOS	21	Invitados	NO	WPA-2, PSK, ACL
NGTSA_CAPACITACION	22	Capacitación	NO	WPA-2, PSK, ACL

2.2.9. Plan de direccionamiento IP

El direccionamiento IP estará segmentado en subredes para cada identificador en secuencia del direccionamiento ya existente, como se describió en la fase de análisis técnico. A cada subred se le asignará un grupo de direcciones IP que asegurará el acceso según el análisis de la demanda de usuarios descrita en sección 2.2.3 *Dimensionamiento de usuarios*.

El direccionamiento asignado a cada red tabla 2.20, facilitará la administración, control e integración a los equipos de seguridad perimetral y networking, permitiendo el acceso a los recursos de la red empresarial e internet de acuerdo a los privilegios del personal.

Tabla 2.20. Plan de direccionamiento IP para cada Red

Identificador SSID	VLAN	Red	Subred	Máscara	Gateway
NGTSA_CORPORATIVO	18	Corporativo	10.10.16.0	255.255.254.0	10.10.16.1
NGTSA_DIRECTIVOS	19	Directivos	10.10.18.0	255.255.254.0	10.10.18.1
NGTSA_PRUEBAS	20	Pruebas	10.10.20.0	255.255.254.0	10.10.20.1

⁶² **ACL's:** (Access Control List) listas de control de acceso, es un concepto de seguridad informática usado para fomentar la separación de privilegios. Es una forma de determinar los permisos de acceso apropiados a un determinado objeto

NGTSA_INVITADOS	21	Invitados	10.10.22.0	255.255.254.0	10.10.22.1
NGTSA_CAPACITACION	22	Capacitación	10.10.24.0	255.255.254.0	10.10.24.1

Con el direccionamiento IP establecido se garantiza el acceso a la demanda de equipos actuales y futuros puesto que una red con una máscara de 23 bits proveerá de 506 direcciones IP para cada subred.

2.2.10. Dimensionamiento de la red inalámbrica

En base a los requerimientos técnicos que han sido identificados y determinados en las secciones anteriores, como: la demanda actual y futura de usuarios, la seguridad propia de la red inalámbrica, identificadores y plan de direccionamiento IP. En esta sección se determinará la cantidad de equipos de la red inalámbrica necesarios para que la misma cumpla con el objetivo de este proyecto, se establecerá la cantidad de: controladoras y puntos de acceso, en base a un análisis de cobertura en cada uno de los pisos mediante simulación con el software *TamoGrap*, que fue descrito en la fase de análisis técnico sección 2.1.7 *Software para análisis de redes inalámbricas*.

Cobertura de la red

La cobertura de la nueva red inalámbrica es un punto importante a ser cumplido, como se evidenció en la fase de análisis técnico de la red inalámbrica actual sección 2.1.8 *Análisis técnico de la red inalámbrica existente*. Inicialmente la cobertura de cada punto de acceso es deficiente, presentándose lugares en los cuales la señal es demasiado baja, ocasionando que los usuarios sufran problemas de movilidad y acceso a los recursos tecnológicos de la empresa.

Para el análisis de cobertura se debe tener en consideración la propagación de las ondas de radio en ambientes interiores como se describieron en la fase de análisis técnico sección 2.1.19 *Modelos de propagación de ondas electromagnéticas para ambientes interiores*. En la Tabla 2.21 se presenta la atenuación producida por estos diferentes materiales.

Tabla 2.21. Atenuaciones por obstáculos [60]

Material	Atenuación (dB)
Cuerpo Humano	3
Cubículos	3 a 5
Ventana de cristal claro	2

Pared de bloque o ladrillo.	2
Ventana de oficina	3
Divisiones tipo pared yeso	3
Divisiones de vidrio con marco metálico	6
Divisiones tipo pared madera	5
Pared de oficina	6
Piso mármol	5
Pared de concreto	10 a 15
Puerta de madera	3
Puerta de metal	6

Cálculo de la cantidad de puntos de acceso

Con los datos obtenidos de la proyección de usuarios y equipos al año 2022 se determinará la cantidad de puntos de acceso.

Se determinó que:

La cantidad de usuarios por día proyectados al año 2022 es de 476.

La cantidad de dispositivos por día proyectados al año 2022 es de 1428.

La cantidad de puntos de acceso se determinará con la siguiente ecuación:

$$AP = \frac{AB_{\text{requerido por usuario}} * \# \text{usuarios} * \% \text{utilización}}{\text{velocidad estimada}}$$

Ecuación 2.14. Cantidad de puntos de acceso requeridos [28] [61].

Dónde:

AB: Ancho de banda requerido por usuario (3.5 Mbps, valor estimado en la sección 2.2.5).

#usuarios: Número de usuarios (Considerando que cada usuario futuro disponga de tres dispositivos: tabletas, Smartphone, computadores personales. Nos valdremos de la cantidad de dispositivos por día proyectados al 2022 el cual es de 1428).

%utilización: factor de simultaneidad de uso de la red (50% valor calculado en el anexo I).

Velocidad estimada: (289 Mbps velocidad promedio para el estándar 802.11ac con un canal de 80 MHz y con tres flujos espaciales⁶³ [62] [63].)

$$\#AP = \frac{\text{ABrequerido por usuario} * \#\text{dispositivos} * \% \text{simultaneidad}}{\text{velocidad estimada}}$$

$$\#AP = \frac{3.5\text{Mbps} * 1428\text{dispositivos} * 50\%}{289\text{Mbps}}$$

$$\#AP = 8.64 = 9$$

De acuerdo a la Ecuación 2.14 la cantidad necesaria de puntos de acceso es de nueve en total considerando un canal de 80 MHz. Sin embargo la ecuación muestra un resultado de forma general, en la cual no considera que los usuarios se encuentren distribuidos en los cuatro pisos que ocupa la empresa NGT. S.A, además se debe tomar en cuenta que la cantidad de usuarios por piso fluctúa debido a las condiciones arquitectónicas del edificio. Con el objetivo de realizar un cálculo más preciso considerando que los usuarios se encuentran distribuidos en los cuatro pisos, a la cantidad proyectada de dispositivos por día que se conectarán a la red el cual es de 1428, la dividiremos para el número de pisos (cuatro), obteniendo de esta forma que la cantidad de dispositivos por cada piso, el cual es de (1428 dispositivos/4 pisos) =357.

Sin embargo la cantidad de usuarios en cada piso es diferente, para lo cual introduciremos un factor de ajuste el cual resultara de dividir la cantidad de usuarios por piso en la actualidad sobre la cantidad promedio de usuarios entre los cuatro pisos. Con la ayuda de este factor podremos calcular una cantidad proyecta de dispositivos por piso de forma más real.

Fa: Factor de ajuste de usuarios promedio.

$$\#Fa = \left(\frac{C_{ua}}{C_u} \right)$$

Ecuación 2.15. Factor de ajuste de usuarios por piso.

$$\text{Dispositivos proyectados por piso} = \left(\frac{C_{ua}}{C_u} \right) * \#Dp$$

Ecuación 2.16. Cantidad de dispositivos por piso.

⁶³ **Flujos espaciales:** Se define como flujo espacial en MIMO a los bits transmitidos sobre dimensiones espaciales separadas. Cuando se utilizan múltiples flujos espaciales se denomina multiplexación por división espacial.

C_u : Usuarios promedio por día entre los cuatro pisos.

C_{ua} : Cantidad por día de usuarios en cada piso en la actualidad.

#Dp: Cantidad promedio de dispositivos proyectados por piso para el año 2022.

En la Tabla 2.22 se muestra la cantidad de dispositivos por día proyectados al 2022, para una mejor descripción de cómo se obtuvieron los valores, en la segunda columna se muestran los usuarios por día que en promedio se encuentran en cada piso, en la parte ultima se presenta el promedio. En la tercera columna se muestra el factor de ajuste que resulta de dividir el número de usuarios en un piso sobre el promedio. En la cuarta columna se muestra la cantidad de dispositivos promedio por piso que resulta de la división de: el número de dispositivos proyectados al 2022 sobre el número de pisos $1428/4=357$. Y la última columna muestra la cantidad de dispositivos por día proyectados a 2022 ajustados con la cantidad de usuarios por piso.

Tabla 2.22. Cantidad por día de dispositivos por piso proyectados al año 2022

Piso	Cantidad actual de usuarios por día (Cua)	Factor de ajuste usuarios por piso (Cua/Cu)	Dispositivos promedio por día proyectados al año 2022 (Dp)	Dispositivos por día proyectados al año 2022 (Cua/Cu)*(Dp)
Segundo Piso	60	1,37	357	489,09
Tercer Piso	45	1,02	357	364,14
Cuarto Piso	40	0,91	357	324,87
Quinto Piso	30	0,68	357	242,76
Cantidad promedio de usuarios (Cu)	43.75			

Cantidad de dispositivos por piso

La cantidad de dispositivos por piso se determinara de la siguiente manera:

Segundo Piso

$$\# \text{Dispositivos proyectados por piso} = \left(\frac{C_{ua}}{C_u} \right) * \#Dp$$

$$\# \text{Dispositivos proyectados segundo piso} = \left(\frac{60}{43.75} \right) * 357$$

$$\# \text{Dispositivos proyectados segundo piso} = 489,09$$

Cantidad de puntos de acceso en el segundo piso:

$$\#AP = \frac{AB * \#dispositivos \text{ por piso} * \%utilización}{\text{velocidad estimada}}$$

$$\#AP = \frac{3.5Mbps * 489,09dispositivos * 50\%}{289Mbps}$$

$$\#AP = 2.96 = 3$$

Tercer Piso

$$\#Dispositivos \text{ proyectados por piso} = \left(\frac{C_{ua}}{C_u} \right) * \#Dp$$

$$\#Dispositivos \text{ proyectados tercer piso} = \left(\frac{45}{43.75} \right) * 357$$

$$\#Dispositivos \text{ proyectados tercer piso} = 364.14$$

Cantidad de puntos de acceso en el tercer piso:

$$\#AP = \frac{AB * \#dispositivos \text{ por piso} * \%utilización}{\text{velocidad estimada}}$$

$$\#AP = \frac{3.5Mbps * 364.14dispositivos * 50\%}{289Mbps}$$

$$\#AP = 2.20 = 3$$

Cuarto Piso

$$\#Dispositivos \text{ proyectados por piso} = \left(\frac{C_{ua}}{C_u} \right) * \#Dp$$

$$\#Dispositivos \text{ proyectados cuarto piso} = \left(\frac{40}{43.75} \right) * 357$$

$$\#Dispositivos \text{ proyectados cuarto piso} = 324.87$$

Cantidad de puntos de acceso en el cuarto piso:

$$\#AP = \frac{AB * \#dispositivos * \%utilización}{\text{velocidad estimada}}$$

$$\#AP = \frac{3.5Mbps * 324.87dispositivos * 50\%}{289Mbps}$$

$$\#AP = 1.96 = 2$$

Quinto Piso

$$\#Dispositivos \text{ proyectados por piso} = \left(\frac{C_{ua}}{C_u} \right) * \#Dp$$

$$\#Dispositivos \text{ proyectados quinto piso} = \left(\frac{30}{43.75} \right) * 357$$

$$\#Dispositivos \text{ proyectados quinto piso} = 242.76$$

Cantidad de puntos de acceso en el quinto piso:

$$\#AP = \frac{AB * \#dispositivos * \%utilización}{velocidad \text{ estimada}}$$

$$\#AP = \frac{3.5Mbps * 242.76 \text{ dispositivos} * 50\%}{289Mbps}$$

$$\#AP = 1.47 = 2$$

Se observa que la cantidad de puntos de acceso totales es nueve, sin embargo al realizar el cálculo de AP's por piso se llega a un total de diez, por lo tanto se tomara este valor para la realización de la simulación.

A continuación en la tabla 2.23 se muestra la cantidad de puntos de acceso necesarios.

Tabla 2.23. Cantidad de equipos necesarios

Edificio	Número de AP's	Controladoras inalámbricas
Piso 2	3	1
Piso 3	3	
Piso 4	2	
Piso 5	2	
Total	10	

Potencia de transmisión

Para determinar la potencia de transmisión de cada punto de acceso consideraremos los efectos de la propagación de las señales de radio “ondas electromagnéticas” en

ambientes indoor, para eso usaremos uno de los modelos descrito en la fase de análisis técnico sección 2.1.9 *Modelos de propagación de ondas electromagnéticas para ambientes interiores*.

Para el análisis utilizaremos el modelo Linear Path Attenuation Model, el cual considera un transmisor y un receptor que se encuentran en la misma planta. La pérdida en dB se obtiene del path loss en espacio libre (P_{LFS}) más un factor que es lineal al rango que experimentalmente se ha obtenido [46].

En la tabla 2.24 se realiza el cálculo correspondiente a las pérdidas por propagación en el espacio libre conforme a la ecuación 3.5, se incluyen las dos frecuencias de operación de la red inalámbrica y se estima una separación de 5 metros entre el punto de acceso y el dispositivo móvil (computador personal, Smartphone, tableta). Las pérdidas por propagación en el espacio libre para la frecuencia de 2.4 GHz es de 54.03 dB y para la frecuencia de 5 GHz es de 60.4 dB.

$$P_{LFS}(d) = 32.45 + 20 \log(d(\text{km})) + 20\log(f(\text{Mhz}))$$

Ecuación 2.17. Pérdidas por propagación en el espacio libre [46]

(32.45): Constante de pérdidas.

(d): distancia entre receptor y transmisor (5 metros⁶⁴ = 0.005 km).

(f): frecuencia de operación (2.4 GHz=2400 MHz y 5 GHz=5000 MHz).

Tabla 2.24. Pérdidas por propagación en el espacio libre

Frecuencia	Constante de pérdidas [dB]	$20\log[d(\text{Km})]$ [dB]	$20\log[f(\text{MHz})]$ [dB]	Pérdidas por propagación en el espacio libre $P_{Lfs}=32,45+20\log(d)+20\log(f)$ [dB]
2400 MHz	32,45	-46,02	67,6	54,03
5000 MHz	32,45	-46,02	73,97	60,4

⁶⁴ **Distancia:** Se consideró que la distancia de separación entre el punto de acceso y el dispositivo móvil es de 5m, en vista que el usuario puede moverse libremente sin presencia de obstáculos en un radio de esta medida.

En la tabla 2.25 se realiza el cálculo correspondiente a las pérdidas por propagación correspondiente al modelo Linear Path Attenuation conforme a la ecuación 2.18, se incluyen las dos frecuencias de operación de la red inalámbrica y se estima una separación de 5 metros entre el punto de acceso y el dispositivo móvil (computador personal, Smartphone o tableta). Las pérdidas por propagación para la frecuencia de 2.4 GHz es de 57.74 dB y para la frecuencia de 5 GHz es de 64.11 dB.

$$P_L(d) = P_{LFS} + a * d$$

$$P_L(d) = P_{LFS}(dB) + 10 \log(a) + 10 \log(d(m)).$$

Ecuación 2.18. Pérdidas de trayecto modelo Linear Path Attenuation

P_{LFS} : Pérdidas por propagación en el espacio libre (valor calculado en la tabla 2.24).

(a): coeficiente de atenuación lineal (a=0.47dB/m en ambientes de oficina [46]).

(d): distancia entre receptor y transmisor (5 metros).

(f): frecuencia de operación 2.4 GHz y 5 GHz.

Tabla 2.25. Pérdidas modelo Linear Path Attenuation

Frecuencia	$10\log[d(m)]$ [dB]	$10\log(a)$ [dB]	P_{LFS} [dB]	Pérdidas modelo Linear Path Attenuation $PL=P_{Lfs}+10\log(a)+10\log(d)$ [dB]
2.4 GHz	6,99	-3,28	54,03	57,74
5 GHz	6,99	-3,28	60,4	64,11

En la tabla 2.26 se realiza el cálculo correspondiente a la potencia de transmisión conforme a la ecuación 2.19, se incluyen las ganancias de las antenas del receptor y transmisor considerando antenas omnidireccionales doble banda de 3dBi de acuerdo a las especificaciones de los equipos *Ubiquiti* y *Grandstream*. La potencia de transmisión para la frecuencia de 2.4 GHz es de -22,66 dBm y para la frecuencia de 5 GHz es de -15,89 dBm.

$$P_{RX}(dBm) = P_{TX}(dBm) + G_{RX}(dBi) + G_{TX}(dBi) - P_L(dB)$$

Ecuación 2.19. Cálculo del balance de potencias del enlace

$$P_{TX}(\text{dBm}) = P_{RX}(\text{dBm}) - G_{RX}(\text{dBi}) - G_{TX}(\text{dBi}) + P_L(\text{dB})$$

Ecuación 2.20. Cálculo potencia de transmisión

P_{RX} : Potencia recibida en el receptor (debe ser igual -74 dBm sensibilidad del receptor recomendado para redes WiFi [63]).

P_{TX} : Potencia del Transmisor.

G_{TX} : Ganancia de la antena en transmisión (Omnidireccional banda dual de 3 dBi, de acuerdo a las especificaciones de los AP's [64] [67]).

G_{RX} : Ganancia de la antena en recepción (Omnidireccional banda dual de 3 dBi, de acuerdo a las especificaciones de los AP's [64] [67]).

P_L : Pérdidas modelo Linear Path Attenuation (dB).

Tabla 2.26. Potencia del transmisor

Potencia de transmisión					
Frecuencia	P_{RX} (dBm)	G_{TX} (dBi)	G_{RX} (dBi)	P_L (dB)	P_{TX}(dBm)
2.4 GHz	-74	-3	-3	57,74	-22,26
5 GHz	-74	-3	-3	64,11	-15,89

Plan de reuso de frecuencias

Conforme se han obtenido la cantidad de puntos de acceso necesarios para cada piso, la realización del plan de uso de frecuencias nos permitirá utilizar los recursos de canal, de tal forma que no se produzcan interferencias de frecuencia co-canal entre los puntos de acceso presentes en la misma planta.

Para efectos del diseño y pretendiendo obtener el máximo rendimiento de la red en la simulación se ha considerado que la red inalámbrica trabajara en las frecuencias de 2,4 GHz bajo el estándar IEEE 802.11n con un ancho de banda de 40 MHz, el cual define una velocidad teórica de 450 Mbps y esperada de 180 a 280 Mbps [22] y 5 GHz bajo el estándar 802.11ac con un ancho de banda de 80 MHz, el cual define una velocidad

teórica de 1,3 Gbps y esperada de 750 Mbps [26]. A continuación presentaremos el plan de frecuencias.

Tabla 2.27. Plan de reuso de frecuencias

Segunda Planta		Punto de acceso 1	Punto de acceso 2	Punto de acceso 3
Estándar	Frecuencia	Canales	Canales	Canales
802.11n (40Mhz)	2.4 GHz	Ch1+Ch5	Ch2+Ch6	Ch3+Ch7
802.11ac (80Mhz)	5 GHz	Ch36+Ch48	Ch52+Ch64	Ch100+Ch112
Tercera Planta		Punto de acceso 1	Punto de acceso 2	Punto de acceso 3
Estándar	Frecuencia	Canales	Canales	Canales
802.11n (40Mhz)	2.4 GHz	Ch4+Ch8	Ch5+Ch9	Ch6+Ch10
802.11ac (80Mhz)	5 GHz	Ch116+Ch128	Ch132+Ch144	Ch146+Ch161
Cuarta Planta		Punto de acceso 1	Punto de acceso 2	Punto de acceso 3
Estándar	Frecuencia	Canales	Canales	Canales
802.11n (40Mhz)	2.4 GHz	Ch7+Ch11	Ch8+Ch12	Ch9+Ch13
802.11ac (80Mhz)	5 GHz	Ch36+Ch48	Ch52+Ch64	Ch100+Ch112
Quinta Planta		Punto de acceso 1	Punto de acceso 2	Punto de acceso 3
Estándar	Frecuencia	Canales	Canales	Canales
802.11n (40Mhz)	2.4 GHz	Ch1+Ch5	Ch2+Ch6	Ch3+Ch7
802.11ac (80Mhz)	5 GHz	Ch116+Ch128	Ch132+Ch144	Ch146+Ch161

En la tabla 2.27 se muestran los canales de frecuencia para cada punto de acceso, en la banda de 2.4 GHz con canales de 40MHz de acuerdo al estándar 802.11n y para la banda de 5GHz con canales de 80MHz de acuerdo al estándar 802.11ac, de esta forma aseguramos en el simulador que la interferencia entre los puntos de acceso sea mínima.

Cabe mencionar que los puntos de acceso reales incorporan la característica que les permite configurar de forma automática el canal de frecuencia con el objetivo de evitar interferencias con redes cercanas, de esta manera el trabajo de realizar un plan de frecuencias en ocasiones puede ser desestimado por los diseñadores.

