



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE
MONITOREO, COMUNICACIÓN Y ROAMING PARA UNA
EMPRESA TECNOLÓGICA BASADO EN UNA RED
INALÁMBRICA”**

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

Presentado por:

Luis Enrique Cuadrado Nuñez

Rommel Stephen Morales Vinuesa

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

DEDICATORIA

Este proyecto es dedicado para mis familiares y mis amigos, todos ellos han sido parte fundamental en mi vida. En especial a mi tía Lucy que es una persona muy especial para mí, siendo mi ejemplo de vida, mi Mamá y abuelitos, que siempre han creído en mí y me han apoyado en todo lo que he necesitado, su cariño y comprensión han sido factores primordiales para superar las adversidades de la vida.

Luis Cuadrado Nuñez

El presente proyecto se lo dedico en primer lugar a Dios por permitir haber alcanzado esta meta, a mi madre que siempre me ayudo tanto anímicamente como económicamente, a mi padre que me brindo sus conocimientos y experiencias, a mi abuelita que es mi segunda madre, a mi enamorada por brindarme su apoyo en las distintas etapas de mi vida y a mis amigos y familiares que me dieron la mano cuando he necesitado de su ayuda. Gracias a todos por su apoyo incondicional.

Stephen Morales Vinueza

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, que siempre me ha guiado a lo largo de mi vida, a mis Padres por apoyarme siempre, a mis amigos por su estima y camaradería, a mi mejor amigo y novia por ser un apoyo constante.

A la Patria por permitirme educarme, y ser una persona más culta, a todos los profesores que aportaron su granito de formación en mi persona, en especial al Ing. Washington Medina, por su paciencia y su noble labor de guiarnos en la elaboración de este proyecto, finalmente agradezco al Ing. Rovayo por confiar en nosotros y permitirnos realizar este proyecto en su empresa.

Luis Cuadrado Nuñez

Mi más sincero agradecimiento a mi familia que me apoyó de manera emocional y económica para poder alcanzar esta meta, a mi enamorada y amigos que me alentaron para ser una mejor persona y estudiante, a mis compañeros y profesores con los que compartí grandes experiencias a nivel educativo como en lo personal, y por ultimo pero no menos importante a INGEMEDICA S.A. por haber confiado y permitir la realización de este proyecto en su infraestructura y al Ing. Washington Medina por guiarnos en la elaboración de este proyecto.

Stephen Morales Vinueza

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Luis Enrique Cuadrado Nuñez y Rommel Stephen Morales Vinueza, damos nuestro consentimiento para que la ESPOC realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

.....

Luis Enrique Cuadrado Nuñez

.....

Rommel Stephen Morales Vinueza

EVALUADORES

Washington Medina Moreira, MSc

PROFESOR DE LA MATERIA

Juan Romero Arguello, MSc

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En la actualidad las empresas tecnológicas requieren redes que sean seguras, gestionables, y que permitan a sus usuarios gozar de una velocidad adecuada para realizar tareas que impliquen conexión a Internet.

La empresa INGEMEDICA S.A. posee una red inalámbrica con problemas de: cobertura, solapamiento entre sus propios puntos de acceso, es una red sin la capacidad de poder ser monitoreada y de ofrecer una conexión continua a Internet cuando los usuarios se movilizan por la cobertura provista. Se pretende diseñar y levantar una red inalámbrica que pueda proveer servicios de monitoreo de datos, Roaming y que sea eficiente en términos de cobertura y de cantidad de usuarios, además de mejorar la seguridad y la priorización de puertos en la red cableada.

En el proyecto se ha utilizado cable de red Ethernet y conectores RJ45 para la conexión entre los puertos del Conmutador y los AP's seleccionados, el diseño de esta red se realizó basándose en el modelo de propagación "Multi Wall" y el Software "Ekahau Site Survey".

Se logró conseguir una red eficiente en términos de cubrir la cobertura, número de usuarios y de minimizar la interferencia co-canal producida por varias redes de la antigua red, además de obtener la capacidad de Roaming y el monitoreo de datos para prevención de errores.

Gracias a la segmentación de la red realizada por las VLANs creadas se pudo mejorar la seguridad interna de la red y disminuir la cantidad de dominios de colisión en la red.

ABSTRACT

Nowadays technological companies require secure, manageable networks that allow their users to enjoy an adequate velocity to improve tasks with relation of Internet connection.

INGEMEDICA S.A. has a wireless network with problems of: coverage, overlapping between their own access points, it can't offer data monitoring and Roaming neither. The main idea is to design and build a wireless network that can provide data monitoring, Roaming and efficient services in terms of coverage and number of users, as well as improving the security and prioritization of ports in the wired network.

The project has used Ethernet Cables and RJ45 connectors to achieve the connection between the Switch ports and the selected AP's, the network design is based on the propagation model "Multi Wall" and the Software "Ekahau Site Survey".

An efficient network was achieved in terms of coverage, number of users and minimizing the co-channel interference produced by several networks of the old network. It has also achieved Roaming service and the data monitoring for error prevention.

Network security and the number of collision domains has been increased and decreased respectively thanks to VLANs created.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE GENERAL	IV
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	3
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.4 ESTADO DEL ARTE.....	3
1.5 MARCO TEÓRICO.....	4
1.6 ALCANCE DEL PROYECTO.....	9
CAPÍTULO 2	11
2. METODOLOGÍA	11
2.1 DESCRIPCIÓN.....	11
2.2 DESCRIPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA	13
2.3 ESTADO DE LA RED INALÁMBRICA ACTUAL	16
2.3.1 <i>Equipos de la Red Inalámbrica</i>	16
2.3.2 <i>Diagrama de la Topología de la Red</i>	18
2.3.3 <i>Cobertura Inalámbrica de la Red</i>	18
2.4 REQUERIMIENTOS PARA LA NUEVA RED	19
2.5 ANÁLISIS DE LOS EQUIPOS A UTILIZAR PARA LA RED INALÁMBRICA	21
2.6 DISEÑO DE UBICACIÓN DE LOS AP	22
2.6.1 <i>Planta Baja</i>	24
2.6.2 <i>Planta Alta</i>	30
2.7 CONFIGURACIÓN E INSTALACIÓN DE LOS AP.....	39
2.7.1 <i>Configuración del Controlador UNIFI</i>	39
2.7.2 <i>Configuración de los Parámetros de la Red Inalámbrica</i>	42
2.8 CONFIGURACIÓN DE SERVICIOS	46
2.8.1 <i>Roaming</i>	46
2.8.2 <i>Seguridad</i>	46
2.8.3 <i>Prioridad de Puertos</i>	48

2.8.4 VLANs.....	49
CAPÍTULO 3	51
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	51
3.1 DESCRIPCIÓN.....	51
3.2 EVALUACIÓN DE COBERTURA.....	51
3.3 EVALUACIÓN DE SERVICIOS	56
3.3.1 <i>Monitoreo de la Red Inalámbrica</i>	56
3.3.2 <i>Roaming</i>	58
3.3.3 <i>VLANs</i>	60
3.4 TABLA DE COSTO	60
CAPÍTULO 4	62
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFÍA.....	64

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
IEEE	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
SERCOP	Servicio Nacional de Contratación Pública
AP	Punto de Acceso
LAN	Red de Área Local
WLAN	Red Inalámbrica de Área Local
VLAN	Red de Área Local Virtual
PIRE	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente
QoS	Calidad de Servicio
PoE	Power Over Ethernet
SSID	Service Set Identifier
IP	Internet Protocol
MAC	Media Access Control
MIMO	Multi Input Multi Output

SIMBOLOGÍA

dB Decibelio

dBm Decibelio-milivatio

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Plano de la Planta Baja.....	14
Figura 2.2 Plano de la Planta Alta.....	15
Figura 2.3 Topología de la Red.....	18
Figura 2.4 Cobertura Actual Edificio Planta Baja.....	19
Figura 2.5 Cobertura Actual Edificio Planta Baja.....	19
Figura 2.6 Requerimiento de Cobertura en la Planta Baja	20
Figura 2.7 Requerimiento de Cobertura en la Planta Alta	20
Figura 2.8 Ubicación de los AP en la planta baja, diseño 1.....	24
Figura 2.9 Ubicación de los AP en la planta baja, diseño final	27
Figura 2.10 Simulación de cobertura de los AP para la planta baja	29
Figura 2.11 Ubicación de los AP en la planta alta, diseño 1.....	30
Figura 2.12 Ubicación de los AP en la planta alta, diseño 2.....	33
Figura 2.13 Simulación de cobertura de los AP para la planta alta, diseño inicial	35
Figura 2.14 Ubicación de los AP en la planta alta, diseño final	36
Figura 2.15 Simulación de cobertura de los AP en la planta alta, diseño final....	38
Figura 2.16 Configuración del Punto de Acceso	39
Figura 2.17 Creación de la red Wifi.....	40
Figura 2.18 Configuración del acceso al controlador	40
Figura 2.19 Resumen de los datos ingresados	40
Figura 2.20 Inicio de Sesión UNIFI	41
Figura 2.21 Configuración de un nuevo AP en la red	41
Figura 2.22 Actualización del AP	42
Figura 2.23 Estado de los AP de la red.....	42
Figura 2.24 Creación de Grupo WLAN en UNIFI	43
Figura 2.25 Configuración de Roaming UNIFI	43
Figura 2.26 Configuración parámetros de la red inalámbrica	44
Figura 2.27 Ingreso de los AP para la red inalámbrica creada	44
Figura 2.28 Configuración de potencia de transmisión de los AP	45

Figura 2.29 Configuración de la red de área local.....	46
Figura 2.30 Ingreso de IP estática en PC.....	47
Figura 2.31 Lista de direcciones MAC accedidos a la red obtenida en la interfaz de configuración del Switch TP-Link	47
Figura 2.32 Configuración del Filtrado por MAC en el Switch	48
Figura 2.33 Configuración de QoS por puertos del Switch.....	49
Figura 2.34 Configuración de tipo de puertos del Switch (1-14).....	49
Figura 2.35 Configuración de tipo de puertos del Switch parte (11-24).....	50
Figura 2.36 Creación de VLANs en el Switch	50
Figura 3.1 Mediciones de potencia en la planta baja	52
Figura 3.2 Mediciones de potencia en la planta alta	53
Figura 3.3 Mapa de cobertura del rediseño en Planta Baja.....	54
Figura 3.4 Gráfico de redes inalámbricas por canal Planta Baja	55
Figura 3.5 Gráfico de redes inalámbricas por canal Planta Alta	55
Figura 3.6 Gráfico de redes inalámbricas por canal Final	55
Figura 3.7 Estado de los AP en la red inalámbrica.....	56
Figura 3.8 Datos estadísticos de la red inalámbrica	56
Figura 3.9 Gráfico de Tráfico vs Tiempo y Clientes vs Tiempo por AP (Parte Alta)	57
Figura 3.10 Gráfico de Tráfico vs Tiempo y Clientes vs Tiempo por AP (Parte Baja)	57
Figura 3.11 Tabla de clientes de la red inalámbrica	58
Figura 3.12 Gráfico de Tráfico vs Tiempo y Clientes vs Tiempo por AP (Evaluación del Roaming)	58
Figura 3.13 Gráfico de Tráfico Total vs Tiempo y Clientes vs Tiempo (Evaluación del Roaming)	59
Figura 3.14 Gráfico para visualizar el cambio de AP.....	59
Figura 3.15 Gráfico Cliente vs Tiempo de medición	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Sensibilidad de recepción	17
Tabla 2.2 Principales características de los UAP	22
Tabla 3.1 Mediciones de potencia en la planta baja.....	51
Tabla 3.2 Mediciones de potencia en la planta baja.....	52
Tabla 3.3 Tabla de Costo del proyecto	61

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

En la actualidad debido al avance de la tecnología se han desarrollado dispositivos electrónicos que permiten de manera directa o indirecta la comunicación entre las personas, ejemplo de estos dispositivos son: celulares, laptops, tablets, etc. Con la evolución de las telecomunicaciones se ha desarrollado la comunicación inalámbrica, la cual es implementada en estos dispositivos. El acceso a internet es un servicio básico, debido a que la mayoría de los usuarios tienen la necesidad de interactuar entre sí, por lo cual el internet es una vía factible y de fácil acceso. Si la red no brinda una cobertura suficiente los dispositivos no podrán utilizar la velocidad máxima asignada a la red, lo que genera inconvenientes de comunicación con los equipos y usuarios.

Debido al crecimiento de la empresa INGEMEDICA S.A., en infraestructura y al desarrollo tecnológico de los equipos que disponen ahora de la capacidad de conexión a Internet, la cual sirve para realizar procesos de actualización de Software, de monitoreo y de prueba de equipos de una forma más rápida y eficiente, ya que la red inalámbrica actual carece de una correcta cobertura, se produce el efecto de reducción de la velocidad de carga/descarga de estos datos produciendo retrasos en estos procesos. Además, es necesario mejorar dicha cobertura debido a que ciertas áreas importantes de la empresa no tienen conexión a internet lo que genera un malestar a las personas que laboran en dichas áreas.

La actual red inalámbrica es inestable debido a que los equipos suelen tener intermitencias en su funcionamiento, existe un solapamiento entre las propias redes de la empresa generando problemas de comunicación que utilizan este medio, mientras que la red cableada es insegura, posee muchos dominios de colisión que generan una mayor cantidad de tráfico en la red. Esto se traduce en latencia para procesos importantes que la empresa realiza, por ejemplo: propuestas ofertadas en los procesos de licitación del SERCOP.

Además, los usuarios y equipos de la empresa requieren una conexión continua a internet y en casos de movilidad es necesario que el equipo siga conectado al servicio de internet, por lo cual se necesita que la red tenga un servicio de Roaming, para evitar pérdidas de datos al momento de realizar evaluaciones y monitoreos en los equipos, lo que ocasiona el reinicio del proceso generando pérdidas de tiempo en el momento de evaluación de estos equipos.

1.2 Justificación del problema

Se necesita rediseñar la red inalámbrica de la empresa INGEMEDICA S.A. ya que posee falencias en la ubicación y elección de sus puntos de acceso, debido a que existe una falta de cobertura en ubicaciones importantes del mismo y los equipos fallan en su funcionamiento, para lograr esta capacidad de conexión estable dentro de las áreas importantes del edificio es importante dotarle a la red la posibilidad de que brinde el servicio de Roaming, ya que los equipos y usuarios de la empresa podrán movilizarse dentro de la misma sin perder conexión a Internet.

El proyecto dotará a la red cableada de una mayor seguridad debido a la segmentación por tipos de usuarios que las VLANs nos proveerán, los diferentes departamentos tendrán privacidad entre ellos, garantizando la confidencialidad de la información que es compartida.

Desde un enfoque tecnológico, gestionar la red implica realizar un monitoreo de datos, para así evitar posibles errores, por ejemplo: intermitencia, desconexión de los puntos de acceso, etc; además de otorgar servicios como: número de clientes actuales, consumo de datos de los clientes, etc.

Debido a los altos costos que se manejan en el mercado de los dispositivos necesarios para una red inalámbrica, se buscará equipos que puedan brindar dichos servicios con un precio accesible. Además, se realizará un estudio con un modelo de propagación y un Software para la simulación de cobertura, para obtener la ubicación de los Puntos de Acceso (AP) de una manera optimizada cubriendo todos los requerimientos utilizando la menor cantidad de equipos en el levantamiento de la nueva red inalámbrica.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y levantar una red inalámbrica, con los beneficios necesarios para los servicios de monitoreo, comunicación y pruebas de equipos tecnológicos de la empresa INGEMEDICA S.A.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar la red inalámbrica con la que se consta actualmente y de los dispositivos que la conforman.
- Realizar un plano general de la estructura de la red dentro del edificio.
- Desarrollar un estudio de niveles de señal en el edificio con la ayuda de modelos de propagación y Software.
- Analizar y evaluar equipos que permitan la implementación de la red inalámbrica con servicios de Roaming y monitoreo.
- Brindar la capacidad de Roaming a la red inalámbrica.
- Mejorar la seguridad mediante el filtrado MAC.
- Ofrecer prioridad a los equipos médicos y de oficina que están conectados a la red al momento del acceso a internet.
- Dividir segmentos de red mediante las VLANs.
- Evaluar la cobertura y los servicios de monitoreo, comunicación y Roaming dentro la de red inalámbrica.

1.4 Estado del Arte

En esta sección se redactará una comparación entre proyectos realizados que poseen temas relacionados al que se desarrollará en este proyecto.

En [1] se diseñó una red inalámbrica para fines académicos que cumplan con una cobertura total del edificio además de una velocidad adecuada para el mismo. La realización de esta red fue hecha mediante un diseño en radiofrecuencia para la ubicación de los AP y la arquitectura de la red cableada generando una LAN. Nosotros realizaremos un esquema de diseño semejante debido a que ya existe

una red LAN en la empresa y sólo necesitamos modificar la ubicación y la calidad de los AP para que exista una mejor cobertura y una mejor calidad de servicio.

En [2] también se diseñó una red inalámbrica para una empresa, añadiendo el hecho que se asignaron VLANs y listas de control de acceso para la configuración de seguridad en el acceso a la red inalámbrica, a diferencia de nuestro proyecto cuyo control se realizará por las direcciones MAC de los dispositivos frecuentemente utilizados en ciertas áreas del edificio.

En [3] se realizó un diseño para obtener conectividad WiFi para la Universidad Santo Tomás, específicamente en el campus de Floridablanca; aquí la finalidad es otorgarle acceso a Internet a los usuarios del campus, en nuestro caso queremos otorgarle a la empresa servicios de monitoreo y Roaming.

1.5 Marco Teórico

A continuación, se relata una síntesis teórica acerca del diseño de la red inalámbrica para la empresa INGEMEDICA S.A., conceptos teóricos que muestran el uso de las herramientas y elementos necesarios que se utilizarán para la implementación.

Estado actual de las redes inalámbricas

Actualmente las redes inalámbricas se han abierto camino al crecimiento de una manera muy rápida, debido a que dichas redes se han convertido en una alternativa en el acceso a internet tanto en lugares empresariales como residenciales.

Las ventajas que se dispone teniendo una red inalámbrica con una red cableada es evitando el uso de cables, obteniendo movilidad para nuestros equipos y obteniendo una cobertura que llega a lugares que un cable es inaccesible; también que se dispone de una mejor facilidad y rapidez al momento de la implementación e instalación de la red inalámbrica; y se obtiene una mayor sencillez al añadir nuevos usuarios evitando así instalar nuevos puntos de conexión.

Sin embargo, se dispone de algunas desventajas de las redes inalámbricas como lo son la seguridad y que la velocidad de transmisión de datos sea limitada, aunque con la evolución de la tecnología se han ido mejorando.

El tema de seguridad es importante para la red inalámbrica de área local, debido a que a través de ella se transmite información de procesos económicos y técnicos que no deben ser de conocimiento público. Para lo cual se ha desarrollado varios protocolos y métodos de protección para la seguridad de las redes inalámbricas, que van desde el filtrado por la dirección MAC, encriptación, protocolo WEP y una mezcla de estándares y protocolos que involucra encriptación y autenticación.

Tipos de redes inalámbricas

Existen dos clasificaciones para las redes inalámbricas que son las siguientes:

Según su frecuencia:

Se clasifica las redes inalámbricas según el rango de frecuencia a la que estas están operando, las cuales se dividen en 3 tipos:

- **Terrestres**
- **Satelitales**
- **Infrarrojas**

Según su cobertura:

Según el alcance de la cobertura que nos pueda dar nuestra red inalámbrica se dividen en 4 tipos:

- **WPAN (Wireless Personal Area Network):** Se las considera de baja potencia y nos brinda una cobertura máxima de 10 metros, por lo cual se la considera de cobertura personal. Aquí entran tecnologías que requieren bajas tasas de transmisión de datos y una comunicación segura como lo son: Bluetooth, Zigbee, HomeRF, RFID, etc.
- **WLAN (Wireless Local Area Network):** Se las considera de media potencia y nos brinda una cobertura máxima de 20 kilómetros y presentan mejoras en la velocidad de transmisión de datos. Aquí entra la tecnología WIFI.

- **WMAN (Wireless Metropolitan Area Network):** Se las considera de moderada potencia y nos brinda una cobertura máxima de 70 kilómetros. Aquí entra la tecnología WiMAX.
- **WWAN (Wireless Wide Area Network):** Se las considera de alta potencia y nos brinda una cobertura máxima de miles de kilómetros. Aquí entra la telefonía celular.

Topología de las redes inalámbricas locales

La topología de la red es la estructura jerárquica de los elementos que hacen posible la interconexión de los equipos. Wifi contempla 3 tipos de estructuras:

- **BSS o Modo Infraestructura:** En este tipo de configuración se dispone de un punto de acceso para la coordinación de la comunicación entre terminales de la red.
- **IBSS o Modo Ad Hoc:** En este tipo de configuración se obtiene un grupo de equipos conectados entre sí directamente, sin que exista un punto de acceso intermedio.
- **ESS:** En este tipo de configuración se dispone de varios puntos de acceso, lo cuales se unen para tener una red mucha más extensa a niveles de cobertura.

Capacidad y cobertura

La capacidad de datos para un dispositivo conectado a la red varía según la cantidad de dispositivos que están conectado a la misma, por lo cual si se dispone de un solo equipo conectado este tendrá el total de capacidad de datos que se dispone por nuestro proveedor de internet; mientras que si se dispone de varios equipos conectados estos deberán compartirse la capacidad de datos total.

La cobertura que se obtiene en una red inalámbrica depende de la potencia de transmisión a la cual operan los puntos de acceso, en donde a mayor potencia se obtiene una mayor cobertura. Existe una limitación en la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE), la cual para Ecuador está limitada a un máximo de 30 dBm.

Roaming

El servicio de Roaming se le denomina a la posibilidad que tiene un terminal conectado a nuestra red de trasladarse a diferentes lugares, cambiándose de puntos de acceso automáticamente sin perder la conexión a internet; para ello debe haber una superposición de cobertura entre los puntos de acceso de la red.

El estándar IEEE 802.11 no define las especificaciones que se debe dar para el servicio de Roaming, por lo tanto, cada empresa dispone de su propio algoritmo para la realización del servicio de Roaming.

Antenas

Es un elemento el cual ha sido diseñado para transmitir y recibir ondas electromagnéticas, con lo cual se puede realizar una comunicación inalámbrica. La calidad de la comunicación depende de la potencia de transmisión de los equipos y de la sensibilidad de los receptores, para lo cual si no se tiene una buena potencia de recepción las ganancias de las antenas nos ayudan a tener un mejor nivel de señal.

Existen básicamente 3 tipos de antenas:

- **Omnidireccionales:** Su patrón de propagación va en todas las direcciones.
- **Sectoriales:** Su patrón de propagación es una apertura, las cuales pueden ser aperturas de 30°, 45°, 60°, 90° y 120°.
- **Direccionales:** Su patrón de propagación es un haz, ya que solo propagan en una dirección.

Puntos de acceso

Los puntos de acceso son los dispositivos que permiten la comunicación inalámbrica, debido a que estos se conectan generalmente por el cable Ethernet y transmiten los datos en forma de ondas electromagnéticas y viceversa. Debido a la potencia a las que éstos transmitan y a las antenas que poseen dependerá su alcance de cobertura, por lo cual en caso de no cubrir toda el área requerida se puede utilizar varios puntos de acceso para nuestra red y otorgar el servicio de

Roaming para que los usuarios se puedan movilizar por toda el área sin pérdidas de conexión.

Existen dos tipos de puntos de acceso los básicos y los robustos. Los puntos de acceso básicos son más económicos, fácil de configurar y generalmente no tienen problemas de compatibilidad con otras marcas, pero sus funciones son limitadas y no nos otorgan el servicio de Roaming. Los puntos de acceso robustos poseen muchas más funciones como, por ejemplo, ajustar la potencia de transmisión del equipo, Roaming, Firewall y filtrados de datos, etc.

Los puntos de acceso para brindar el servicio de Roaming poseen un algoritmo que toma las decisiones de cuándo se necesita realizar el cambio de un punto de acceso a otro, cada marca de puntos de acceso elabora su propio algoritmo, por lo tanto, puede existir problemas de compatibilidad al momento de realizar este servicio con equipos de diferentes marcas.

Controlador de puntos de acceso

Los controladores de puntos de acceso o también llamados Switch, son los equipos que realizan la interconexión de equipos que lógicamente están ubicados en la misma red, por lo cual se los utiliza para gestionar los datos que son direccionados por sus puertos.

Router

El router es un equipo encargado de realizar la interconexión de redes, por lo cual se los utiliza para realizar la conexión de nuestra red inalámbrica a la ISP.

Estándares de redes inalámbricas locales

Hay una gran variedad de estándares que rigen las redes inalámbricas locales, los cuales iniciaron con el 802.11, que fue desarrollado por el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE); dicho estándar ha ido evolucionando generando varias extensiones como lo son 802.11a y 802.11b.

Seguridad para redes Wifi

Para proveer seguridad, es necesario seleccionar un método de cifrado, filtrado; como opciones tenemos las siguientes: WEP, WPA, WPA2, MAC, etc.

WEP/WPA: Son protocolos de seguridad inalámbricas, sirven para encriptar los datos cuya finalidad es garantizar la confidencialidad de los datos del usuario.

Filtrado de direcciones MAC

La dirección MAC es un código único de cada dispositivo que sirve para identificarlos en la capa 2 del modelo OSI, los enrutadores poseen una lista de direcciones MAC de las tarjetas de red que pueden ser filtradas, es decir, según la dirección MAC podemos darle o no acceso a Internet al dispositivo.

Ekahau Site Survey

[4] Ekahau Site Survey es una herramienta para poder planificar y administrar una red Wi-Fi. Este programa puede ejecutarse tanto en Windows como en macOS y es compatible con el estándar inalámbrico 802.11 de tipo a/b/g/n/ac.

Ekahau Site Survey proporciona una cobertura desde un punto de vista plano, es decir a nivel del suelo, además te provee el desempeño de la WLAN gracias a los datos recopilados por la aplicación. También es capaz de realizar simulaciones que facilitan la planificación WLAN en la etapa previa al despliegue. Además, la aplicación es capaz de realizar análisis de espectro, lo que requiere un analizador de espectro basado en USB. Ekahau Site Survey está optimizado para redes Wi-Fi 802.11n administradas centralmente.

1.6 Alcance del Proyecto

Este proyecto será realizado con la finalidad de hacer el levantamiento de una red inalámbrica para la empresa INGEMEDICA S.A. cubriendo los requerimientos para poder brindar los servicios necesarios en el desarrollo de las labores diarias de los trabajadores.

Para ello se consultó al Ing. Ernesto Rovayo, Gerente de INGEMEDICA S.A., el área de cobertura dentro de la infraestructura y los requerimientos que necesita que brinde la red inalámbrica.

Se analizará estratégicamente las posibles soluciones para dotar al edificio con dicha red inalámbrica; en el cual se realizará un rediseño de la red, elaborando un estudio de la infraestructura y así determinar las ubicaciones óptimas de los equipos para dar la cobertura necesaria al edificio, y se evaluará los equipos requeridos los cuales brinden todos los beneficios solicitados de una forma precisa, para efectuar una reducción de gastos en el levantamiento de la nueva red inalámbrica.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Descripción

En esta sección se explicará el método de trabajo ideado para resolver los problemas que ya han sido planteados sobre la empresa INGEMEDICA S.A., con el objetivo de cubrir los requerimientos para obtener los servicios que ayuden a realizar sus actividades laborales diarias.

En primer lugar, se realizará una visita a la empresa con el objetivo de analizar el estado actual de la red, se utilizará la aplicación “Wifi-Analyzer”, la cual es una aplicación gratuita para la plataforma de Android y que muestra el nivel de intensidad de señal en cada punto en el que el celular es ubicado. Esta herramienta sirve para dar una visión más precisa de la red en función de los parámetros de calidad de cobertura, encontrando posibles deficiencias en el nivel de señal de recepción, equipos de baja potencia de transmisión e inestables en su accionar, además de monitorear el espectro de la banda Wifi y observar si existen redes inalámbricas que producirían interferencia entre ellas al estar ubicadas en el mismo canal.

Se procederá a inspeccionar la topología de la red para conocer la jerarquía de red empleada, de esta forma se sabrá cómo se debe aplicar el concepto de VLAN para segmentar la red en 3 partes, una administrativa, otra para departamento electrónicos y finalmente la de trabajadores y usuarios no pertenecientes a la empresa, saber que puertos están siendo utilizados por los antiguos puntos de acceso y cuáles de ellos pueden ser utilizados en caso de ser necesario. Para cumplir con las expectativas propuestas en el presente proyecto, se realizará una inspección en el mercado para conocer que equipos pueden ofrecer la característica de Roaming, que disponga de un Software para el control y monitoreo de la red inalámbrica y si son factibles de ser adquiridos en Ecuador, luego, mediante un análisis de costos y cobertura se podrá concluir cuales de ellos serán utilizados en este diseño. Este análisis se realizará en base a los precios que la

página “Mercado Libre Ecuador” nos pueda proveer, a los parámetros técnicos obtenidos de la hoja de datos de los equipos elegidos y a un modelo de propagación para interiores semiempírico llamado “Multi-Wall”.

Se diseñará un esquema de ubicación de los puntos de acceso basándose en las características de los dispositivos elegidos, de la potencia mínima de recepción útil para tener una buena calidad de internet en el dispositivo y de la posición de los conectores RJ 45 con conexión Ethernet ya establecidos en la empresa, este diseño se basará en los parámetros del modelo “Multi-Wall”, para obtener las pérdidas por obstáculos empleados en el modelo, se realizará un promedio de valores prácticos de los mismos para proceder a compararlos con los ya especificados en el modelo y elegir un valor acorde a nuestra realidad. Después se procederá a confirmar y optimizar estas ubicaciones con la simulación que el Software “Ekahau Site Survey” nos provee, obteniendo datos visuales, como mapa de calor de la intensidad de la señal, rendimiento y capacidad de la red.

Después de la realización de este diseño teórico, se armarán e instalaran los puntos de acceso y se configurará el Roaming en estos dispositivos habiendo previamente descargado la última versión del controlador del equipo elegido y siguiendo los pasos de configuración que el proveedor indica, se establecerán los parámetros de Calidad de Servicio (QoS) en el conmutador para el control del ancho de banda con la finalidad de priorizar tráfico y se segmentara la red cableada para los 3 grupos anteriormente mencionados.

Se realizará una inspección en el controlador para observar si existen en algún determinado puerto varias MAC de equipos que han sido conectados para así poder realizar un filtrado por MAC en caso de ser necesario, ya que previamente el cliente nos comunicó que necesita que algunos puertos solo tengan conexión de los equipos o PC de la empresa.

Finalmente, una vez instalados los servicios, se procedió a probar cada uno de ellos, empezando por la calidad del nivel de la señal recibida con la aplicación “Wifi Analyzer”, realizando pruebas de descargas con los smartphones y laptops, con el fin de verificar una satisfactoria velocidad de internet, además de monitorear el uso

de la red por parte de los equipos con el Software provisto por la plataforma de los dispositivos adquiridos.

2.2 Descripción de la Infraestructura

La empresa INGEMEDICA S.A. se dedica a la venta y servicio de mantenimiento de equipos médicos, la cual cuenta para su gestión, administración y producción con una edificación de dos plantas, la cual tiene una dimensión de 48 metros de longitud y 48 metros de ancho.

La figura 2.1 muestra el plano de la infraestructura de la planta baja, donde se encuentran ubicadas 10 oficinas, un Show Room y bodegas, las cuales están divididas con paredes de concreto y madera.

La figura 2.2 muestra el plano de la infraestructura del primer piso, donde se encuentra ubicadas 9 oficinas, una sala de reuniones, departamentos electrónicos y bodegas.

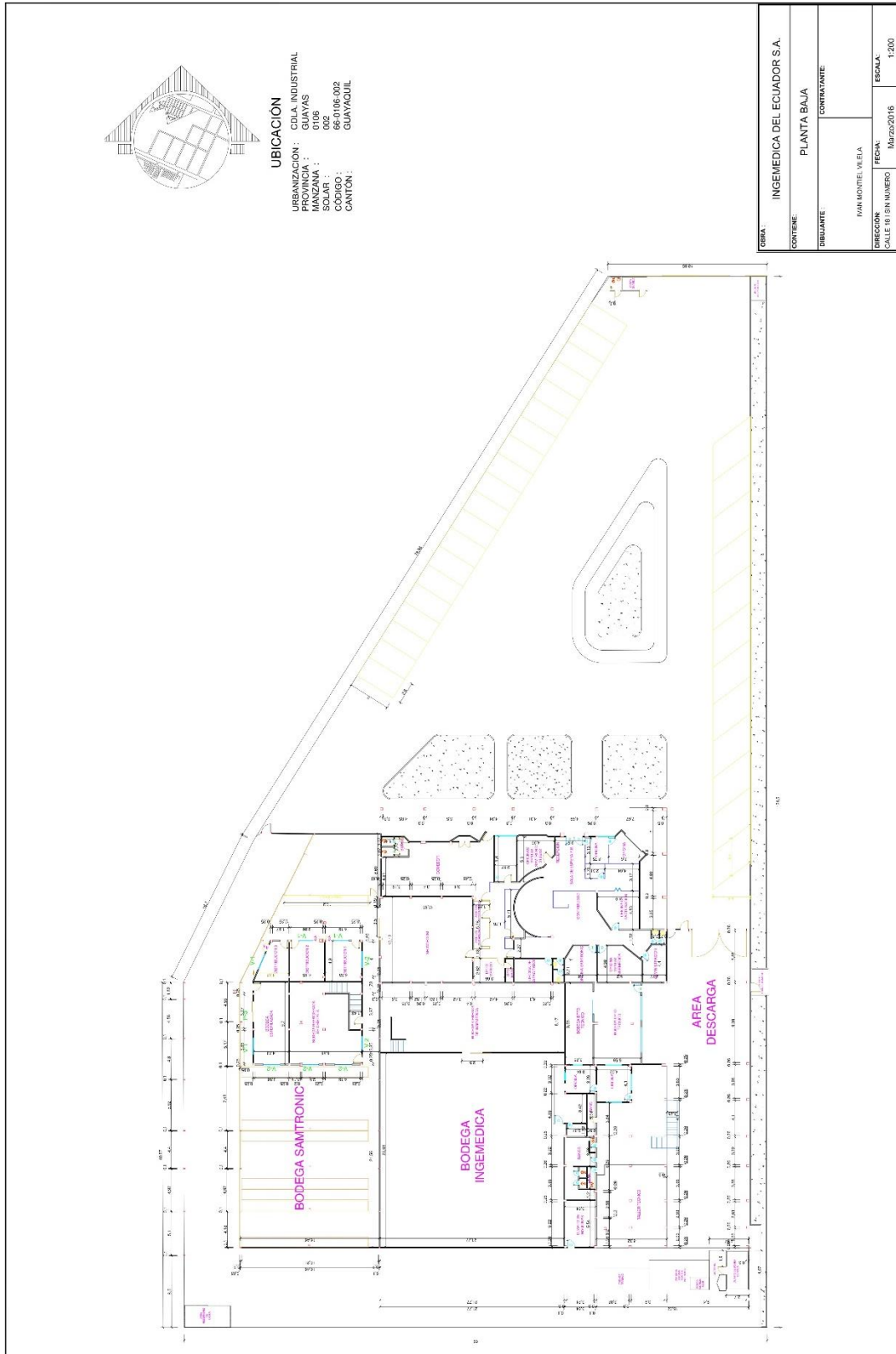


Figura 2.1 Plano de la Planta Baja

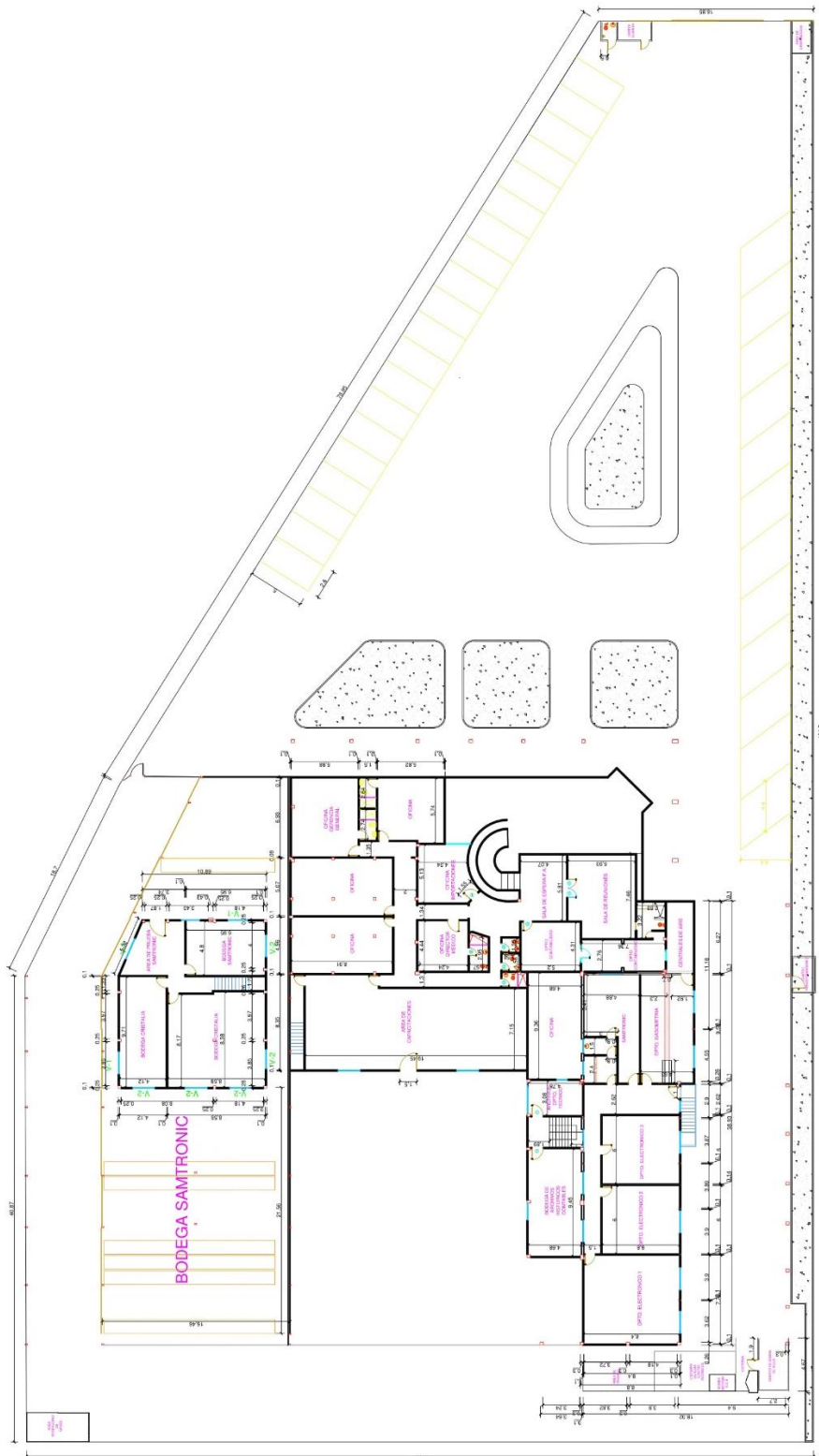


Figura 2.2 Plano de la Planta Alta

2.3 Estado de la Red Inalámbrica Actual

En primer lugar, se ejecuta un estudio de la topología de la red inalámbrica actual, con la finalidad de obtener que equipos son utilizados y como estos interconectan entre sí.

2.3.1 Equipos de la Red Inalámbrica

Router MikroTik RB2011IL-IN

[5] El RB2011 es una serie de dispositivos multipuerto de bajo costo diseñado para uso en interiores. El RB2011iL-IN es el modelo más básico, con cinco puertos Gigabit Ethernet, cinco puertos Fast Ethernet, con su conector de alimentación eléctrica y compatibilidad con PoE. Posee un procesador Atheros de 600 Mhz, tiene 64 MB de RAM y una licencia Level4 RouterOS. El puerto No.10 tiene la siguiente función: puede alimentar otros dispositivos con capacidad PoE con el mismo voltaje que se aplica a la unidad. La máxima corriente en el puerto es de 500 mA.

Router TP-LINK TL-WR1043ND

[6] Posee una interfaz con 4 puertos LAN, 1 puerto WAN, ambos con velocidades de 10/100/1000 Mbps y un puerto USB 2.0 Multi funcional. Además, tenemos botones para Reset/WPS, Energía y Wi-Fi, 3 antenas omnidireccionales de 5dBi y funciona con los estándares inalámbricos IEEE 802.11n, IEEE 802.11g e IEEE 802.11b. Trabaja en la banda Wi-Fi (2.4-2.4835 Ghz) y tiene una máxima tasa de datos con el estándar 11n de hasta 450Mbps, la tasa de datos depende de la potencia de recepción tal y como se lo puede observar en la Tabla I. Fácil encriptación de seguridad inalámbrica con sólo presionar el Botón WPS.

Tabla 2.1 Sensibilidad de recepción

Mbps	Potencia	PER
270M	-68dBm	10%
130M	-68dBm	10%
108M	-68dBm	10%
54M	-68dBm	10%
11M	-88dBm	8%
6M	-88dBm	10%
1M	-90dBm	8%

Referencia: [6]

Switch TP-LINK TL-SG 2424P

[7] Es un Switch inteligente con tecnología PoE+24 puertos RJ 45 de hasta 1000 Mbps más 4 ranuras SPF. Soporta tecnología PoE 802.3 af/at para proveernos hasta 320W para energizar a los equipos conectados por ethernet y con los puertos SPF podemos expandir nuestra red ya que nos podemos conectar a una amplia variedad de cables de fibra y Ethernet. Este switch nos permite trabajar con puntos de acceso inalámbricos y con cámaras de vigilancia IP, además de poseer características avanzadas de QoS, para poder establecer una prioridad del tráfico basado en: los puertos, el estándar 802.1 o por DSCP, finalmente podemos utilizar las características de etiquetado de VLANs, aislamiento de puertos, port mirroring o inspección IGMP, además de otras funciones importantes que nos provee el equipo.

Punto de Acceso TP-LINK TL-WA801ND

[8] El Punto de Acceso Inalámbrico TP-LINK N TL-WA801ND puede ser usado como cliente de punto de acceso, bridge, repetidor y punto de acceso. La velocidad máxima de transmisión es de 300 Mbps. Este equipo adopta tecnología MIMO

(Multi Input Multi Output) compatible con el estándar IEEE 802.11n. Para lo cual, utiliza simultáneamente dos antenas tanto en la transmisión como en la recepción de datos. Soporta hasta 30 metros para energizar el dispositivo mediante la tecnología PoE.