2.2.11. Parámetros para la simulación de la red inalámbrica

La simulación permitirá comprobar si la cantidad de puntos de accesos necesarios para proveer de una óptima cobertura a cada uno de los pisos. Para la simulación se utilizará el software *TamoGraph*, el cual permite simular parámetros de redes inalámbrica, uno de ellos es la cobertura de un punto de acceso que incluye los efectos de atenuación de los materiales presentes en edificaciones.

En base a los planos arquitectónicos del edificio se determinará la ubicación y cantidad de puntos de acceso necesarios. De los resultados de la simulación se presentarán los valores de cobertura, tasa de transmisión esperada y relación señal a ruido. Los parámetros para la simulación serán los siguientes:

- Preajuste de banda dual⁶⁵ 802.11 (2.4 GHz 802.11n y 5 GHz 802.11ac).
- Potencia promedio de transmisión para 2.4 GHz - 22 dBm igual a 6 uW.
- Potencia promedio de transmisión para 5 GHz -15 dBm igual a 31,6 uW.
- Canal de 40 MHz (IEEE 802.11n) para 2.4 GHz.
- Canal de 80 MHz (IEEE 802.11ac) para 5 GHz.
- 3 flujos espaciales para el estándar 802.11n (recomendado) [22].
- 3 flujos espaciales para el estándar 802.11ac (recomendado) [26].
- Asignación de canales de acuerdo al plan de reuso de frecuencias.
- Altura de ubicación de los AP's igual a 3 metros.
- Paredes de ladrillo 10 cm.
- Paredes de concreto de 18 cm.
- Ventana exterior de 1.3 cm.
- Divisiones interiores de cristal 1cm.

Equipamiento necesario

De acuerdo a la simulación del diseño descrito en la sección 3.1 *Simulación cobertura de la red inalámbrica*, la red inalámbrica para proveer de la cobertura necesaria a todos los pisos y de una tasa de transmisión acorde al estándar IEEE 802.11ac, requerirá de la siguiente cantidad de equipos distribuidos de la siguiente manera:

⁶⁵ **Preajuste de banda dual:** característica del software TamoGraph que permite la simulación en dos bandas de frecuencias diferentes al mismo tiempo.

Tabla 2.28. Cantidad de equipos necesarios

Edificio	Número de AP's	Controladoras inalámbricas
Piso 2	3	1
Piso 3	3	
Piso 4	3	
Piso 5	3	
Total	12	1

De acuerdo a la simulación, para la cantidad de equipos se recomendara los puntos de acceso mostrados en la tabla 2.28.

2.2.12. Características técnicas necesarias de los equipos

Los equipos que formarán parte de la nueva red inalámbrica deberán cumplir las características que se describirán en esta sección y de esta forma asegurar que la nueva solución a implementarse en un futuro satisfaga las necesidades de cobertura, movilidad, velocidad de transmisión y acceso a los recursos tecnológicos de la empresa.

Características de los puntos de acceso

Las características mínimas que deben cumplir los puntos de acceso se describen en la Tabla 2.29.

Tabla 2.29. Características técnicas para los puntos de acceso

Puntos de acceso	
Característica	Requerimiento
Estándar	802.11 a/b/g/n/ac
Frecuencia de operación	Soportar las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz
Interfaces	RJ 45 Fastethernet o superior
Antenas	Antenas internas (omnidireccionales) o externas (directivas) para 2.4 GHz y 5 GHz con ganancias superiores a 2 dbi
SSID's	Soportar múltiples mínimo cinco
VLAN's	Soportar múltiples mínimo cinco

Cantidad de dispositivos simultáneos	Soportar un mínimo 120 usuarios al año 2018
Alimentación eléctrica	Soportar alimentación directa y IEEE 802.3af PoE
Seguridad	Soportar WEP, WPA, WPA2, AES, 802.1x, MD5, TKIP, EAP.
Potencia de Transmisión (mínima)	-22dBm

Características controladoras inalámbricas

Las características mínimas que debe cumplir la controladora inalámbrica se describen en la Tabla 2.30.

Tabla 2.30. Características técnicas para la controladora inalámbrica

Controladoras inalámbricas	
Característica	Requerimiento
Estándar	802.11 a/b/g/n/ac
Escalabilidad	Soportar un mínimo de 8 puntos de acceso y 400 usuarios conectados simultáneamente al año 2018
Administración de VLAN's	Mínimo cinco.
Calidad de Servicio	802.11e/ Wi-Fi Multimedia (WMM)
Interfaces	Soportar mínimo Fastethernet para la conexión al switch de núcleo
VLAN's	Soportar múltiples mínimo cinco
Administración	Web mediante HTTP, SSH, CLI o Telnet.
Alimentación eléctrica	Soportar alimentación externa
Seguridad	Soportar WEP, WPA, WPA2, AES, 802.1x, MD5, TKIP, EAP.
Autenticación	IEEE 802.1X/RADIUS
Movilidad	Soportar Roaming

2.2.13. Administración de la red inalámbrica

En correspondencia a la organización de la red de networking, servidores, telefonía y usuarios que se tiene implementada. La nueva de red de administración independiente de las redes inalámbricas, se definirá de la siguiente forma y reusará el direccionamiento de la red inalámbrica actual.

Administración de los puntos de acceso

En la Tabla 2.31 se detalla el direccionamiento e identificación de cada punto de acceso.

Tabla 2.31. Administración de puntos de acceso

Nombre	Dirección IP	Switch de acceso	Grupo	Ubicación
AP_PISO2_1	10.10.12.21	SW_PISO2	Capacitación	Recepción
AP_PISO2_2	10.10.12.22	SW_PISO2	Capacitación	Contabilidad
AP_PISO2_3	10.10.12.23	SW_PISO2	Capacitación	Capacitación
AP_PISO3_1	10.10.12.31	SW_PISO3	Tecnologías	Ingeniería
AP_PISO3_2	10.10.12.32	SW_PISO3	Tecnologías	Preventa
AP_PISO3_3	10.10.12.33	SW_PISO3	Tecnologías	Sala de reuniones
AP_PISO4_1	10.10.12.41	SW_PISO4	Comercial	Recepción
AP_PISO4_2	10.10.12.42	SW_PISO4	Comercial	Soporte técnico
AP_PISO4_3	10.10.12.43	SW_PISO4	Comercial	Posventa
AP_PISO5_1	10.10.12.51	SW_PISO5	Gerencia	Secretaria
AP_PISO5_2	10.10.12.52	SW_PISO5	Gerencia	Gerencia
AP_PISO5_3	10.10.12.53	SW_PISO5	Gerencia	Sala de reuniones

Administración de la controladora inalámbrica

En la Tabla 2.32 se detalla el direccionamiento e identificación de la controladora inalámbrica.

Tabla 2.32. Administración de controladora inalámbrica

Controladora inalámbrica				
Nombre	Dirección IP	Switch de núcleo	Grupo	Ubicación
WLC	10.10.12.20	SW_CORE	Networking	Centro de datos
SSID	ID VLAN	IP Interfaz	Subred	Identificador

NGTSA_CORPORATIVO	18	10.10.16.2	10.10.16.0/23	Corporativo
NGTSA_DIRECTIVOS	19	10.10.18.2	10.10.18.0/23	Directivos
NGTSA_PRUEBAS	20	10.10.20.2	10.10.20.0/23	Pruebas
NGTSA_INVITADOS	21	10.10.22.2	10.10.22.0/23	Invitados
NGTSA_CAPACITACION	22	10.10.24.2	10.10.24.0/23	Capacitación

Diagrama de la nueva red inalámbrica

En la Figura 2.30 se presenta el diagrama lógico de la nueva red inalámbrica de acuerdo a los requerimientos establecidos en esta fase de diseño.

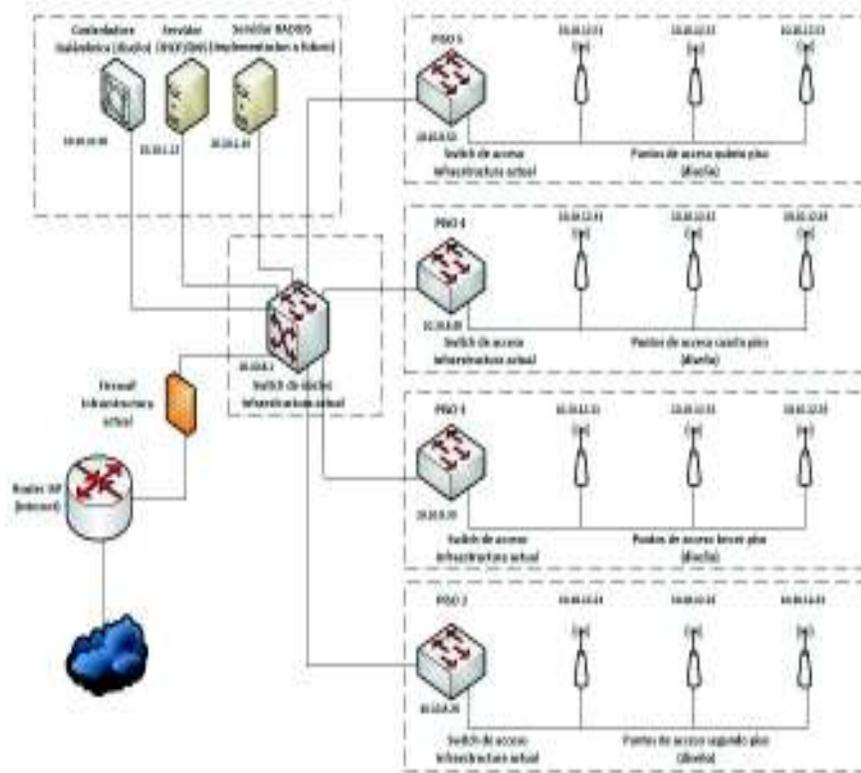


Figura 2.30. Diagrama de los equipos que constituyen la red inalámbrica

2.2.14. Procedimiento para la integración a la infraestructura tecnológica actual

La nueva red inalámbrica debe acoplarse a toda la infraestructura tecnológica actual, la misma que fue descrita en la fase de análisis técnico sección 2.1.2 *Infraestructura tecnológica de la red actual*. Para cumplir con este requerimiento se deberá preparar los equipos de la red de acceso, la red de núcleo, la red de seguridad perimetral y el servidor DHCP. A continuación se describe el procedimiento para la integración lógica de la nueva solución a implementarse en un futuro, independientemente de la marca de equipos.

El proceso consiste en:

- Configuraciones de los equipos de capa de Core,
- Configuraciones de los equipos de capa de acceso,
- Configuraciones de los equipos de seguridad perimetral,
- Configuraciones del servidor de DHCP.

Configuraciones de los equipos de la capa de core

La capa de Core está compuesta por un swich de capa 3, como fue descrito en la fase de análisis técnico sección 2.1.2 *Infraestructura tecnológica de la red actual*.

En este equipo se configurarán las interfaces para cada una de las VLAN's, se crearán las VLAN's para cada una de las subredes inalámbricas y se configuraran los puertos.

Creación de VLAN's

Las instrucciones mostradas a continuación corresponden a los códigos por línea de comandos CLI para los equipos Cisco, los cuales permiten la creación de las VLAN's de las redes inalámbricas especificadas en el diseño sección 2.2.9. *Plan de direccionamiento IP*. Se observa que la primera VLAN creada es la número 18 la cual corresponde a la red inalámbrica corporativa.

```
SW_CORE1(config)#vlan 18
SW_CORE1(config-vlan)#name WIFI_CORPORATIVO
SW_CORE1(config-vlan)#exit
SW_CORE1(config)#vlan 19
SW_CORE1(config-vlan)#name WIFI_DIRECTIVOS
SW_CORE1(config-vlan)#exit
SW_CORE1(config)#vlan 20
SW_CORE1(config-vlan)#name WIFI_PRUEBAS
SW_CORE1(config-vlan)#exit
SW_CORE1(config)#vlan 21
SW_CORE1(config-vlan)#name WIFI_INVITADOS
SW_CORE1(config-vlan)#exit
```

```
SW_CORE1(config)#vlan 22
SW_CORE1(config-vlan)#name WIFI_CAPACITACION
```

Con la siguiente instrucción se muestran las VLAN's creadas la cuales corresponden a las redes inalámbricas especificadas en el diseño, así también se observan las redes ya existentes y que corresponden a las redes de la infraestructura actual.

```
SW_CORE1#show vlan
```

```
VLAN Name Status Ports
```

```
-----
1 default active Gig1/0/6, Gig1/0/7, Gig1/0/8, Gig1/0/9
Gig1/0/10, Gig1/0/11, Gig1/0/12, Gig1/0/13
Gig1/0/14, Gig1/0/15, Gig1/0/16, Gig1/0/17
Gig1/0/18, Gig1/0/19, Gig1/0/20, Gig1/0/21
Gig1/0/22, Gig1/0/23, Gig1/0/24, Gig1/1/1
Gig1/1/2, Gig1/1/3, Gig1/1/4
9 SEGURIDAD_PERIMETRAL active
10 SERVIDORES_FISICOS active
11 SERVIDORES_VIRTUALES active
12 USUARIOS active
13 TELEFONIA active
14 ACCESOS active
15 NETWORKING active
16 PRUEBAS active
17 WIRELESS active
18 WIFI_CORPORATIVO active
19 WIFI_DIRECTIVOS active
20 WIFI_PRUEBAS active
21 WIFI_INVITADOS active
```

Configuración de interfaces VLAN's

Las instrucciones mostradas a continuación corresponden a los códigos por línea de comandos CLI para los equipos Cisco, los cuales permiten la creación de las interfaces VLAN's de las redes inalámbricas especificadas en el diseño sección 2.2.9. *Plan de direccionamiento IP*. Se observa que la primera interfaz VLAN creada es la número 18 la cual corresponde a la red inalámbrica corporativa.

```
SW_CORE1(config)#interface vlan 18
SW_CORE1(config-if)#ip address 10.10.16.1 255.255.254.0
SW_CORE1(config)#interface vlan 19
SW_CORE1(config-if)#ip address 10.10.18.1 255.255.254.0
SW_CORE1(config)#interface vlan 20
SW_CORE1(config-if)#ip address 10.10.20.1 255.255.254.0
SW_CORE1(config)#interface vlan 21
SW_CORE1(config-if)#ip address 10.10.22.1 255.255.254.0
SW_CORE1(config)#interface vlan 22
SW_CORE1(config-if)#ip address 10.10.24.1 255.255.254.0
```

Con la siguiente instrucción se muestran las interfaces VLAN's creadas la cuales corresponden a las redes inalámbricas especificadas en el diseño. Las interfaces VLAN permiten asignar la red a cada VLAN así también la dirección IP del Gateway y la máscara.

```
Show ip interface-brief
interface Vlan18
mac-address 00d0.ffa7.1d05
ip address 10.10.16.1 255.255.254.0
interface Vlan19
mac-address 00d0.ffa7.1d06
ip address 10.10.18.1 255.255.254.0
interface Vlan20
mac-address 00d0.ffa7.1d07
ip address 10.10.20.1 255.255.254.0
interface Vlan21
mac-address 00d0.ffa7.1d0d
ip address 10.10.22.1 255.255.254.0
interface Vlan22
mac-address 00d0.ffa7.1d0e
ip address 10.10.24.1 255.255.254.0
```

Configuraciones en los equipos de la capa de acceso

La capa de acceso está compuesta por un switch de capa 2 como fue descrito en la fase de análisis técnico sección 2.1.2 *Infraestructura tecnológica de la red actual*.

En este equipo se configuraran las interfaces para la conexión de cada una de los puntos de acceso.

Configuraciones switch quinto piso

Las instrucciones mostradas a continuación corresponden a los códigos por línea de comandos CLI para los equipos Cisco, los cuales permiten la configuración de los puertos 46, 45 y 44 para la conexión de los puntos de acceso en cada piso. Cada puerto se configura en modo *trunk* que permitirá la propagación de la información de todas las VLAN's hacia el AP, se muestra las líneas de comando correspondientes al switch del quinto piso.

```
SW_PISO5(config)#interface fastEthernet 0/46
SW_PISO5(config-if)#switchport mode trunk
SW_PISO5(config-if)#no shutdown
SW_PISO5(config-if)#exit
SW_PISO5(config)#interface fastEthernet 0/45
SW_PISO5(config-if)#switchport mode trunk
SW_PISO5(config-if)#no shutdown
SW_PISO5(config-if)#exit
```

```
SW_PISO5(config)#interface fastEthernet 0/44
SW_PISO5(config-if)#switchport mode trunk
SW_PISO5(config-if)#no shutdown
SW_PISO5(config-if)#exit
```

Configuraciones switch cuarto piso

Las instrucciones mostradas a continuación corresponden a los códigos por línea de comandos CLI para los equipos Cisco, los cuales permiten la configuración de los puertos 46, 45 y 44 para la conexión de los puntos de acceso en cada piso. Cada puerto se configura en modo *trunk* que permitirá la propagación de la información de todas las VLAN's hacia el AP, se muestra las líneas de comando correspondientes al switch del cuarto piso.

```
SW_PISO4(config)#interface fastEthernet 0/46
SW_PISO4(config-if)#switchport mode trunk
SW_PISO4(config-if)#no shutdown
SW_PISO4(config-if)#exit
SW_PISO4(config)#interface fastEthernet 0/45
SW_PISO4(config-if)#switchport mode trunk
SW_PISO4(config-if)#no shutdown
SW_PISO4(config-if)#exit
SW_PISO4(config)#interface fastEthernet 0/44
SW_PISO4(config-if)#switchport mode trunk
SW_PISO4(config-if)#no shutdown
SW_PISO4(config-if)#exit
```

Configuraciones switch tercer piso

Las instrucciones mostradas a continuación corresponden a los códigos por línea de comandos CLI para los equipos Cisco, los cuales permiten la configuración de los puertos 46, 45 y 44 para la conexión de los puntos de acceso en cada piso. Cada puerto se configura en modo *trunk* que permitirá la propagación de la información de todas las VLAN's hacia el AP, se muestra las líneas de comando correspondientes al switch del tercer piso.

```
SW_PISO3(config)#interface fastEthernet 0/46
SW_PISO3(config-if)#switchport mode trunk
SW_PISO3(config-if)#no shutdown
SW_PISO3(config-if)#exit
SW_PISO3(config)#interface fastEthernet 0/45
SW_PISO3(config-if)#switchport mode trunk
SW_PISO3(config-if)#no shutdown
SW_PISO3(config-if)#exit
SW_PISO3(config)#interface fastEthernet 0/44
SW_PISO3(config-if)#switchport mode trunk
SW_PISO4(config-if)#no shutdown
```

Configuraciones switch segundo piso

Las instrucciones mostradas a continuación corresponden a los códigos por línea de comandos CLI para los equipos Cisco, los cuales permiten la configuración de los puertos 46, 45 y 44 para la conexión de los puntos de acceso en cada piso. Cada puerto se configura en modo *trunk* que permitirá la propagación de la información de todas las VLAN's hacia el AP, se muestra las líneas de comando correspondientes al switch del segundo piso.

```
SW_PISO2(config)#interface fastEthernet 0/46
SW_PISO2(config-if)#switchport mode trunk
SW_PISO2(config-if)#no shutdown
SW_PISO2(config-if)#exit
SW_PISO2(config)#interface fastEthernet 0/45
SW_PISO2(config-if)#switchport mode trunk
SW_PISO2(config-if)#no shutdown
SW_PISO2(config-if)#exit
SW_PISO2(config)#interface fastEthernet 0/44
SW_PISO2(config-if)#switchport mode trunk
SW_PISO2(config-if)#no shutdown
SW_PISO2(config-if)#exit
```

Configuraciones en los equipos de seguridad perimetral

La red de seguridad perimetral está compuesta por un firewall como fue descrito en la fase de análisis técnico sección 2.1.2 *Infraestructura tecnológica de la red actual*.

En este equipo se configuraran las políticas de control de acceso a los recursos de la red de acuerdo a los privilegios de las subredes inalámbricas de invitados y capacitación.