2.3.2 Diagrama de la Topología de la Red

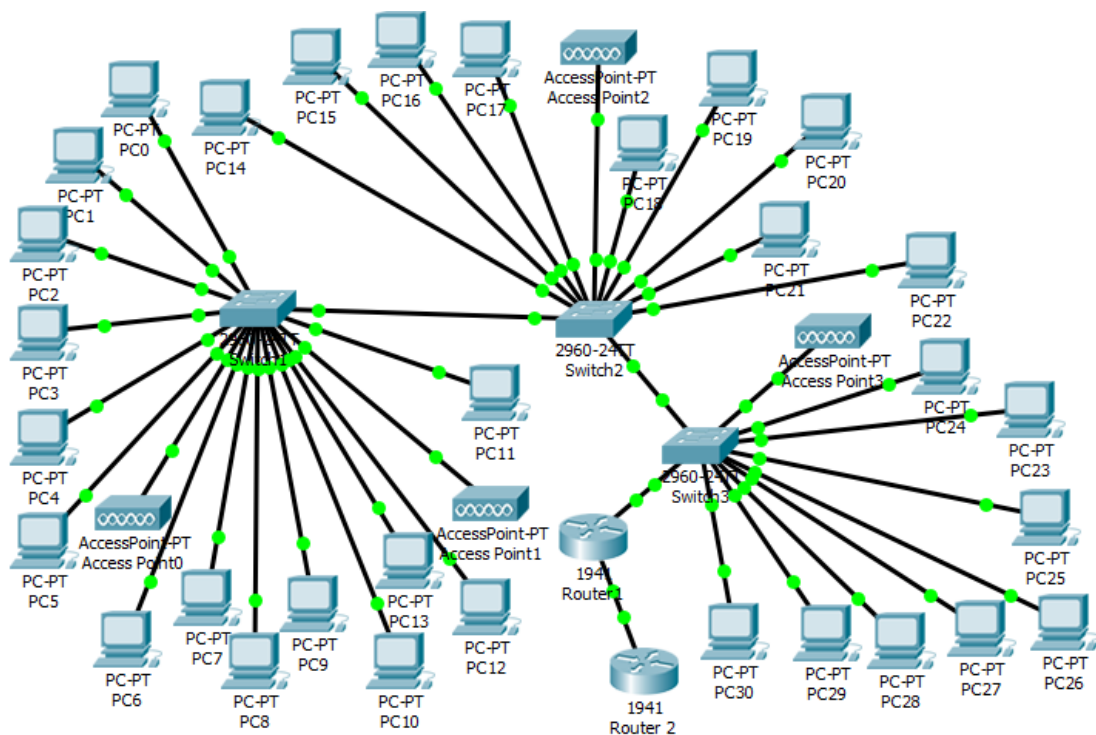


Figura 2.3 Topología de la Red

2.3.3 Cobertura Inalámbrica de la Red

Con la ayuda del Software Ekahau Site Survey obtenemos un análisis de la cobertura actual de la red, generando un mapa de calor donde podemos observar el nivel de señal q se tiene en el edificio.

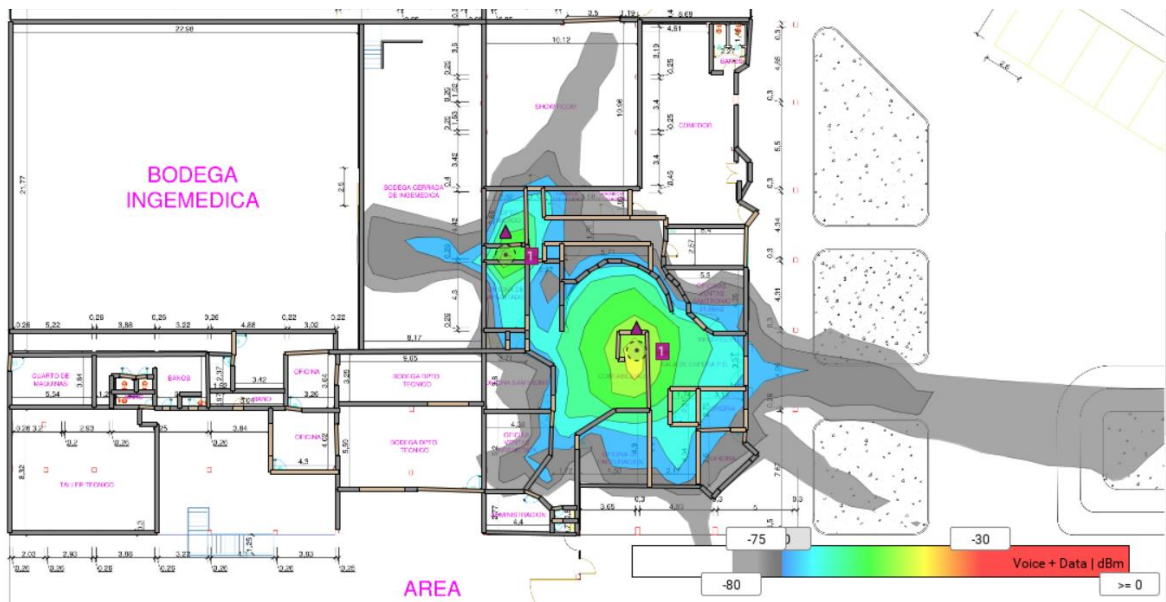


Figura 2.4 Cobertura Actual Edificio Planta Baja



Figura 2.5 Cobertura Actual Edificio Planta Baja

2.4 Requerimientos Para La Nueva Red

Áreas de infraestructura donde se requiere tener cobertura de la red inalámbrica:

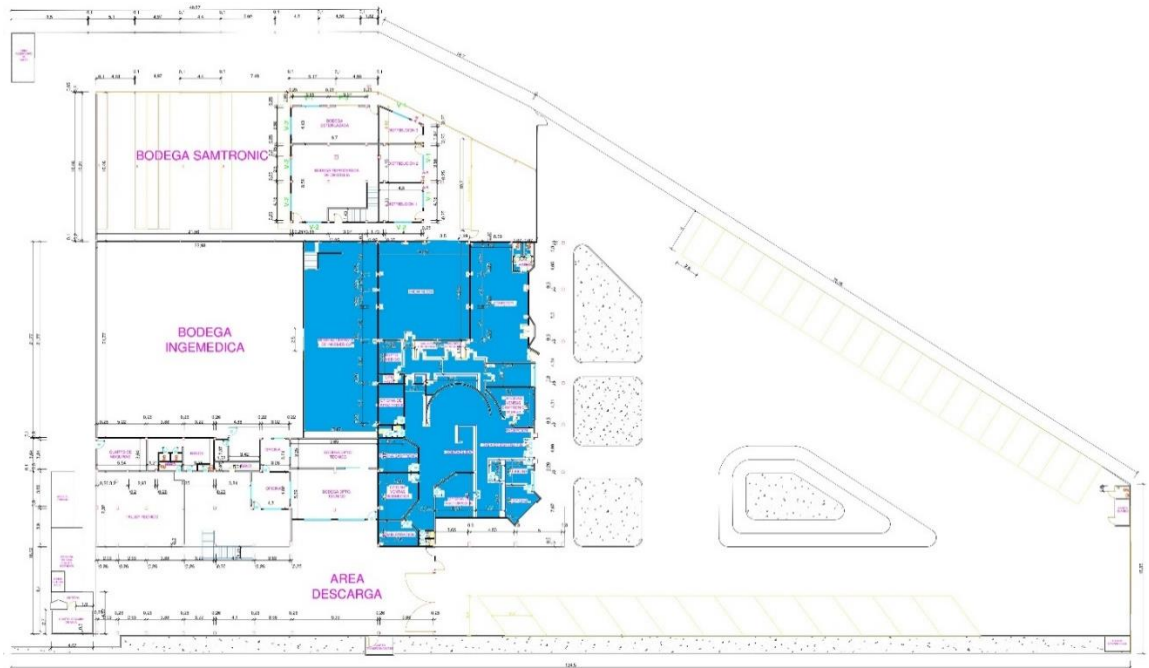


Figura 2.6 Requerimiento de Cobertura en la Planta Baja

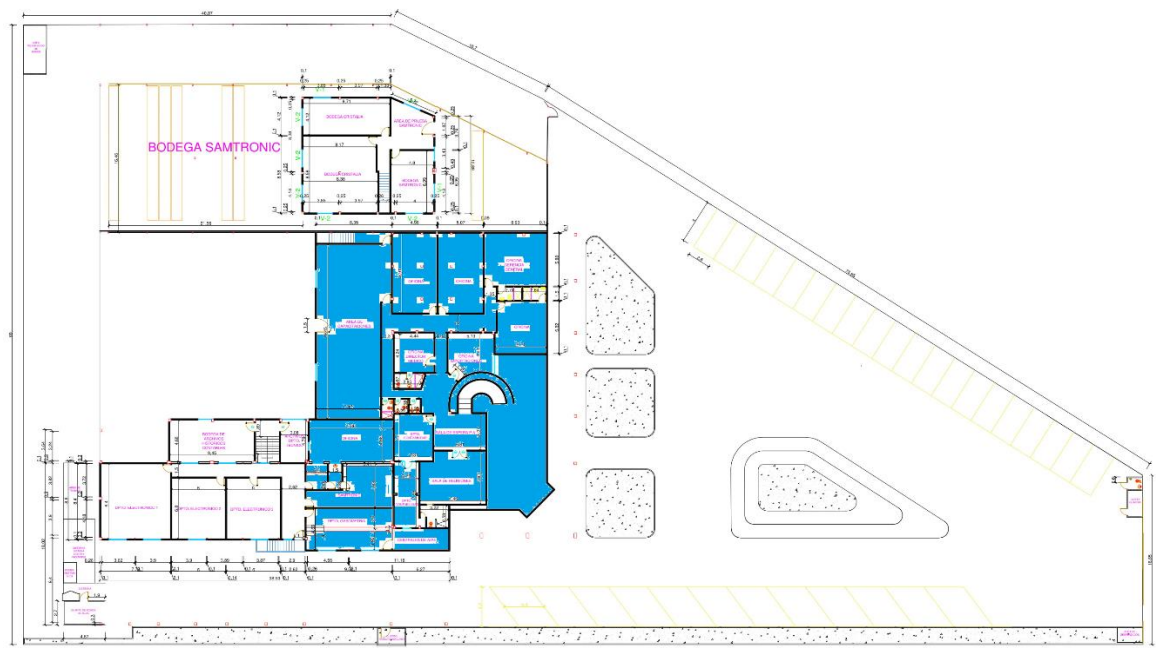


Figura 2.7 Requerimiento de Cobertura en la Planta Alta

El número de usuario beneficiados para el uso de la red inalámbrica es de 30, los cuales están distribuidos en toda el área de cobertura.

Los servicios que se requiere que brinde y para el uso de la red inalámbrica son los siguientes:

- Roaming.
- Comunicación y Monitoreo de la red inalámbrica.
- Seguridad.

2.5 Análisis De Los Equipos A Utilizar Para La Red Inalámbrica

En base a los equipos utilizados actualmente en la red inalámbrica de la empresa, podemos observar que los puntos de acceso son de baja potencia, por lo tanto, brindan una cobertura pequeña, además de que no disponen de un Software para poder dar el servicio de Roaming.

Por lo tanto, se realizará un análisis en el mercado de puntos de acceso que puedan brindar el servicio de Roaming y que además trabajen a una potencia alta, para así poder tener una cobertura mucho más amplia.

La empresa Ubiquiti tiene modelos de puntos de acceso los cuales pueden brindar el servicio de Roaming y además dispone de un Software para dar el servicio de Roaming y monitoreo de la red. Existen dos modelos los cuales pueden ser útiles para este proyecto:

- UniFi UAP
- UniFi UAP LR

Las características principales de los dos modelos se las observa en la tabla 2.2:

Tabla 2.2 Principales características de los UAP

	<u>UniFi UAP</u>	<u>UniFi UAP LR</u>
Potencia de Transmisión	20 dBm	27 dBm
Ganancia de Antena	3 dBi 2x2 MIMO	3 dBi 2x2 MIMO
Roaming	Si	Si
Seguridad Inalámbrica	WEP, WPA, WPA2, TKIP/AES	WEP, WPA, WPA2, TKIP/AES
Estándar Soportados	802.11: ac, n, a, g, b.	802.11: ac, n, a, g, b.
Clientes concurrentes	100	100
Precio	\$91.66	\$114

Como se observar el modelo UAP LR tiene una mayor potencia de transmisión lo cual nos brinda un mayor alcance en la cobertura.

2.6 Diseño de ubicación de los AP

Debido a que el número de usuario que soportan el UAP AP y el UAP AP LR es de 100, no se realizará un cálculo para determinar cuántos AP se necesita por usuarios, ya que el número de clientes es de 30, los cual están distribuido en todo el edificio; por lo tanto, se realizará el diseño de ubicación de los AP considerando solo la cobertura necesaria.

Con el modelo de propagación para interiores “Multi-Wall”, se realizará toma de potencia por puntos para ir determinando las posiciones óptimas de los AP, con la siguiente expresión dada por el modelo:

$$[9] \quad PL_{MW} = PL_0 + 20 \log(d) + \sum n_f a_f + \sum n_w a_w$$

PL_0 = Path loss a 1 metro.

a_f = factor de atenuación de suelos.

a_w = factor de atenuación de muros.

n_f = número de suelos atravesados.

n_w = número de muros atravesados

$$PL_0 = 20 \log\left(\frac{4\pi f}{c}\right) = 20 \log\left(\frac{4\pi * 2.4x10^9}{3x10^8}\right) = 40.04 \text{ dB}$$

$$P_R = EIRP - PL_{MW}$$

$$P_R > -80 \text{ dBm}$$

$$EIRP = 27 \text{ dBm}$$

$$PL_{MW} < 107 \text{ dB}$$

$$40.04 + 20 \log(d) + n_f a_f + n_w a_w < 107$$

Para determinar las ubicaciones de los AP se inicia ubicando un AP en la toma de conexión Ethernet más centrado dentro del área de cobertura requerida y se procede a realizar mediciones de potencia para los puntos más lejanos al AP los cuales serán los extremos del área, los cuales estarán identificados del 1 al 8. En caso de no tener la cobertura requerida en algún punto se procederá a agregar un AP más en el área y se realizará de nuevo las mediciones para los puntos antes mencionados hasta obtener exitosamente la potencia requerida para cada punto. Finalmente se realizará una simulación con las ubicaciones de los AP obtenidas con el modelo de propagación para generar un mapa de nivel de señal y verificar la cobertura dentro del área.

2.6.1 Planta Baja

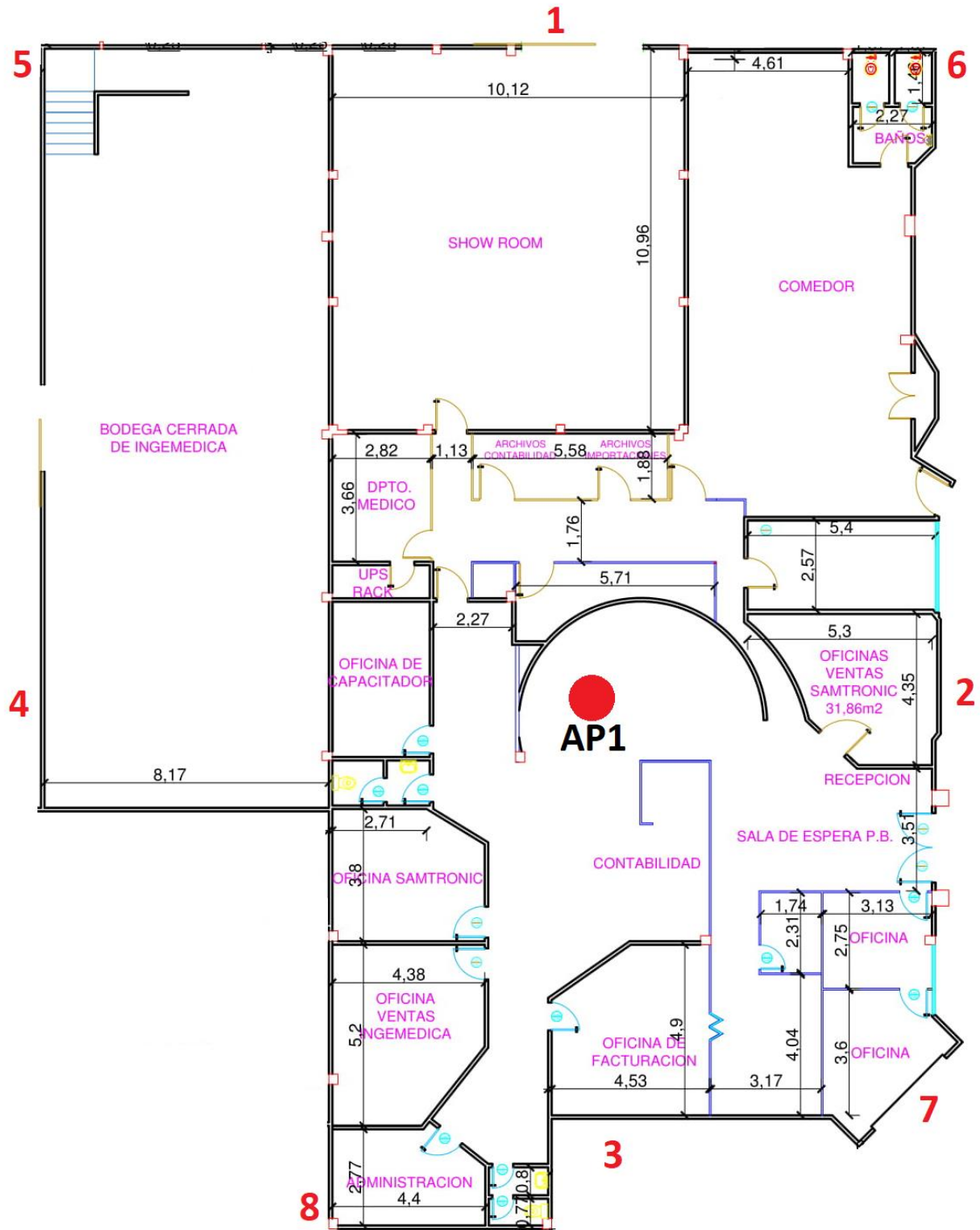


Figura 2.8 Ubicación de los AP en la planta baja, diseño 1

Punto 1 (distancia AP1 = 18.1 m)

$$40.04 + 20 \log(18.1) + 2(12) + 2(2) < 107$$

$$93.19 < 107 \checkmark$$

Punto 2 (distancia AP1 = 9.5 m)

$$40.04 + 20 \log(9.5) + 2(12) < 107$$

$$83.59 < 107 \checkmark$$

Punto 3 (distancia AP1 = 15.2 m)

$$40.04 + 20 \log(15.2) + 2(12) < 107$$

$$87.67 < 107 \checkmark$$

Punto 4 (distancia AP1 = 15.7 m)

$$40.04 + 20 \log(15.7) + 3(12) < 107$$

$$99.95 < 107 \checkmark$$

Punto 5 (distancia AP1 = 23.3 m)

$$40.04 + 20 \log(23.3) + 4(12) + 2(2) < 107$$

$$119.38 < 107 \text{ X}$$

Punto 6 (distancia AP1 = 20.4 m)

$$40.04 + 20 \log(20.4) + 2(12) + 2(2) < 107$$

$$94.23 < 107 \checkmark$$

Punto 7 (distancia AP1 = 14.7 m)

$$40.04 + 20 \log(14.7) + 5(2) < 107$$

$$73.38 < 107 \checkmark$$

Punto 8 (distancia AP1 = 16.2 m)

$$40.04 + 20 \log(16.2) + 3(12) < 107$$

$$100.23 < 107 \checkmark$$

Debido a que no se obtuvo en todos los puntos de muestra la potencia requerida se procede a agregar un AP. El punto 5 fue el único que no efectuó, por lo tanto, se ubicará un AP cercano al punto 5 y con el AP que se inició se lo desplazará más cerca al punto 3 por lo que en el punto 8 se obtuvo una potencia casi al límite.

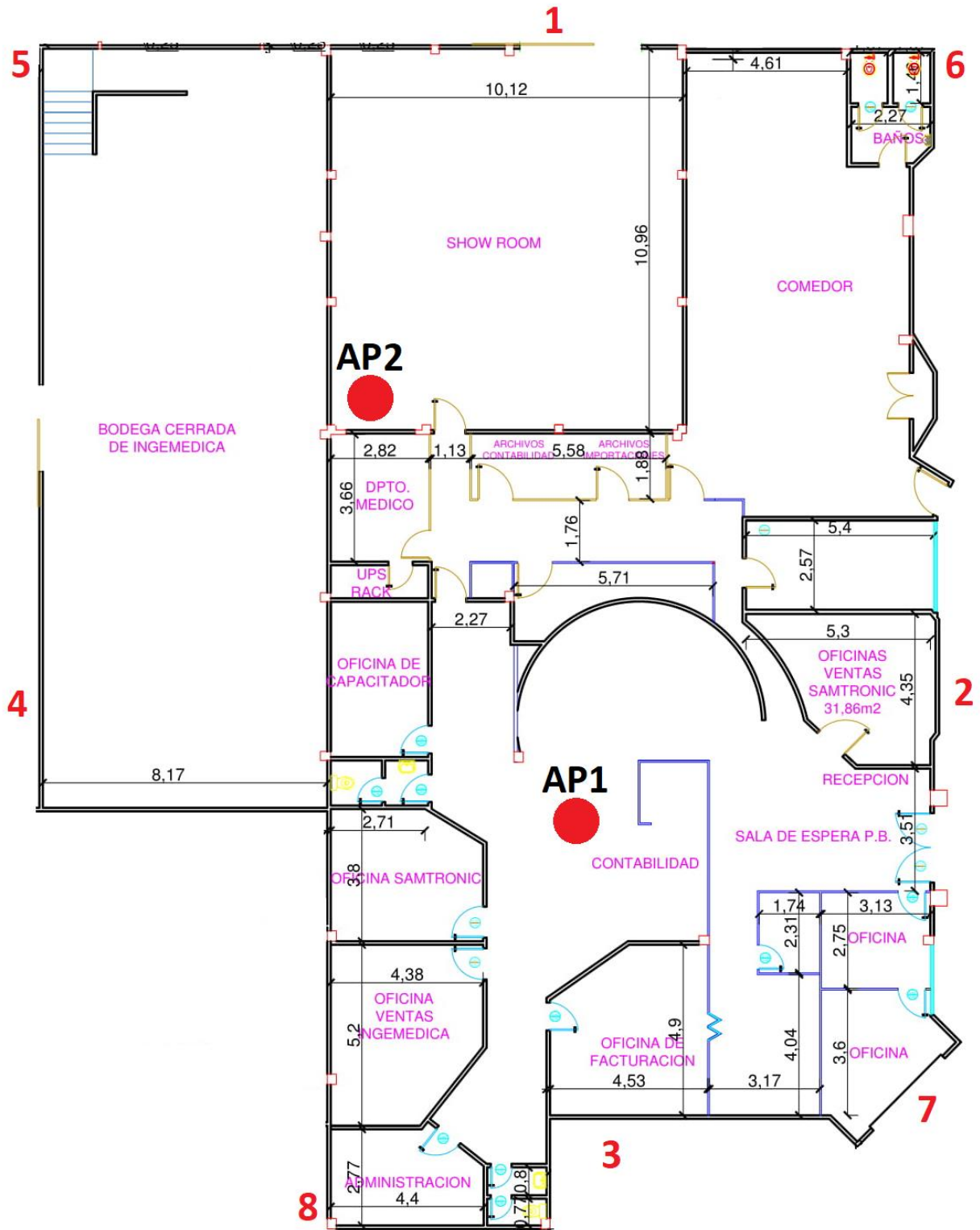


Figura 2.9 Ubicación de los AP en la planta baja, diseño final

Punto 1 (distancia AP2 = 10.8 m)

$$40.04 + 20 \log(10.8) < 107$$

$$60.71 < 107 \checkmark$$

Punto 2 (distancia AP1 = 11.1 m)

$$40.04 + 20 \log(11.1) + 2(12) + 2(2) < 107$$

$$88.95 < 107 \checkmark$$

Punto 3 (distancia AP1 = 8.3 m)

$$40.04 + 20 \log(8.3) + 2(12) < 107$$

$$82.42 < 107 \checkmark$$

Punto 4 (distancia AP2 = 14 m)

$$40.04 + 20 \log(14) + 2(12) < 107$$

$$86.96 < 107 \checkmark$$

Punto 5 (distancia AP2 = 13.3 m)

$$40.04 + 20 \log(13.3) + 2(12) < 107$$

$$86.51 < 107 \checkmark$$

Punto 6 (distancia AP2 = 18.9 m)

$$40.04 + 20 \log(18.9) + 2(12) < 107$$

$$89.57 < 107 \checkmark$$

Punto 7 (distancia AP1 = 12.2 m)

$$40.04 + 20 \log(12.2) + 4(2) < 107$$

$$69.77 < 107 \checkmark$$

Punto 8 (distancia AP1 = 12.9 m)

$$40.04 + 20 \log(12.9) + 2(12) + 2(2) < 107$$

$$90.25 < 107 \checkmark$$

Simulación en Ekahau Site Survey:

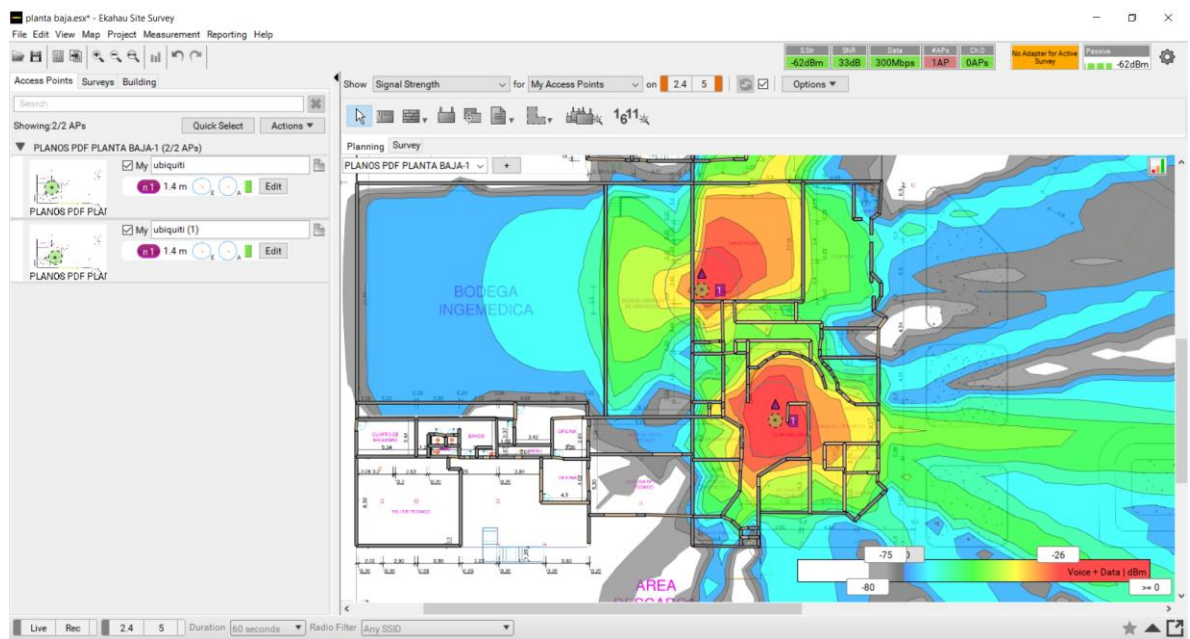


Figura 2.10 Simulación de cobertura de los AP para la planta baja

2.6.2 Planta Alta

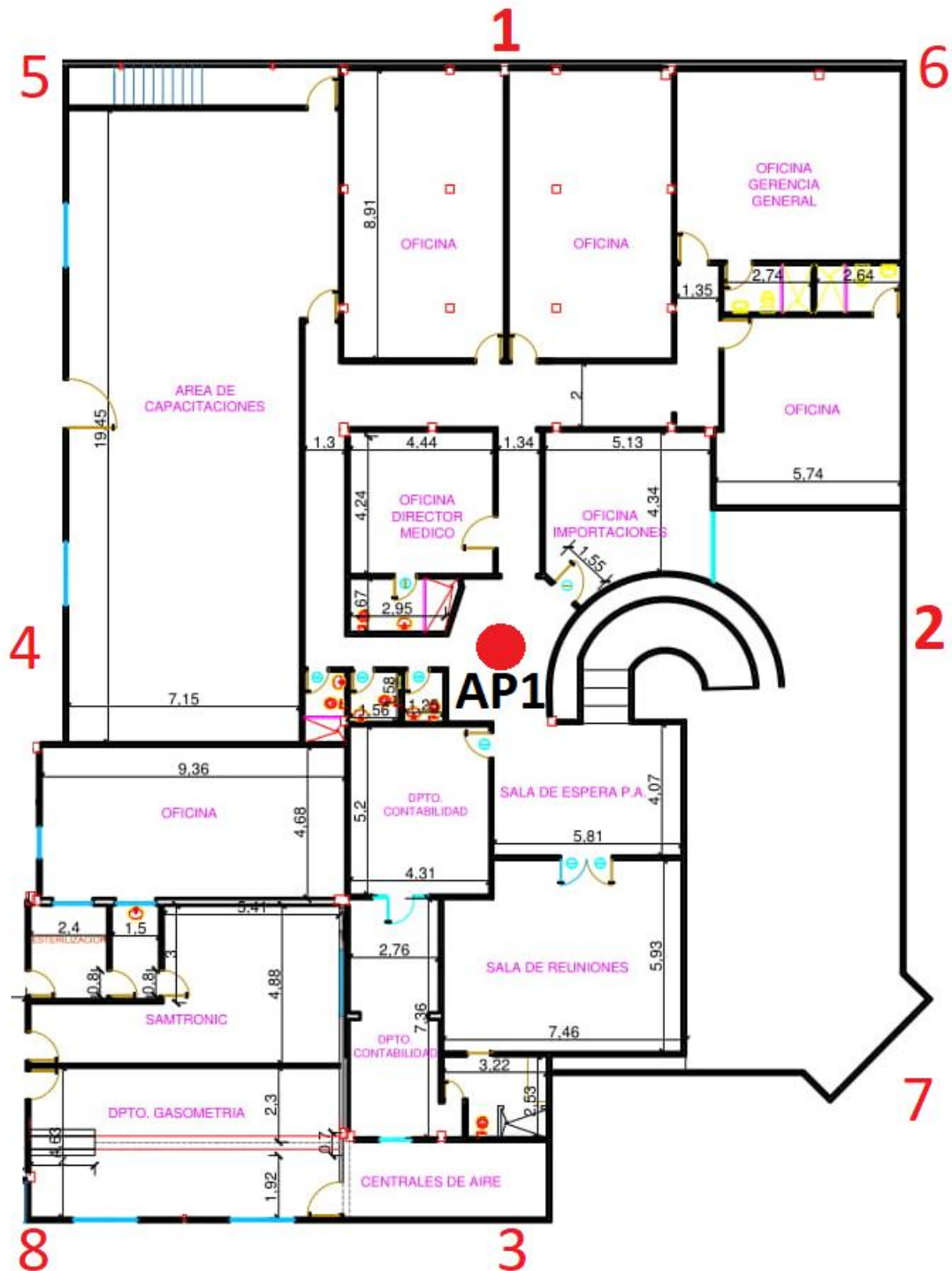


Figura 2.11 Ubicación de los AP en la planta alta, diseño 1

Punto 1 (distancia AP1 = 18.3 m)

$$40.04 + 20 \log(18.3) + (12) < 107$$

$$77.28 < 107 \checkmark$$

Punto 2 (distancia AP1 = 11.6 m)

$$40.04 + 20 \log(11.6) + (12) < 107$$

$$73.33 < 107 \checkmark$$

Punto 3 (distancia AP1 = 17.2 m)

$$40.04 + 20 \log(17.2) + 3(12) < 107$$

$$100.75 < 107 \checkmark$$

Punto 4 (distancia AP1 = 13.7 m)

$$40.04 + 20 \log(13.7) + (12) < 107$$

$$74.77 < 107 \checkmark$$

Punto 5 (distancia AP1 = 21 m)

$$40.04 + 20 \log(21) + 4(12) < 107$$

$$114.48 < 107 \text{ X}$$

Punto 6 (distancia AP1 = 21 m)

$$40.04 + 20 \log(21) + 4(12) + (2) < 107$$

$$116.48 < 107 \text{ X}$$

Punto 7 (distancia AP1 = 15.8 m)

$$40.04 + 20 \log(15.8) + 2(12) < 107$$

$$88.01 < 107 \checkmark$$

Punto 8 (distancia AP1 = 22.3 m)

$$40.04 + 20 \log(22.3) + 4(12) < 107$$

$$115 < 107 X$$

Debido a que no se obtuvo en todos los puntos de muestra la potencia requerida se procede a agregar un AP. Los puntos 5, 6 y 8 fueron los que no efectuaron, por lo tanto, se ubicará un AP cercano al punto 1 y con el AP que se inició se lo desplazará más cerca al punto 8.

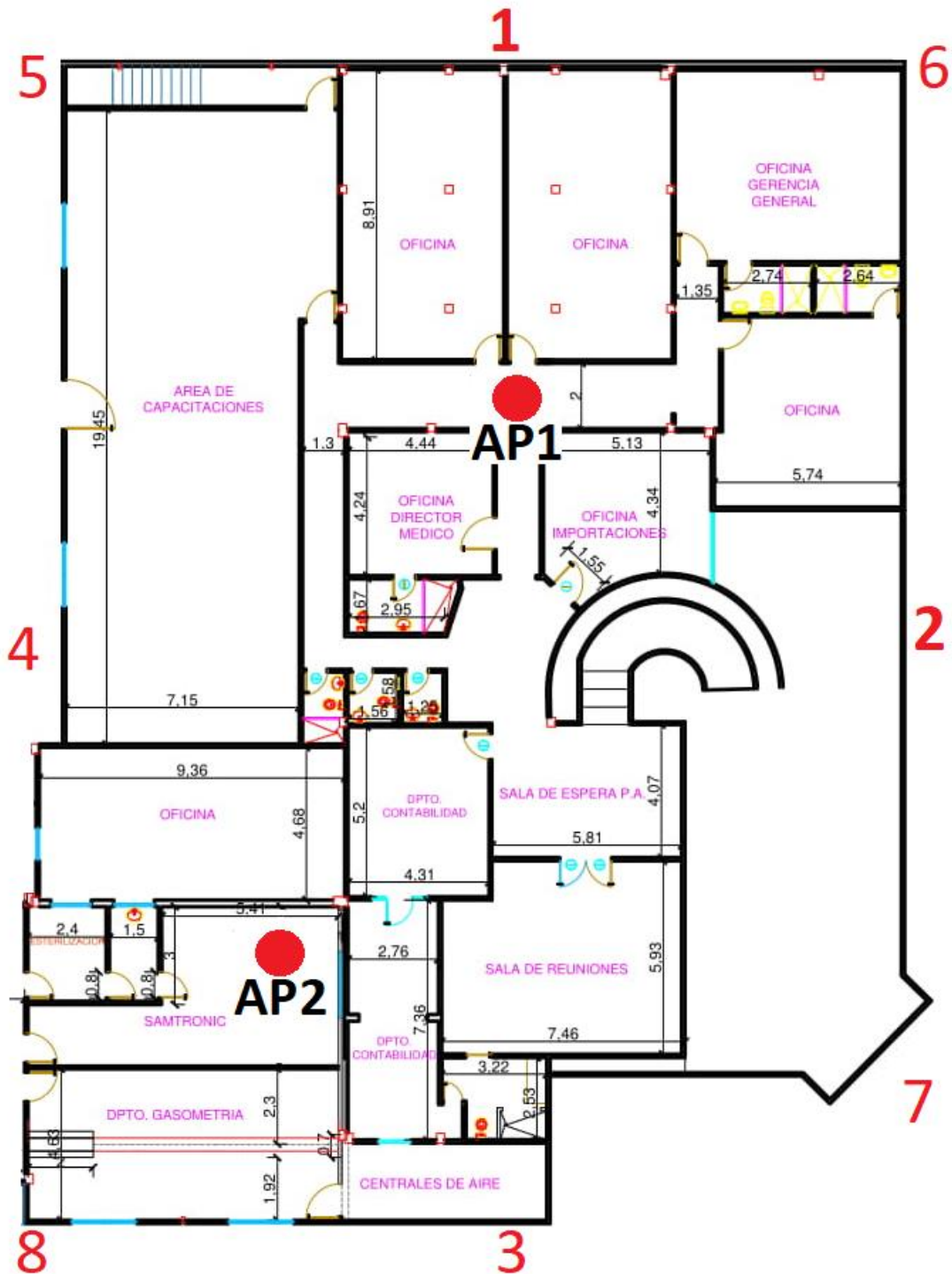


Figura 2.12 Ubicación de los AP en la planta alta, diseño 2

Punto 1 (distancia AP1 = 9.8 m)

$$40.04 + 20 \log(9.8) + (12) < 107$$

$$71.86 < 107 \checkmark$$

Punto 2 (distancia AP1 = 12.7 m)

$$40.04 + 20 \log(12.7) + (12) < 107$$

$$74.11 < 107 \checkmark$$

Punto 3 (distancia AP2 = 11.2 m)

$$40.04 + 20 \log(11.2) + 2(12) < 107$$

$$85.02 < 107 \checkmark$$

Punto 4 (distancia AP2 = 11.6 m)

$$40.04 + 20 \log(11.6) + 2(12) < 107$$

$$85.33 < 107 \checkmark$$

Punto 5 (distancia AP1 = 16.8 m)

$$40.04 + 20 \log(16.8) + 2(12) < 107$$

$$88.54 < 107 \checkmark$$

Punto 6 (distancia AP1 = 14.7 m)

$$40.04 + 20 \log(14.7) + 2(12) < 107$$

$$87.38 < 107 \checkmark$$

Punto 7 (distancia AP2 = 17.8 m)

$$40.04 + 20 \log(15.8) + 3(12) < 107$$

$$100.01 < 107 \checkmark$$

Punto 8 (distancia AP2 = 11.3 m)

$$40.04 + 20 \log(11.3) + 2(12) < 107$$

$$85.10 < 107 \checkmark$$

Simulación en Ekahau Site Survey:

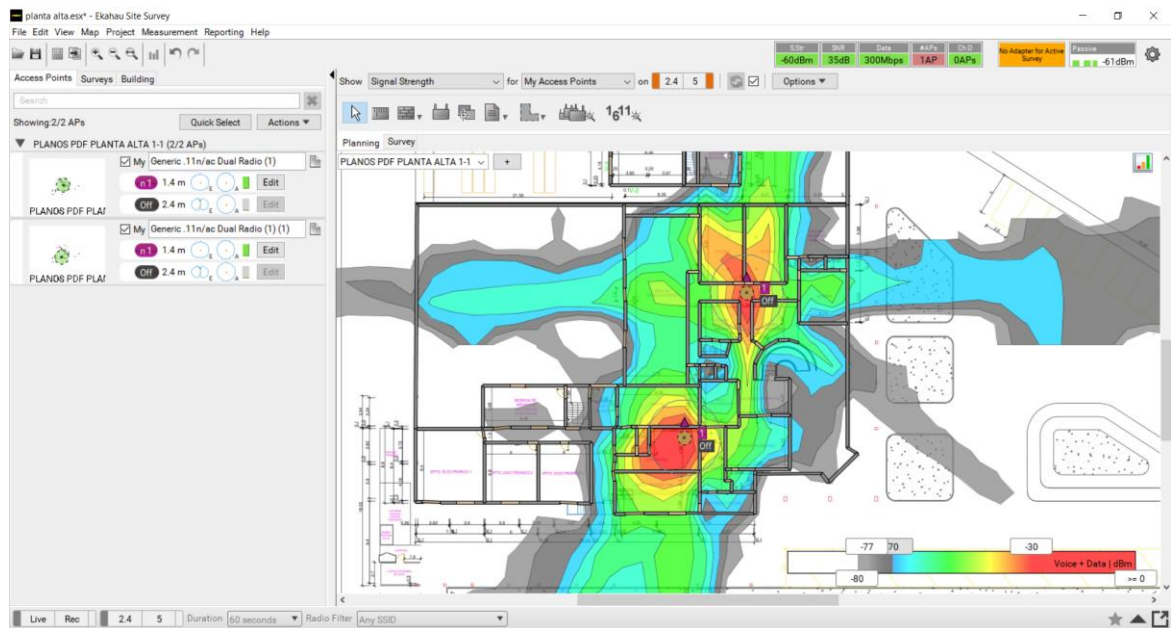


Figura 2.13 Simulación de cobertura de los AP para la planta alta, diseño inicial

Debido a la falta de cobertura en ciertas áreas obtenidas en la simulación se realizará un diseño con 3 AP UAP; en el cual se ubicará el AP1 más cerca al punto 6 por la falta de cobertura en este punto, el AP2 se ubicará más cerca al punto 4 debido a que se obtiene una cobertura innecesaria entre el punto 3 y 8, y el AP3 se lo ubicará entre el centro y el punto 7 para tener una buena cobertura en la sala de reuniones.