ACL's red de invitados

Las instrucciones mostradas a continuación corresponden a los códigos por línea de comandos CLI para los equipos Cisco, los cuales permiten la configuración de las listas de control de acceso en la red inalámbrica de invitados. Las dos primeras instrucciones le permiten acceder a la red de seguridad, mientras las siguientes instrucciones impiden el acceso a las redes de: servidores, de usuarios, telefonía, vigilancia, pruebas y a las redes inalámbricas, asegurando los recursos e integridad de la información de la empresa.

```
permit udp any host 192.168.40.1 eq domain
permit tcp any host 192.168.40.1 eq domain
deny ip any 10.10.0.0 0.255.255.255 (Red de Servidores Virtuales)
deny ip any 10.10.1.0 0.255.255.255 (Red de Servidores Físicos)
deny ip any 10.10.2.0 0.1.255.255 (Red de Usuarios)
deny ip any 10.10.4.0 0.1.255.255 (Red de Telefonía)
deny ip any 10.10.6.0 0.1.255.255 (Red de Vigilancia)
```

```
deny ip any 10.10.8.0 0.255.255.255 (Red de Telefonía)
deny ip any 10.10.10.0 0.1.255.255 (Red de Pruebas)
deny ip any 10.10.12.0 0.1.255.255 (Red Inalámbrica)
deny ip any 10.10.16.0 0.1.255.255 (Red Inalámbrica Corporativa)
deny ip any 10.10.18.0 0.1.255.255 (Red Inalámbrica Directivos)
deny ip any 10.10.20.0 0.1.255.255 (Red Inalámbrica Pruebas)
deny ip any 10.10.24.0 0.1.255.255 (Red Inalámbrica Capacitación)
deny ip any
permit ip any any
```

ACL's red de capacitación

Las instrucciones mostradas a continuación corresponden a los códigos por línea de comandos CLI para los equipos Cisco, los cuales permiten la configuración de las listas de control de acceso en la red inalámbrica de capacitación. Las dos primeras instrucciones le permiten acceder a la red de seguridad, mientras las siguientes instrucciones impiden el acceso a las redes de: servidores, de usuarios, telefonía, vigilancia, pruebas y a las redes inalámbricas, asegurando los recursos e integridad de la información de la empresa.

```
permit udp any host 192.168.40.1 eq domain
permit tcp any host 192.168.40.1 eq domain
permit udp any host 10.10.10.0 eq domain
permit tcp any host 10.10.10.0 eq domain
deny ip any 10.10.0.0 0.255.255.255 (Red de Servidores Virtuales)
deny ip any 10.10.1.0 0.255.255.255 (Red de Servidores Físicos)
deny ip any 10.10.2.0 0.1.255.255 (Red de Usuarios)
deny ip any 10.10.4.0 0.1.255.255 (Red de Telefonía)
deny ip any 10.10.6.0 0.1.255.255 (Red de Vigilancia)
deny ip any 10.10.8.0 0.255.255.255 (Red de Telefonía)
deny ip any 10.10.12.0 0.1.255.255 (Red Inalámbrica)
deny ip any 10.10.16.0 0.1.255.255 (Red Inalámbrica Corporativa)
deny ip any 10.10.18.0 0.1.255.255 (Red Inalámbrica Directivos)
deny ip any 10.10.20.0 0.1.255.255 (Red Inalámbrica Pruebas)
deny ip any 10.10.22.0 0.1.255.255 (Red Inalámbrica Invitados)
deny ip any
permit ip any any
```

Configuraciones en el servidor DHCP

El servicio de DHCP está implementado en un servidor con sistema operativo Windows server 2008 como fue descrito en la fase de análisis técnico sección *2.1.2 Infraestructura tecnológica de la red actual*.

En este servidor se configurarán los segmentos de red para cada una de las subredes inalámbricas.

Tabla 2.33. Parámetros de configuración del servidor DHCP

Ámbito	IP inicial	IP final	Máscara	Puerta de enlace	Dominio primario
WIFI_CORPORATIVO	10.10.16.21	10.10.17.254	255.255.254.0	10.10.16.1	ngtsa.local
WIFI_DIRECTIVOS	10.10.18.21	10.10.19.254	255.255.254.0	10.10.18.1	ngtsa.local
WIFI_PRUEBAS	10.10.20.21	10.10.21.254	255.255.254.0	10.10.20.1	ngtsa.local
WIFI_INVITADOS	10.10.22.21	10.10.23.254	255.255.254.0	10.10.22.1	ngtsa.local
WIFI_CAPACITACION	10.10.24.21	10.10.25.254	255.255.254.0	10.10.24.1	ngtsa.local

En la Figura 2.31 se muestran las redes configuradas en el servidor DHCP, se pueden apreciar las redes: corporativa, directivos, pruebas, invitados y capacitación. Se debe considerar para que cada red pueda brindar salida hacia internet la configuración de la dirección IP de los servidores DNS tanto el local como el del proveedor ISP.

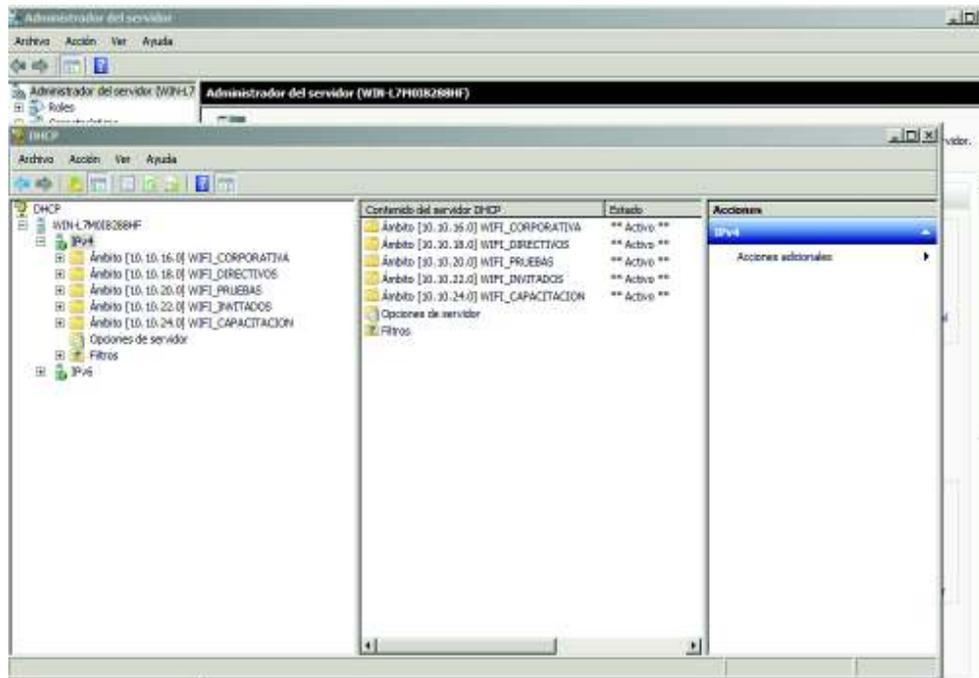


Figura 2.31. Redes configuradas en el servidor DHCP

Simulación de la red integrada

De acuerdo al procedimiento descrito anteriormente para la integración de la nueva red inalámbrica a la infraestructura actual, se realiza la simulación de la red en el software

Cisco Packet Tracer con la finalidad de comprobar la integración y su funcionamiento. Para la simulación se ha recreado en parte la red actual, se configuran las VLAN's de la nueva red inalámbrica en la infraestructura actual, se disponen dos servidores uno en la red de servidores físico y otro en la red de servidores virtuales, se implementa el servicio DHCP y se configura una red inalámbrica con el uso de una controladora con sus respectivos puntos de acceso.

La Figura 2.32 muestra la red de la empresa NGT S.A, en la cual se observa el equipo de la capa de Core, los equipos de la capa de acceso, servidores, controladora inalámbrica y puntos de acceso. La red inalámbrica se ha remarcado en color rojo, en la parte izquierda se encuentran los puntos de acceso de los pisos 2 y 3, en la parte derecha se encuentran los puntos de acceso de los pisos 4 y 5, y en la parte central se encuentra la controladora inalámbrica.

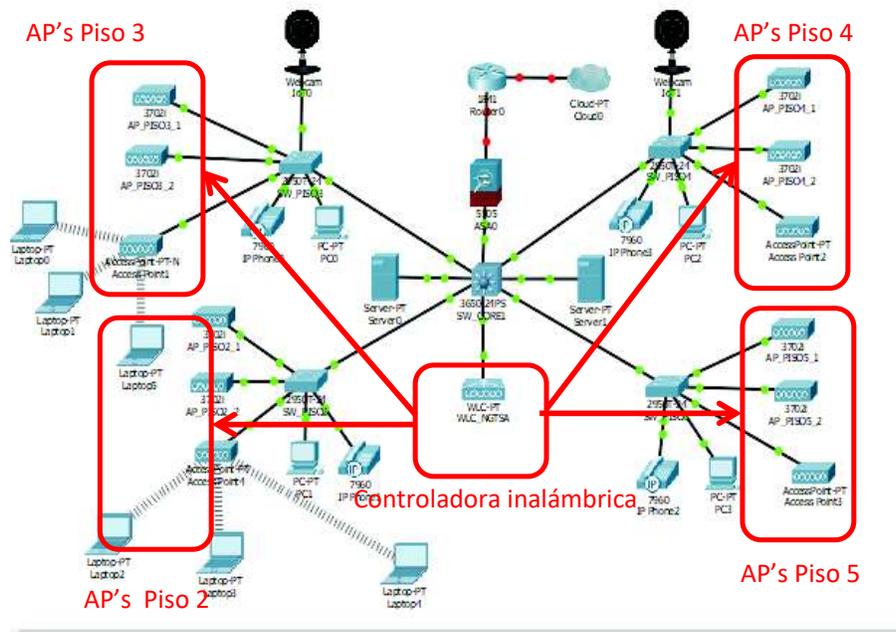


Figura 2.32. Simulación de la integración de la red inalámbrica

En la Figura 2.33 se puede observar un punto de acceso con la dirección IP 10.10.12.31 conectado a la controladora inalámbrica con dirección IP 10.10.12.20. En el anexo II se adjunta el archivo de la simulación como parte del proyecto técnico.

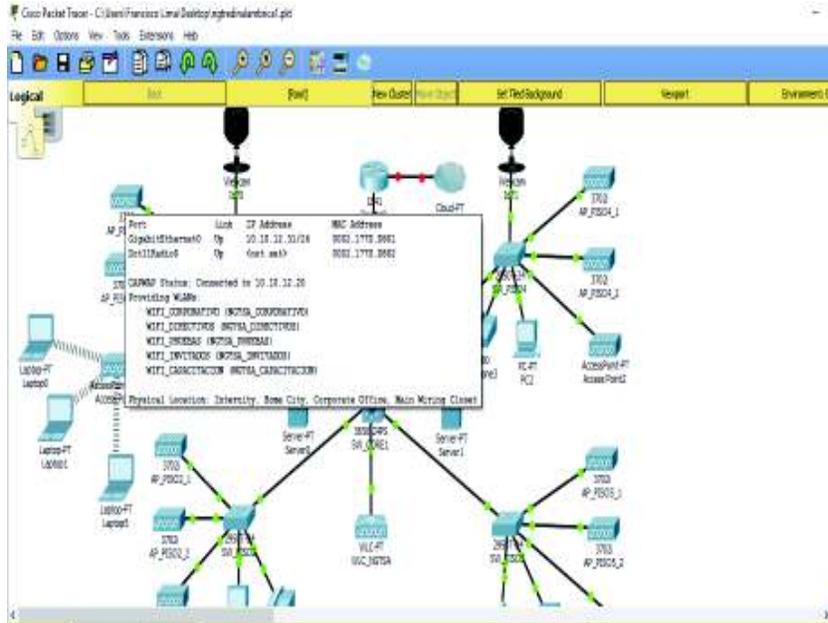


Figura 2.33. Redes inalámbricas radiadas por un AP

2.2.15. Soluciones disponibles en el mercado nacional

Una vez que se ha diseñado la nueva red inalámbrica satisfaciendo las necesidades y requerimientos que se han identificado, como parte de este proyecto técnico, se presentará a continuación las soluciones disponibles en el mercado nacional que mejor se adaptan al diseño.

Soluciones inalámbricas Ubiquiti Networks

Los Access points *UniFi* 802.11ac Dual-Radio poseen un diseño industrial y pueden ser fácilmente instalados. El software de control *UniFi* es una herramienta muy robusta ideal para soluciones de alta densidad de usuarios que requieren baja latencia y un alto desempeño [63].

UniFi Controller

UniFi controller es un software de administración que permite la administración, gestión, control, supervisión de toda la red inalámbrica asumiendo el papel de controladora inalámbrica a nivel de software. Esta característica permite el despliegue, instalación, configuración de la controladora en cualquier sistema operativo como Windows, Linux, Mac Os sin estar limitado por el hardware del computador [64].

Puntos acceso

Cuentan con la última tecnología IEEE 802.11ac MIMO que les permiten alcanzar velocidades en el orden de los Gbps y alcances en espacios abiertos de hasta 122m [64].

En la Tabla 2.34, se muestran los diferentes modelos de puntos de acceso y sus principales características.

Tabla 2.34. Puntos de acceso *Ubiquiti Networks* [64]

Características	Modelos					
						
	UAP-AC-IW	UAP-AC-IW PRO	UAP-AC-LITE	UAP-AC-LR	UAP-AC-PRO	UAP-AC-EDU
Ambientes	Indoor	Indoor	Indoor	Indoor	Indoor/O outdoor	Indoor
Doble Banda⁶⁶ Simultanea	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Tasa a 2.4 GHz	300Mbps	450Mbps	300Mbps	450Mbps	450Mbps	450Mbps
2.4 GHz MIMO	2x2	3x3	2x2	3x3	3x3	3x3
Tasa a 5 GHz	867 Mbps	1300 Mbps	867 Mbps	1300 Mbps	1300 Mbps	1300 Mbps
5 GHz MIMO	2x2	3x3	2x2	2x2	3x3	3x3
Soporta POE 802.3^a	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Usuarios Simultáneos	250	250	250	250	250	250
Alcance	200m	200m	200m	200m	200m	200m
Estándares IEEE 802.11	a/b/g/n/ac	a/b/g/n/ac	a/b/g/n/ac	a/b/g/n/ac	a/b/g/n/ac	a/b/g/n/ac
Potencia de Transmisión (máx.)	28dBm	28dBm	28dBm	28dBm	28dBm	28dBm
Seguridad	WEP, WPA-PSK, WPA2/AES	WEP, WPA-PSK, WPA2/AES				
Calidad de servicio	WMM	WMM	WMM	WMM	WMM	WMM

⁶⁶ **Doble banda simultánea:** hace referencia a la capacidad del punto de acceso de trabajar en la banda de frecuencia de 2.4 GHz y 5 GHz de manera simultánea.

Administración por VLAN	802.1q	802.1q	802.1q	802.1q	802.1q	802.1q ⁶⁷
--------------------------------	--------	--------	--------	--------	--------	----------------------

En base a las características de los equipos mostrados se ha seleccionado el punto de acceso *UAP-AC-PRO*, ya que se ajusta a los requerimientos definidos en la Tabla 2.29 sección 2.2.12. *Características técnicas necesarias de los equipos.*

Soluciones inalámbricas Grandstream Wireless

Las soluciones inalámbricas usan un diseño de administración de redes distribuidas sin necesidad de una controladora por separado. La controladora está incorporada dentro del mismo punto de acceso bajo la misma interfaz de usuario basada en la web. otra característica es la administración en la nube si la necesidad de licencias adicionales. Esto permite a cada punto de acceso convertirse un una controladora que administra a toda la red de manera independiente, sin necesidad de software o hardware de controladora por separado y sin un único punto de falla, es decir cada punto de acceso está en la capacidad de tomar el rol de controladora de manera inmediata, ya que las configuraciones de la red se encuentran guardadas en cada punto de acceso. Siendo transparente para el administrador, la reconfiguración del punto de acceso controlador después de la falla [65].

Puntos acceso

Gransdtream Wireless Network en la actualidad ofrece una pequeña variedad de puntos de acceso, los cuales soportan el estándar 802.11ac MU-MIMO, con soporte para QoS avanzado, aplicaciones en tiempo real de baja latencia, más de 450 dispositivos simultáneos por punto de acceso y soporte PoE.

En la Tabla 2.35 se muestran los modelos de los puntos de acceso y sus principales características.

⁶⁷ **802.1q:** El protocolo IEEE 802.1Q, también conocido como dot1Q, fue un proyecto del grupo de trabajo 802 de la IEEE para desarrollar un mecanismo que permita a múltiples redes compartir de forma transparente el mismo medio físico, sin problemas de interferencia entre ellas (Trunking). Es también el nombre actual del estándar establecido en este proyecto y se usa para definir el protocolo de encapsulamiento usado para implementar este mecanismo en redes Ethernet. Todos los dispositivos de interconexión que soportan VLAN deben seguir la norma IEEE 802.1Q que especifica con detalle el funcionamiento y administración de redes virtuales

Tabla 2.35. Puntos de acceso *Grandstream Networks* [66] [67] [68]

Características	Modelos		
			
	GWN 7600	GWN 7610	GWN 7600LR
Ambientes	Indoor	Indoor	Outdoor
Doble Banda Simultanea	Si	Si	Si
2.4 GHz MIMO	2x2	3x3	2x2
5 GHz MIMO	2x2	3x3	2x2
Soporta POE 802.3a	Si	Si	Si
Usuarios Simultáneos	450	250	450
Alcance	165m	175m	175m
Estándares IEEE 802.11	a/b/g/n/ac	a/b/g/n/ac	a/b/g/n/ac
Potencia de Transmisión (máx.)	22dBm	26dBm	26dBm
Seguridad	WEP, WPA-PSK, WPA2/AES	WEP, WPA-PSK, WPA2/AES	WEP, WPA-PSK, WPA2/AES
Calidad de servicio	802.11e/WMM/VLAN, TOS	802.11e/WMM/VLAN, TOS	802.11e/WMM/VLAN, TOS
Administración por VLAN	802.1q/802.1p/802.1x, 802.11e	802.1q/802.1p/802.1x, 802.11e	802.1q/802.1p/802.1x, 802.11e
SSID	16 por punto de acceso	16 por punto de acceso	16 por punto de acceso
Ancho de Banda por Canales	2.4Ghz (20 y 40 MHz) 5 GHz (20, 40 y 80 MHz)	2.4Ghz (20 y 40 MHz) 5 GHz (20, 40 y 80 MHz)	2.4Ghz (20 y 40 MHz) 5 GHz (20, 40 y 80 MHz)

En base a las características de los equipos mostrados se ha seleccionado el punto de acceso GWN 7610 ya que mejor se ajusta a los requerimientos definidos en la Tabla 2.29 sección 2.2.12. *Características técnicas necesarias de los equipos.*

Soluciones inalámbricas Cisco Systems

A diferencia de las soluciones anteriormente presentadas, Cisco se ha caracterizado por centralizar la administración de las redes inalámbricas por medio de equipos físicos independientes de los puntos de acceso llamados controladoras. Los puntos de acceso se encuentran en una gran variedad, que permiten ajustarse a cualquier ambiente y requerimiento [69].

Controladoras inalámbricas

En la actualidad se pueden implementar soluciones inalámbricas con controladoras virtualizadas suprimiendo la necesidad de adquirir un equipo físico.

Las controladoras inalámbricas permiten a los administradores la creación de múltiples redes, identificadores de red, administración por VLAN's, calidad de servicio, seguridades y alta disponibilidad.

En la Tabla 2.36 se muestran las diferentes controladoras inalámbricas y sus principales características.

Tabla 2.36. Controladoras inalámbricas *Cisco Systems* [70][71][72][73]

	Modelos			
				
Características	3504 WLC	5500 WLC	5520 WLC	8540 WLC
Estándares IEEE 802.11	a,b,g,d,e,h,n, k,r,u,w,ac wave 1 y 2	a,b,g,d,e,h,n, k,r,u,w,ac wave 1 y 2	a,b,g,d,e,h,n, k,r,u,w,ac wave 1 y 2	a,b,g,d,e,h,n,k,r,u,w,ac wave 1 y 2
Cantidad de Clientes	3000	7000	20000	64000
Cantidad de AP's	150	500	1500	6000
Cantidad de VLAN's administrables	4096	4096	4096	4096

Throughput	4Gbps	10Gbps	20Gbps	40Gbps
Seguridades	WPA, WPA2, MD5, HMAC, TLS			
Protocolos	802.3, 802.3u, 802.1q, 802.1Ax			
Calidad de Servicio	802.11e/WMM	802.11e/WMM	802.11e/WMM	802.11e/WMM
Administración	WEB, CLI, SSH, Telnet			
Autenticación	Radius	Radius	Radius	Radius
Movilidad	Roaming	Roaming	Roaming	Roaming

En base a las características de los equipos mostrados se ha seleccionado la controladora inalámbrica *3504 WLC* ya que mejor se ajusta a los requerimientos definidos en la Tabla 2.30 sección 2.2.12. *Características técnicas necesarias de los equipos.*

Puntos de acceso

Cisco Systems dispone de una amplia variedad de puntos de acceso. Los equipos pueden ser configurados y administrados por las controladoras inalámbricas, o de forma independiente si se los configura en modo autónomo. Cuentan con la tecnología IEEE 802.11ac MIMO que les permiten alcanzar velocidades en el orden de los Gbps y alcances en espacios abiertos de hasta 200m.