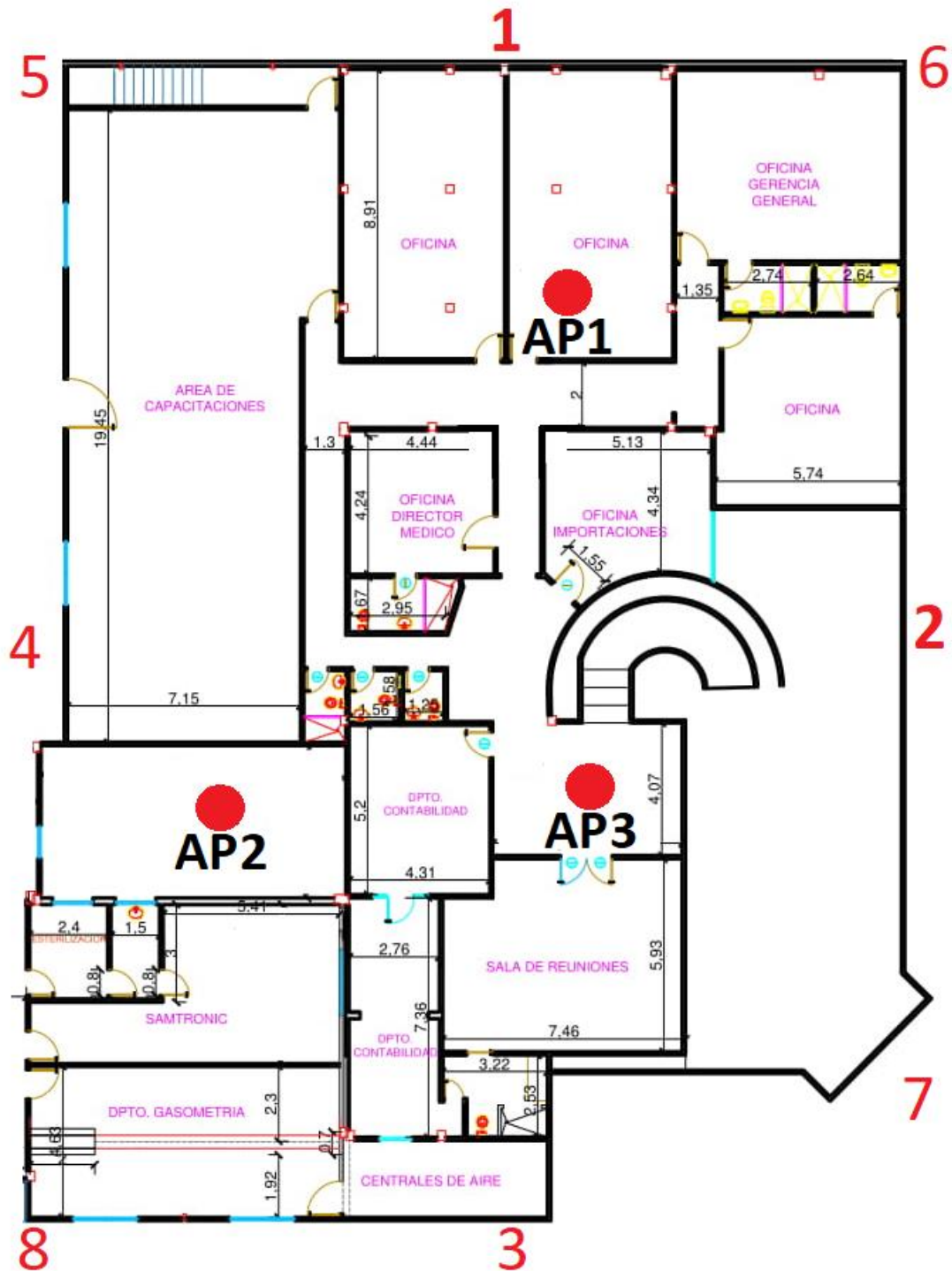


Figura 2.14 Ubicación de los AP en la planta alta, diseño final

$$P_R = EIRP - PL_{MW}$$

$$P_R > -80 \text{ dBm}$$

$$EIRP = 20 \text{ dBm (UAP)}$$

$$PL_{MW} < 100 \text{ dB}$$

Punto 1 (distancia AP1 = 7.7 m)

$$40.04 + 20 \log(7.7) < 100$$

$$57.76 < 100 \checkmark$$

Punto 2 (distancia AP3 = 11.1 m)

$$40.04 + 20 \log(11.1) + (12) < 100$$

$$72.95 < 100 \checkmark$$

Punto 3 (distancia AP3 = 12.6 m)

$$40.04 + 20 \log(12.6) + 2(12) < 100$$

$$86.05 < 100 \checkmark$$

Punto 4 (distancia AP2 = 7.1 m)

$$40.04 + 20 \log(7.1) + (12) < 100$$

$$69.07 < 100 \checkmark$$

Punto 5 (distancia AP2 = 22.6 m)

$$40.04 + 20 \log(22.6) + (12) < 100$$

$$79.12 < 100 \checkmark$$

Punto 6 (distancia AP1 = 12.1 m)

$$40.04 + 20 \log(12.1) + (12) < 107$$

$$73.70 < 100 \quad \checkmark$$

Punto 7 (distancia AP3 = 11.4 m)

$$40.04 + 20 \log(11.4) + 2(12) < 100$$

$$85.17 < 100 \quad \checkmark$$

Punto 8 (distancia AP2 = 13.3 m)

$$40.04 + 20 \log(13.3) + 3(12) < 100$$

$$98.51 < 100 \quad \checkmark$$

Simulación en Ekahau Site Survey:

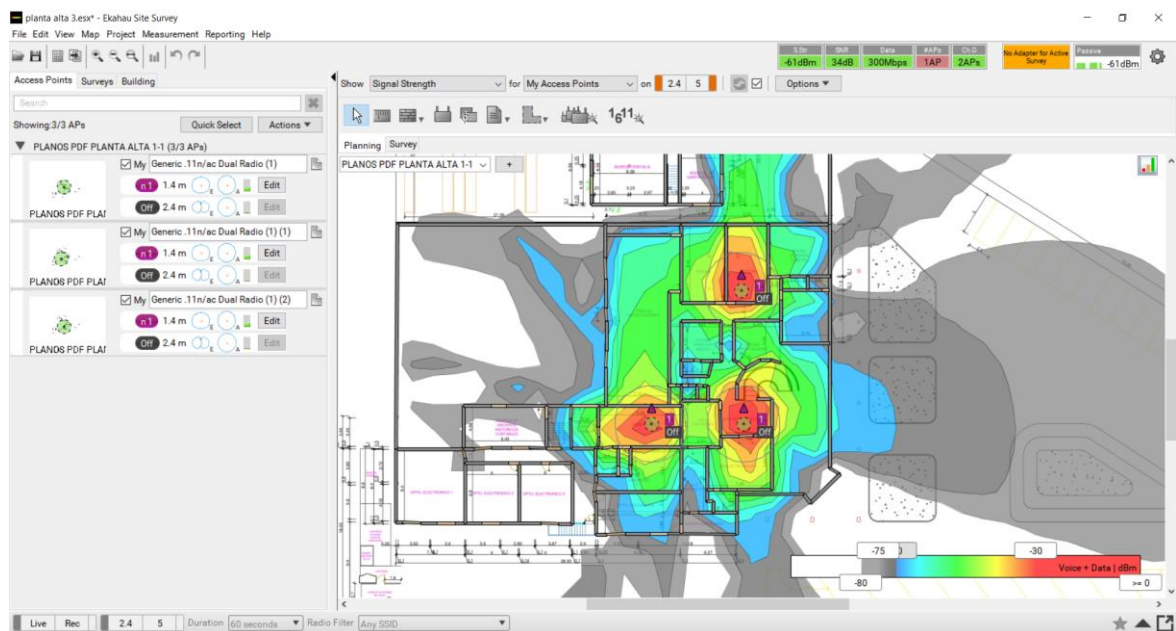


Figura 2.15 Simulación de cobertura de los AP en la planta alta, diseño final

2.7 Configuración e Instalación de los AP

Para la configuración de los equipos nos dirigimos a la página web de Ubiquiti (<https://www.ubnt.com/download/unifi>) y descargamos el controlador UNIFI correspondiente para nuestra PC.

2.7.1 Configuración del Controlador UNIFI

Conectamos un AP a nuestra red, el cual se realiza conectando un cable Ethernet desde su red LAN al puerto LAN del adaptador PoE, un cable Ethernet del AP al puerto POE del adaptador PoE y se conecta el cable de alimentación el adaptador PoE. El AP se encenderá con una luz de color ámbar el cual nos indica que está listo para ser configurado.

Conectamos a la red nuestra PC, ejecutamos el controlador UNIFI, se abre una ventana donde seleccionamos nuestra ubicación y zona horaria, luego aparecerá el AP que esté listo para ser configurado y se selecciona el dispositivo, ver figura 2.16.

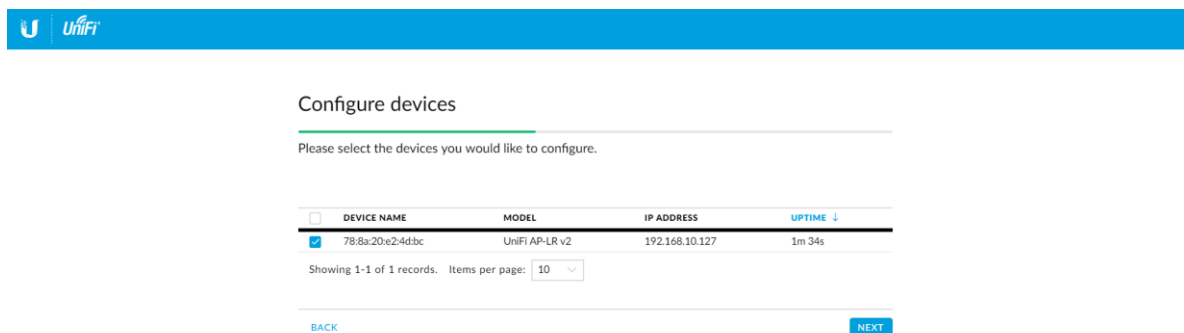


Figura 2.16 Configuración del Punto de Acceso

Luego se crea un SSID y contraseña para la red WiFi, ver figura 2.17. Este paso puede ser saltado debido a que luego se creara una red para la configuración del Roaming.

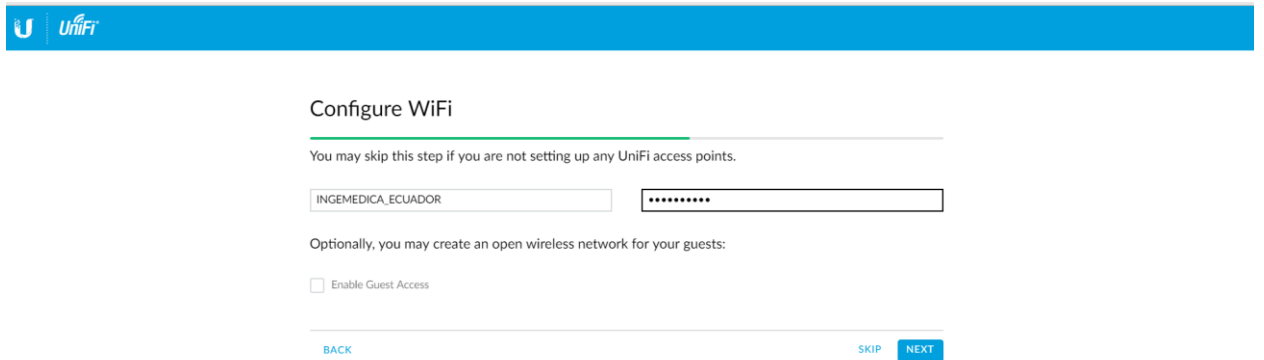


Figura 2.17 Creación de la red Wifi

Se ingresa los datos de administración y de autenticación de equipo, ver figura 2.18.

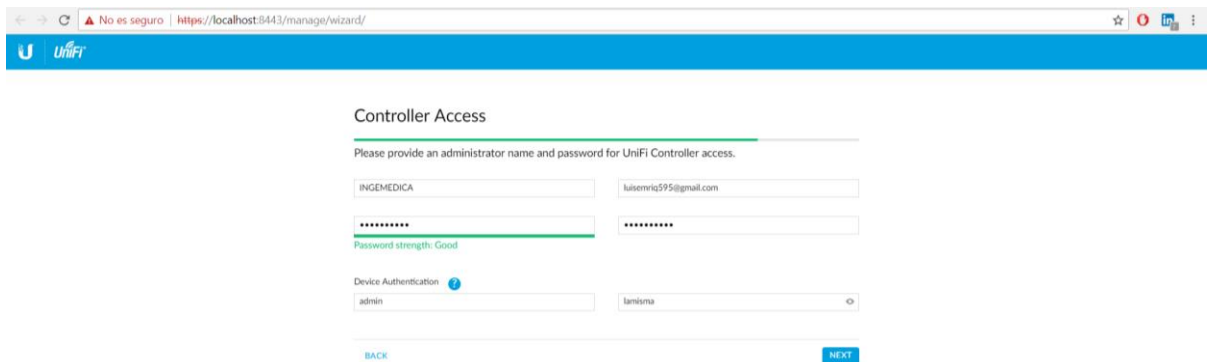


Figura 2.18 Configuración del acceso al controlador

Se confirma los datos ingresados como se muestra en la figura 2.15 y finalizamos la configuración de nuestro controlador UNIFI.

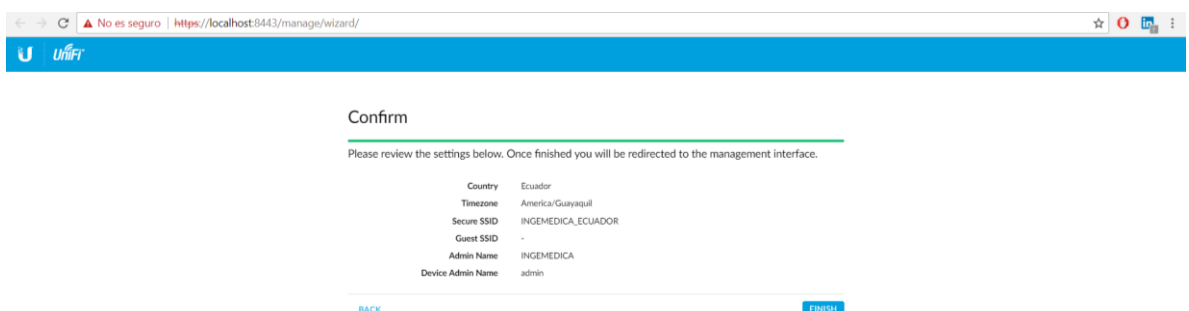


Figura 2.19 Resumen de los datos ingresados

Para ingresar al controlador UNIFI, ejecutamos el controlador y se abre una ventana en el navegador donde se ingresa los datos de autenticación ingresados anteriormente, ver figura 2.20.

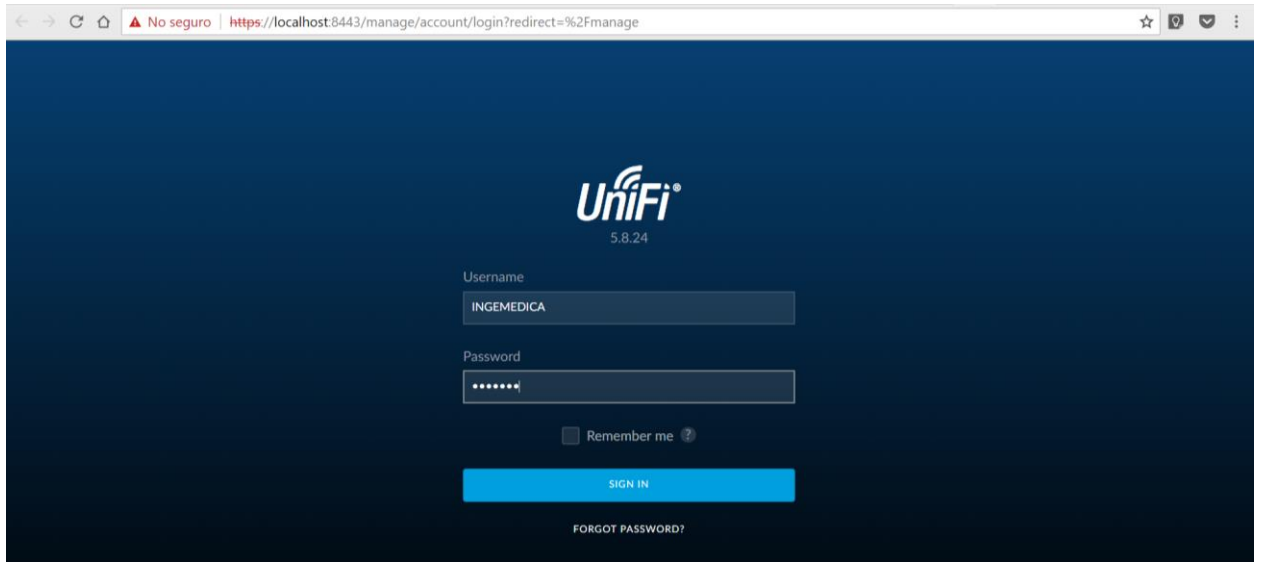


Figura 2.20 Inicio de Sesión UNIFI

Para agregar un nuevo AP, se conecta a la red y se abre la pestaña Devices que está a la izquierda de la pantalla del UNIFI nos mostrará un equipo con letras amarillas “Pending Adoption”, se selecciona la opción ADOPT y esperamos que se configure el AP, ver figura 2.21.

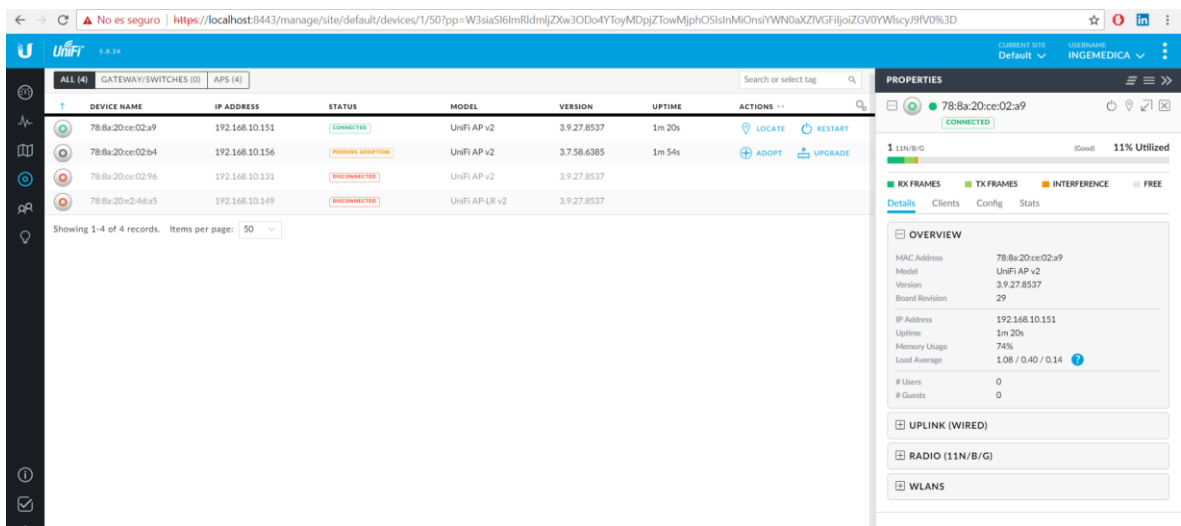


Figura 2.21 Configuración de un nuevo AP en la red

Una vez agregado el nuevo AP a la red se procede a actualizar el Firmware del dispositivo, el cual nos dará la opción “UPGRADE”, ver figura 2.22, caso contrario el dispositivo ya se encuentra actualizado a su última versión.

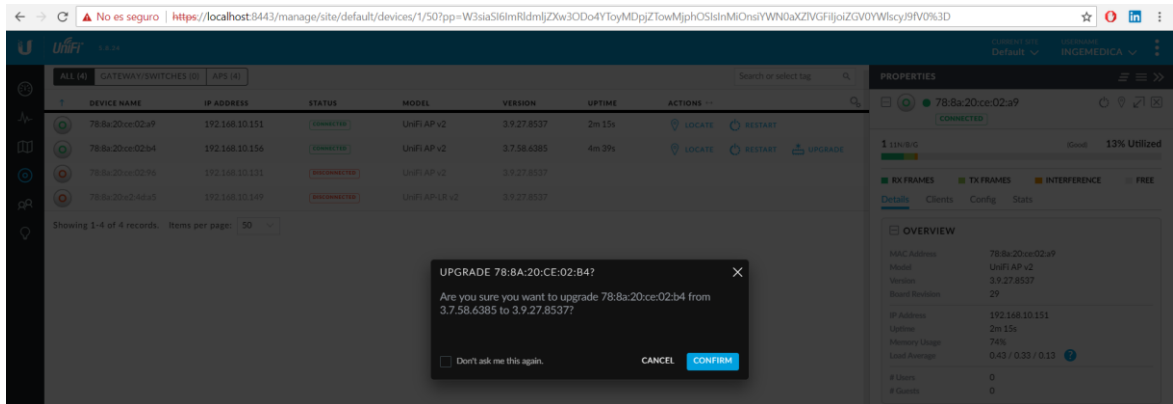


Figura 2.22 Actualización del AP

Se agrega y actualiza todos los AP a utilizar en la red, ver figura 2.23, y se finaliza ubicando todos los AP en los puntos que nos dio nuestro diseño.

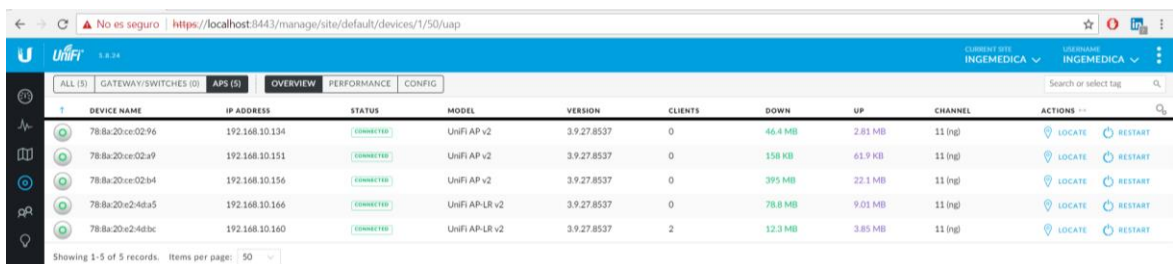


Figura 2.23 Estado de los AP de la red

2.7.2 Configuración de los Parámetros de la Red Inalámbrica

Se crea un nuevo grupo WLAN en el controlador UNIFI en SETTINGS->WIRELESS NETWORKS, ver figura 2.24.

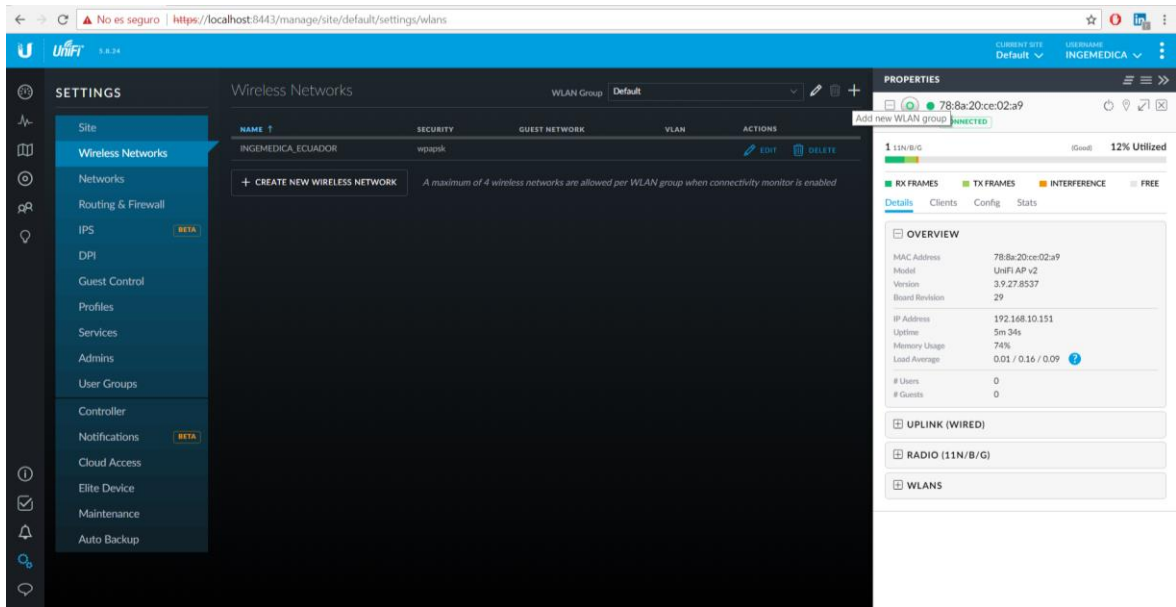


Figura 2.24 Creación de Grupo WLAN en UNIFI

Se ingresa el nombre para el grupo WLAN, se activa la opción Roaming (Zero-Handoff), en radio la opción 2G la cual es seleccionada para redes WiFi de 2.4 GHz, se elige el canal para la red y guardamos, ver figura 2.25

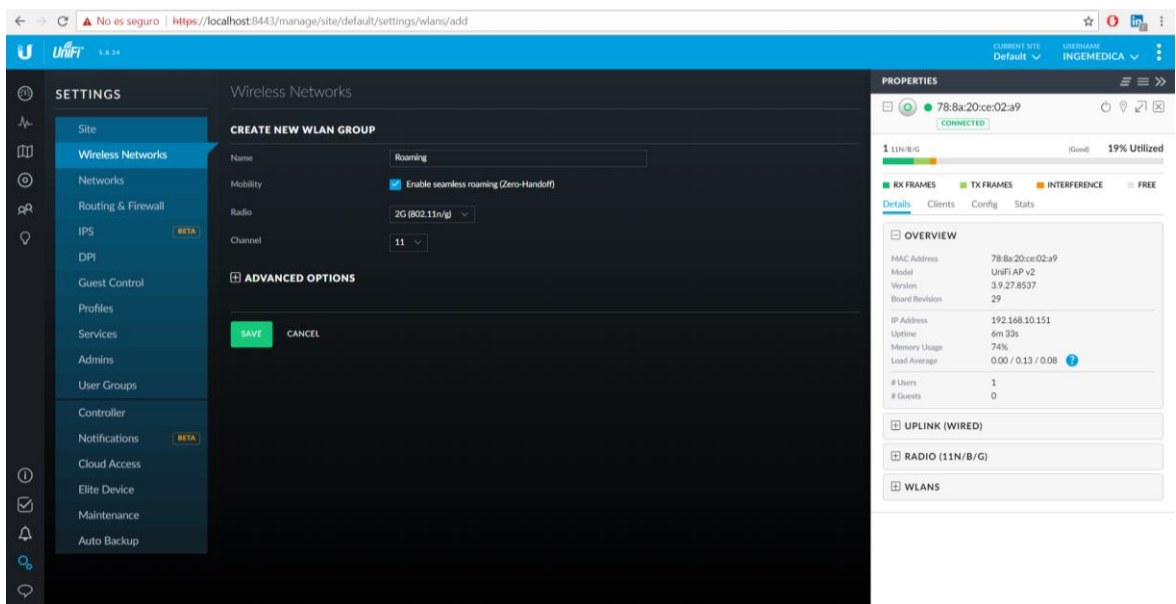


Figura 2.25 Configuración de Roaming UNIFI

Al momento de crear el grupo WLAN todas las redes generadas en este grupo tendrán activada el servicio de Roaming con las configuraciones realizadas anteriormente.

Se selecciona el grupo WLAN creado anteriormente y se crea una red nueva, se ingresa el SSID, la contraseña para la red y el tipo de seguridad, ver figura 2.26.

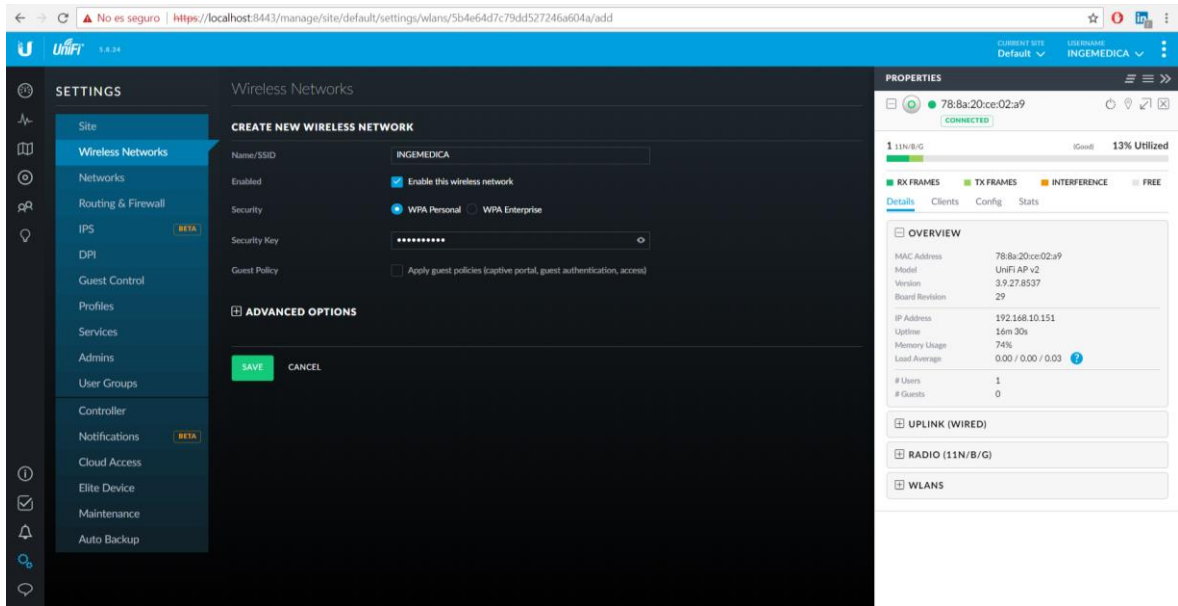


Figura 2.26 Configuración parámetros de la red inalámbrica

Se ingresa todos los AP a la nueva red creada, en Devices se selecciona un dispositivo, se abre una ventana a la derecha de la pantalla, se selecciona la pestaña Config->WLANS, se elige el grupo WLAN creado y la red creada, se guarda los cambios, ver figura 2.27.

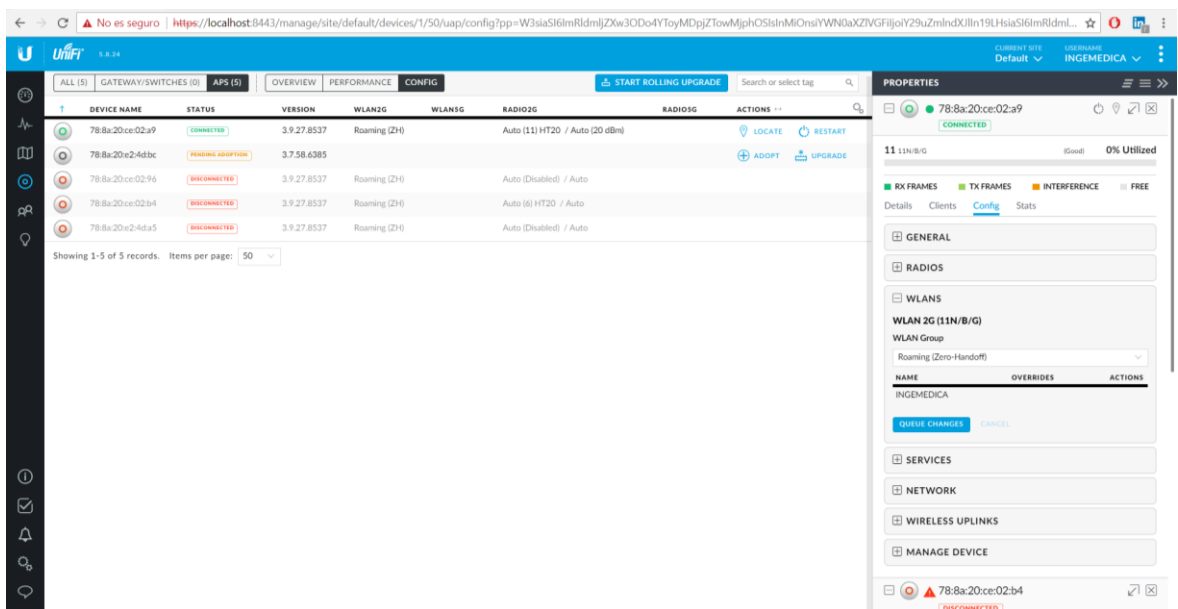


Figura 2.27 Ingreso de los AP para la red inalámbrica creada

Seleccionamos la pestaña Radios, en Transmit Power se selecciona la opción Custom y se coloca la potencia la cual se requiere que trabajen los equipos, en este proyecto se necesita que trabaje el UAP a 20 dBm y el UAP LR a 27 dBm, ver figura 2.28.

DEVICE NAME	STATUS	VERSION	WLAN2G	WLAN5G	RADIO2G	RADIO5G	ACTIONS
78:8a:20:ce:02:b4	CONNECTED	3.9.27.8537	Roaming (2H)		Auto (11) HT20 / 20 dBm		LOCATE RESTART
78:8a:20:ce:24:a5	DISCONNECTED	3.9.27.8537	Roaming (2H)		Auto (Disabled) / Auto		
78:8a:20:ce:02:96	DISCONNECTED	3.9.27.8537	Roaming (2H)		Auto (Disabled) / Auto		
78:8a:20:ce:02:a9	DISCONNECTED	3.9.27.8537	Roaming (2H)		Auto (11) HT20 / Auto		

Showing 1-4 of 4 records. Items per page: 50

PROPERTIES
78:8a:20:ce:02:b4
CONNECTED

11 11n/B/G | Good | 8% Utilized

RX FRAMES TX FRAMES INTERFERENCE FREE

Details Clients **Config** Stats

GENERAL

RADIOS

RADIO 2G (11n/B/G)

Channel settings inherited from WLAN group

WLAN Group	Channel	HT
Roaming	11	20

Transmit Power
Custom | 23 dBm

Allow meshing from other access points

QUEUE CHANGES CANCEL

WLAN

SERVICES

NETWORK

WIRELESS UPLINKS

MANAGE DEVICE

Figura 2.28 Configuración de potencia de transmisión de los AP

En el controlador UNIFI en SETTINGS->NETWORKS->LAN, se ingresa la dirección IP del router en Gateway/Subnet y se ingresa en DHCP Range el rango de direcciones IP para la red WiFi, ver figura 2.29.

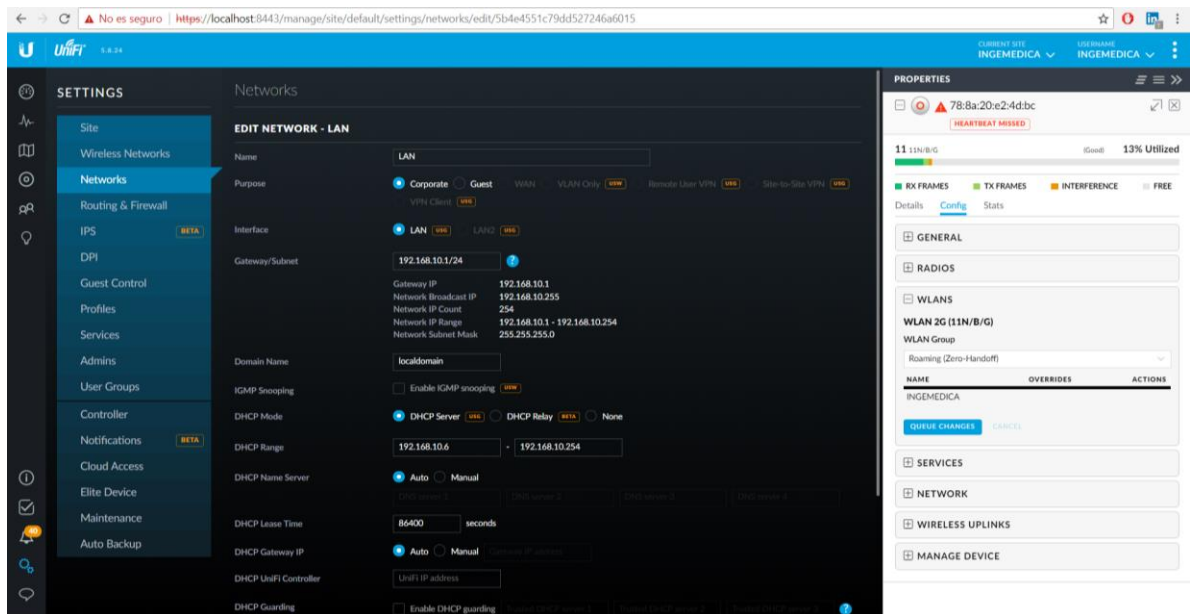


Figura 2.29 Configuración de la red de área local

2.8 Configuración de Servicios

2.8.1 Roaming

La configuración del servicio de Roaming fue configurado inicialmente al crear el grupo WLAN y posteriormente la red, debido a que al crear la red primeramente se debe determinar si esta brindará o no el servicio de Roaming.

2.8.2 Seguridad

Por temas de seguridad se requiere tener un filtrado por MAC para la red cableada debido a que se tiene algunos puertos de conexión Ethernet en un área donde terceras personas tienen acceso, por lo tanto, se realizará la configuración del filtrado por MAC en el Switch donde estén dichos puertos.

Para entrar a la interfaz de configuración de los Switch TP-Link TL-SG 2424P se debe conectar una PC vía Ethernet con un puerto del Switch y configurar una IP estática en la PC la cual es 192.168.0.X, donde X puede ser cualquier número del 1 al 255 menos el que está configurado en el Switch, ver figura 2.30.

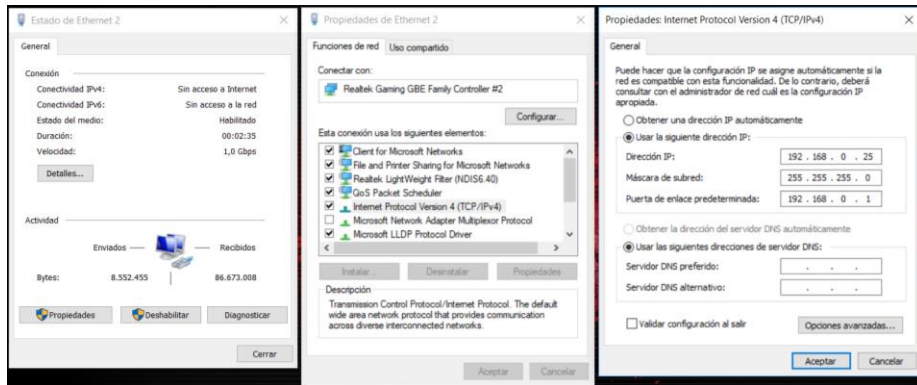


Figura 2.30 Ingreso de IP estática en PC

En este caso el Switch a configurar tiene la IP 192.168.0.101.

Luego se abre una ventana en el navegador y se ingresa la IP del Switch a configurar, se ingresa los datos de autenticación y se dirige a de Switching->MAC Address. En la pestaña Address Table nos muestra todas las MAC que se han conectado al Switch y por cual puerto se ha realizado, ver figura 2.31.

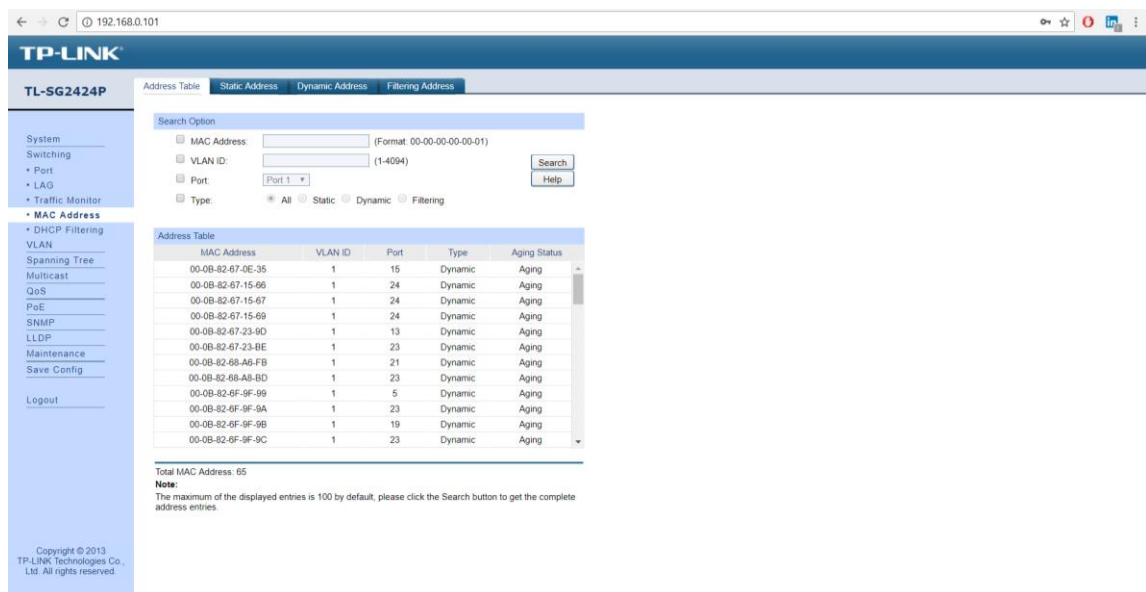


Figura 2.31 Lista de direcciones MAC accedidos a la red obtenida en la interfaz de configuración del Switch TP-Link

Por lo obtenido se realizará el filtrado de todas las MAC que no sean de los equipos fijos por puerto de la empresa, es decir sí en el puerto 15 del Switch 192.168.0.101 se debe encontrar conectada la PC con dirección MAC "X" y en la

tabla de registro existen otras direcciones MAC estas serán agregadas en la lista de filtradas.

Se dirige a la pestaña Filtering Address y se ingresa todas las MAC que se desean filtrar, ver figura 2.32, y se realiza el filtrado para todos los Switch.

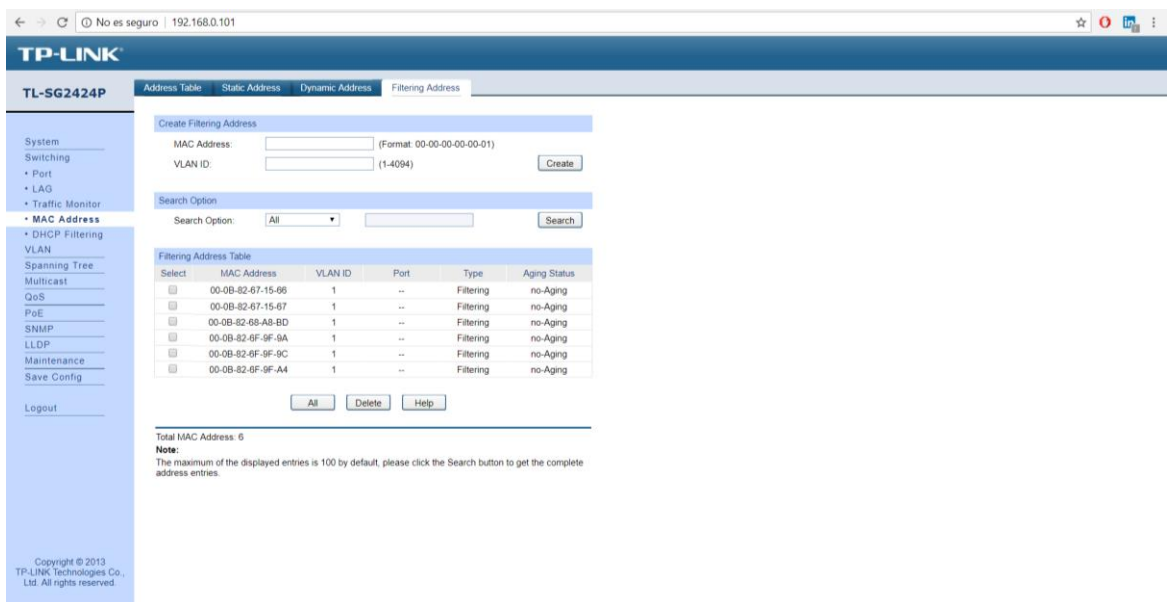


Figura 2.32 Configuración del Filtrado por MAC en el Switch

2.8.3 Prioridad de Puertos

Se necesita que ciertos puertos del área de administración y del departamento de electrónica tengan mayor prioridad, por lo cual ingresamos a la interfaz de configuración de estos los cuales tienen la IP 192.168.0.101, 192.168.0.102, 192.168.0.103 y 192.168.0.104. En la sección QoS->DiffServ en la pestaña Port Priority nos mostrara todos los puertos y con el grado de prioridad que tengan, para lo cual se seleccionaran los puertos a los que se le desee dar una mayor prioridad, ver figura 2.33.