Tabla 2.37. Puntos de acceso Cisco Systems [74] [75] [76] [77] [78] [79]

Características	Modelos					
						
	Aironet 1815	Aironet 1830	Aironet 1850	Aironet 2800	Aironet 3800	Aironet 4800
Ambientes	Indoor	Indoor	Indoor	Indoor	Indoor	Indoor
Doble Banda Simultanea	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Tasa a 2.4 GHz	300Mbps	300Mbps	300Mbps	450Mbps	450Mbps	450Mbps
2.4 GHz MIMO	2x2	3x3	3x3	4x4	4x4	4x4
Tasa a 5 GHz	867Mbps	867Mbps	867Mbps	1300Mbps	1300Mbps	1300Mbps
5 GHz MIMO	2x2	3x3	3x3	4x4	4x4	4x4

Soporta POE 802.3^a	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Usuarios Simultáneos	400	500	500	600	800	1000
Alcance	200m	200m	200m	200m	200m	200m
Estándares IEEE 802.11	a/b/g/n/ac	a/b/g/n/ac	a/b/g/n/ac	a/b/g/n/ac	a/b/g/n/ac	a/b/g/n/ac
Potencia de Transmisión (máx.)	20dBm	23dBm	23dBm	23dBm	23dBm	23dBm
Seguridad	WEP, WPA- PSK, WPA2/AE S	WEP, WPA- PSK, WPA2/AE S	WEP, WPA- PSK, WPA2/AE S	WEP, WPA-PSK, WPA2/AE S	WEP, WPA- PSK, WPA2/AE S	WEP, WPA-PSK, WPA2/AES
Calidad de servicio	WMM/80 2.11e	WMM/80 2.11e	WMM/80 2.11e	WMM/802. 11e	WMM/802 .11e	WMM/802. 11e
Administración por VLAN	802.1q	802.1q	802.1q	802.1q	802.1q	802.1q

En base a las características de los equipos mostrados se ha seleccionado el punto de acceso *Aironet 2800* ya que se ajusta a los requerimientos definidos en la Tabla 2.28 sección 2.2.12. *Características técnicas necesarias de los equipos.*

2.3. Presupuesto económico

El objetivo de esta fase es determinar el costo económico que representará a la empresa la implementación de la nueva red inalámbrica diseñada en el presente proyecto técnico y los costos de operación y mantenimiento de la solución que permitan la continuidad en el tiempo del proyecto.

En esta sección se presentarán ofertas económicas de las tres soluciones presentadas en la fase de diseño en la sección 2.2.15 *Soluciones disponibles en el mercado nacional* de empresas nacionales integradoras de soluciones tecnológicas.

De esta manera se podrá tener una referencia del costo monetario que permita a la empresa determinar el presupuesto económico necesario para la ejecución del proyecto.

2.3.1. Costos de implementación y operación

El análisis de costos se dividirá en dos partes, la primera corresponderá al costo de inversión inicial que se requerirá para la puesta en marcha de la red inalámbrica diseñada. La segunda parte representará los costos que demanden los procesos de

mantenimiento técnico preventivo y correctivo que permitan la continuidad del funcionamiento de la red en el transcurso del tiempo de vida útil de los equipos.

2.3.2. Costos iniciales de inversión

Los costos correspondientes a la inversión inicial estarán definidos por los costos de los equipos, instalación, configuración, pruebas y capacitación técnica. En las Tablas 2.38, 2.39 y 2.40 se detallan la cantidad de equipos necesarios y los servicios complementarios para la implementación de la red inalámbrica.

Tabla 2.38. Cantidad de equipos y servicios en la marca *Cisco Systems*

Ítem	Descripción	Cantidad
Cisco WLC 3504	Controladora inalámbrica WLC	1
Cisco Aironet 2800	Puntos de acceso IEEE 802.11ac	12
Smartnet WLC 3504	Soporte y garantía Controladora inalámbrica WLC	1
Smartnet Aironet 2800	Soporte y garantía de puntos de acceso 802.11ac	12
Instalación WLC 3504	Instalación de la controladora inalámbrica	1
Instalación AP's Aironet 2800	Instalación de puntos de acceso	12
Configuración WLC 3504	Configuración de la controladora inalámbrica	1
Configuración de AP's Aironet 2800	Configuración de puntos de acceso	12
Capacitación técnica	Traspaso de conocimiento	1

Tabla 2.39. Cantidad de equipos y servicios en la marca *Ubiquiti*

Ítem	Descripción	Cantidad
Software UniFi Controller	Software Controladora inalámbrica WLC	1
UniFi AP-AC-PRO	Puntos de acceso 802.11ac	12

Instalación WLC UniFi Controller	Instalación de la controladora inalámbrica	1
Instalación AP's UniFi AP-AC-PRO	Instalación de puntos de acceso	12
Configuración WLC UniFi Controller	Configuración de la controladora inalámbrica	1
Configuración de AP's UniFi AP-AC-PRO	Configuración de puntos de acceso	12
Capacitación técnica	Traspaso de conocimiento	1

Tabla 2.40. Cantidad de equipos y servicios en la marca *Grandstream*

Ítem	Descripción	Cantidad
Access Point GWN 7610	Puntos de acceso 802.11ac	12
Instalación WLC GWN 7610	Instalación de controladora inalámbrica	1
Instalación AP's GWN 7610	Instalación de puntos de acceso	12
Configuración WLC GWN 7610	Configuración de controladora inalámbrica	1
Configuración de AP's GWN 7610	Configuración de puntos de acceso	12
Capacitación técnica	Traspaso de conocimiento	1

Costos de equipos y servicios en el mercado nacional

Para determinar el costo económico de los equipos y servicios necesarios para la implementación de la nueva red inalámbrica se presentan tres ofertas de empresas nacionales integradoras de tecnologías por cada una de las soluciones presentadas en la fase de diseño.

Las proformas económicas proporcionadas por los proveedores de las tres soluciones de la red inalámbrica diseñada se presentan en el ANEXO IV.

Costos solución inalámbrica Cisco

En las tablas 2.41, 2.42 y 2.43 se muestran en detalle los costos de instalación, configuración de los equipos y de capacitación correspondientes a la solución inalámbrica Cisco. Se observa que el costo de los equipos de las tres empresas varía de forma discreta al igual que los costos por servicios de instalación y configuración, sin embargo los costos de capacitación se observa una marcada variación.

Las variaciones en los costos están ligadas al inventario de los equipos y de los precios del proveedor mayorista ofrezca a la empresa integradora, mientras los costos por servicio y capacitación los establece cada empresa de acuerdo a sus márgenes de ganancia.

Tabla 2.41. Oferta económica (empresa 1) solución *CISCO Systems*

		Empresa 1	
Ítem	Cantidad	Costo por unidad	Costo total
Cisco WLC 3504	1	\$4.140,00	\$4.140,00
AP Cisco Aironet 2800	12	\$960,80	\$11.529,60
Smartnet 3504 WLC por un año	1	\$1.174,17	\$1.174,17
Smartnet AP Cisco 2800 por una año	12	\$128,00	\$1.536,00
Instalación WLC	1	\$45,00	\$45,00
Instalación AP's	12	\$30,00	\$360,00
Configuración WLC	1	\$240,00	\$240,00
Configuración de AP's	12	\$20,00	\$240,00
Capacitación técnica	1	\$120,00	\$120,00
		total sin IVA	\$19.384,77

Tabla 2.42. Oferta económica (empresa 2) solución *CISCO Systems*

		Empresa 2	
Ítem	Cantidad	Costo por unidad	Costo total
Cisco WLC 3504	1	\$3.500,00	\$3.500,00
AP Cisco Aironet 2800	12	\$950,00	\$11.400,00
Smartnet 3504 WLC por un año	1	\$1.190,00	\$1.190,00
Smartnet AP Cisco 2800 por una año	12	\$130,00	\$1.560,00
Instalación WLC	1	\$45,00	\$45,00
Instalación AP's	12	\$45,00	\$540,00
Configuración WLC	1	\$805,00	\$805,00
Configuración de AP's	12	\$100,00	\$1.200,00
Capacitación técnica	1	\$600,00	\$600,00
		total sin IVA	\$20.840,00

Tabla 2.43. Oferta económica (empresa 3) solución *CISCO Systems*

		Empresa 3	
Ítem	Cantidad	Costo por unidad	Costo total
Cisco WLC 3504	1	\$4.640,00	\$4.640,00
AP Cisco Aironet 2800	12	\$910,80	\$10.929,60
Smartnet 3504 WLC por un año	1	\$1.674,17	\$1.674,17
Smartnet AP Cisco 2800 por una año	12	\$116,00	\$1.392,00
Instalación WLC	1	\$50,00	\$50,00
Instalación AP's	12	\$40,00	\$480,00

Configuración WLC	1	\$450,00	\$450,00
Configuración de AP's	12	\$30,00	\$360,00
Capacitación técnica	1	\$280,00	\$280,00
		total sin IVA	\$19.975,77

Costos solución inalámbrica *Ubiquity*

En las tablas 2.44, 2.45 y 2.46 se muestran en detalle los costos de instalación y configuración de los equipos correspondientes a la solución inalámbrica *Ubiquity*. Se observa que el costo de los equipos de las tres empresas varía de forma discreta al igual que los costos por servicios de instalación y configuración, sin embargo los costos de capacitación se observa una marcada variación.

Las variaciones en los costos están ligadas al inventario de los equipos y de los precios del proveedor mayorista ofrezca a la empresa integradora, mientras los costos por servicio y capacitación los establece cada empresa de acuerdo a sus márgenes de ganancia.

Tabla 2.44. Oferta económica (empresa 1) solución *Ubiquiti Networks*

		Empresa 1	
Ítem	Cantidad	Costo por unidad	Costo total
Software UniFi Controller	1	\$0,00	\$0,00
UniFi AP-AC-PRO	12	\$320,00	\$3.840,00
Instalación Software Unifi Controller	1	\$45,00	\$45,00
Instalación AP-AC-PRO	12	\$30,00	\$360,00
Configuración WLC Unifi Controller	1	\$240,00	\$240,00
Configuración de AP-AC-PRO	12	\$20,00	\$240,00
Capacitación técnica	1	\$120,00	\$120,00
		total sin IVA	\$4.845,00

Tabla 2.45. Oferta económica (empresa 2) solución *Ubiquiti Networks*

Ítem	Cantidad	Empresa 2	
		Costo por unidad	Costo total
Software UniFi Controller	1	\$0,00	\$0,00
UniFi AP-AC-PRO	12	\$385,00	\$4.620,00
Instalación Software Unifi Controller	1	\$32,00	\$32,00
Instalación AP-AC-PRO	12	\$60,00	\$720,00
Configuración WLC Unifi Controller	1	\$805,00	\$805,00
Configuración de AP-AC-PRO	12	\$45,00	\$540,00
Capacitación técnica	1	\$300,00	\$300,00
		total sin IVA	\$7.017,00

Tabla 2.46. Oferta económica (empresa 3) solución *Ubiquiti Networks*

Ítem	Cantidad	Empresa 3	
		Costo por unidad	Costo total
Software UniFi Controller	1	\$0,00	\$0,00
UniFi AP-AC-PRO	12	\$370,00	\$4.440,00
Instalación Software Unifi Controller	1	\$50,00	\$50,00
Instalación AP-AC-PRO	12	\$35,00	\$420,00
Configuración WLC Unifi Controller	1	\$600,00	\$600,00
Configuración de AP-AC-PRO	12	\$12,00	\$144,00
Capacitación técnica	1	\$280,00	\$280,00
		total sin IVA	\$5.934,00

Costos solución inalámbrica *Grandstream*

En las tablas 2.47, 2.48 y 2.49 se muestran en detalle los costos de instalación y configuración de los equipos correspondientes a la solución inalámbrica *Grandstream*. Se observa que el costo de los equipos de las tres empresas varía de forma discreta al igual que los costos por servicios de instalación y configuración, sin embargo los costos de capacitación se observa una marcada variación.

Las variaciones en los costos están ligadas al inventario de los equipos y de los precios del proveedor mayorista ofrecida a la empresa integradora, mientras los costos por servicio y capacitación los establece cada empresa de acuerdo a sus márgenes de ganancia.

Tabla 2.47. Oferta económica (empresa 1) solución *Grandstream Networks*

Ítem	Cantidad	Empresa 1	
		Costo por unidad	Costo total
AP GWN 7610	12	\$203,69	\$2.444,28
Instalación AP's	12	\$30,00	\$360,00
Configuración AP WLC	1	\$240	\$240,00
Configuración de AP's	12	\$20	\$240,00
Capacitación técnica	1	\$120	\$120,00
		total sin IVA	\$3.404,28

Tabla 2.48. Oferta económica (empresa 2) solución *Grandstream Networks*

Ítem	Cantidad	Empresa 2	
		Costo por unidad	Costo total
AP GWN 7610	12	\$150	\$1.800,00
Instalación AP's	12	\$35,00	\$420,00
Configuración AP WLC	1	\$500	\$500,00
Configuración de AP's	12	\$78	\$936,00
Capacitación técnica	1	\$300	\$300,00
		total sin IVA	\$3.956,00

Tabla 2.49. Oferta económica (empresa 3) solución *Grandstream Networks*

		Empresa 3	
Ítem	Cantidad	Costo por unidad	Costo total
AP GWN 7610	12	\$218,00	\$2.616,00
Instalación AP's	12	\$20,00	\$240,00
Configuración AP WLC	1	\$450,00	\$450,00
Configuración de AP's	12	\$30,00	\$360,00
Capacitación técnica	1	\$280,00	\$280,00
		total sin IVA	\$3.946,00

2.3.3. Costos de operación y mantenimiento

Los costos económicos correspondientes a la operación y mantenimiento de la red inalámbrica estarán conformados por los ítems de soporte técnico preventivo, correctivo y un paquete de horas de soporte después del primer año de la implementación.

Se ha considerado la modalidad de un contrato de prestación de servicios por un año para el cumplimiento de este requerimiento que incluye:

- Mantenimiento preventivo dos veces al año (limpieza física y backup's de configuraciones).
- Mantenimiento correctivo dos veces al año (actualizaciones de firmware y software).
- Paquete de 20 horas de soporte 5x8⁶⁸ durante un año.

Tabla 2.50. Comparativa económica contrato de soporte técnico

Ítem	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3
Contrato de soporte técnico Cisco System	\$2.160,00	\$800,00	\$1.380,00
Contrato de soporte técnico Ubiquiti Networks	\$2.160,00	\$800,00	\$659,00

⁶⁸ **Soporte 5X8:** corresponde a soporte técnico durante los cinco días de la semana por ocho horas diarias.

Contrato de soporte técnico Grandstream Networks	\$2.160,00	\$800,00	\$516,00
---	------------	----------	----------

En la Tabla 2.50, se muestran los costos correspondientes a los servicios de soporte técnico, se puede observar que los servicios ofertados por la empresa 1 son altos en comparación a las otras dos ofertas, la marcada diferencia puede estar relacionada con los costos que le representan a cada empresa la capacitación y certificación del personal técnico.

2.3.4. Costo total del proyecto

Para determinar el costo total del proyecto de cada una de las soluciones presentadas en el estudio técnico se detallarán los costos de inversión inicial y de operación y mantenimiento de forma consolidada con la ayuda de las Tablas 2.51, 2.52 y 2.53.

De acuerdo a los costos de la solución *Cisco* mostrados en la Tabla 2.51, se observa que el costo de inversión inicial ofertado por las tres empresas es casi similar, la variación podría estar sujeta a los costos del proveedor mayorista y de la disponibilidad del inventario. En cuanto a los costos de operación y mantenimiento se observa una marcada diferencia en especial con respecto a la empresa 1, esta variación podría depender de los costos de contar con personal calificado y certificado para ofrecer los servicios mencionados. Sin embargo el costo total ofertado por las tres empresas es casi similar. El costo ofertado por la empresa 3 corresponde al más económico.

Tabla 2.51. Costo total de la solución *Cisco Systems*

Ítem	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3
Costos de inversión inicial Solución Inalámbrica Cisco System	\$19.384,77	\$20.840,00	\$19.975,77
Costos de operación y mantenimiento Solución Inalámbrica Cisco System	\$2.160,00	\$800,00	\$1.380,00
Costo Total sin IVA	\$21.544,77	\$21.640,00	\$21.355,77

De acuerdo a los costos de la solución *Ubiquiti* mostrados en la Tabla 2.52, se observa que el costo de inversión inicial ofertado por las tres empresas presenta una marcada diferencia en especial con la empresa 2, la variación podría estar sujeta a los costos del

proveedor mayorista, de la disponibilidad del inventario o de contar con personal calificado para la instalación y configuración de los equipos. En cuanto a los costos de operación y mantenimiento se observa una marcada diferencia en especial con respecto a la empresa 1, esta variación podría depender de los costos de contar con personal calificado y certificado para ofrecer los servicios mencionados. El costo ofertado por la empresa 3 corresponde al más económico.

Tabla 2.52. Costo total de la solución *Ubiquiti Networks*

Ítem	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3
Costos de inversión inicial Solución Inalámbrica Ubiquiti Networks	\$4.845,00	\$7.017,00	\$5.934,00
Costos de operación y mantenimiento Solución Inalámbrica Ubiquiti Networks	\$2.160,00	\$800,00	\$659,00
Costo Total sin IVA	\$7.005,00	\$7.817,00	\$6.593,00

De acuerdo a los costos de la solución *Grandstream* mostrados en la Tabla 2.53, se observa que el costo de inversión inicial ofertado por las tres empresas es casi similar, la variación podría estar sujeta a los costos del proveedor mayorista y de la disponibilidad del inventario. En cuanto a los costos de operación y mantenimiento se observa una marcada diferencia en especial con respecto a la empresa 1, esta variación podría depender de los costos de contar con personal calificado y certificado para ofrecer estos servicios. El costo ofertado por la empresa 3 corresponde al más económico.

Tabla 2.53. Costo total de la solución *Grandstream Networks*

Ítem	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3
Costos de inversión inicial Solución Inalámbrica Grandstream Networks	\$3.404,28	\$3.956,00	\$3.946,00
Costos de operación y mantenimiento Solución Inalámbrica Grandstream Networks	\$2.160,00	\$800,00	\$516,00
Costo Total sin IVA	\$5.564,28	\$4.756,00	\$4.462,00

2.3.5. Comparación económica y técnica de las ofertas

Al realizar una comparación económica de las ofertas presentadas, esta nos permite la elección de la oferta más económica, sin que ello signifique que no se cumplan con las especificaciones y requerimientos técnicos del diseño.

Se determina que el precio referencial para la implementación de la solución bajo la marca *Cisco System* es de \$ 23.918,46 USD (VEINTE Y TRES MIL NOVECIENTOS DIESIOCHO con 46/100 ctvs.) incluido IVA, ofertado por la empresa 3.

A continuación se determina que el precio referencial para la implementación de la solución bajo la marca *Ubiquity Networks* es de \$ 7384,16 USD (SIETE MIL TRESCIENTOS OCHENTA Y CUATRO con 16/100 ctvs.) incluido IVA ofertado por la empresa 3.

Finalmente se determina que el precio referencial para la implementación de la solución bajo la marca *Grandstream Networks* es de \$ 4997,44 USD (CUATRO MIL NOVESIENTOS NOVENTA Y SIETE con 44/100 ctvs.) incluido IVA ofertado por la empresa 3.

Las soluciones bajo la marca *Cisco Systems* representan las de mayor costo económico. La solución de Cisco que se ha seleccionado en el diseño corresponde a la opción más económica aunque es la más costosa con respecto a las otras opciones analizadas, la cantidad de puntos de acceso y proyección de crecimiento a futuro son limitados para este caso específico. Por lo tanto desde punto de vista técnico, es la opción que cumple los requerimientos. Se debe mencionar que la implementación y el mantenimiento requieren de un costo adicional ya que las actualizaciones de software y firmware⁶⁹ son bajo la compra suscripciones de soporte al fabricante.

Con respecto a las otras opciones las soluciones bajo la marca *Ubiquiti* representan un de costo económico medio, sus prestaciones técnicas cuentan con controladora por software, con ciertas limitaciones en aspectos de número de identificadores de red, calidad de servicio, manejo de interfaces VLAN.

Desde el punto de vista técnico la solución se ajusta a los requerimientos, pero está limitada a un crecimiento a nivel de segmentación de red, seguridades, VLAN's y algunas de sus características están en pruebas, en la parte económica será una buena opción para la implementación y mantenimiento, las actualizaciones de software y firmware son gratuitas y están disponibles en la página web de la marca.

⁶⁹ **Firmware:** es un software que maneja físicamente al hardware.

Las soluciones bajo la marca *Grandstream* representan un costo económico bajo en comparación con las dos anteriores, cuenta con una controladora a nivel físico que brinda alta disponibilidad, gracias a que cada punto de acceso puede tomar el control de la red si fallase el punto de acceso controladora, sin que ello signifique pérdidas en las prestaciones de la red.

En resumen desde el punto de vista técnico *Grandstream*, se ajusta a los requerimientos actuales, en el aspecto económico de implementación y mantenimiento es la solución más viable, las actualizaciones de software y firmware son gratuitas y están disponibles en la página web de la marca, sin embargo habría que considerar que por ser una línea de reciente aparición podría presentar problemas en equipos, rendimiento y funcionamiento.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta fase se presentarán los resultados de la simulación de la red inalámbrica, de los cuales se obtuvo la información necesaria para determinar la cantidad de puntos de acceso, controladoras inalámbricas y presupuesto económico, así también los lugares en los cuales se deberán colocar los AP's. Se incluye además una comparativa técnica entre los requerimientos establecidos en el diseño y las prestaciones de los equipos seleccionados, y finalmente, se presentan las pruebas de funcionamiento de las tres soluciones propuestas.

3.1 Simulación cobertura de la red inalámbrica

Simulación segunda planta

En la Figura 3.1 se muestra el plano del piso 2, contiene oficinas, dos salas de capacitación y una sala de reuniones. La cobertura estará afectada por la presencia de paredes sólidas de ladrillo que dividen ambientes en especial en la sala de reuniones, aulas y baños. En la actualidad un promedio de 60 personas entre empleados, alumnos y visitantes se encuentran a diario en este piso, con un promedio de 97 dispositivos. Tomando en cuenta que cada usuario disponga de tres dispositivos como: (tabletas, Smartphone, computador personal), se estimó que para el año 2022 la cantidad de dispositivos anuales para el piso 2 sea de 490. Se ha considerado que todos los equipos se conectaran a la red de forma simultánea en el cálculo de la cantidad de puntos de acceso con la ayuda del factor de simultaneidad (50%) de la red.

La Figura 3.1 muestra el mapa de cobertura correspondiente al piso 2, se observa que es necesaria la colocación de tres puntos de acceso para proveer de una cobertura y

potencia adecuada para todo el piso, lo cual coincide con el cálculo realizado en la sección 2.2.10. *Dimensionamiento de la red inalámbrica* en el cual se requiere de tres puntos de acceso. Se puede observar que el área cercana al aula junto a los baños presenta menor cobertura eso debido a la presencia de paredes solidas de ladrillo que atenúan la señal.



Figura 3.1. Mapa de cobertura piso 2

Simulación tercera planta

La Figura 3.4 muestra el mapa de cobertura correspondiente al piso 3, se observa que es necesaria la colocación de tres puntos de acceso para proveer de una cobertura y potencia adecuada para todo el piso, lo cual coincide con el cálculo realizado en la sección 2.2.10. *Dimensionamiento de la red inalámbrica* en el cual se determinó que se requiere de tres AP's. Se puede observar que el área cercana a los baños y el centro de datos presentan menor cobertura eso debido a la presencia de paredes solidas de ladrillo que atenúan la señal.

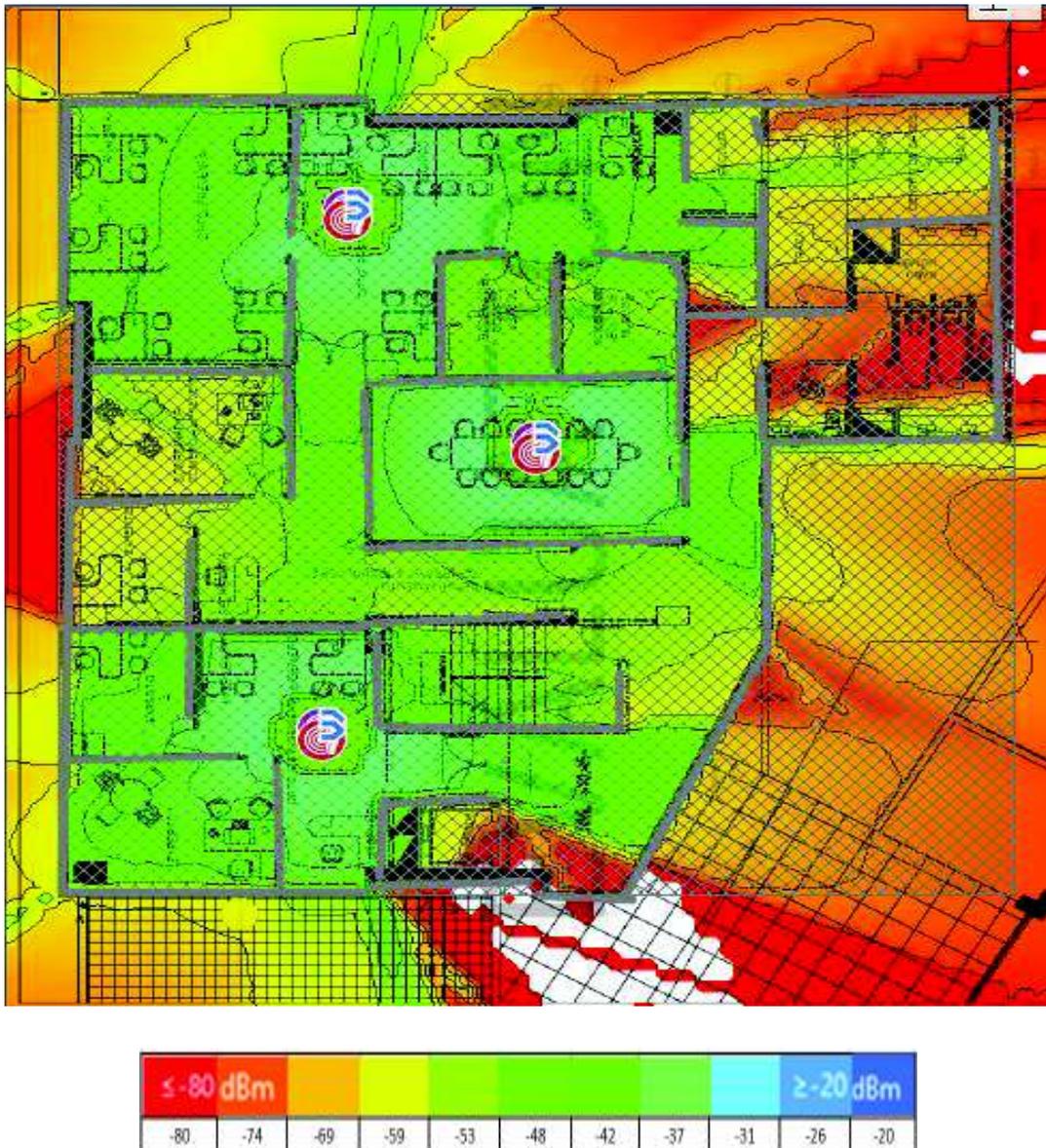


Figura 3.4. Mapa de cobertura piso 3

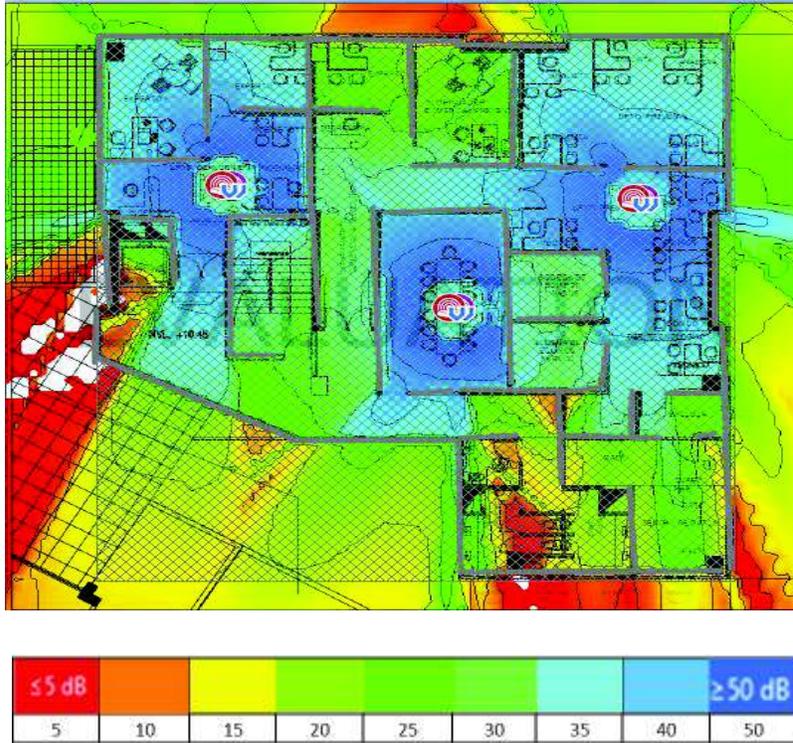


Figura 3.5. Mapa de relación señal a ruido piso 3

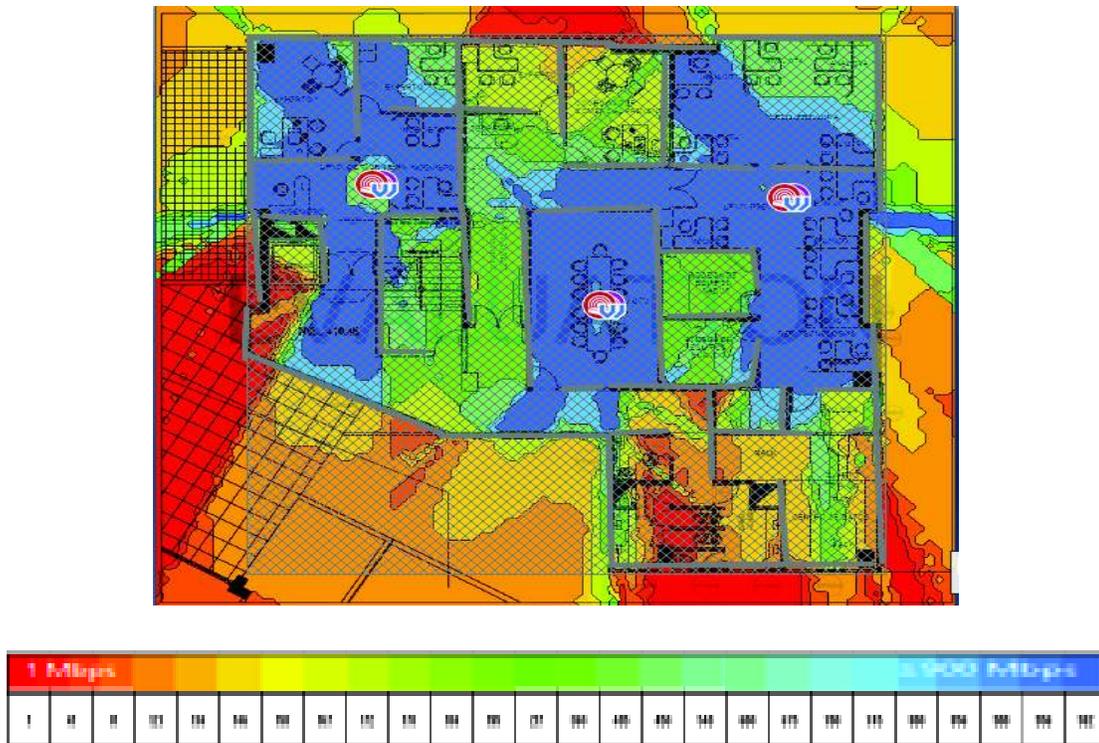


Figura 3.6. Mapa de tasa de transmisión esperada piso 3

Simulación cuarta planta

La Figura 3.7 muestra el mapa de cobertura correspondiente al piso 4, se observa que es necesaria la colocación de tres puntos de acceso para proveer de una cobertura y potencia adecuada para todo el piso, lo cual difiere en un AP con el cálculo realizado en la sección 2.2.10 *.Dimensionamiento de la red inalámbrica*. Se puede observar que el área cercana a la sala de reuniones presenta menor cobertura eso debido a la presencia de paredes de ladrillo que atenúan la señal.

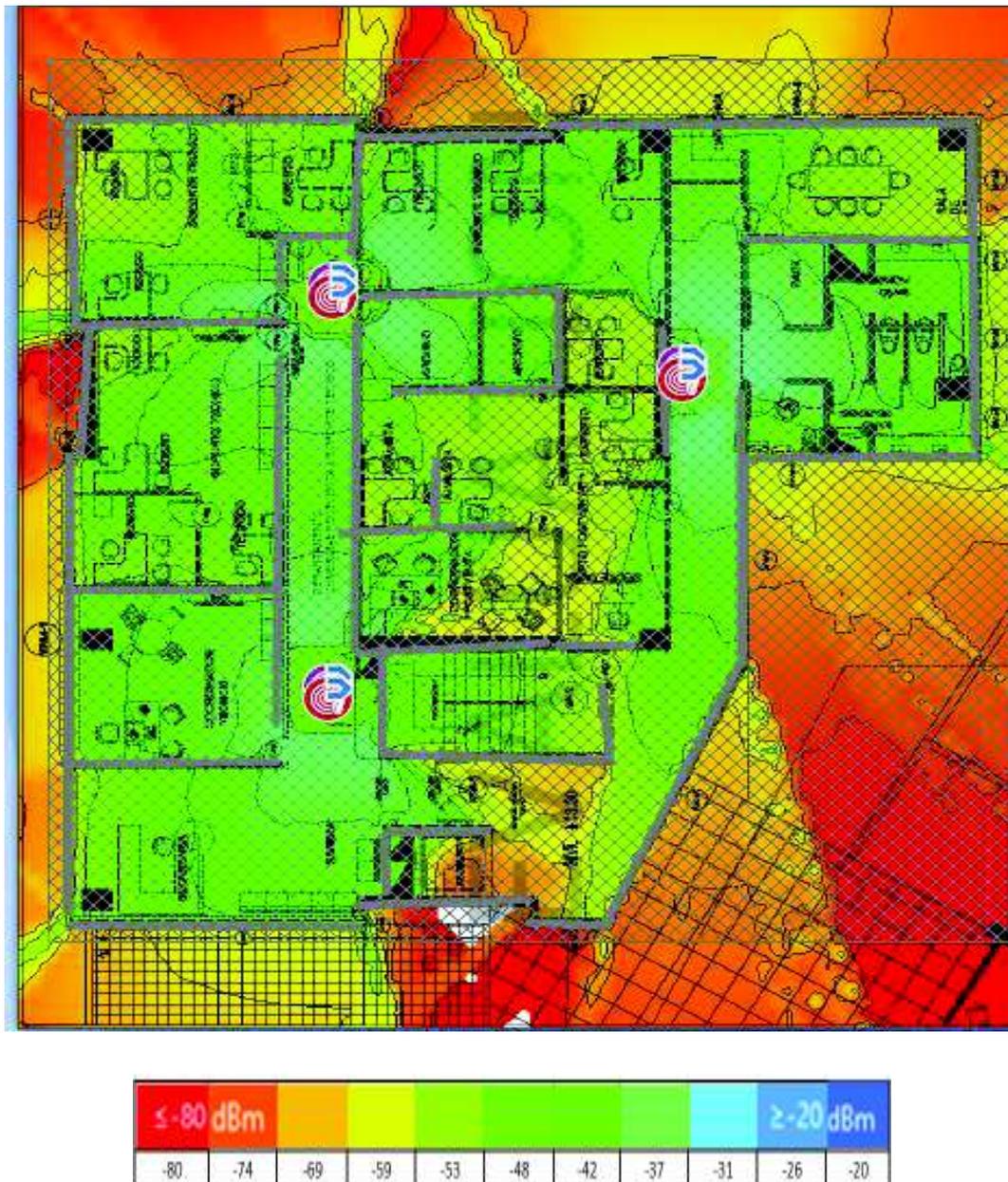


Figura 3.8 Mapa de cobertura piso 4

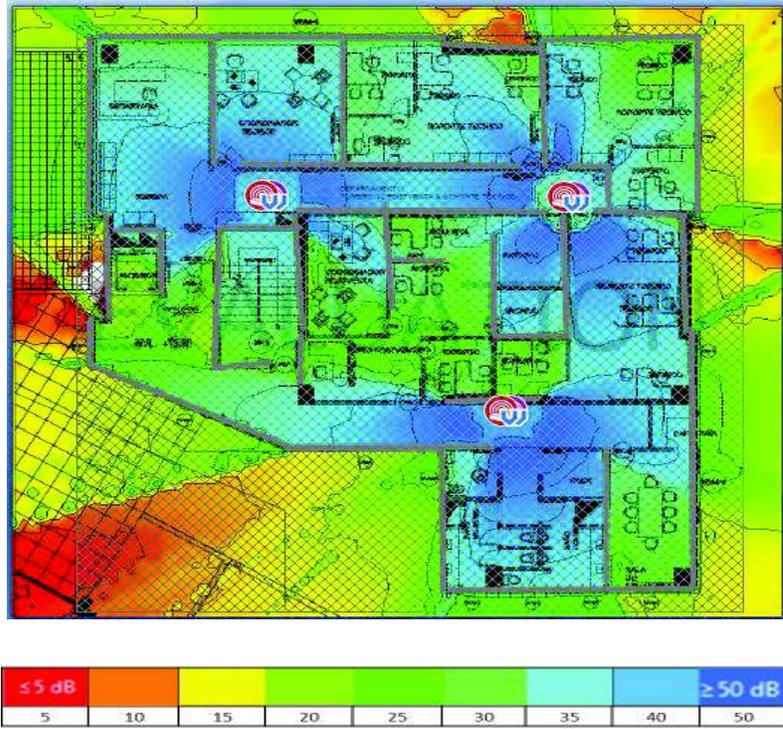


Figura 3.9. Mapa de relación señal a ruido piso 4

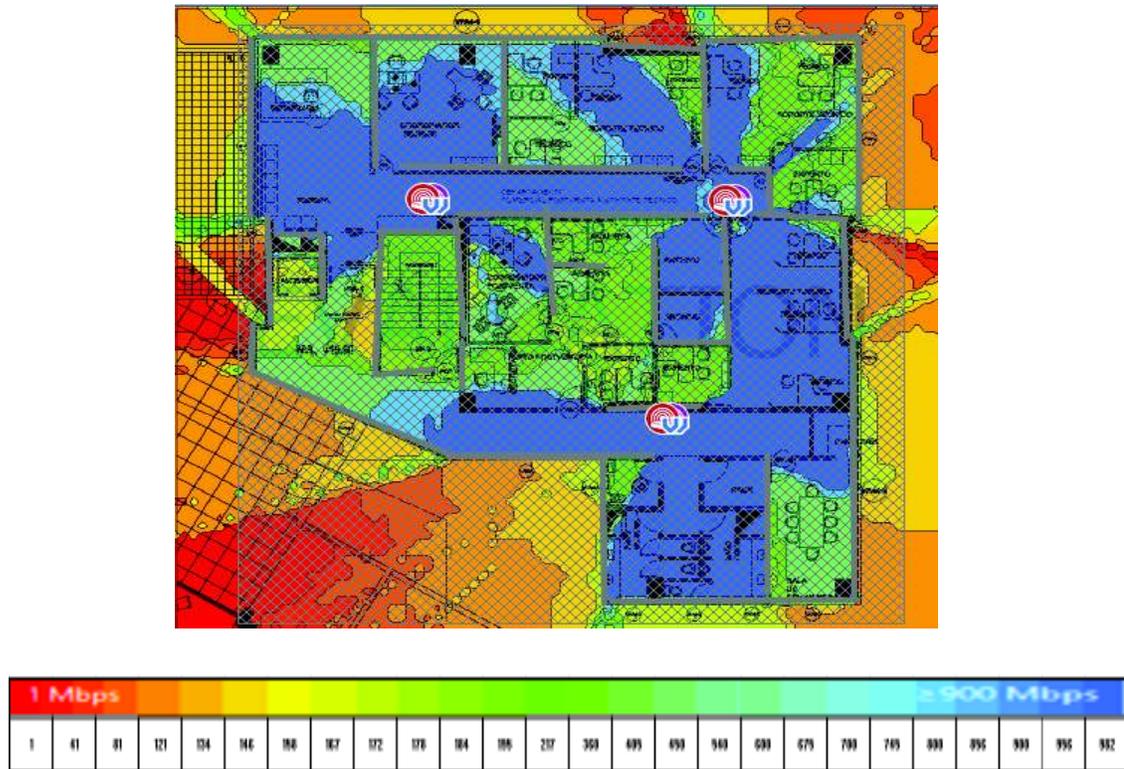


Figura 3.10. Mapa de tasa de transmisión esperada piso 4

Simulación quinta planta

La Figura 3.11 muestra el mapa de cobertura correspondiente al piso 5, se observa que es necesaria la colocación de tres puntos de acceso para proveer de una cobertura y potencia adecuada para todo el piso, lo cual difiere en un AP con el cálculo realizado en la sección 2.2.10. *Dimensionamiento de la red inalámbrica*. En su mayor parte del piso 5 la cobertura es aceptable para la propagación de las señales de radio ya que la presencia de obstáculos es menor..

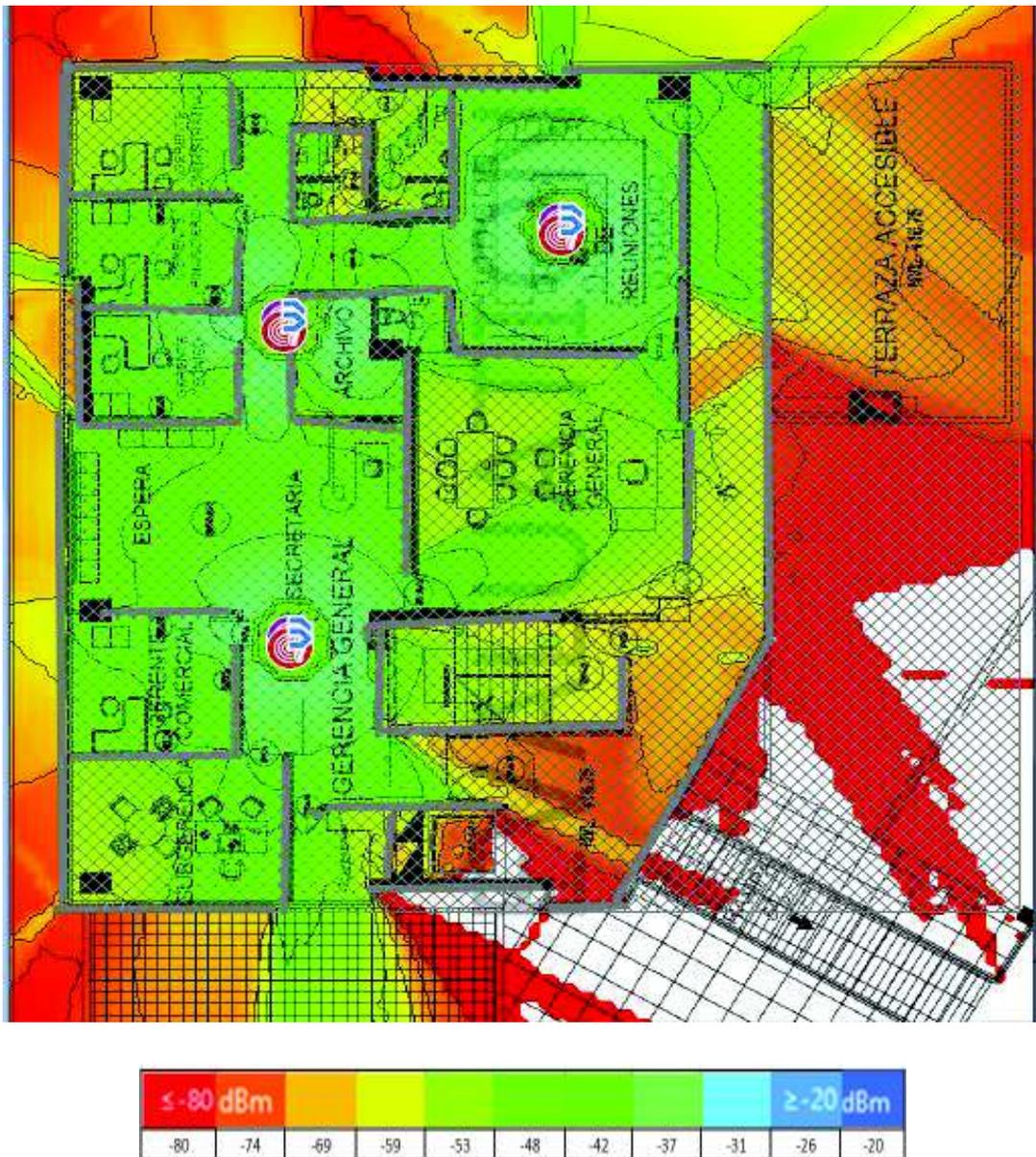


Figura 3.11. Mapa de cobertura piso 5

De acuerdo a los resultados obtenidos de la simulación de cobertura presentada en la sección 3.1, para brindar una cobertura adecuada a cada uno de los pisos en la tabla 3.1 se muestran los puntos de acceso necesarios, así también los AP's calculados y los AP's existentes en la red inalámbrica actual.

Tabla 3.1. Comparativa de puntos de acceso

Puntos de acceso	Actuales	Calculados por capacidad	Calculados por cobertura
Piso 2	1	3	3
Piso 3	1	3	3
Piso 4	0	2	3
Piso 5	1	2	3
Total	3	10	12

Podemos observar que de acuerdo a los cálculos de capacidad, la nueva red inalámbrica necesitará de un total de diez puntos de acceso, de esta forma se asegura el acceso a los usuarios actuales y futuros, mientras que para proveer de la cobertura necesaria se requerirá de doce puntos de acceso.

En consecuencia se tomará la cantidad de AP's estimados en la simulación, de esta forma se asegurará capacidad y cobertura.

3.2 Comparación técnica de los equipos seleccionados

Con el objetivo de determinar cuáles equipos de los que fueron seleccionados de las tres soluciones disponibles en el mercado nacional se ajustan a los requerimientos técnicos establecidos en la sección 2.2.12. *Características técnicas necesarias de los equipos*, se realizará una comparación técnica que será presentada en las Tablas 3.2 y 3.3.

Comparativa controladoras inalámbricas

En la Tabla 3.2 se presenta la comparativa técnica de las controladoras inalámbricas que fueron seleccionadas se ajustan a los requerimientos técnicos del diseño.

Tabla 3.2. Tabla comparativa controladoras inalámbricas [64] [67] [70]

Controladoras inalámbricas				
Característica	Requerimiento	UniFi Controller	Grandstream Controller	Cisco 3504 WLC
Estándar	802.11 a/b/g/n/ac	Si	Si	Si
Escalabilidad	Soportar un mínimo de 12 puntos de acceso y 200 usuarios conectados simultáneamente al 2018	Si	Si	Si
Administración de VLAN's	Mínimo cinco.	Si	Si	Si
Calidad de Servicio	802.11e/ Wi-Fi Multimedia (WMM)	Si	Si	Si
Interfaces	Soportar mínimo FastEthernet para la conexión al switch de núcleo	No	Si	Si
VLAN's	Soportar múltiples (mínimo cinco)	Si	Si	Si
Administración	Web mediante HTTP, SSH, CLI o Telnet.	Si	Si	Si
Alimentación eléctrica	Soportar alimentación externa	No	Si	Si
Seguridad	Soportar WEP, WPA, WPA2, AES, 802.1x, MD5, TKIP, EAP.	Si	Si	Si
Autenticación	IEEE 802.1X/RADIUS	Si	Si	Si
Movilidad	Soportar Roaming	Si	Si	Si

Comparativa de los puntos de acceso

En la Tabla 3.3 se presenta la comparativa técnica de los puntos de acceso que fueron seleccionados.

Tabla 3.3. Tabla comparativa de los puntos de acceso [64] [67] [77]

Puntos de acceso				
Característica	Requerimiento	UAP-AC-PRO	GWN 7610	Aironet 2800
Estándar	802.11 a/b/g/n/ac	Si	Si	Si
Frecuencia de operación	Soportar las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz	Si	Si	Si
Interfaces	RJ 45 FastEthernet o superior	Si	Si	Si
Antenas	Antenas internas o externas para 2.4 GHz y 5 GHz	Si	Si	Si
SSID's	Soportar múltiples (mínimo cinco)	Si	Si	Si
VLAN's	Soportar múltiples (mínimo cinco)	Si	Si	Si
Cantidad de dispositivos simultáneos	Soportar un mínimo 150 usuarios al 2018	Si	Si	Si
Alimentación eléctrica	Soportar alimentación directa y IEEE 802.3af PoE	Si	Si	Si
Seguridad	Soportar WEP, WPA, WPA2, AES, 802.1x, MD5, TKIP, EAP.	Si	Si	Si
Potencia de Transmisión	6uw o -15dBm	Si	Si	Si

En las Tablas 3.1 y 3.2 se comparan los equipos seleccionados de las tres soluciones disponibles en el mercado nacional, resultando que los mismos cumplen con los requerimientos técnicos definidos en la sección 2.2.12. *Características técnicas necesarias de los equipos.*

Por lo tanto, desde el punto de vista técnico y de la información obtenida de los fabricantes, las tres opciones de equipos presentados pueden ser seleccionadas para la implementación a futuro. Sin embargo, como parte de este proyecto técnico se realizarán pruebas de las configuraciones más importantes mediante el uso de controladoras y puntos de acceso.

3.3 Pruebas de las soluciones propuestas

En esta sección se realizan pruebas en los equipos de las tres soluciones presentadas en la sección 2.2.15. *Soluciones disponibles en el mercado nacional*, con el objetivo de llevar a cabo las configuraciones básicas más importantes de manera práctica. Se probaran las funcionalidades descritas por los fabricantes para de esta forma observar aspectos que servirán de referencia a escala menor para una futura implementación de la red inalámbrica. Entre las configuraciones más importantes a realizar están las siguientes:

- Configuraciones de acceso,
- Configuraciones de grupos,
- Configuraciones de redes inalámbricas,
- Configuraciones de seguridad.

3.3.1 Configuraciones con soluciones Grandstream

Para la prueba con los equipos de *Grandstream* se contó con el punto de acceso *GWN 7610*, el cual de acuerdo a las especificaciones del fabricante puede ser configurado como una controladora inalámbrica. En la Figura 3.14 se muestra el acceso vía web al AP controladora, apuntando a la IP de fábrica 192.128.1.1 con las credenciales iniciales.

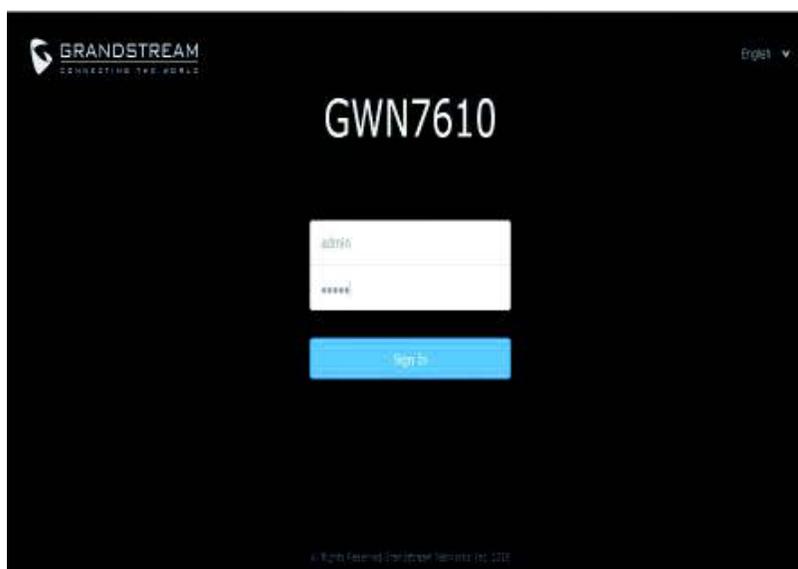


Figura 3.14. Acceso al AP Controladora *Grandstream*

En la Figura 3.15 se muestra el proceso de personalización del equipo, asignándole el nombre y la dirección IP dentro del segmento de red de administración especificado para la red inalámbrica.

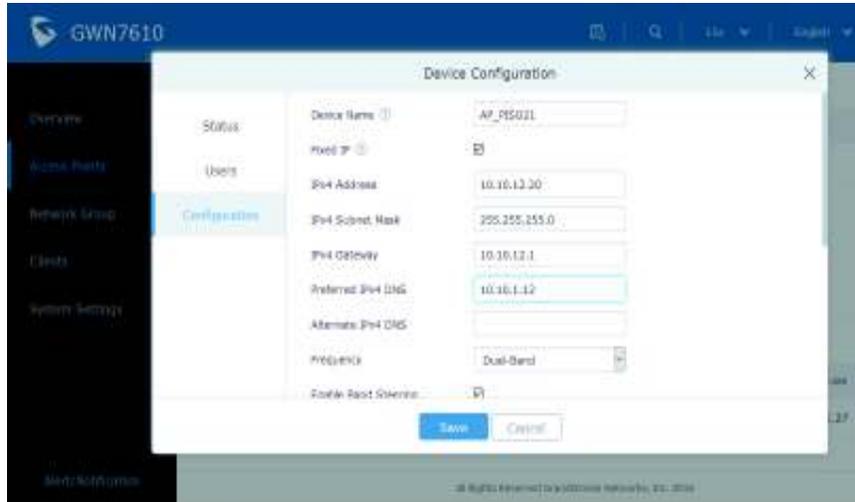


Figura 3.15. Configuración de red en el AP Controladora *Grandstream*

En la Figura 3.16 se muestra el menú principal del equipo con los puntos de acceso que se han unido a la controladora. En el menú Network Group (se configuran las redes inalámbricas), se muestran los dispositivos clientes dentro de la red y se configuran los parámetros de radiofrecuencia. Se puede apreciar en el gráfico en el recuadro de color que el AP se encuentra conectado a la red LAN y que se dispone de un AP conectado a la controladora.



Figura 3.16. Menú principal del AP Controlador *Grandstream*

En la Figura 3.17 se muestran las configuraciones de radio, se ha configurado la transmisión en doble banda; para la banda, de 2.4 GHz se ha configurado el estándar 802.11n con un ancho de banda de 40 MHz (conforme al diseño y simulación de la

WLAN) y para la banda de 5 GHz el estándar 802.11ac con un ancho de banda de 80 MHz (conforme al diseño y simulación de la WLAN).

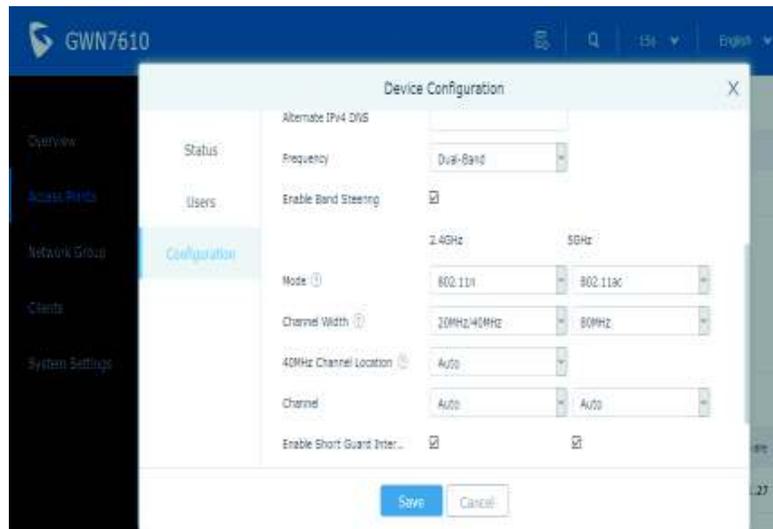


Figura 3.17. Configuración de radio en el AP Controladora *Grandstream*

En la Figura 3.18 se muestra la creación del grupo de red Corporativo definiendo la VLAN en la cual van a trabajar. En la Figura 3.19, se muestra la configuración de la red inalámbrica NGTSA_CORPORATIVO, en esta parte se especifica si la red estará oculta o visible y se le asigna el tipo de seguridad.

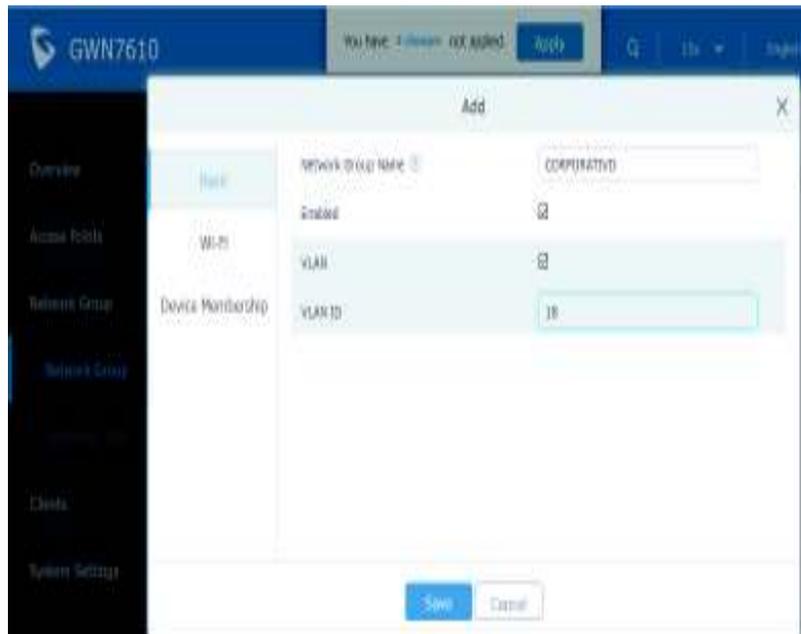


Figura 3.18. Configuración de grupos

En la Figura 3.20 se asignan las redes inalámbricas al punto de acceso.

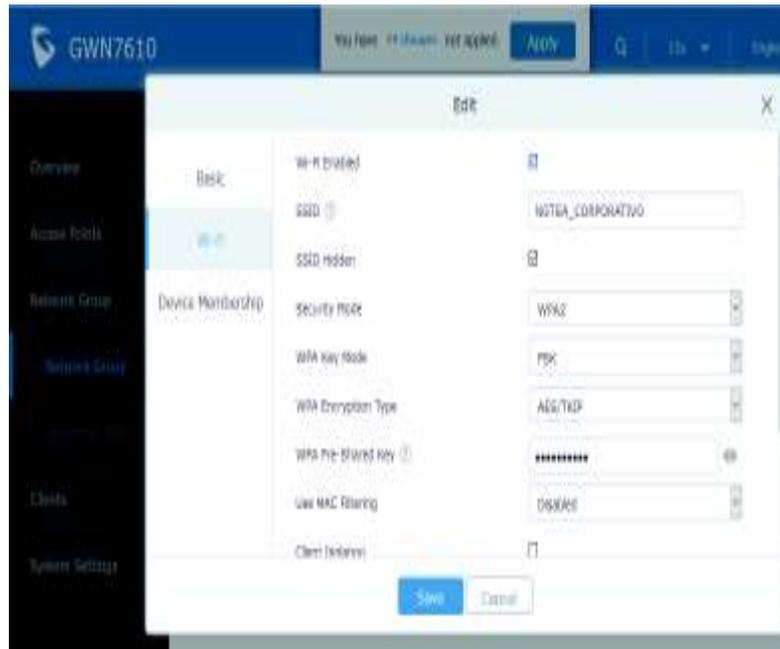


Figura 3.19. Configuración de redes inalámbricas

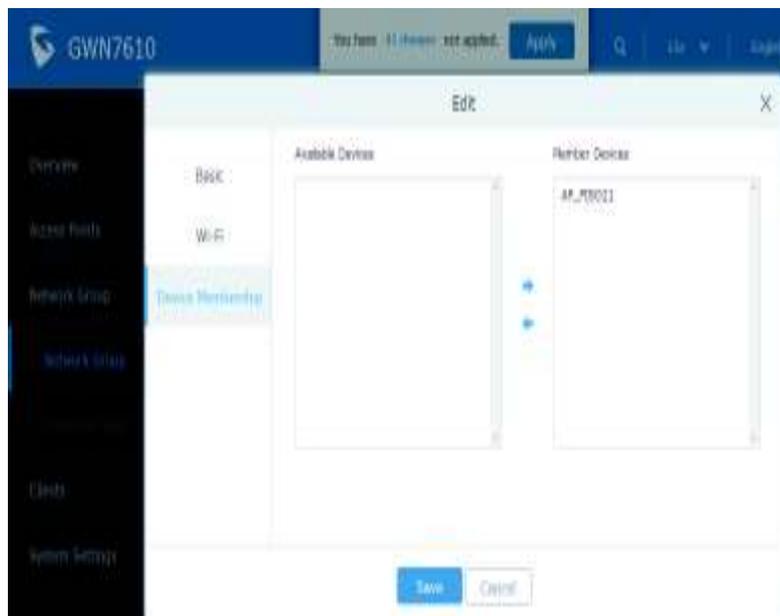


Figura 3.20. Configuración de grupos en los AP's

En la figura 3.21 se muestran todas las redes inalámbricas configuradas de acuerdo al diseño propuesto, las mismas que se encuentran activas. En la figura 3.22 se muestran las redes configuradas en el AP controladora *Grandstream*.

Network Group Name	Status	SSID	WiFi Enable	Actions
CAPACITACION	✓	NGTSA_CAPACITACION	✓	[Edit] [Delete]
CORPORATIVO	✓	NGTSA_CORPORATIVO	✓	[Edit] [Delete]
DIRECTIVO	✓	NGTSA_DIRECTIVO	✓	[Edit] [Delete]
INVITADOS	✓	NGTSA_INVITADOS	✓	[Edit] [Delete]
PRUEBAS	✓	NGTSA_PRUEBAS	✓	[Edit] [Delete]
group0	✓	GWNASD12C	✓	[Edit] [Delete]

Figura 3.21. Redes inalámbricas configuradas



Figura 3.22. Punto de acceso GWN 7610 y sus redes configuradas

3.3.2. Configuraciones con soluciones Ubiquiti

Para la prueba con la marca *Ubiquiti* se descargó de la página web el software *UniFi Controller* que hará la función de controladora inalámbrica. Para la instalación se requiere de un computador con sistema operativo Windows 7, 8 o 10. En la figura se observa la pantalla de ingreso al software de la controladora, el cual se hace mediante navegador con las credenciales previamente configuradas al ejecutar el instalador del software.

En la Figura 3.23 se muestra la vista general del menú de la controladora con las opciones de Estadísticas (muestra los clientes que se han unido a la red inalámbrica),

Mapa (en esta sección se muestra la cobertura de los AP's, y la topología de la red), clientes (muestra la información de los clientes, dirección IP, tiempo de actividad) y configuraciones del sistema (en este menú se configuran los parámetros de la red inalámbrica).

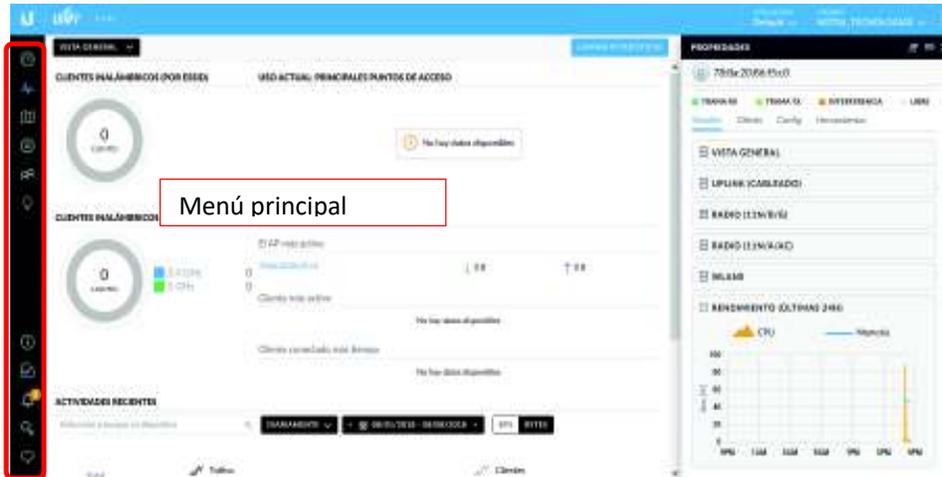


Figura 3.23. Menú principal controladora *Software UniFi*

En la Figura 3.24 se muestra la creación del grupo de red, el interno sobre el cual se han creado las redes institucionales, en la figura 3.25 se muestra el grupo externo para las redes de invitados y capacitación. En la Figura 3.26 se muestra la configuración de la red inalámbrica Corporativa, estableciendo el tipo de seguridad y se le asigna la VLAN.

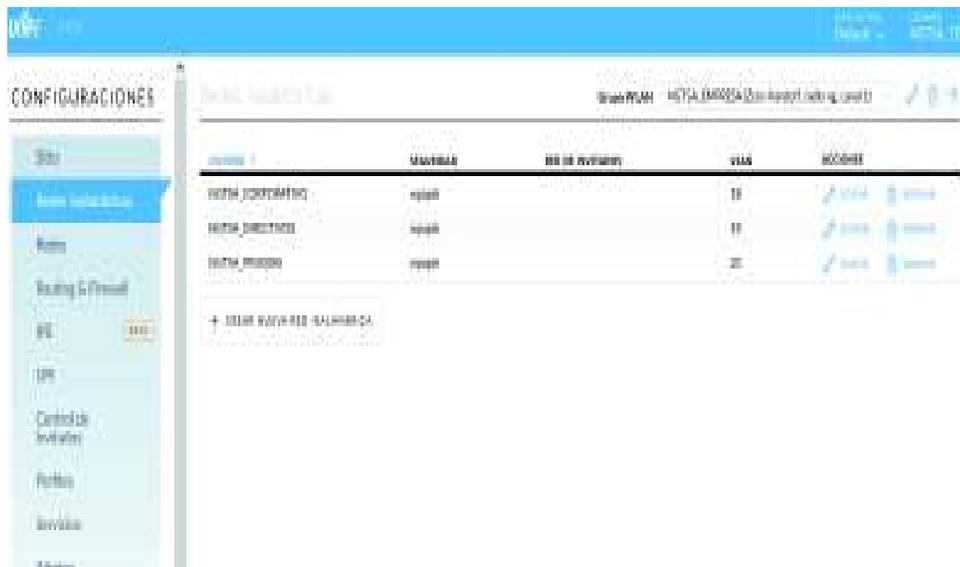


Figura 3.24. Configuración del grupo interno



Figura 3.25. Configuración del grupo externo

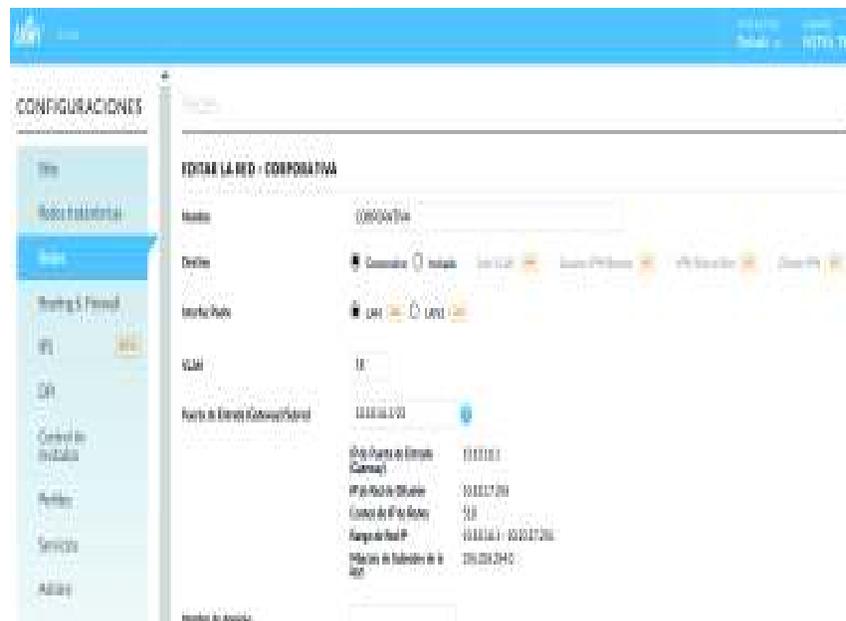


Figura 3.26. Configuración de la red Corporativa en la controladora *Ubiquiti*

En la figura 3.27 se muestran todas las redes inalámbricas configuradas de acuerdo al diseño propuesto. En la figura 3.28 se muestra el AP *Ubiquiti* con las redes configuradas.

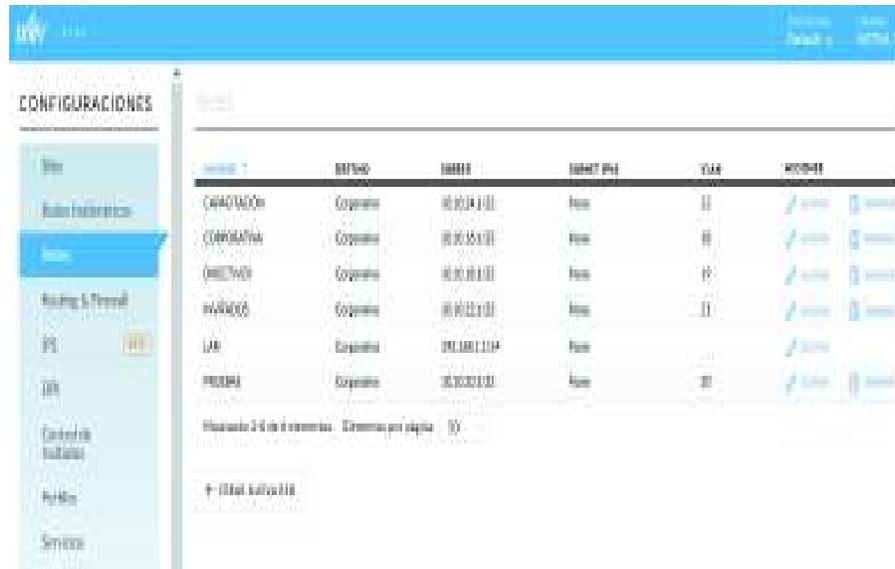


Figura 3.27. Redes Inalámbricas configuradas en la controladora Ubiquiti

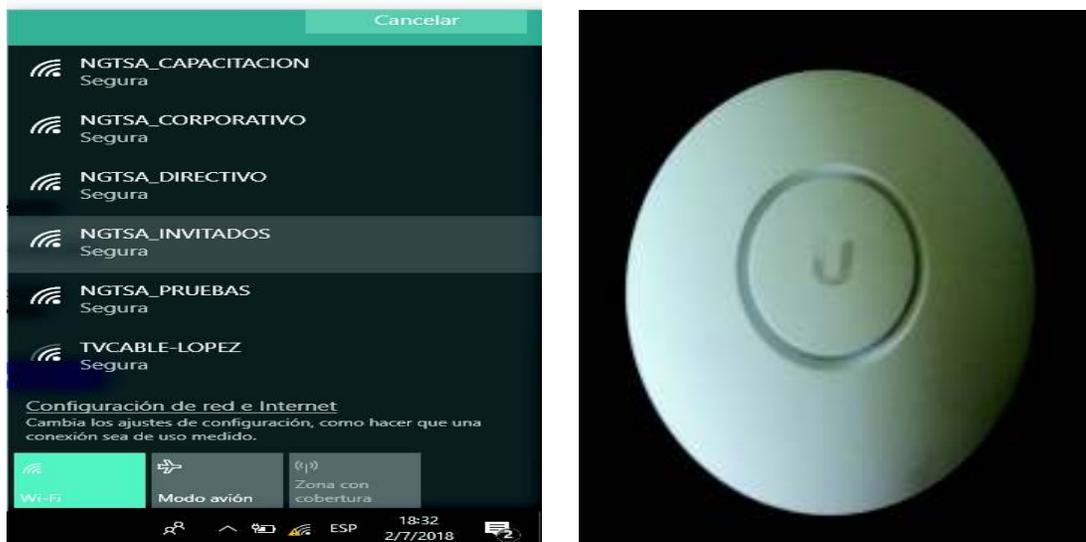


Figura 3.28. Punto de acceso Ubiquiti AP AC-PRO

3.3.3. Configuraciones con soluciones Cisco

Para la prueba con la marca *Cisco Systems*, se utilizó una controladora virtualizada bajo la plataforma VMware vSphere⁷⁰. El ingreso se lo realiza mediante navegador con las credenciales previamente configuradas. En la Figura 3.29 se muestra el menú principal con las opciones: WLAN (en esta sección se crean las redes inalámbricas), controller (en

⁷⁰ **VMware vSphere:** Es la plataforma de virtualización líder del sector para construir infraestructuras de cloud.

esta sección se configuran las VLAN's, servidor DHCP, etc), wireless (en esta sección se configuran los parámetros de radiofrecuencia, seguridad (en esta sección se configura la integración con mecanismo de seguridad avanzados como servidores LDAP, RADIUS, AAA, etc.)



Figura 3.29. Menú principal controladora *Cisco System*

En la Figura 3.30 se muestra la personalización del equipo asignándole la dirección IP 10.10.12.20 dentro del segmento de red de administración especificado para la controladora inalámbrica.

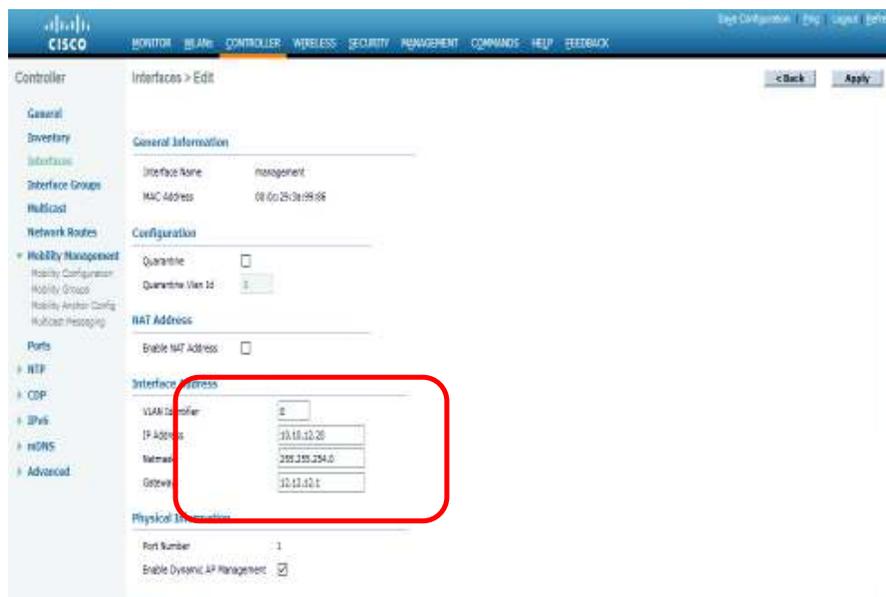


Figura 3.30. Configuración de red de la controladora *Cisco System*

En la Figura 3.31 se muestra la creación de la red inalámbrica Corporativa, mientras en la figura 3.32 se muestra la configuración de seguridad y la asignación de la VLAN de acuerdo al diseño.

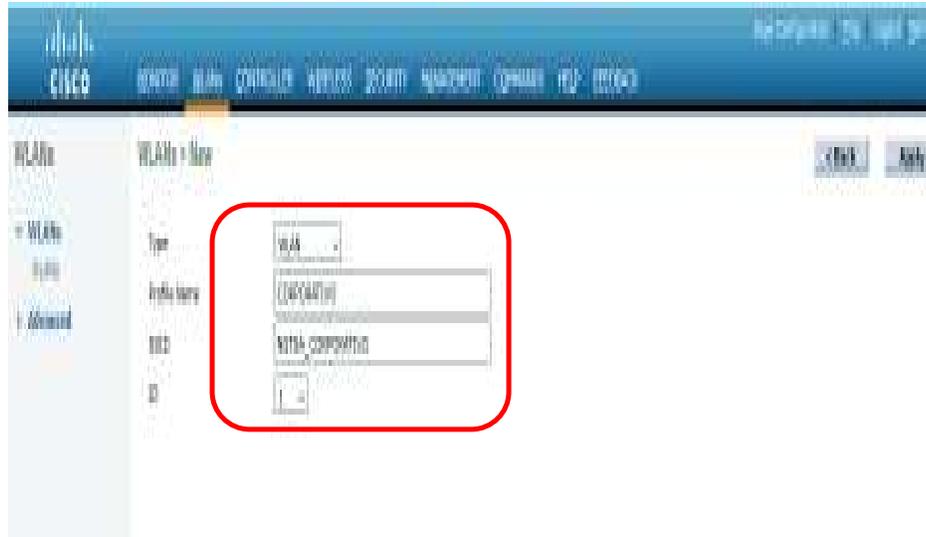


Figura 3.31. Configuración de la red Corporativa en la controladora Cisco



Figura 3.32. Configuración de seguridad red Corporativa en la controladora Cisco

En la figura 3.33 se muestran todas las redes inalámbricas configuradas de acuerdo al diseño propuesto las mismas que se encuentran activas. En la figura 3.34 se muestra el AP Cisco radiando las redes configuradas.



Figura 3.33. Redes Inalámbricas configuradas en la controladora Cisco



Figura 3.34. Punto de acceso Cisco

Después de realizadas las pruebas de funcionamiento y de configuraciones de acuerdo a los parámetros definidos en el diseño de las tres soluciones propuestas, en la tabla 3.4 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 3.4. Configuraciones realizadas en el diseño

Configuraciones	Solución Cisco	Solución Ubiquity	Solución Grandstream	Detalle
Configuraciones de acceso	X	X	X	Acceso WEB a la consola de administración, configuración dirección IP
Configuraciones de grupos	X	X	X	Creación de SSID, asignación de VLAN's.
Configuraciones de redes inalámbricas	X	X	X	Creación de redes WLAN, direccionamiento IP, parámetros de radiofrecuencia
Configuraciones de seguridad	X	X	X	Configuraciones de seguridad WPA2 PSK, difusión de SSID

De acuerdo a la tabla 3.4 las tres soluciones propuestas cumplen con las configuraciones necesarias para satisfacer las especificaciones del diseño, y de acuerdo a las pruebas de funcionamiento podemos establecer que para la implementación se podría optar por cualquiera de las tres opciones.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Para permitir la interoperabilidad entre los dispositivos legados que son compatibles con estándares anteriores a la versión 802.11n, la nueva red inalámbrica está diseñada para trabajar en la banda de frecuencias de 2.4 GHz bajo el estándar 802.11n. Mientras que para soportar a los nuevos dispositivos, la red inalámbrica también se diseñó para trabajar en la banda de 5 GHz bajo el estándar 802.11ac.
- Para el diseño de la red inalámbrica se consideraron las afectaciones que sufren las ondas electromagnéticas en ambientes interiores bajo el modelo *Linear Patch Attenuation*, de esta forma al realizar el cálculo de la potencia requerida mínima para la transmisión, se puede observar que las pérdidas de potencia por la presencia de obstáculos de acuerdo al modelo seleccionado en el proyecto técnico son representativas llegando a un valor máximo de 64.11dB's a una distancia de 5 metros en la frecuencia de 5 GHz. Por esta razón, las pérdidas por propagación en ambientes interiores es un aspecto que debe ser tomado en cuenta al diseñar la red para poder proveer de la potencia adecuada a los dispositivos.
- Para asegurar que la nueva red inalámbrica provea de la capacidad suficiente para los usuarios actuales, se consideró el historial de usuarios promedio por día durante el periodo comprendido entre los años 2013 y 2017. En cambio para determinar la capacidad necesaria futura se realizó la proyección de usuarios para los próximos cinco años, obteniéndose una tasa de crecimiento anual de 30,73% para el grupo de estudiantes del centro de capacitación, el cual presenta el mayor crecimiento.
- Para determinar la capacidad requerida de la red inalámbrica, además de la proyección de usuarios, se consideró la cantidad de dispositivos que podrá tener un usuario tanto en la actualidad como en el futuro. El valor proyectado de dispositivos futuros corresponde a un valor promedio aproximado de (476 usuarios/1428 dispositivos) considerando que cada usuario a futuro disponga de al menos tres dispositivos que puedan conectarse a la red.
- Se realizó el cálculo de tráfico actual por usuario, de acuerdo al uso y demanda de las aplicaciones en las redes corporativas; mediante la realización de una

encuesta se determinó la hora de mayor uso de la red, las aplicaciones de mayor uso y el factor de simultaneidad.

- Se consideró también que no necesariamente todos los dispositivos se conectarán de forma simultánea, para determinar este valor se realizó un análisis del factor de simultaneidad mediante la realización de una encuesta a una muestra de los usuarios actuales. La encuesta proporcionó datos sobre las aplicaciones de mayor uso: correo electrónico, navegación web, telefonía, videoconferencia, redes sociales, mensajería, videostreaming, así también de la hora de mayor carga para la red inalámbrica (11:00 a 12:00pm). El valor obtenido de uso de la red permite conocer el porcentaje de uso de 50% en la hora de mayor carga.
- Con los datos obtenidos en cuanto a capacidad de usuarios, tráfico y factor de simultaneidad, se estimó que la cantidad de puntos de acceso para satisfacer los requerimientos actuales y futuros es de diez, distribuidos en los pisos del edificio.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en la simulación se determinó que la cantidad de puntos de acceso necesarios para proveer de cobertura suficiente en cada uno de los pisos es de doce con una potencia de transmisión de -15 dBm, de esta forma se cumple con el requerimiento establecido en el diseño.
- En este proyecto la realización del Site Survey pasivo y activo, fue imprescindible para determinar la influencia de redes inalámbricas cercanas, la presencia de interferencias exige establecer un plan de reuso de frecuencias para proveer de cobertura a todas las áreas y con los mejores niveles de capacidad.
- El análisis de la infraestructura actual y de los servicios disponibles en la empresa, son determinantes al momento de realizar el diseño, ya que generan los datos más importantes para el dimensionamiento de la red inalámbrica y para su introducción e interconexión con los recursos disponibles.
- La implementación del mecanismo de seguridad WPA2 en la nueva red inalámbrica, es importante para garantizar la integridad y confidencialidad de la información que se transmite por el canal inalámbrico, puesto que la red puede ser vulnerable a los ataques por parte de quienes intenten interceptar los paquetes que se radían por el aire.

- La segmentación en redes, Vlan's y listas de control permiten el acceso a los recursos de la empresa de forma jerárquica, de esta manera se pueden separar redes con accesos limitados a los recursos corporativos.
- La realización de un análisis técnico comparativo de las soluciones existentes en el mercado nacional, permite conocer las capacidades de los equipos y de esta forma seleccionar la plataforma que mejor se adapte a los requerimientos del diseño y la empresa.
- La realización del estudio económico comparativo de las soluciones existentes en el mercado nacional permite conocer el costo monetario y con la ayuda de estudios de mercado, representan la referencia para la consecución del presupuesto destinado para la implementación de la solución inalámbrica.

4.2 Recomendaciones

- De concretarse la implementación de la nueva red, se recomienda la realización de Survey's periódicos con el propósito de determinar el comportamiento real de la red y de esta forma afinar los parámetros como canales de frecuencia, cobertura y ubicación de los puntos de acceso.
- La capacitación técnica al personal que estará a cargo de la administración es de suma importancia para el aprovechamiento de la red, reduciendo la dependencia de la contratación de servicios externos de soporte técnico.
- La elaboración de manuales de configuración permite a la empresa realizar la transferencia de conocimiento al personal de reciente contratación, reduciendo de esta forma la necesidad de incurrir en gastos de capacitación.
- Contar con respaldos de la configuración de los equipos controladores o del software permite la restauración de los servicios de forma rápida sin afectar de manera significativa las labores de la empresa.
- Contar con un plan de mantenimiento preventivo y correctivo asegura la continuidad del funcionamiento de la red inalámbrica previniendo las fallas, daños prematuros y permitiendo llegar al máximo de la vida útil de la solución inalámbrica.
- Es recomendable implementar un servidor de autenticación RADIUS con el objetivo de incrementar el nivel de seguridad de la red inalámbrica en las redes Corporativas y de Directivos.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] V.Jordan, H. Galperin, W. Pérez, "Banda Ancha en América Latina: Más allá de la conectividad", Chile, CEPAL, 2013. [En Línea] Disponible <http://www.cepal.Org/Socinfo>.
- [2] "INEN Aumento de usuarios de Smartphones". [En Línea] Disponible <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/en-ecuador-se-quintuplicaron-los-usuarios-de-telefonos-inteligentes/>
- [3] "MINTEL Aumento de los usuarios que ocupan WiFi en Samrtphones". [En Línea]. Disponible <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/9211-de-personas-usan-wi-fi-en-sus-telefonos/http://www.redalyc.org/html/823/82302305/>
- [4] Cisco, Implementig Cisco Unifed Networking Essentials, San José,CA, 2015.
- [5] J, Caballar, "Como construir una red inalámbrica", Alfaomega, Segunda Edición, 2005.
- [6] W, Stallings, "Wirelles Communications and Networks", Prentice Hall, Segunda Edición, 2005.
- [7] J, Gomez, "Guia de Campo Wi-Fi", Alfaomega, Primera Edición, 2005.
- [8] "Imagen puntos acceso", [En Línea]. Disponible en: <https://www.wifisafe.com/puntos-de-acceso-y-cpes.html>
- [9] "Imagen controladora inalambrica Cisco", [En Línea]. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/wireless/2504-wireless-controller/model.html>
- [10] Cisco Press, Fundamentals of Wirelles LAN's, Prentice Hall, Primera Edición 2006.
- [11] V, Alapont, "Seguridad en Redes Inalámbricas", [En Línea] Disponible en: <http://www.uv.es/~montanan/ampliación/trabajos/SeguridadWireless.pdf>. [Ultimo acceso: 20 07 2018].
- [12] "Como Diseñar una red inalambrica", [En Línea] Disponible en: <http://www.hometechcolombia.com/boletines/PDF/DisenarRedWiFi.pdf>. [Ultimo acceso: 20 07 2018].

- [13] Resolución Arcotel 2018, Agencia de regulación y control de las telecomunicaciones, [En Línea] Disponible en: www.ARCOTEL.gob.ec.
- [14] I, Bernal, Generalidades de las WLAN, [En Línea] Disponible en: <http://clusterfie.epn.edu.ec/ibernal/html/CURSOS/Oct05Marzo06/Inalambricas/CLASES/802-11Partelb.pdf> . [Ultimo acceso: 20 07 2018].
- [15] I, Bernal, "Comunicaciones Inalámbricas Estándar IEEE 802.11 primera parte", Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2008.
- [16] I, Bernal, "Comunicaciones Inalámbricas Estándar IEEE 802.11 segunda parte", Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2008.
- [17] Mohammed R., Mustafa A., Osman A. "A Comparison between IEEE 802.11a, b, g, n and ac Standards". IOSR Journal of Computer Engineering, Vol. 17, No. 5, Sep. – Oct. 2015, pp. 26-29.
- [18] Khanduri R., Khanduri S. "Performance Comparison Analysis between IEEE 802.11a/b/g/n Standards". International Journal of Computer Applications, Vol. 78, No.1, September 2013, pp. 13-20.
- [19] Hassan R., A/Nabi A. "Wi-Fi 802.11 ac vs. 802.11 ad Comparative Study". International Journal of Science and Research, Vol. 4, No. 6, June 2015, pp. 1082-1083.
- [20] Perahia E., Gong M. "Gigabit Wireless LANs: An Overview of IEEE 802.11ac and 802.11ad". ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications, Vol. 15, July 2011, pp. 23-33.
- [21] S. K. Narváz, "Estudio de QoS basado en el estándar IEEE 802.11e y alternativas de seguridad para redes locales inalámbricas aplicado en la WLAN de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi", Pontifica Universidad Católica del Ecuador, 2015.
- [22] M. Gast, "802.11n A Survival Guide, Editorial O Reilly", Primera Edición 2012.
- [23] I, Bernal, "Comunicaciones Inalámbricas Estándar IEEE 802.11n", Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2015.
- [24] A. M. Rodriguez, "Diseño e implementación en una institución financiera de una red

inalambrica WLAN administrable, escalable, con calidad de servicio (QoS), alta disponibilidad (HA) y que cumpla con el estandar 802.11n". Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2015.

- [25] S. N. Sancho, "Comprobación del estandar IEEE 802.11n utilizando el punto de acceso (AP) aironet 1250 de Cisco". Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2009.
- [26] Cisco, "802.11ac The Fifth Generation of WIFI, Marzo 2015", [En línea] Disponible en: <http://www.cisco.com/CiscoTecnicalPaper>. [Último acceso: 07 07 2018].
- [27] D. A. Ortiz, C. A. Cuichan, "Análisis Comparativo del desempeño del estandar IEEE 802.11ac respecto al IEEE 802.11n a través de simulación numérica apoyada por software", Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2015.
- [28] A. P. Reyes, "Diseño de una red de area local inalambrica para proveer servicios de voz, datos, video e internet en el campus del colegio y escuela Sagrado Corazón de Jesús Matriz Tulcán". Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2016.
- [29] "Tecnología de Proxima Generación NGT S.A". [En línea]. Disponible en: <http://ngtsa.com.ec/acerca.html> [Último acceso: 07 05 2018].
- [30] "Productos Tecnología de Proxima Generación NGT S.A". [En línea]. Disponible en: <http://ngtsa.com.ec/productos.html>. [Último acceso: 07 05 2018].
- [31] "Contactos Tecnología de Proxima Generación NGT S.A". [En línea]. Disponible en: <http://ngtsa.com.ec/productos.html>. [Último acceso: 07 05 2018].
- [32] "Cisco catalyst 3560". [En línea]. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/switches/catalyst-3560g-24ts-switch/model.html>. [Último acceso: 11 05 2018].
- [33] "Cisco catalyst 3650X Series". [En línea]. Disponible en: https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-3560-x-series-switches/data_sheet_c78-584733.html. [Último acceso: 11 05 2018].
- [34] "Cisco aironet 1130ag". [En línea]. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/wireless/aironet-1130-ag-series/tsd-products-support-series-home.html>. [Último acceso: 11 05 2018].
- [35] "Cisco Firewall ASA 5505". [En línea]. Disponible en:

- <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/security/asa-5500-series-next-generation-firewalls/datasheet-c78-733510.html>. [Último acceso: 11 05 2018].
- [36] “Características técnicas servidor IBM 3250X”. [En línea]. Disponible en: <http://www-01.ibm.com/common/ssi/cgi-in/ssialias>. [Último acceso: 17 05 2018].
- [37] “Características técnicas servidor HP Proliant G7”. [En línea]. Disponible en: <https://h20195.www2.hpe.com/V2/Getdocument.aspx?docname=c04199811>. [Último acceso: 17 05 2018].
- [38] “Plataforma de virtualización Citrix XenServer”. [En línea]. Disponible en: <https://lac.citrix.com/products/xenserver/>. [Último acceso: 22 05 2018].
- [39] “Plataforma de virtualización VmWare vSphere”. [En línea]. Disponible en: <https://www.vmware.com/products/vsphere.html>. [Último acceso: 22 05 2018].
- [40] “Software para análisis de redes inalámbricas WiFiHeat Maps”. [En línea]. Disponible en: <https://play.google.com/store/apps/details?id=ua.com.wifisolutions.wifiheatmap&hl=es>. [Último acceso: 25 05 2018].
- [41] “Software para análisis de redes inalámbricas WiFiHeat”. [En línea]. Disponible en: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.manageengine.wifimonitor&hl=es>. [Último acceso: 25 05 2018].
- [42] “Software para análisis de redes inalámbricas WiFi Analyzer”. [En línea]. Disponible en: https://play.google.com/store/apps/details?id=info.wifianalyzer.heatmap&hl=es_EC. [Último acceso: 25 05 2018].
- [43] “Software para análisis de redes inalámbricas TamoGraph”. [En línea]. Disponible en: <https://www.tamos.com/products/wifi-site-survey/wireless.php>. [Último acceso: 25 05 2018].
- [44] “Software para análisis de redes inalámbricas Acrylic Heat Maps”. [En línea]. Disponible en: <https://www.acrylicwifi.com/programas-software-herramientas-wifi/analisis-cobertura-wifi-acrylic-heatmaps-mapas-de-cobertura/>. [Último acceso: 25 05 2018].
- [45] “Software para análisis de redes inalámbricas Ekahau”. [En línea]. Disponible en: <https://www.ekahau.com/es>. [Último acceso: 25 05 2018].

- [46] Tapan K. Sarkar, Zhong Ji, Kyungjung Kim, Abdellatif Medouri and Magdalena Salazar-Palma, "A Survey of Various Propagation Models for Mobile Communication", IEEE Antenas and Propagation Magazine, Vol. 45, Nº.3, Junio del 2003.
- [47] Recommendation ITU-R P.1238-7, "Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunications systems and radio local area networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz", Electronic Publication, Geneva, 2012.
- [48] WIKIPEDIA. "Crecimiento poblacional". [En línea]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Crecimiento_poblacional. [Último acceso: 07 06 2018].
- [49] F. G. Guzme, J. P. Venegas, "Diseño de una red inalámbrica basada en el estándar 802.11ac para proveer servicio de Internet a los parques públicos de la parroquia San Antonio de la ciudad de Ibarra". Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2015.
- [50] A. P. Andrango A. R. Guallichicomin, "Estudio y diseño de una red inalámbrica de banda ancha para proveer de servicios de telecomunicaciones a centros tecnológicos rurales de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas". Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2012.
- [51] "Estadísticas Web de Google". [En línea]. Disponible en: <http://clickdirecto.com/estadisticas-web-de-google/>. [Último acceso: 22 04 2015].
- [52] J. Joskowicz, Voz, Video y Telefonía sobre IP, 12va Edición, Montevideo: Universidad de la República, 2013, p. 93.
- [53] E. G. Hurtado, A. G. Valladares, "Diseño e implementación de un prototipo que permita telefonía IP, servicio de acceso a internet, video vigilancia y geolocalización, en una unidad articulada del sistema de transporte Río Coca-Aeropuerto". Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2018.
- [54] "Que de banda necesita Skype". [En línea]. Disponible en: <https://support.skype.com/es/faq/FA1417/que-ancho-de-banda-necesitaskype>. [Último acceso: 12 06 2018].
- [55] "Llamadas VoIP en WhatsApp, Skype o Hangouts ¿Cuál gasta más datos". [En línea]. Disponible en: <http://www.movilzona.es/2015/03/10/llamadas-voip-comparativawhatsapp-skype-hangouts/>. [Último acceso: 12 06 2018].

- [56] "Cuanto ancho de banda consumen las aplicaciones de mensajería instantánea". [En línea]. Disponible en: <https://www.softonic.com/articulos/cuantos-datos-consumen-las-apps-para-chatear-y-videollamar-whatsapp-line-skype-facebook>. [Último acceso: 21 06 2018].
- [57] "Cuántos Megas consume Youtube". [En línea]. Disponible en: <http://www.chapintv.com/actualidad/cuantos-megas-gasta-un-minuto-de-video-de-youtube-aqui-la-respuesta-108413> [Último acceso: 25 06 2018].
- [58] Rojas. E, Poveda. L, " Estado de la banda ancha en América Latina y el Caribe", CEPAL, Santiago, marzo 2018.
- [59] Cisco, "Proyección del tráfico de internet en América", [En línea]. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/complete-white-paper-c11-481360.html>. [Último acceso: 27 08 2018].
- [60] Garg. V, "Wireless Communications and Networking", Atenuaciones de ondas de radio en ambientes interiores, Morgan Kaufmann Publishers ,Tercera edición 2007.
- [61] "Cálculo de usuarios por punto de acceso". [En línea]. Disponible en:<http://tic-enreda2.blogspot.com/2008/11/cálculo-de-usuarios-poraccess-points.html>. [Último acceso: 25 06 2018].
- [62] "Cantidad de puntos de acceso vs cantidad de usuarios por AP". [En línea]. Disponible en: <http://iconnect.cl/meraki-2/calculowifi/>. [Último acceso: 25 06 2018].
- [63] Cisco, Guía de diseño de redes WLAN tipo Campus, San José, CA, 2015.
- [64] "Ubiquiti redes inalámbricas 802.11ac". [En línea]. Disponible en: <https://www.ubnt.com/download/unifi/default/default/unifi-ac-aps-datasheet>. [Último acceso: 25 06 2018].
- [65] "Redes inalámbricas Grandstream". [En línea]. Disponible en: <http://www.grandstream.com/products/networking-solutions/wifi-access-points>. [Último acceso: 25 06 2018].
- [66] "Punto de acceso GWN 7600 Grandstream". [En línea]. Disponible en: <http://www.grandstream.com/products/networking-solutions/wifi-access-points/product/gwn7600>. [Último acceso: 25 06 2018].

- [67] "Punto de acceso GWN 7610 Grandstream". [En línea]. Disponible en: <http://www.grandstream.com/products/networking-solutions/wifi-access-points/product/gwn7610> . [Último acceso: 25 06 2018].
- [68] "Punto de acceso GWN 7600LR Grandstream". [En línea]. Disponible en: . <http://www.grandstream.com/products/networking-solutions/wifi-access-points/product/gwn7600-lr> [Último acceso: 25 06 2018].
- [69] "Redes inalámbricas unificadas Cisco". [En línea]. Disponible en: https://www.cisco.com/c/en_my/solutions/unified-wireless-network.html. [Último acceso: 29 06 2018].
- [70] "Controladora inalámbricas Cisco WLC 3504". [En línea]. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/3504-wireless-controller/datasheet-c78-738484.html> . [Último acceso: 29 06 2018].
- [71] "Controladora inalámbrica Cisco WLC 5500". [En línea]. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/5500-series-wireless-controllers/datasheet-listing.html>. [Último acceso: 29 06 2018].
- [72] "Controladora inalámbrica Cisco WLC 5520". [En línea]. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/5520-wireless-controller/datasheet-c78-734257.html>. [Último acceso: 29 06 2018].
- [73] "Controladora inalámbrica Cisco WLC 8540". [En línea]. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/8540-wireless-controller/datasheet-c78-734258.html>. [Último acceso: 29 06 2018].
- [74] "Punto de acceso Cisco Aironet 1815". [En línea]. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/aironet-1815-series-access-points/datasheet-listing.html>. [Último acceso: 29 06 2018].
- [75] "Punto de acceso Cisco Aironet 1830". [En línea]. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/aironet-1830-series-access-points/datasheet-listing.html>. [Último acceso: 29 06 2018].
- [76] "Punto de acceso Cisco Aironet 1850". [En línea]. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/aironet-1850-series-access-points/datasheet-listing.html>. [Último acceso: 29 06 2018].

- [77] "Punto de acceso Cisco Aironet 2800". [En línea]. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/aironet-2800-series-access-points/datasheet-listing.html> .[Último acceso: 29 06 2018].
- [78] "Punto de acceso Cisco Aironet 3800". [En línea]. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3800-series-access-points/datasheet-c78-736498.html>. [Último acceso: 29 06 2018].
- [79] "Punto de acceso Cisco Aironet 4800". [En línea]. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-4800-access-point/nb-09-air-4800-acces-ds-cte-en.html>. [Último acceso: 29 06 2018].
- [80] Estudio de Trabajo II Arana, "Selección de Nivel de Confianza y Precisión", [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/estudiodeltrabajollarana/unidad-2/2-5--seleccion-de-nivel-de-confianza-y-precision> . [Último acceso: 27 06 2018]..

6. ANEXOS

ANEXO I. Esquemas de modulación MCS

ANEXO II. Factor de simultaneidad o porcentaje de utilización de la red inalámbrica

ANEXO III. Simulación lógica red inalámbrica

ANEXO IV. Cotizaciones

ANEXO I

I. Esquemas de modulación MCS

MCS Modulation and Coding Scheme, que podría traducirse como “Sistema de Modulación y Codificación”. El estándar 802.11n define un total de 77 MCS. Cada MCS es una combinación de una modulación determinada (por ejemplo, BPSK, QPSK, 64-QAM), la tasa de codificación o Coding Rate (por ejemplo, 1 / 2, 3 / 4), el intervalo de guarda o Guard Interval (800ns o 400ns) y el número de secuencias espaciales o Spatial Streams. Todos los puntos de acceso 802.11n deben soportar (como mínimo) desde MCS0 hasta MCS15 y los clientes 802.11n desde MCS0 hasta MCS7. En la tabla I.1 se muestran los primeros 31 MCS esquemas de modulación.

Tabla I.1. Esquemas de modulación MCS [22].

MCS index	Spatial streams	Modulation type	Coding rate	Data rate (Mbit/s)			
				20 MHz channel		40 MHz channel	
				800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
0	1	BPSK	1/2	6.50	7.20	13.50	15.00
1	1	QPSK	1/2	13.00	14.40	27.00	30.00
2	1	QPSK	3/4	19.50	21.70	40.50	45.00
3	1	16-QAM	1/2	26.00	28.90	54.00	60.00
4	1	16-QAM	3/4	39.00	43.30	81.00	90.00
5	1	64-QAM	2/3	52.00	57.80	108.00	120.00
6	1	64-QAM	3/4	58.50	65.00	121.50	135.00
7	1	64-QAM	5/6	65.00	72.20	135.00	150.00
8	2	BPSK	1/2	13.00	14.40	27.00	30.00
9	2	QPSK	1/2	26.00	28.90	54.00	60.00
10	2	QPSK	3/4	39.00	43.30	81.00	90.00
11	2	16-QAM	1/2	52.00	57.80	108.00	120.00
12	2	16-QAM	3/4	78.00	86.70	162.00	180.00
13	2	64-QAM	2/3	104.00	115.60	216.00	240.00
14	2	64-QAM	3/4	117.00	130.00	243.00	270.00
15	2	64-QAM	5/6	130.00	144.40	270.00	300.00
16	3	BPSK	1/2	19.50	21.70	40.50	45.00
17	3	QPSK	1/2	39.00	43.30	81.00	90.00
18	3	QPSK	3/4	58.50	65.00	121.50	135.00
19	3	16-QAM	1/2	78.00	86.70	162.00	180.00
20	3	16-QAM	3/4	117.00	130.70	243.00	270.00
21	3	64-QAM	2/3	156.00	173.30	324.00	360.00
22	3	64-QAM	3/4	175.50	195.00	364.50	405.00
23	3	64-QAM	5/6	195.00	216.70	405.00	450.00
24	4	BPSK	1/2	26.00	28.80	54.00	60.00
25	4	QPSK	1/2	52.00	57.60	108.00	120.00
26	4	QPSK	3/4	78.00	86.80	162.00	180.00
27	4	16-QAM	1/2	104.00	115.60	216.00	240.00
28	4	16-QAM	3/4	156.00	173.20	324.00	360.00
29	4	64-QAM	2/3	208.00	231.20	432.00	480.00
30	4	64-QAM	3/4	234.00	260.00	486.00	540.00
31	4	64-QAM	5/6	260.00	288.80	540.00	600.00

ANEXO II

II. factor de simultaneidad o porcentaje de utilización de la red inalámbrica

Por su extensión, este anexo ha sido incluido en el CD adjunto a este proyecto de titulación.

ANEXO III

III.- Simulación lógica del diseño de la red inalámbrica.

Por su extensión, este anexo ha sido incluido en el CD adjunto a este proyecto de titulación.

ANEXO IV

IV.- Ofertas económicas.

Por su extensión, este anexo ha sido incluido en el CD adjunto a este proyecto de titulación.

ORDEN DE EMPASTADO