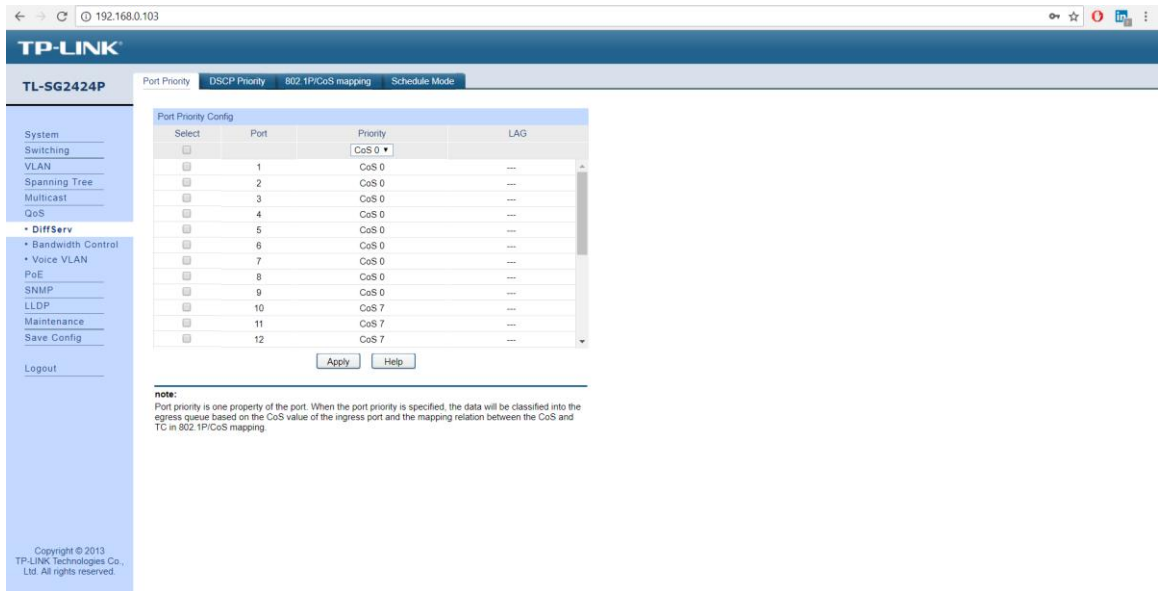


Figura 2.33 Configuración de QoS por puertos del Switch

2.8.4 VLANs

También se necesita que el área de administración y del departamento de electrónica tengan una red local virtual para cada área, por lo cual se procederá a crear dos grupos nuevos para estas áreas.

En la sección VLAN->802.1Q VLAN en la pestaña PORT CONFIG seleccionamos todos los puertos que se usarán en las VLANs nuevas se las asigna de tipo GENERAL y los puertos troncales se las asigna de tipo TRUNK, ver figura 2.34 y figura 2.35.

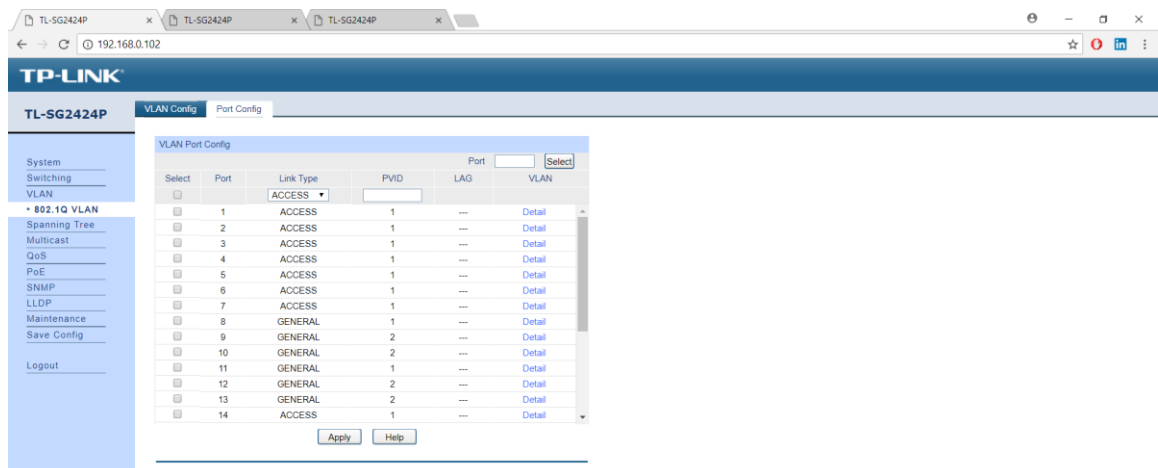


Figura 2.34 Configuración de tipo de puertos del Switch (1-14)

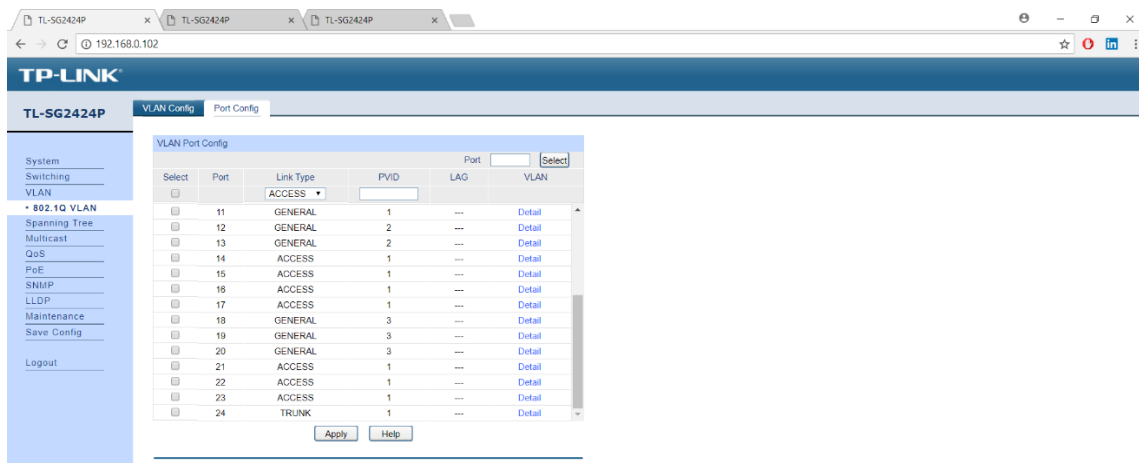


Figura 2.35 Configuración de tipo de puertos del Switch parte (11-24)

Ahora en la pestaña VLAN CONFIG se crean las VLANs nuevas, que en este caso serán dos, VLAN2 y VLAN3; cada VLAN creada debe poseer los puertos en los cuales ella existirá y también deberá agregarse en los puertos troncales, tal y como se muestra en la figura 2.36, y se realiza la creación de las VLANs para todos los switches que tengan al menos conectado un puerto a un área de las previamente mencionadas.

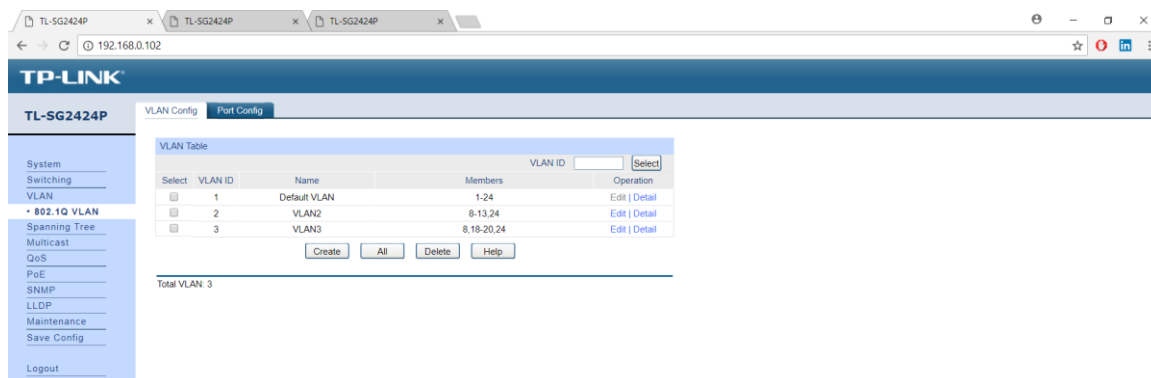


Figura 2.36 Creación de VLANs en el Switch

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Descripción

En esta sección se realiza el análisis de los resultados obtenidos con el diseño de la red inalámbrica para la empresa INGEMEDICA S.A., el cual se evaluará la cobertura con la ayuda de la aplicación “Wifi Analyzer”, la calidad de los servicios brindados por dicha red y un análisis de costo de la elaboración de este proyecto.

3.2 Evaluación de Cobertura

Se realizó mediciones en los puntos del 1 al 8 de cada planta los cuales fueron nombrados en el diseño de cobertura de la red, donde se obtuvo los siguientes datos:

Planta Baja:

Tabla 3.1 Mediciones de potencia en la planta baja

Punto	Potencia[dbm]
1	-47
2	-80
3	-62
4	-65
5	-76
6	-89
7	-67
8	-91



Figura 3.1 Mediciones de potencia en la planta baja

Planta Alta:

Tabla 3.2 Mediciones de potencia en la planta baja

Punto	Potencia[dbm]
1	-51
2	-76
3	-80
4	-62
5	-76
6	-82
7	-67
8	-85

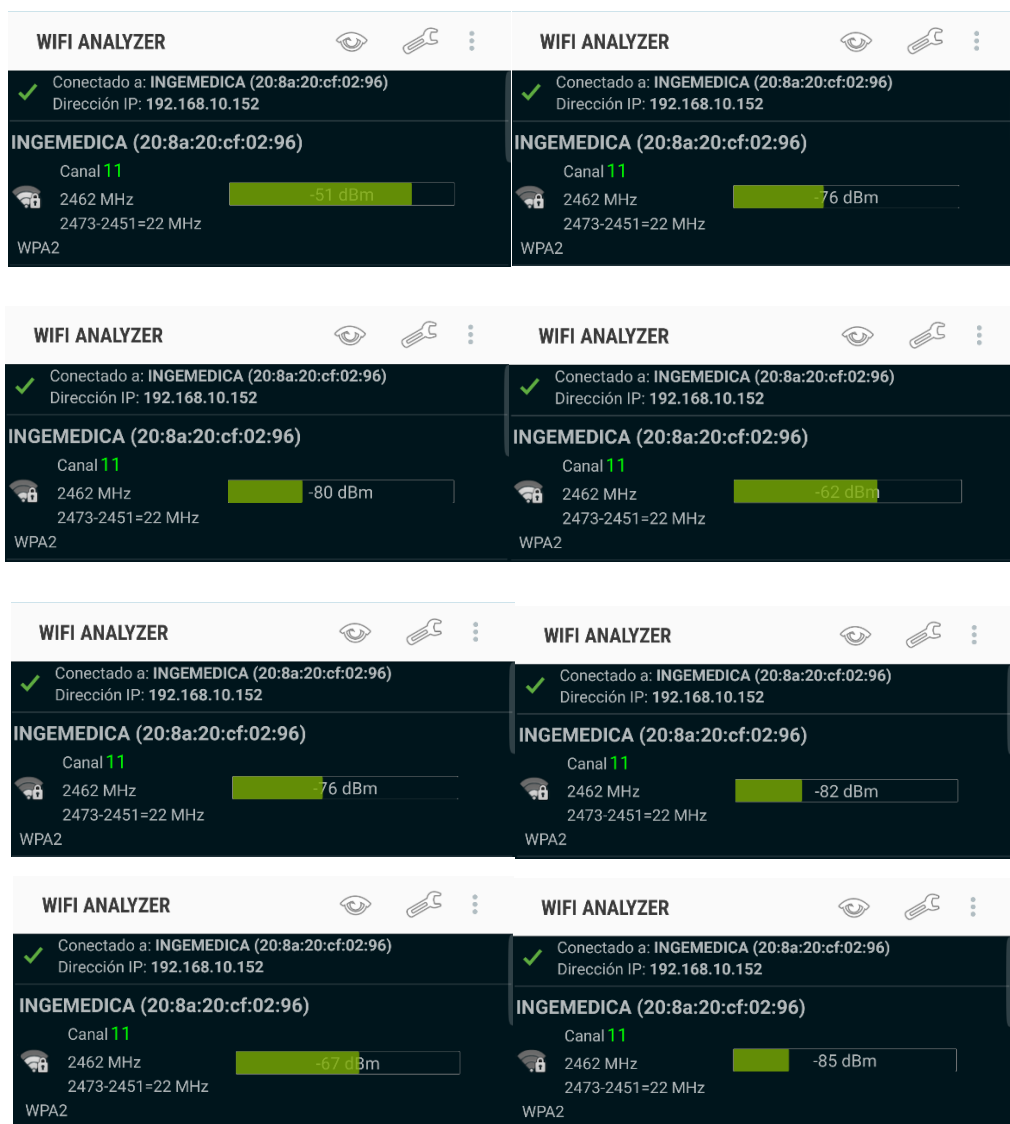


Figura 3.2 Mediciones de potencia en la planta alta

Con los resultados de las mediciones obtenidas podemos observar que para la planta baja en el punto 8 se obtuvo una potencia de -91 dBm, con lo cual se tenía una mala calidad de señal; mientras que para la planta alta no se obtuvo inconvenientes en ningún punto de medición.

Para resolver el problema de falta de cobertura en la planta baja se optó por agregar un AP UAP cerca de la zona del punto 8, como se puede observar en la simulación mostrada en la figura 3.3, con lo cual se solucionó el problema.

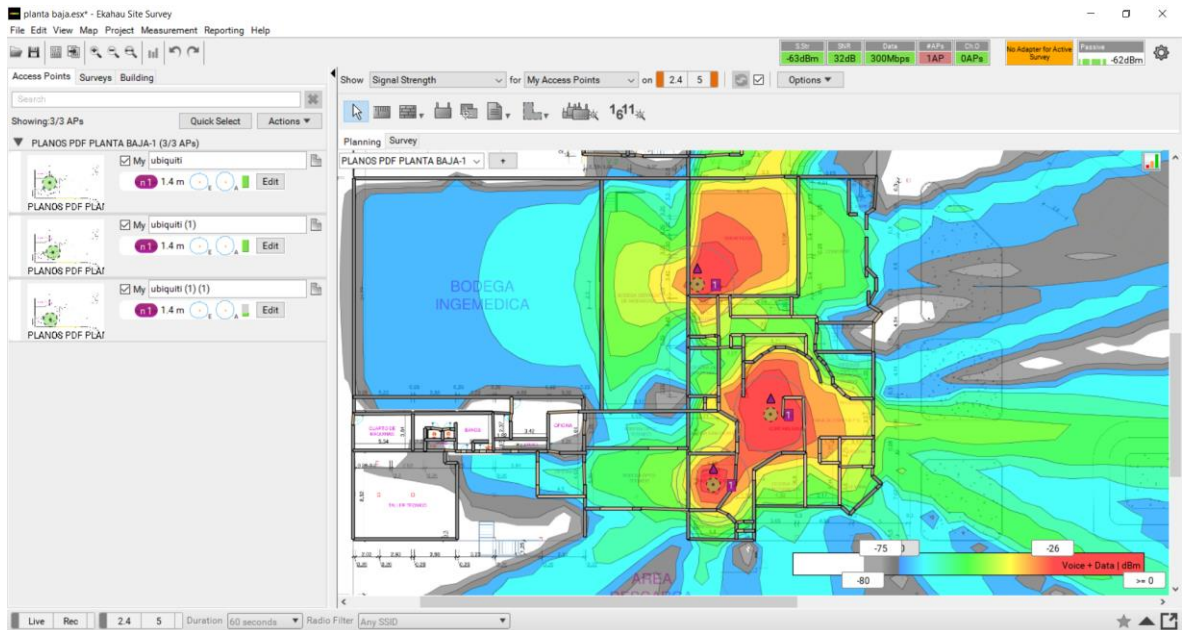


Figura 3.3 Mapa de cobertura del rediseño en Planta Baja

Además, se pasó a tener una sola red inalámbrica, ya que habían varias redes inalámbricas dentro del edificio como se muestra en la figura 3.4 y figura 3.5, donde se puede observar que existía un solapamiento de canales entre redes lo cual produce interferencia, posteriormente se procedió a apagar dichas redes para solo tener la nueva red “INGEMEDICA” dentro del edificio y así estos AP sobrantes pueden ser reutilizados para las áreas externas, como se muestra en la figura 3.6

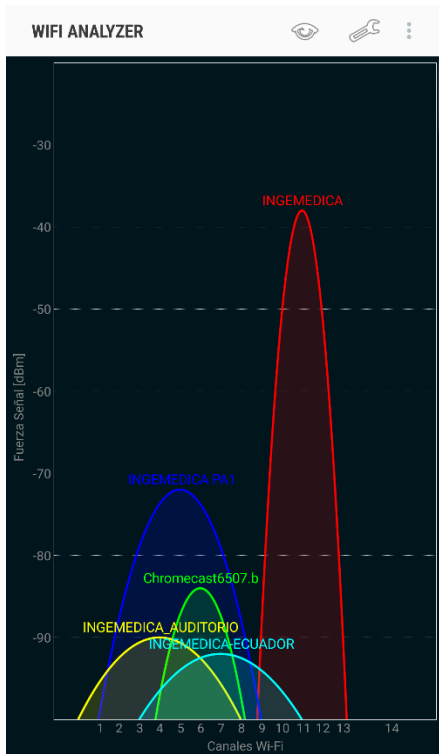


Figura 3.4 Gráfico de redes inalámbricas por canal Planta Baja

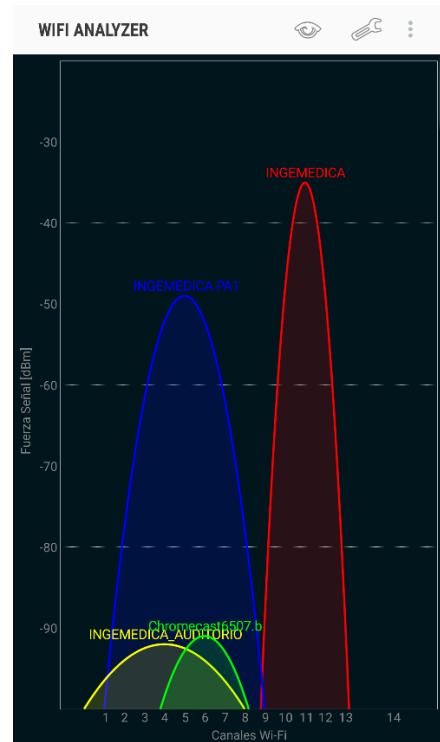


Figura 3.5 Gráfico de redes inalámbricas por canal Planta Alta

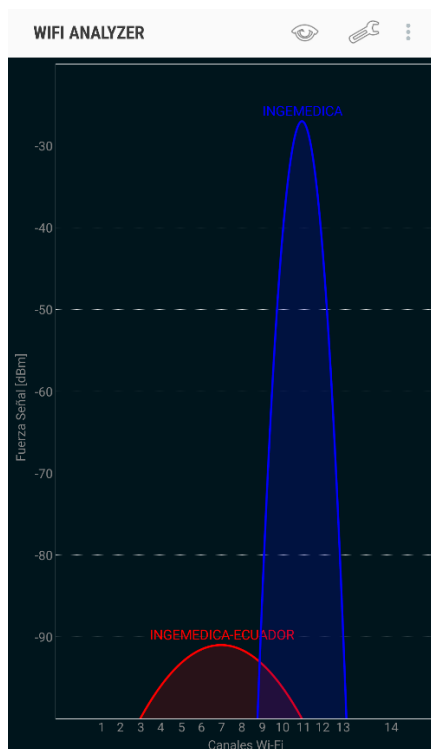
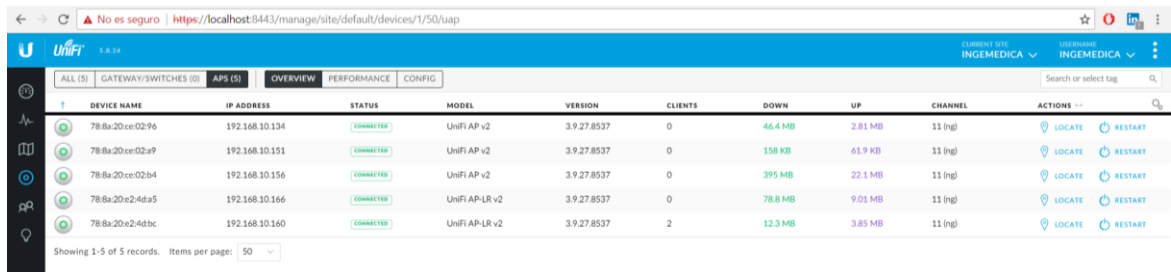


Figura 3.6 Gráfico de redes inalámbricas por canal Final

3.3 Evaluación de Servicios

3.3.1 Monitoreo de la Red Inalámbrica

En el controlador UNIFI podemos obtener toda la información sobre la red inalámbrica, en la pestaña DEVICES se muestra todos los AP configurados y en qué estado se encuentran, ver figura 3.7.



DEVICE NAME	IP ADDRESS	STATUS	MODEL	VERSION	CLIENTS	DOWN	UP	CHANNEL	ACTIONS
78-8a:20:ce:0296	192.168.10.134	CONNECTED	UniFi AP v2	3.9.27.8537	0	46.4 MB	2.81 MB	11 (ng)	LOCATE RESTART
78-8a:20:ce:02a9	192.168.10.151	CONNECTED	UniFi AP v2	3.9.27.8537	0	158 KB	61.9 KB	11 (ng)	LOCATE RESTART
78-8a:20:ce:02b4	192.168.10.156	CONNECTED	UniFi AP v2	3.9.27.8537	0	395 MB	22.1 MB	11 (ng)	LOCATE RESTART
78-8a:20:e2:4da5	192.168.10.166	CONNECTED	UniFi AP-LR v2	3.9.27.8537	0	78.8 MB	9.01 MB	11 (ng)	LOCATE RESTART
78-8a:20:e2:4dbc	192.168.10.160	CONNECTED	UniFi AP-LR v2	3.9.27.8537	2	12.3 MB	3.85 MB	11 (ng)	LOCATE RESTART

Figura 3.7 Estado de los AP en la red inalámbrica

En la pestaña STATISTICS se obtiene datos estadísticos, número de usuarios registrados en la red y tráfico de datos por cada AP, ver figura 3.8.

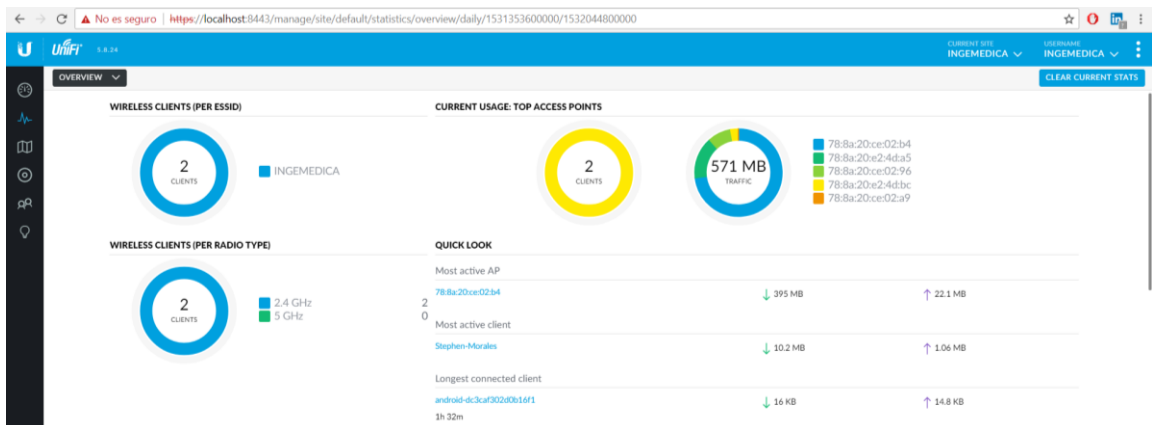


Figura 3.8 Datos estadísticos de la red inalámbrica

También se muestran diagramas de Tráfico vs Tiempo y Clientes vs Tiempo por cada AP conectado y uno por el total de la red, donde la escala del tiempo puede ser modificada, por día, por hora o cada 5 minutos, ver figura 3.9 y figura 3.10.

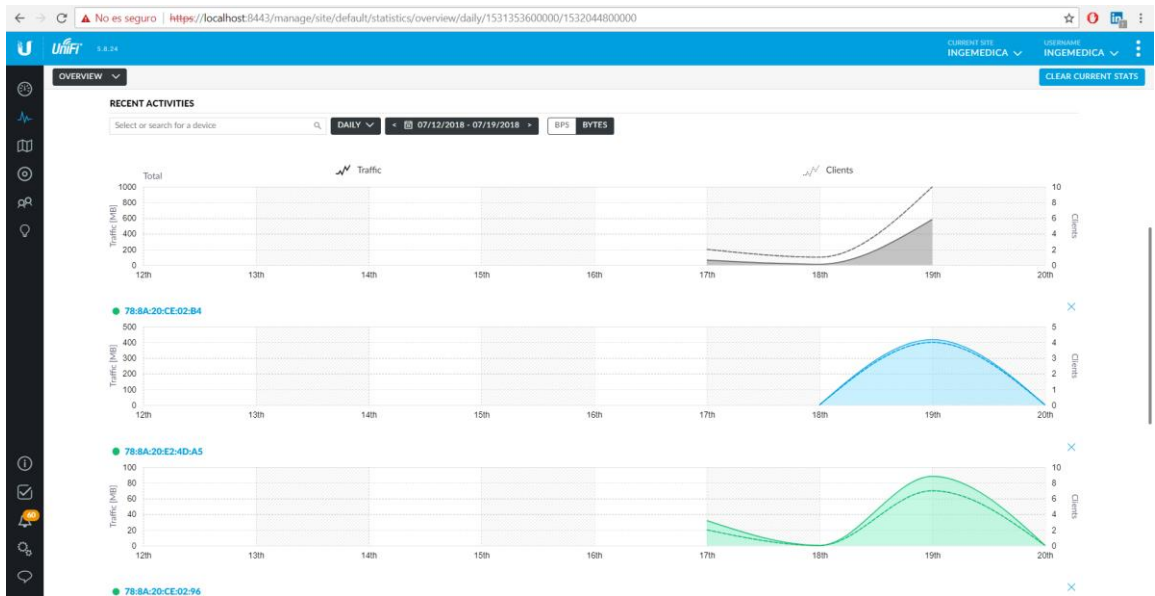


Figura 3.9 Gráfico de Tráfico vs Tiempo y Clientes vs Tiempo por AP (Parte Alta)

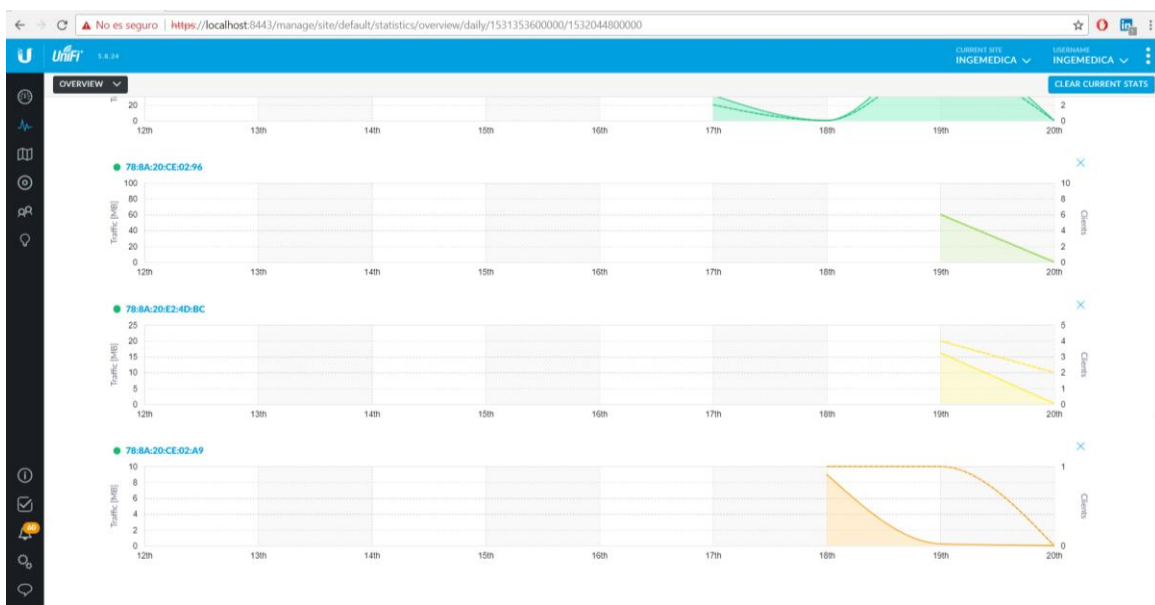


Figura 3.10 Gráfico de Tráfico vs Tiempo y Clientes vs Tiempo por AP (Parte Baja)

En la pestaña CLIENTS muestra todos los usuarios que se han conectado a la red, la dirección IP de estos y el tráfico de datos que han tenido cada uno, ver figura 3.11.

NAME	IP ADDRESS	CONNECTION	AP/PORT	ACTIVITY DOWN	ACTIVITY UP	UPTIME	ACTIONS
android-dc3caf302d016f1	192.168.10.113	INGEMEDICA	78.8a.20e2.44bc	22.7 KB	34.4 KB	1h 33m 56s	BLOCK RECONNECT
Stephen-Morales	192.168.10.131	INGEMEDICA	78.8a.20e2.44bc	10.2 MB	1.07 MB	1h 27m 20s	BLOCK RECONNECT

Figura 3.11 Tabla de clientes de la red inalámbrica

3.3.2 Roaming

El servicio de Roaming fue evaluado con un dispositivo celular conectado a la red inalámbrica realizando una videollamada, con el cual se fue desplazando por toda la zona de cobertura en el edificio donde se observó que no se tuvo pérdidas de conexión. En el controlador UNIFI podemos observar las gráficas de tráfico de datos por AP con la escala de tiempo de 5 minutos, el celular fue el único dispositivo conectado a la red y se puede observar como el tráfico va saltando por AP cada vez que se producía el cambio, ver figura 3.12 y figura 3.13.

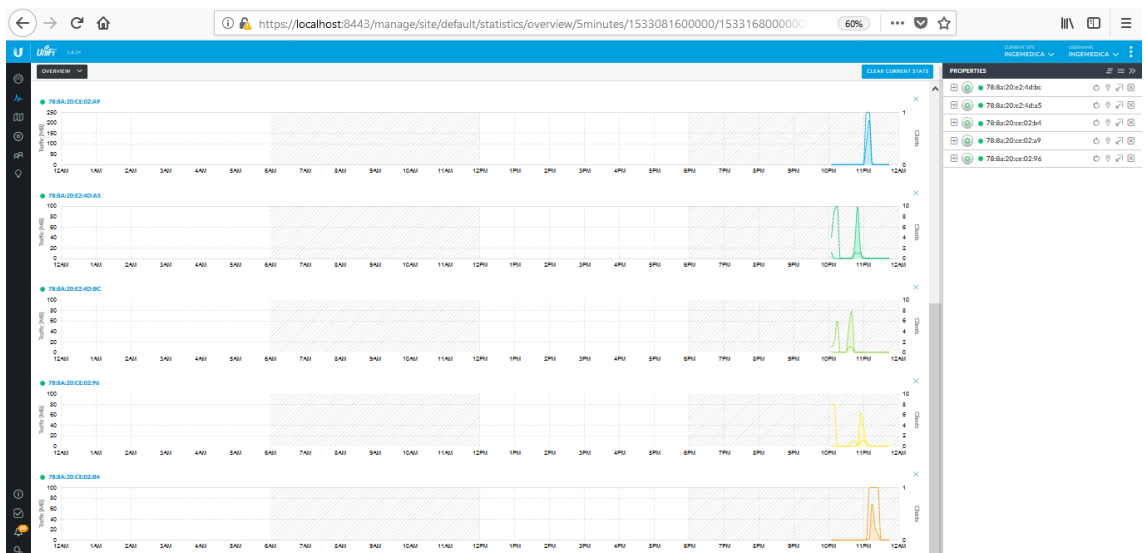


Figura 3.12 Gráfico de Tráfico vs Tiempo y Clientes vs Tiempo por AP (Evaluación del Roaming)

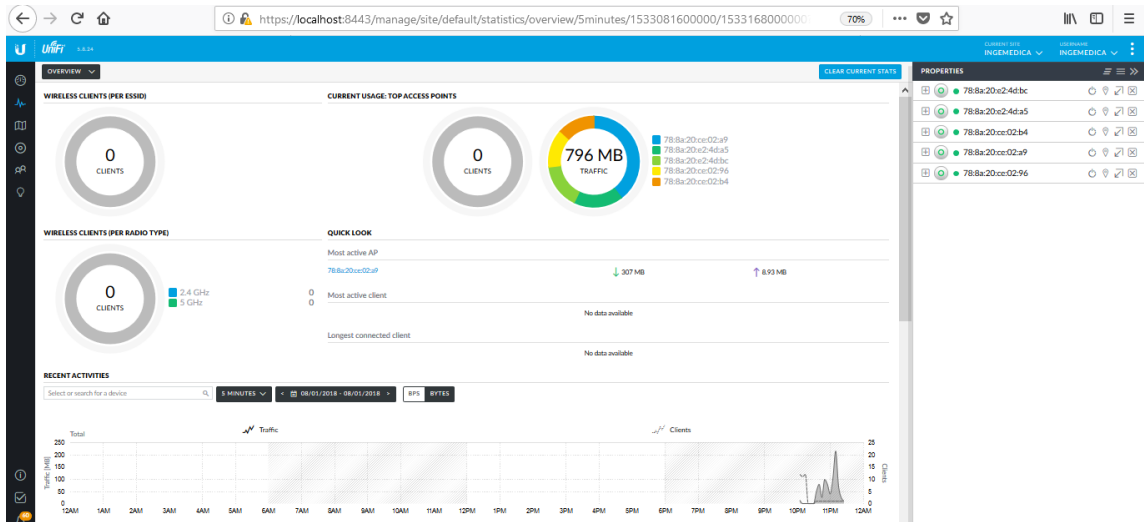


Figura 3.13 Gráfico de Tráfico Total vs Tiempo y Clientes vs Tiempo (Evaluación del Roaming)

En la figura 3.14, se muestra cuando se realizó el cambio de AP por el Roaming, donde se observa que se tiene un cliente en dos AP y el tráfico de datos cae en uno y sube en el otro AP.

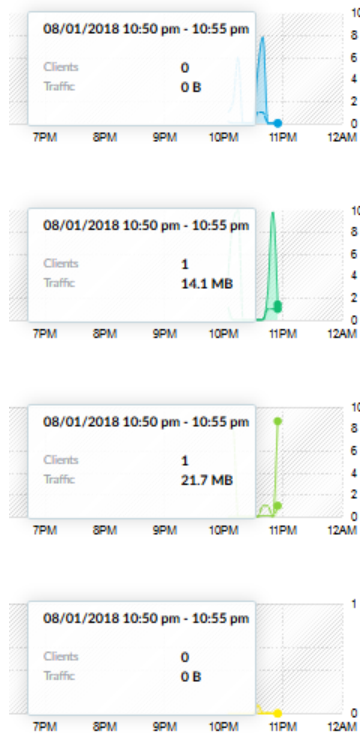


Figura 3.14 Gráfico para visualizar el cambio de AP

En la figura 3.15, se obtuvo la gráfica de Tráfico Total vs Tiempo y Clientes vs Tiempo, en donde se muestra que en todo el transcurso del tiempo solo hubo un dispositivo conectado a la red en el tiempo de medición, después no había clientes conectados a la red, se aprecia que existe una línea punteada indicando un solo cliente en el transcurso de la medición.

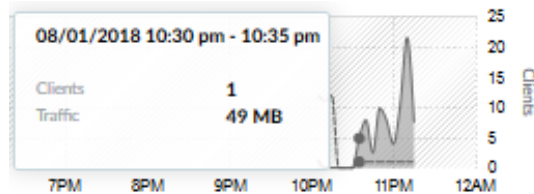


Figura 3.15 Gráfico Cliente vs Tiempo de medición

3.3.3 VLANs

Se elaboró 2 grupos para el área de administración y el departamento electrónico respectivamente y se dejó el grupo por default para los demás usuarios, por lo tanto no existe comunicación entre equipos de diferentes grupos, lo cual se evidencio ejecutando Ping desde una PC que se encuentra en el grupo por default a otra PC que se encuentra en el mismo grupo, el cual salió exitoso; y cuando se ejecutó Ping a una PC que está en el grupo de administración no se obtuvo comunicación.

3.4 Tabla de Costo

Para la elaboración de este proyecto se usó los siguientes equipos y materiales con sus respectivos precios:

Tabla 3.3 Tabla de Costo del proyecto

Materiales	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
UAP AP	4	\$91.66	\$366.64
UAP AP LR	2	\$114	\$228
Cable de Red Ethernet	25	\$0.40	\$10
RJ 45	24	\$0.25	\$6
		Total	\$610.64

Es importante recalcar que en la tabla 3.3 ya se ha agregado el precio del UAP extra y de sus correspondientes costos en cable Ethernet y conector RJ 45 para su correcto funcionamiento, dichos valores se incluyeron gracias a la evaluación de resultados del mismo capítulo.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la elaboración de este proyecto se pudo realizar el levantamiento de una red inalámbrica eficiente en términos de cobertura y cantidad de usuarios. Se consiguió minimizar el solapamiento de redes en el canal wifi, ya que de tener varias redes inalámbricas en diferentes puntos las cuales se producían interferencia entre sí, se obtuvo una sola red inalámbrica para todo el edificio principal y con el servicio de Roaming, para tener movilidad sin pérdida de conexión.

Los datos obtenidos por el modelo de propagación para interiores Multi-Wall fueron ayuda para la ubicación de los puntos de acceso, que posteriormente fueron simulados para obtener un mapa de cobertura, luego de la implementación de estos se obtuvo valores de potencia de señal muy cercanos a los obtenidos por las simulaciones.

Todos los servicios que se implementaron en la red inalámbrica fueron evaluados, los cuales dieron un correcto funcionamiento.

La aplicación Wifi Analyzer fue de gran ayuda para realizar las respectivas mediciones de potencia de la señal, con lo que se realizó la evaluación de cobertura después de la implementación de la red inalámbrica, y también con esta aplicación podemos obtener una gráfica de Potencia vs Canal en la banda de WiFi, con el que se observa todas las redes que hay en el punto de medición y si existe solapamiento entre redes.

En el programa Ekahau Site Survey se pudo realizar simulaciones, donde se realizó el mapa de la infraestructura colocando las paredes, puertas, etc, con su respectiva pérdida en dB, y los AP que se va a utilizar, el cual tiene una gran variedad de dispositivos comerciales, para así obtener un mapa de cobertura y poder observar de como sería la cobertura por los equipos utilizados.

Gracias a la segmentación que producen las VLANs los usuarios de la parte administrativa poseen una mayor seguridad, ya que usuarios de otros equipos no pueden enlazarse a su red y de esta manera se evita posibles fugas de datos.

El monitoreo de datos ayuda a la empresa a saber que clientes consumen una mayor cantidad de datos, a saber, el estado de los puntos de acceso y realizar una mejor administración de los recursos de internet en el edificio.

Es importante realizar el monitoreo para mitigar falencias en la calidad de servicio que proveen los puntos de acceso, así como también, analizar en qué áreas será necesario añadir otro punto de acceso por la cantidad de usuarios que están ocupando el servicio en dicha área.

Se debería reutilizar los puntos de acceso cambiados en áreas que no son de mayor prioridad para proveer acceso a Internet.

El controlador Unifi permite realizar un filtrado MAC inverso inalámbrico, en caso de limitar la cantidad de dispositivos que acceden en un área específica, esta solución sería de gran utilidad.

BIBLIOGRAFÍA

[1] José María Murillo Safont, Autor. “Diseño e implantación de una red inalámbrica unificada en el Colegio Nuestra Señora de Fátima de Valencia”. Tesis de Grado de Ingeniería en Sistemas de Telecomunicaciones, Universidad Politécnica de Valencia, Gandia, España.

[2] Barrenechea Zavala Taylor, Autor. “Diseño De Una Red LAN Inalámbrica Para Una Empresa De Lima”. Tesis de Grado de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

[3] Baquero Montero Juan, Autor. “Diseño de solución de conectividad de WiFi en el Campus de Floridablanca de la Universidad”. Tesis de Grado de Ingeniería en Telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería en Telecomunicaciones, Universidad Santo Tomás, Bogota, Colombia.

[4] Ekahau, Producto Site Survey & 3D WiFi Planner. Disponible en:

https://itnetworks.softing.com/fileadmin//media/images/wlan/ekahau/datasheets/Ekahau_Site_Survey_DS_A4.pdf

[5] Mikrotik, Producto RB2011iL-IN. Disponible en:

<https://mikrotik.com/product/RB2011iL-IN#fndtn-specifications>

[6] Tp-Link, Producto TL-WR1043ND. Disponible en:

https://www.tp-link.com/ec/products/details/cat-9_TL-WR1043ND.html#specifications

[7] Tp-Link, Producto TL-SG2424P. Disponible en:

https://www.tp-link.com/es/products/details/cat-5070_TL-SG2424P.html#specifications

[8] Tp-Link, Producto TL-WA801ND. Disponible en:

https://www.tp-link.com/ec/products/details/cat-12_TL-WA801ND.html#specifications

[9] Pedraza Martinez, L., & Hernández Suárez, C., & Salcedo Parra, O. (2008). Modelo de propagación de interiores para la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital. Ingeniería, Ingeniería, vol. 13, no. 2, 2008, pp. 23-28. Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas.