

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

Diseño e Implementación de una Red Mesh Inalámbrica para un  
Complejo Residencial Privado.

**EXAMEN COMPLEXIVO**

Previo la obtención del Título de:

**MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES**

Presentado por:

Oliver Antonio Trujillo Mora

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2024

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto lo dedico a mis padres, quienes han sido los principales pilares de mi educación. Sin embargo, principalmente lo dedico a mí mismo, en reconocimiento a mi esfuerzo y dedicación, valores que aplico en cada uno de mis proyectos y que, con el tiempo, se convierten en logros.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi más sincero agradecimiento a mis padres, por ser el motor principal de mi formación y por brindarme su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida. También agradezco profundamente a quienes, con su orientación y confianza, han contribuido de manera significativa al desarrollo de este proyecto, reflejo de esfuerzo, dedicación y perseverancia.

## **Declaración Expresa**

---

Yo, Oliver Antonio Trujillo Mora acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 27 de enero del 2025.

Autor

## **EVALUADORES**

**Ph.D. María Antonieta Alvarez**

PROFESOR EVALUADOR

**Ph.D. Ricardo Cajo**

PROFESOR EVALUADOR

## RESUMEN

Este proyecto de titulación se centra en el diseño e implementación de una red Wi-Fi Mesh para un complejo residencial privado, cuyo diseño de red actual es deficiente debido a que no satisface las demandas de red de sus usuarios, ya que fue planificado en sus inicios para un área de 1200 metros cuadrados, pero ante un crecimiento a un área casi del doble de área, 2100 metros cuadrados, la topología de red no satisface los requisitos del usuario.

Mediante una inspección técnica del sitio, se modeló un diseño de red de tipo malla, empleando un controlador principal y puntos de acceso (APs) que establecen una conexión con el controlador y son gestionados a través de éste, con la finalidad de proporcionar una cobertura completa en el complejo residencial privado.

Empleando herramientas de simulación de cobertura Wi-Fi se realizó el análisis de la cobertura Wi-Fi que proporcionan los APs y se identificó las zonas donde el nivel de intensidad de la señal era baja o nula, con el compromiso de mitigar estos problemas y ofrecer una experiencia satisfactoria de navegación.

Por medio de pruebas de conectividad que se realizaron luego de la implementación, el diseño de la red Wi-Fi mesh permitió alcanzar velocidades eficientes de navegación, de más de 100 Mbps en condiciones normales y de 25 Mbps, aproximadamente, en condiciones desfavorables, permitiendo al usuario realizar actividades que demanden de muchos recursos a la red sin experimentar interrupciones en el servicio ni interferir en tareas que otros usuarios estuvieran haciendo.

**Palabras clave:** Wi-Fi mesh, puntos de acceso (AP), controlador, velocidad de navegación.

## **ABSTRACT**

*This degree project focuses on designing and implementing a Wi-Fi Mesh network for a private residential complex. The current network design is deficient as it fails to meet the users' demands. Initially planned for 1,200 square meters, the network topology no longer satisfies the requirements after the complex expanded to double the size, covering 2,100 square meters.*

*Through a technical site inspection, a mesh network design was modeled using a central controller and access points (APs). These APs establish a connection with the controller and are managed through it to provide complete coverage across the private residential complex.*

*Wi-Fi coverage simulation tools were used to analyze the APs' coverage and identify areas with weak or no signal. This analysis aimed to mitigate these issues and ensure a satisfying browsing experience for users.*

*Connectivity tests conducted after the implementation demonstrated that the Wi-Fi Mesh network design achieved efficient browsing speeds of over 100 Mbps under normal conditions and approximately 25 Mbps under unfavorable conditions. This allows users to perform high-bandwidth activities without experiencing service interruptions or interfering with tasks being carried out by other users*

*Keywords: Wi-Fi mesh, Access Point, controller, navigation speed.*

# ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES .....	5
RESUMEN .....	I
Abstract.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	VIII
CAPÍTULO 1 .....	1
1. Introducción .....	2
1.1 Descripción del problema .....	2
1.2 Descripción de la propuesta.....	2
1.2.1 Inspección técnica del sitio y análisis de cobertura .....	3
1.2.2 Topología de red y selección de equipos .....	4
1.2.3 Distribución de puntos de acceso (AP) .....	4
1.2.4 Configuración y optimización de la red.....	4
1.2.5 Pruebas y ajustes.....	5
1.3 Objetivos .....	5
1.3.1 Objetivo general .....	5
1.3.2 Objetivos específicos .....	5
1.4 Marco Teórico.....	5
1.4.1 Introducción a las Redes Wi-Fi en Casas Inteligentes .....	5
1.4.2 Redes Mesh: La Solución Ideal para Casas Amplias.....	6
1.4.3 Beneficios de la Red Mesh en un Hogar Inteligente.....	7
1.4.4 Gestión Eficiente de la Red y Escalabilidad .....	7

1.5	Resultados esperados.....	8
1.5.1	Cobertura uniforme y amplia .....	8
1.5.2	Mejora significativa en la estabilidad de conexión .....	9
1.5.3	Velocidad de conexión .....	9
1.5.4	Escalabilidad y capacidad de red mejorada.....	9
CAPÍTULO 2 .....		10
2.	Metodología .....	11
2.1	Inspección técnica del sitio e infraestructura de diseño.....	11
2.2	Análisis de cobertura .....	14
2.2.1	Simulación en Ekahau Survey.....	14
2.2.2	Análisis de cobertura para el primer piso .....	14
2.2.3	Análisis de cobertura para el segundo piso.....	16
2.3	Topología de red interna .....	17
2.4	Selección de equipos .....	18
CAPÍTULO 3 .....		21
3.	Resultados y análisis .....	22
3.1	Preparación del entorno y montaje de equipos .....	22
3.2	Configuración general .....	23
3.2.1	Configuración de controlador Omada OC200 .....	24
3.2.2	Configuración de Puntos de Acceso TP-Link EAP620 .....	25
3.3	Pruebas y Resultados .....	25
3.3.1	Pruebas de cobertura .....	26
3.3.2	Pruebas de latencia.....	27
3.3.3	Pruebas de ancho de banda .....	28
3.3.4	Tráfico .....	30
3.3.5	Ajustes finales .....	31

CAPÍTULO 4 .....	34
4. Conclusiones Y Recomendaciones.....	35
4.1 Conclusiones.....	35
4.2 Recomendaciones.....	36
BIBLIOGRAFÍA .....	37

## **ABREVIATURAS**

AP: Punto de acceso

dB: pérdida de potencia

Mbps: Megabits por segundo

IoT: Internet de las cosas

ms: milisegundos

GHz: Gigahertz

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura1.1 <i>Diagrama de bloques de la propuesta de solución</i> .....	3
Figura2.1 Plano del primer piso .....	11
Figura2.2 Plano del segundo piso.....	12
Figura2.3 Cobertura en el primer piso debido a dos APs.....	15
Figura2.4 Cobertura en el primer piso debido a tres APs.....	16
Figura2.5 Cobertura en el segundo piso .....	17
Figura2.6 Topología de la red .....	18
Figura3.1 Equipos seleccionados .....	22
Figura3.2 Topología de conexión de APs .....	23
Figura3.3 Menú de controlador Omada.....	24
Figura3.4 Vinculación de APs .....	25
Figura3.5 Prueba del nivel de intensidad en varios puntos del primer piso.....	26
Figura3.6 Estadísticas de la fuerza de la señal.....	27
Figura3.7 Prueba de latencia .....	28
Figura3.8 Velocidad medida por test de velocidad.....	29
Figura3.9 Prueba de velocidad en una zona débil .....	30
Figura3.10 Tráfico de la red en ambas frecuencias (2.4 GHz y 5GHz) .....	31
Figura3.11 Ajustes de optimización .....	32
Figura3.12 Control de la tasa 802.11 para 2.4 GHz.....	32
Figura3.13 Control de la tasa 802.11 para 5 GHz.....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla2.1 Equipos para diseño de la red Mesh .....	19
---	----

# **CAPÍTULO 1**

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Descripción del problema**

En un complejo residencial privado de mayor extensión con superficie total de  $2100 m^2$ , la red WiFi existente, originalmente diseñada para un área de menor dimensión, con superficie total de  $1200 m^2$ , ha demostrado ser completamente inadecuada. La infraestructura de red actual presenta una serie de deficiencias significativas que afectan la calidad y la estabilidad de la conexión. La malla de red es imperfecta al no formarse completamente, resultando en una cobertura irregular que deja múltiples zonas sin señal o con una señal débil. Además, las conexiones son notoriamente inestables, lo que ocasiona frecuentes interrupciones en el servicio y una experiencia de usuario deficiente.

Esta situación ha generado una demanda urgente por una solución de conectividad robusta y uniforme que pueda cubrir eficientemente todas las áreas del complejo residencial, sin importar su tamaño o disposición. Es esencial implementar una infraestructura de red que ofrezca una cobertura amplia y consistente, eliminando las zonas muertas y mejorando la estabilidad de las conexiones para garantizar un acceso ininterrumpido a Internet. Además, la solución debe ser escalable y adaptable para atender cualquier futura expansión del complejo y las crecientes necesidades de los residentes.

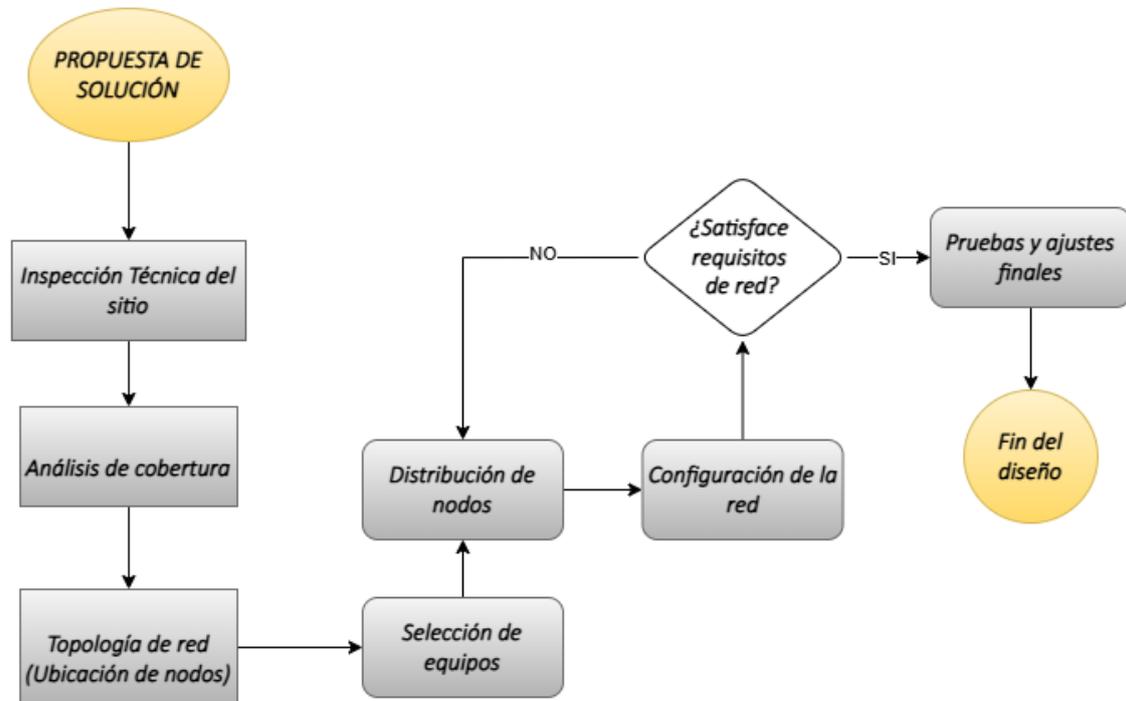
La situación demanda una planificación e implementación actualizada para el nuevo complejo que se ajuste a las dimensiones permitiendo una mejora en la calidad de servicio y ofrezca una experiencia al usuario mejorada con respecto a la anterior red MESH desorganizada.

## **1.2 Descripción de la propuesta**

Con la intención de proponer un diseño de red que sea eficiente y capaz de satisfacer las demandas y necesidades de sus usuarios en cuanto a ancho de banda, cobertura y latencia, es esencial seguir una serie de pasos estructurados de manera ordenada y lógica, de tal manera que se logre cumplir con los requisitos de red. Estos pasos se detallan por medio de un diagrama de bloques a continuación.

**Figura 1.1**

Diagrama de bloques de la propuesta de solución



Nota. La figura representa un diagrama de flujo de la propuesta de solución.

El proyecto propone diseñar e implementar una topología de red MESH avanzada y eficiente para un complejo residencial privado que ha experimentado una expansión de superficie aproximada de 1000 m<sup>2</sup>. Esta nueva red MESH se desarrollará para superar las limitaciones de la infraestructura de red existente, abordando principalmente los problemas de cobertura insuficiente y conexiones de la infraestructura actual.

El proceso de implementación se llevará a cabo en las siguientes fases clave, las cuales son detallados en la Figura 1.1.

### 1.2.1 Inspección técnica del sitio y análisis de cobertura

Se realizará un estudio del terreno para conocer la infraestructura y poder hacer un bosquejo del plano del complejo, el cual permitirá simular la cobertura Wi-Fi que se tendrá en el área producto de la distribución de los nodos. Una vez que se haya realizado

la inspección técnica del sitio, mediante el uso de herramientas de mapeo se identificará las áreas problemáticas se optimizará la colocación de dispositivos inalámbricos bajo la normativa Wi-Fi 6 (802.11ax), con la finalidad de mitigar los problemas de cobertura debido a pérdidas por el material, tales como paredes, puertas, ventanas, electrodomésticos o muebles.

### **1.2.2 Topología de red y selección de equipos**

Se propondrá un diseño de red Wi-Fi mesh que permita interconectar los nodos de la red, de tal manera que se logre niveles de cobertura eficientes y se garantice niveles de velocidad aceptables. Para cumplir con este cometido, se elegirá dispositivos MESH de alto rendimiento y se ubicarán estratégicamente, considerando centralidad, accesibilidad y obstáculos.

### **1.2.3 Distribución de puntos de acceso (AP)**

A fin de garantizar una cobertura uniforme en el interior del complejo residencial, es esencial definir las distancias óptimas entre nodos y, mediante el uso de herramientas de simulación, se estudiará el mapa de calor debido a cada uno de los AP, de tal manera que, si la cobertura no es eficiente, ésta pueda mejorarse realizando una mejor distribución espacial de los AP.

### **1.2.4 Configuración y optimización de la red**

Se habilitará la función proporcionada por los equipos MESH para gestionar automáticamente la operación y conectividad en canales menos congestionados. Debido a que se empleará más de un AP tipo MESH, es necesario asegurarse que no estén operando en el mismo canal, ya que esto podría causar interferencias y desconexiones de los dispositivos a la red. Por ello, se aprovechará esta característica de estos dispositivos para que puedan seleccionar de manera inteligente el canal bajo el cual van a operar, evitando tener problemas de conectividad debido a una mala selección de un canal en las frecuencias de 2.4 o 5 GHz.

### **1.2.5 Pruebas y ajustes**

Se verificarán parámetros como cobertura, velocidad, tráfico y latencia, realizando ajustes en la configuración para garantizar que estos parámetros estén dentro del rango requerido para realizar actividades en la red que demanden de muchos recursos. Finalmente, siguiendo un plan de mantenimiento preventivo y haciendo las actualizaciones necesarias en los softwares de los dispositivos, se mantendrá la red operativa.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

- Implementar una red Mesh inalámbrica eficiente para un complejo residencial privado que garantice conectividad uniforme y robusta.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Evaluar la estructura y distribución del complejo residencial para identificar puntos críticos de cobertura.
- Diseñar una topología de red Mesh que asegure cobertura de malla formada y rendimiento óptimo.
- Seleccionar los dispositivos de red Mesh adecuados para su implementación en el complejo residencial.
- Configura la red Mesh para garantizar la estabilidad y velocidad de conexión.
- Realizar pruebas de cobertura y rendimiento en todas las áreas del complejo para garantizar una malla completa y eficiente.

## **1.4 Marco Teórico**

### **1.4.1 Introducción a las Redes Wi-Fi en Casas Inteligentes**

En los últimos años, la implementación de la domótica y el Internet de las Cosas (IoT) en los hogares ha generado una demanda creciente por redes Wi-Fi robustas que aseguren conectividad continua y estable. Las casas inteligentes no solo integran

sistemas de seguridad y automatización, sino que también dependen de una infraestructura de red que permita la comunicación fluida entre dispositivos como cámaras, termostatos, asistentes virtuales, y electrodomésticos inteligentes. Esta tendencia refleja una transformación hacia hogares donde la eficiencia, el confort y la seguridad están interconectados a través de Internet (EnGenius, s.f.).

Las viviendas grandes o de varios niveles presentan un desafío adicional: la señal Wi-Fi puede degradarse debido a la distancia, barreras físicas como paredes gruesas o interferencias de otros dispositivos. En este contexto, se hace evidente la necesidad de sistemas que puedan mantener una cobertura uniforme en toda la propiedad. Las redes Wi-Fi tradicionales, basadas en un solo router, suelen fallar en proporcionar una cobertura adecuada en estos entornos extensos (Andrade, 2016).

#### **1.4.2 Redes Mesh: La Solución Ideal para Casas Amplias**

Para superar las limitaciones de los routers tradicionales, las redes Mesh han emergido como una solución óptima para casas grandes o complejos residenciales. A diferencia de los sistemas convencionales, donde la cobertura se extiende desde un único punto central, las redes Mesh utilizan múltiples nodos distribuidos por el hogar. Estos nodos crean una malla interconectada que permite que los dispositivos se conecten siempre al nodo más cercano, garantizando una señal estable y fuerte en todas las áreas (Hakimi, 2019).

Desde una perspectiva técnica, una red Mesh es especialmente ventajosa para hogares de gran extensión, como mansiones, ya que minimiza las zonas muertas y ofrece una red unificada que no requiere cambiar de SSID al moverse por la casa. Esto no solo mejora la experiencia del usuario, sino que también optimiza el rendimiento de los dispositivos conectados, como luces, cámaras de seguridad y asistentes de voz.

Además, la tecnología Mesh permite una autorregulación inteligente del tráfico de datos, en la cual los nodos deciden la mejor ruta para la información, reduciendo la latencia y los cuellos de botella (EnGenius, s.f.).

### **1.4.3 Beneficios de la Red Mesh en un Hogar Inteligente**

El avance de la tecnología Wi-Fi ha llevado a la introducción de estándares como Wi-Fi 6 (802.11ax), que han sido diseñados para mejorar la capacidad y el rendimiento en entornos densamente conectados. Esto es particularmente relevante en las casas inteligentes, donde numerosos dispositivos como cámaras, sensores de movimiento, sistemas de climatización, y electrodomésticos requieren una conexión estable y de baja latencia.

La ventaja principal de las redes Mesh en este tipo de ambientes es su capacidad para distribuir el ancho de banda de manera eficiente entre los dispositivos. Por ejemplo, un nodo puede estar gestionando la transmisión de video en alta definición desde cámaras de seguridad, mientras otro maneja la comunicación con sensores de puertas o termostatos inteligentes. Este equilibrio en la gestión del tráfico evita la congestión y asegura que los dispositivos críticos, como los de seguridad, siempre reciban prioridad.

Además, un sistema Mesh puede escalarse fácilmente añadiendo nuevos nodos sin comprometer el rendimiento de la red. En mansiones, donde los exteriores también forman parte de la red, los nodos adicionales pueden instalarse en jardines, patios o áreas de recreación, garantizando que todos los dispositivos conectados al ecosistema funcionen sin interrupciones. Esta escalabilidad es crucial en casas inteligentes, ya que permite adaptar la red a medida que se integran más dispositivos IoT con el tiempo. (qorvo, s.f.)

### **1.4.4 Gestión Eficiente de la Red y Escalabilidad**

Uno de los aspectos más importantes en la implementación de redes Mesh en hogares inteligentes es la facilidad de gestión que ofrecen. A través de aplicaciones o paneles de control intuitivos, los usuarios pueden monitorear el estado de la red, identificar puntos de congestión y priorizar dispositivos críticos. Esto es especialmente útil en un hogar domótico, donde diferentes sistemas requieren distintos niveles de prioridad en la red.

El avance tecnológico y la creciente demanda energética impulsan la adopción de redes inteligentes en hogares. Las redes Mesh, al integrarse con energías renovables y sistemas de administración de energía bidireccionales, permiten conexiones eficientes y adaptativas entre dispositivos inteligentes, optimizando el consumo y mejorando la experiencia en casas inteligentes.

Por otro lado, los sistemas Mesh también están diseñados para manejar el creciente número de dispositivos conectados. Se estima que, en promedio, una casa inteligente moderna puede albergar hasta 50 dispositivos IoT. Sin una infraestructura de red adecuada, este volumen de conexiones podría saturar un router tradicional, causando caídas en la conexión o una notable reducción en el rendimiento. En cambio, los nodos Mesh distribuyen el tráfico de manera eficiente, lo que permite que el sistema domótico funcione sin problemas, incluso cuando se conectan dispositivos adicionales. (Rico-Bautista, 2014)

Además, la tecnología Wi-Fi 6 no solo mejora la capacidad de la red, sino que también optimiza el consumo energético de los dispositivos conectados, lo que es particularmente relevante en una casa inteligente, donde muchos de estos dispositivos funcionan continuamente. El Target Wake Time (TWT), una de las características de Wi-Fi 6, permite que los dispositivos se comuniquen con la red solo cuando es necesario, reduciendo así el consumo de energía (Paúl Andrade, 2016).

## **1.5 Resultados esperados**

### **1.5.1 Cobertura uniforme y amplia**

- Lograr una completa cobertura Wi-Fi en todas las áreas del complejo residencial, eliminando las zonas sin señal o con señal débil.
- Proporcionar una señal consistente y fuerte en el espacio indoor del complejo.

### **1.5.2 Mejora significativa en la estabilidad de conexión**

- Reducir considerablemente las desconexiones y caídas de señal experimentadas por los usuarios.
- Mantener una latencia de red baja en condiciones normales de uso bajo el estándar 802.11ax (Wi-Fi 6).

### **1.5.3 Velocidad de conexión**

- Alcanzar velocidades de conexión mínima de 25 Mbps a lo largo del complejo.

### **1.5.4 Escalabilidad y capacidad de red mejorada**

- Permitir que la red maneje eficientemente un aumento en el número de dispositivos conectados sin degradación notable del rendimiento.
- Lograr un balanceo de carga efectivo entre los diferentes nodos de la red Mesh.

## **CAPÍTULO 2**

## 2. METODOLOGÍA

La metodología que se desarrollará en este capítulo está basada en el diseño de la propuesta de solución de la sección 1.2. Se realizará una descripción más específica de cada uno de estos puntos con la finalidad de proponer un diseño de red Wi-Fi MESH eficiente que cumpla con los requisitos de red deseados.

### 2.1 Inspección técnica del sitio e infraestructura de diseño

Una vez que se realiza la inspección técnica del sitio, se realiza los planos de los pisos del complejo residencial, con el objetivo de simular el comportamiento de la propagación de la señal Wi-Fi en estas áreas.

Tras evaluar el complejo residencial se diseñan los planos que representan la residencia privada:

**Figura2.1**

*Plano del primer piso*



*Nota.* La figura detalla el plano arquitectónico del primer piso.

La Figura2.1 corresponde al plano del primer piso, el cual tiene las siguientes características:

- 40m de largo, 5m de alto y 30m de profundidad.
- El terreno indoor corresponde a 30m de largo y 30m de profundidad.
- Diversos espacios divididos entre salones, cocina, salas de video y audio, salas de juegos, etc.
- Gran cantidad de edificaciones y obstrucciones clasificados en:
  - Paredes de bloques de cemento.
  - Ventanas de vidrio.
  - Tejas cerámicas y de arcilla cocida.
  - Puertas de madera maciza.
  - Elementos decorativos como barandas y, marcos de hierro forjado y aluminio.
  - Electrodomésticos diversos, dispositivos electrónicos y adornos en el interior.

### **Figura2.2**

*Plano del segundo piso*



*Nota.* La figura corresponde al plano del segundo piso.

La Figura 2.2 corresponde al plano del segundo piso, el cual presenta las siguientes características:

- 30m de largo, 4m de alto y 30m de profundidad.
- El terreno indoor corresponde a 30m de largo y 30m de profundidad.
- Diversos espacios divididos entre salas, dormitorios, sala de video y audio, baños, etc.
- Gran cantidad de edificaciones y obstrucciones clasificados en:
  - Paredes de bloques de cemento.
  - Ventanas de vidrio.
  - Tejas cerámicas y de arcilla cocida.
  - Puertas de madera maciza.
  - Elementos decorativos como barandas y, marcos de hierro forjado y aluminio.
  - Electrodomésticos diversos, dispositivos electrónicos y adornos en el interior.

Todos estos elementos juegan un papel fundamental en el diseño y la distribución de los nodos de una red Wi-Fi, ya que contribuyen significativamente a la pérdida y atenuación de la señal inalámbrica. Cada material, desde las paredes y puertas hasta los electrodomésticos y elementos decorativos, afectan la propagación de las ondas de radio. Por ello, es crucial identificar y evaluar las características estructurales y decorativas del entorno para prever los obstáculos y las interferencias que podrían afectar la calidad y cobertura de la red.

Para abordar este desafío, se realiza inicialmente una simulación detallada del escenario. Este proceso permite analizar el comportamiento de la señal Wi-Fi en el entorno específico de la residencia, considerando todos los elementos que podrían influir en su propagación. La simulación proporciona una visión clara de los puntos fuertes y débiles de la cobertura, identificando áreas de alta interferencia, zonas muertas o con baja intensidad de señal, y posibles reflejos o pérdidas por obstrucción.

Este enfoque no solo permite entender a fondo las condiciones del entorno, sino que también proporciona una base sólida para optimizar el diseño de la red. Gracias a la simulación, es posible identificar la mejor ubicación para los nodos y ajustar parámetros como potencia, canales de transmisión y direccionalidad de las antenas, lo que garantiza un desempeño óptimo del sistema. De esta manera, se anticipan los posibles problemas y se desarrollan soluciones proactivas, logrando una red que cumpla con las demandas de conectividad y calidad del servicio esperadas.

## **2.2 Análisis de cobertura**

El análisis de la cobertura será determinante para saber la cantidad de dispositivos requeridos para satisfacer las necesidades de conexión en todas las áreas del complejo residencial. Para ello, se utiliza un software que permite simular el comportamiento de la propagación de la señal Wi-Fi para ambientes interiores.

### **2.2.1 Simulación en Ekahau Survey**

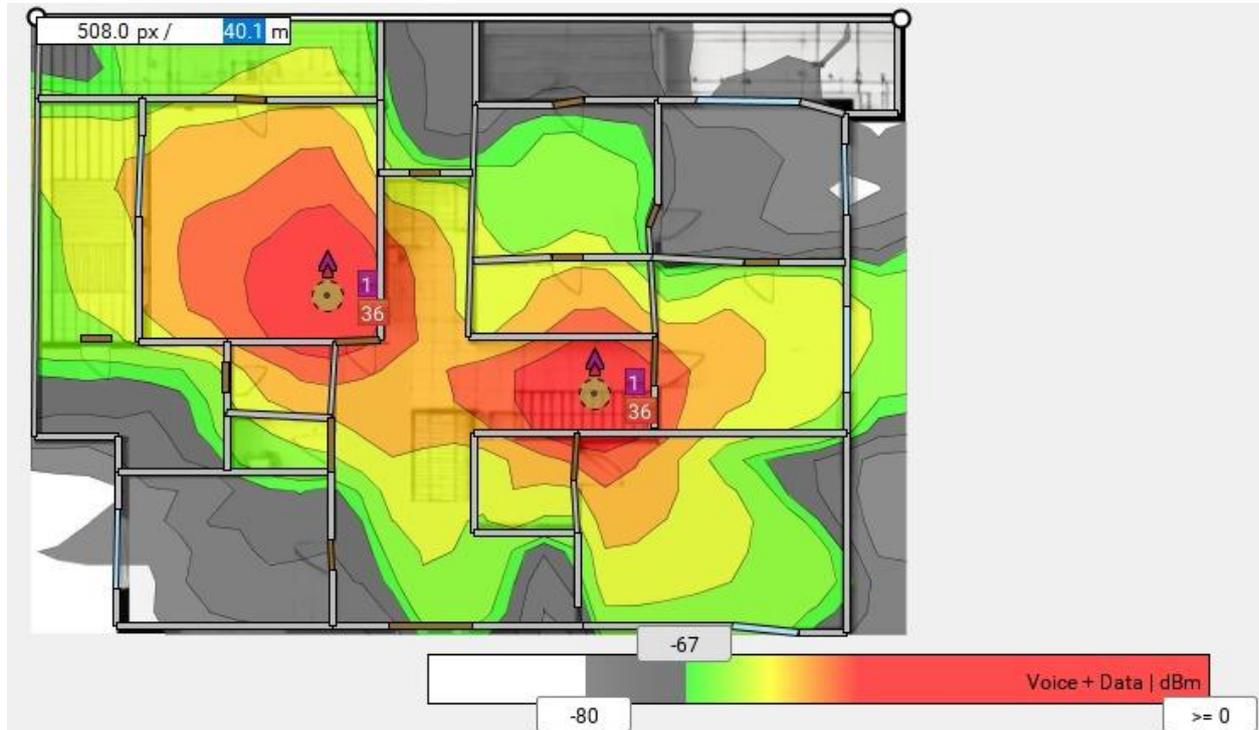
Para entender el escenario en el que se va a trabajar, se realizan simulaciones utilizando el software Ekahau Survey, el cual permite modelar y adaptar el entorno presentado, facilitando el análisis y la aproximación al proyecto. En este proceso, se emplea el Router TP-Link EAP 330, que es el modelo más similar al que se utilizará en la implementación real.

### **2.2.2 Análisis de cobertura para el primer piso**

Para realizar el análisis de cobertura del primer y segundo piso se realizó la integración de dos dispositivos APs a lo largo del terreno indoor, con lo cual, se obtienen los siguientes resultados:

**Figura2.3**

Cobertura en el primer piso debido a dos APs



*Nota.* La figura muestra por medio de un mapa de calor la cobertura Wi-Fi debido a 2 APs en el primer piso.

En el escenario que se muestra en la Figura2.3 se tomó en consideración los siguientes aspectos con respecto a las pérdidas:

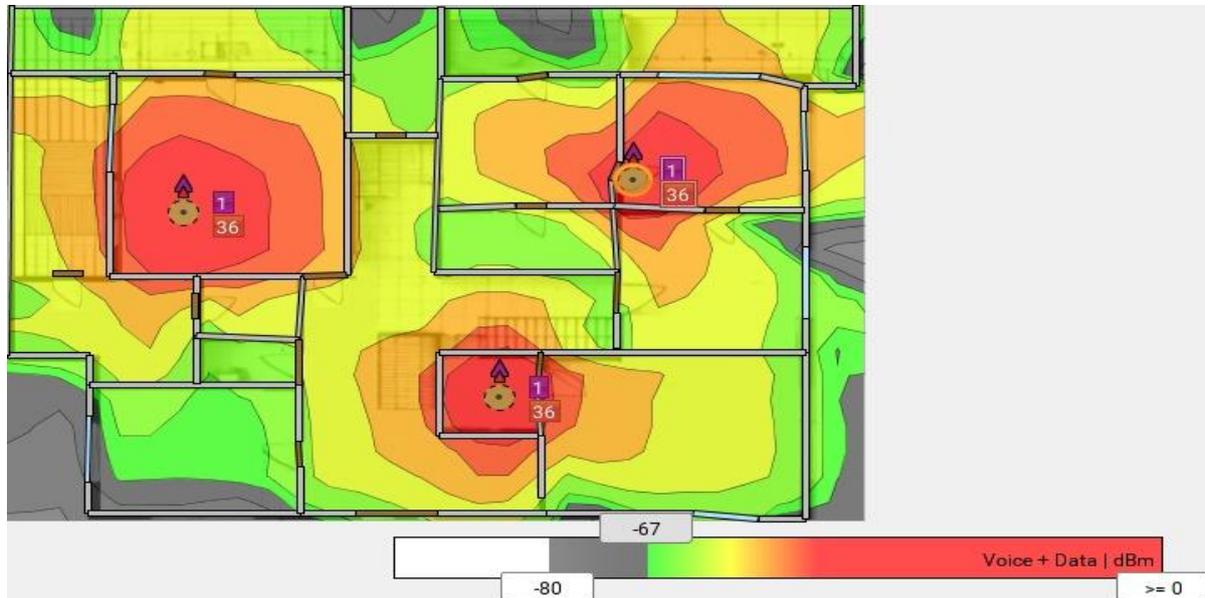
- Paredes de concreto con pérdida de 8 dB.
- Puertas de madera maciza de pared maciza con pérdidas de 4 dB.
- Ventanas de vidrio cubiertas con pérdida de 2 dB.

Bajo estas condiciones se puede notar que no se tiene una completa cobertura en el área del primer piso, ya que hay lugares donde no se tiene cobertura, lo cual se evidencia en el color gris y blanco, que representan niveles muy bajos y nulos de potencia en la señal.

Debido a que dos Aps no satisfacen las necesidades de conexión, es necesario considerar emplear un tercer punto de acceso para cubrir las áreas donde no se tiene buenos niveles de potencia debido a la degradación de la señal por los obstáculos.

## Figura2.4

Cobertura en el primer piso debido a tres APs



*Nota.* La figura muestra un mapa de calor de la cobertura en el primer piso debido a la integración de un tercer punto de acceso.

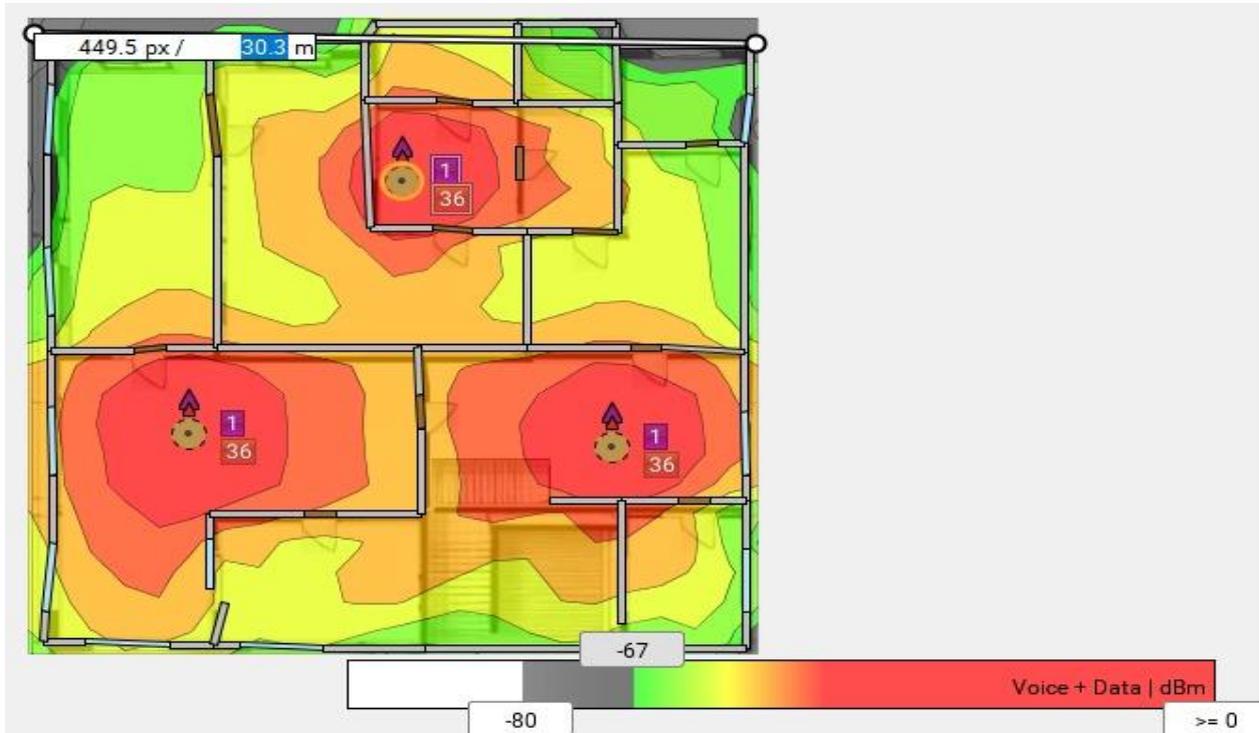
Como puede apreciarse en la Figura2.4, con tres APs se logra dar cobertura a todas las áreas en el primer piso, lo que implica tener buenos niveles de potencia en la señal que permitirán satisfacer los requisitos de red, tales como: velocidad, latencia o tráfico de voz y datos.

### 2.2.3 Análisis de cobertura para el segundo piso

Para el segundo piso se realizó el mismo procedimiento, de la misma manera se simuló en el software Ekahau para observar el comportamiento de la propagación de la señal de Wi-Fi por medio de un mapa de calor, del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

**Figura2.5**

Cobertura en el segundo piso



Nota. La figura muestra por medio de un mapa de calor la cobertura Wi-Fi debido a 3 APs en el segundo piso.

El escenario mostrado en la Figura2.5 tiene las mismas características de pérdida que en el primer escenario simulado. Se puede apreciar que con tres APs se cubre prácticamente toda el área interior del escenario. Bajo este contexto, se emplean 6 APs Wi-Fi para que conformen la malla: 3 para el primer piso y 3 para el segundo. Cabe destacar que el componente de altura, aunque no simulado, también podría tener un efecto positivo en la mejora de la cobertura.

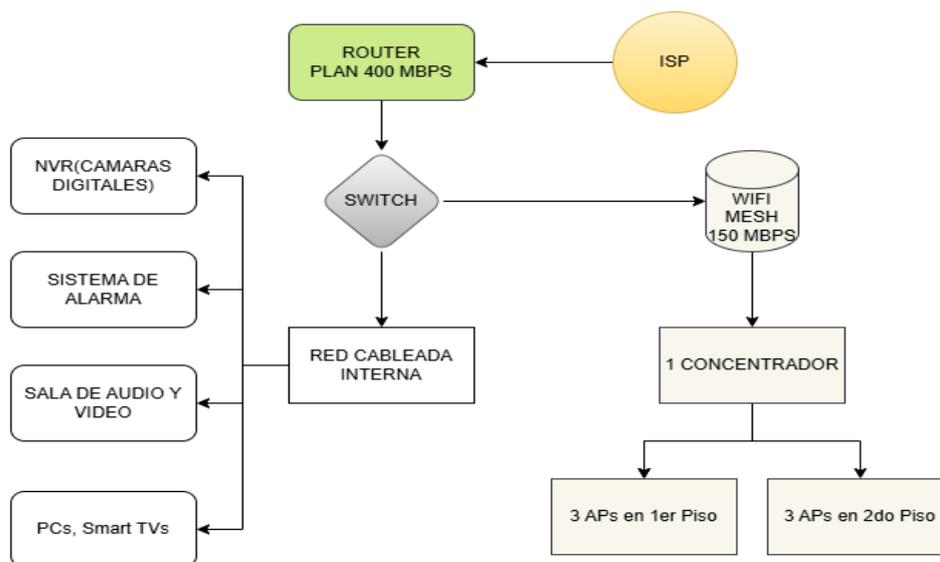
### 2.3 Topología de red interna

La topología que se observa ilustra cómo el cliente hace uso compartido del ancho de banda para asignar 150 Mbps a la red Wi-Fi MESH, en la cual los APs que se usarán para brindar cobertura en el complejo residencial se vincularán hacia un controlador principal por medio de una configuración de red, estableciendo así, una conexión robusta

de tipo malla, que permitirá al usuario vincularse a aquel AP que ofrezca mejores prestaciones de red.

**Figura2.6**

*Topología de la red*



*Nota.* La figura muestra el diseño de la topología de la red Wi-Fi mesh.

En este diseño mostrado en la Figura2.6, el controlador se conecta hacia un switch principal y se le provee un porcentaje del ancho de banda contratado al proveedor de Internet (ISP), el cual se distribuirá de forma equitativa para cada uno de los APs para satisfacer las necesidades de red de los usuarios. Es importante destacar que, mientras más demandantes sean las actividades en Internet, mayores recursos de red se necesitarán.

## 2.4 Selección de equipos

Los equipos para utilizar utilizan tecnología WIFI 6 y son los que se detallan a continuación:

**Tabla2.1***Equipos para diseño de la red Mesh*

Equipo	Cantidad	Función	Detalle	Precio Unitario
Controlador TP-Link EAP225	1	Controlador Malla	Punto de acceso Inalámbrico MU-MIMO AC1200 de instalación en techo.	\$110
TP-Link EAP Punto de acceso	6	Punto de Acceso	TP-Link EAP670 V2 Omada WiFi 6 Ultra-Slim AX5400 Wireless 2.5G Soporte de punto de acceso de montaje en techo, OFDMA, Roaming sin costuras, HE160 y MU-MIMO SDN Acceso integrado a la nube y aplicación.	\$160
Total				\$1070

*Nota.* En la tabla se detallan los equipos que se requerirán para la implementación de la red Wi-Fi mesh, que incluye un controlador y 6 APs.

La Tabla2.1 muestra la elección de los equipos TP-Link EAP225 y TP-Link EAP670 V2, los cuales resultan adecuados para ser implementadas en una residencia compleja y de gran tamaño como ésta debido a sus características avanzadas que garantizan cobertura, rendimiento y gestión eficiente. El TP-Link EAP225, al funcionar como controlador de malla, proporciona una conexión inalámbrica estable con tecnología AC1200, asegurando que la señal llegue a todos los rincones, incluso en espacios con obstáculos.

Por otro lado, los puntos de acceso TP-Link EAP670 V2, con tecnología WiFi 6, ofrecen mejoras significativas en la capacidad de la red, permitiendo que más dispositivos se conecten simultáneamente sin afectar el rendimiento, gracias a funciones como OFDMA, MU-MIMO y soporte de banda 2.5G, lo que minimiza la latencia y optimiza la distribución del ancho de banda. La conectividad de alta velocidad se potencia

con la compatibilidad HE160, esencial para transmisiones de video en alta definición, juegos en línea y trabajo remoto sin interrupciones.

La gestión centralizada a través de la aplicación Omada permite monitorear y ajustar la red de forma remota, ideal para residencias grandes donde la supervisión constante es necesaria. Además, el montaje en techo optimiza la distribución de la señal y libera espacio en las áreas de uso. La reducción de interferencias se logra con la tecnología OFDMA, que divide los canales en subcanales más pequeños, y el controlador de malla garantiza una red unificada con transiciones fluidas al desplazarse por la casa. En conjunto, estos equipos aseguran una red WiFi robusta, rápida y de fácil gestión, ideal para satisfacer las necesidades de conectividad en un entorno residencial complejo como el presentado.

## **CAPÍTULO 3**

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1 Preparación del entorno y montaje de equipos

Previo a la instalación, se inspeccionó toda la residencia para identificar las mejores ubicaciones para los APs, teniendo en cuenta elementos que podrían interferir con la señal, como paredes gruesas o techos altos. Además, se verificó la infraestructura eléctrica y la disposición de tomas de corriente para facilitar el montaje de los dispositivos.

Los APs TP-Link EAP620 y el controlador Omada se instalaron en los lugares estratégicos previamente determinados, asegurando que cada dispositivo cubriera su área asignada con la menor interferencia posible. Este proceso se realizó siguiendo las recomendaciones técnicas del fabricante, como el montaje en techo para una mejor distribución de la señal.

#### **Figura3.1**

*Equipos seleccionados*



*Nota.* La imagen corresponde a los dispositivos que formarán la red Wi-Fi mesh.

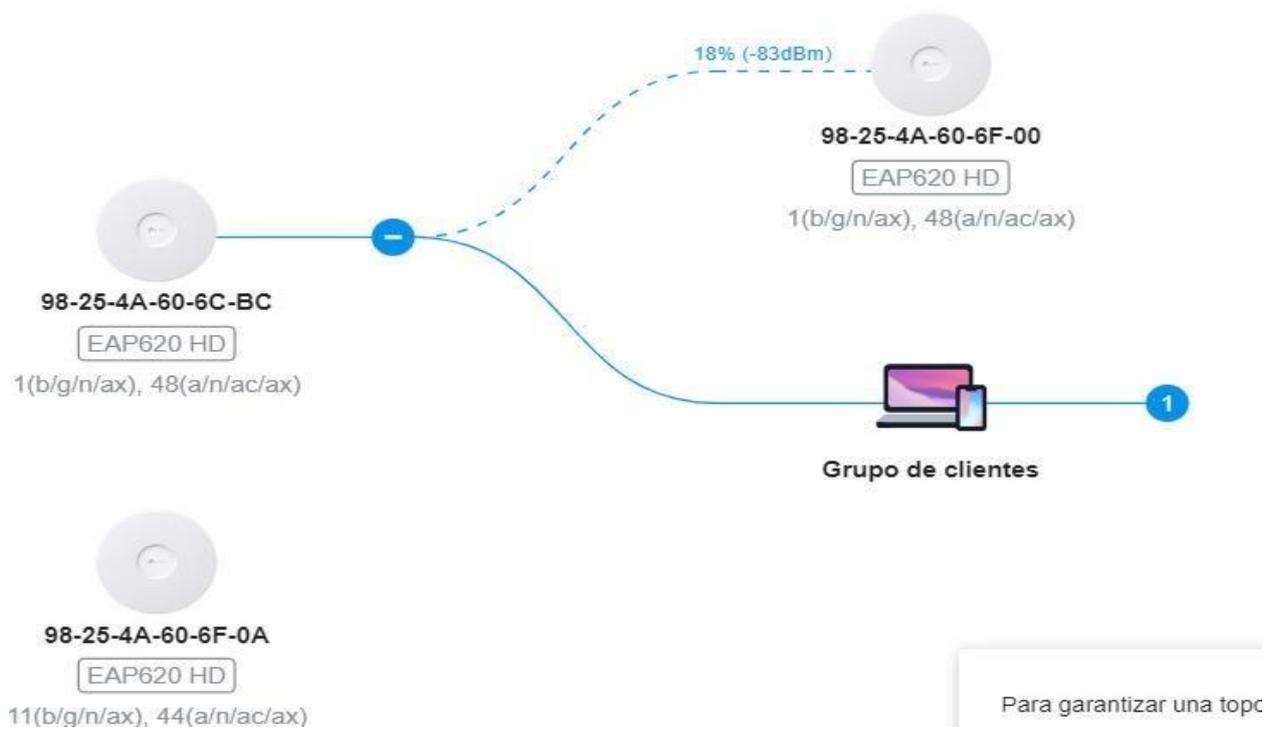
Tal como puede apreciarse en la Figura3.1 los dispositivos se han instalado siguiendo la recomendación técnica para tener un rendimiento mejor de la red. El controlador Omada se conecta hacia el switch principal del mini rack que posee el cliente con el propósito de proveerle un porcentaje de la velocidad dada por el proveedor de Internet y los APs se instalan en el techo.

### 3.2 Configuración general

Una vez instalados los dispositivos, se utilizó la plataforma de gestión Omada SDN para configurar toda la red. Durante esta etapa, se establecieron parámetros clave como los canales de frecuencia, la potencia de transmisión y las medidas de seguridad necesarias para proteger la red.

**Figura3.2**

*Topología de conexión de APs*



**Nota.** La figura muestra la disposición de los APs y cómo un usuario se conecta hacia el AP.

Por medio de la Figura3.2, se puede observar que un único usuario está conectado para realizar pruebas de conectividad en relación con los tres APs más cercanos a su ubicación. En la imagen se evidencia que el dispositivo detecta estos tres APs y se encuentra enlazado principalmente a dos de ellos, manteniendo la conexión principal identificada por la línea azul continua, ya que éste proporciona una mejor potencia de señal. Para más detalles, se puede resaltar que este escenario corresponde al primer piso.

### 3.2.1 Configuración de controlador Omada OC200

La configuración de los equipos es esencial para garantizar el funcionamiento eficiente de la red, ya que el ajuste de parámetros permitirá hacer un uso eficiente de los recursos de la red.

#### **Figura3.3**

*Menú de controlador Omada*



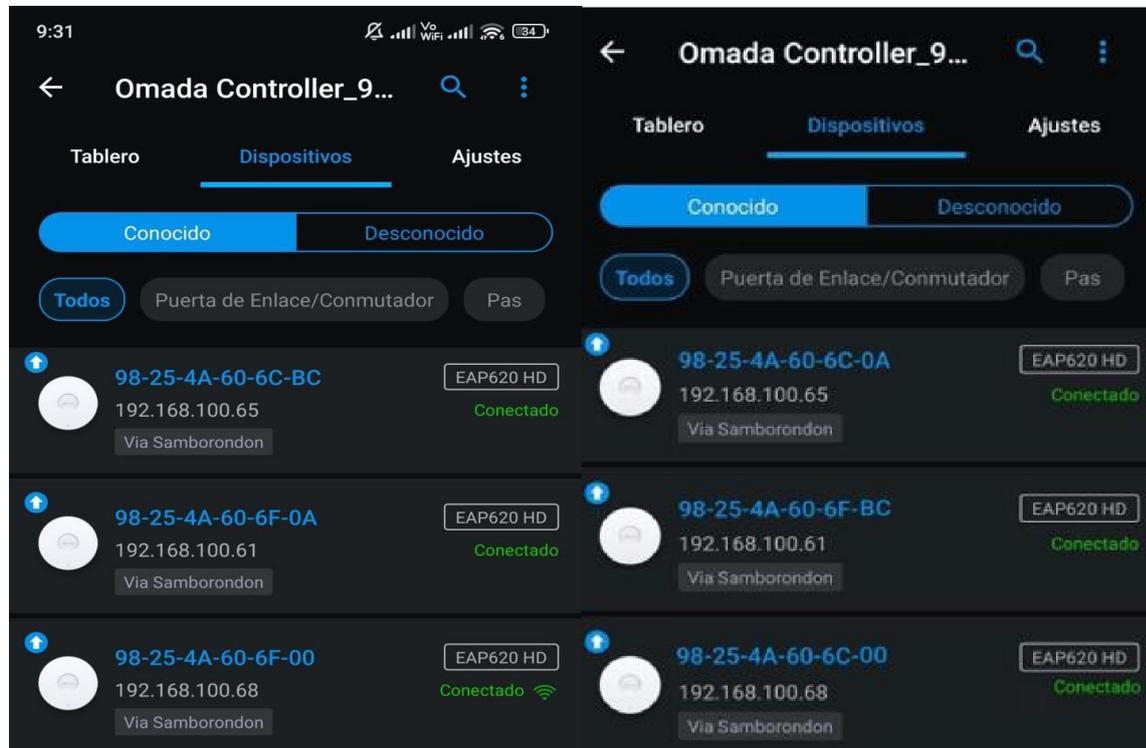
*Nota.* La figura hace referencia al menú de configuración del controlador Omada.

En la Figura3.3 se observa el controlador Omada actúa como el núcleo de la red, permitiendo la administración centralizada de los puntos de acceso (APs) y otros dispositivos conectados. En el panel gráfico mostrado, se observa que el controlador gestiona 6 puntos de acceso en malla, asegurando una cobertura uniforme y transiciones fluidas entre nodos para los usuarios en movimiento. Además, permite supervisar el estado general de la red, incluyendo clientes activos, estado de conexión local y en la nube, y alertas sobre posibles problemas de conectividad.

Este dispositivo optimiza el tráfico de datos al garantizar una distribución eficiente del ancho de banda, proporcionando una experiencia estable y fluida para los usuarios.

**Figura3.4**

Vinculación de APs



Nota. La figura muestra un menú gráfico de la vinculación de los APs.

### 3.2.2 Configuración de Puntos de Acceso TP-Link EAP620

Por medio de la Figura3.4 se observa que los seis APs fueron configurados para operar en bandas duales (2.4 GHz y 5 GHz) utilizando tecnología Wi-Fi 6, lo que permitió velocidades más altas y una mejor gestión del ancho de banda. Se ajustaron las frecuencias para evitar solapamientos entre dispositivos y se establecieron contraseñas seguras para los usuarios.

### 3.3 Pruebas y Resultados

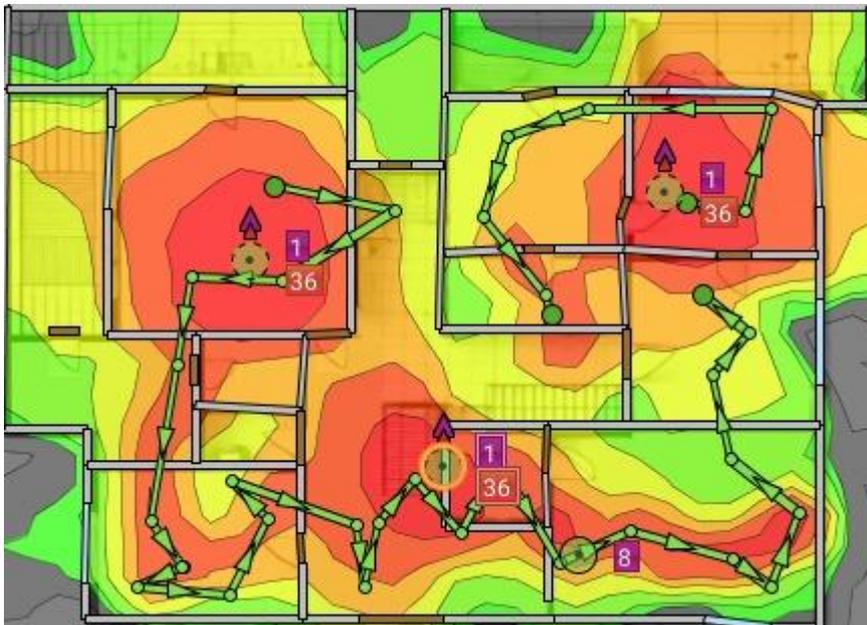
Una vez configurados los equipos, se llevaron a cabo pruebas para validar el desempeño de la red y realizar ajustes finales. Se realizan distintas pruebas para verificar que el diseño de la topología satisface los niveles de cobertura esperados, velocidad y latencia, además de un análisis estadístico del nivel de la potencia de la señal debido a los APs y un estudio en tiempo real del comportamiento de la cobertura en un dispositivo portátil mientras se desplaza en el ambiente indoor.

### 3.3.1 Pruebas de cobertura

Con la herramienta Ekahau Survey, se midió la intensidad de la señal en diferentes áreas de la residencia. Esto permitió identificar posibles puntos muertos o zonas con señal débil. En las áreas donde se detectaron problemas, se realizaron ajustes en la orientación de las antenas y la potencia de transmisión.

**Figura3.5**

*Prueba del nivel de intensidad en varios puntos del primer piso*

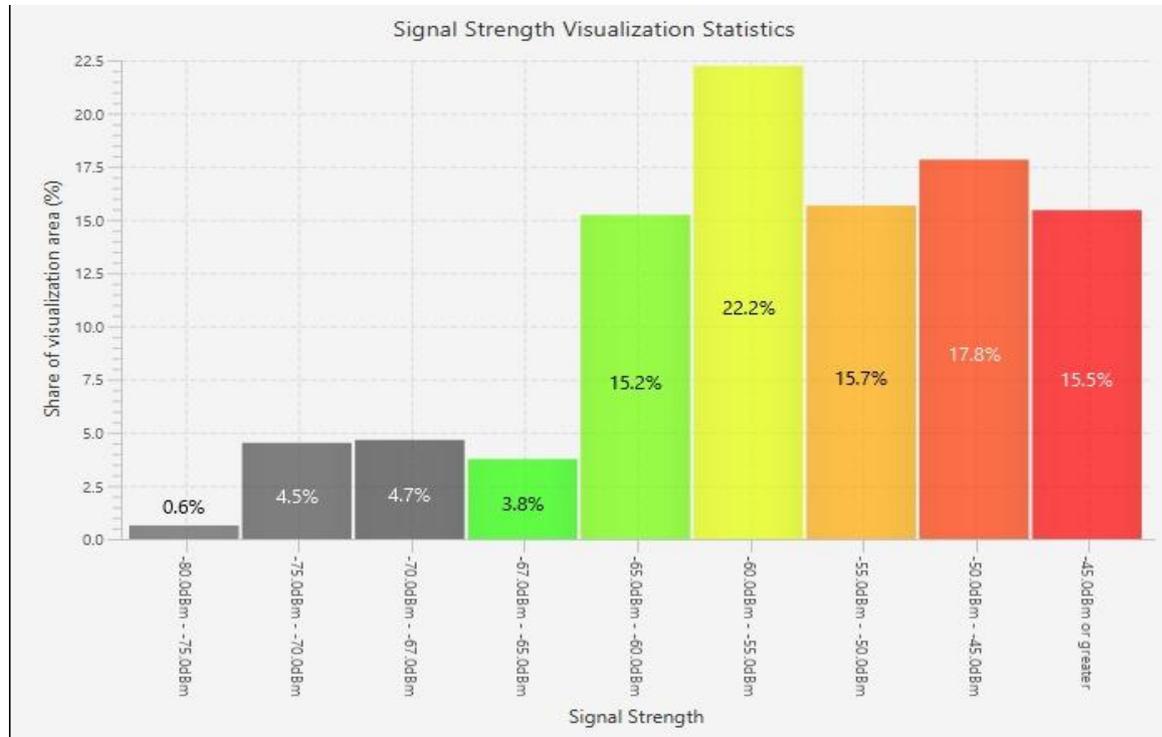


*Nota.* La figura indica la potencia de la señal que se está receptando en tiempo real con una computadora portátil al hacer el recorrido por el terreno.

En el resultado que se muestra por medio de la Figura3.5 se tiene el mapa de calor generado en distintas zonas del primer piso. Se puede observar que en todo el trayecto se obtuvo niveles excelentes en la intensidad de la señal, lo cual se evidencia en el color rojo-anaranjado. Es importante destacar que, a medida que el dispositivo se va alejando de un AP, va perdiendo intensidad el nivel de la señal, por lo que se conecta al AP más cercano con el propósito de mantener la conexión.

**Figura3.6**

*Estadísticas de la fuerza de la señal*



*Nota.* Esta figura muestra un análisis estadístico de la intensidad de la señal una vez realizada la implementación.

La Figura3.6 muestra mediante un gráfico de barras el nivel de intensidad de la señal en el área de estudio. Por medio de este gráfico se puede observar que el 9.8 % corresponde a un nivel de intensidad de señal bajo o nulo, lo que indica que se tiene un 90.2 % de cobertura en el complejo residencial. Por otra parte, la intensidad de señal que más se concentra en este entorno está entre los -60 y -55 dBm, con un porcentaje del 22.2%, que corresponde a un nivel de señal muy bueno para actividades de mucha demanda.

### **3.3.2 Pruebas de latencia**

Se realizaron mediciones de velocidad mediante la aplicación y plataforma Omada para garantizar que la red ofreciera tasas de transferencia adecuadas para actividades como streaming, videollamadas y juegos en línea. Además, se simuló el uso simultáneo de varios dispositivos para verificar la capacidad de la red en condiciones de alta demanda.

**Figura3.7**

Prueba de latencia



Nota. La figura corresponde a la latencia promedio durante 26 segundos.

En Figura3.7 se aprecia un ping realizado a la IP pública, dicho ping extendido a 26 segundos, aproximadamente, se mantuvo en gran parte por debajo de los 30ms, teniendo un pico de 45 ms por un lapso despreciable. Este valor de latencia obtenido es aceptable para actividades demandantes de recursos como videollamadas.

### 3.3.3 Pruebas de ancho de banda

Esta prueba es muy importante para determinar las velocidades de navegación que un dispositivo alcanza, y las velocidades tanto de subida como de bajada que se tendrá debido al diseño de red. Cabe destacar que al igual que la latencia, tener una buena velocidad de navegación permite ejecutar tareas demandantes en la red, siendo una velocidad de 25 Mbps lo mínimo requerido para ver videos en 4K sin sufrir de interrupciones en el servicio.

**Figura3.8**

Velocidad medida por test de velocidad



*Nota.* La figura muestra la velocidad que se tiene al usar un medidor de velocidad.

La Figura3.8 presenta los resultados de dos pruebas de velocidad realizadas en la red, destacando el desempeño del enlace configurado y su capacidad para soportar diversas actividades de conectividad.

En la primera prueba, se registra una velocidad de descarga de 120 Mbps, con una latencia de 17 ms para la descarga y 23 ms para la carga, acompañada de una velocidad de carga de 86 Mbps. Esto evidencia un tiempo de respuesta bajo y un rendimiento ideal para aplicaciones de alta demanda, como videollamadas, gaming en línea y streaming en alta definición.

En la segunda prueba, los valores muestran una velocidad de descarga de 90.1 Mbps y una velocidad de carga de 58.3 Mbps, con una latencia de 26.2 ms. Aunque estos resultados son ligeramente inferiores al valor máximo teórico asignado de 150 Mbps, la red sigue mostrando un desempeño robusto y eficiente.

**Figura3.9**

*Prueba de velocidad en una zona débil*



*Nota.* La prueba de velocidad realizada corresponde a una zona “débil” con obstáculos.

Se realiza otra prueba en una zona clasificada como de zona débil anteriormente y bajo un alto consumo (diversos equipos conectados y, cargando y descargando alta cantidad de datos), cuyo resultado se muestra en la Figura3.9. Se observa que, aunque el ping se incrementa, la velocidad de descarga y carga se mantiene adecuada para realizar diversas actividades de consumo medio-alto sin inconvenientes.

### **3.3.4 Tráfico**

En esta prueba realizada, por medio de un analizador de Wi-Fi, se obtiene el canal seleccionado por el AP para operar, el cual no debe estar saturado ni ocupado por otras redes vecinas para evitar interferencias molestas ni una degradación en la conectividad. Tanto para la frecuencia de 2.4 y 5 GHz, el AP selecciona de manera inteligente el canal en el que tendrá mejores resultados de conectividad.

**Figura3.10**

Tráfico de la red en ambas frecuencias (2.4 GHz y 5GHz)



Nota. En la figura se muestra el tráfico para todas las redes en las frecuencias de 2.4 y 5 GHz, así como los canales menos congestionados.

En ambos casos se observa como la red wf-mesh selecciona canales menos congestionados para asignar la conexión al dispositivo o usuario. En la banda de 2.4 GHz, utiliza el canal 1, que, tras una breve inspección, se puede deducir como la opción más adecuada. Para la frecuencia de 5 GHz, selecciona el canal 48, el cual presenta una intensidad de señal bueno.

### 3.3.5 Ajustes finales

Basados en los resultados obtenidos, se optimizó la asignación de canales y se realizaron pequeños ajustes en la ubicación de algunos puntos de acceso. También se verificó la estabilidad de la conexión en diferentes horarios del día para garantizar un rendimiento consistente.

**Figura3.11**

*Ajustes de optimización*

Configuración de optimización

Modo:  Por Defecto  Personalizado

Optimización automática del canal:

Optimización automática de energía:

**Ajustes avanzados**

Ancho de canal personalizado: 2.4 GHz  5 GHz  6 GHz

Rango de potencia:  Auto  Personalizado

Umbral de potencia:  Auto  Personalizado

**Guardar** **Cancelar**

*Nota.* La figura muestra los ajustes que permitirán optimizar la red.

**Figura3.12**

**Control de la tasa 802.11**

Control de velocidad de datos de 2.4 GHz:  Habilitar el control de velocidad de datos mínimo

1 Mbps 54 Mbps

Menor densidad Mayor densidad

**i** Compatibilidad y rango completo del dispositivo.

Desactivar las tasas CCK (1/2 / 5.5 / 11 Mbps)

Exige que los clientes utilicen ratios igual o superior al valor especificado

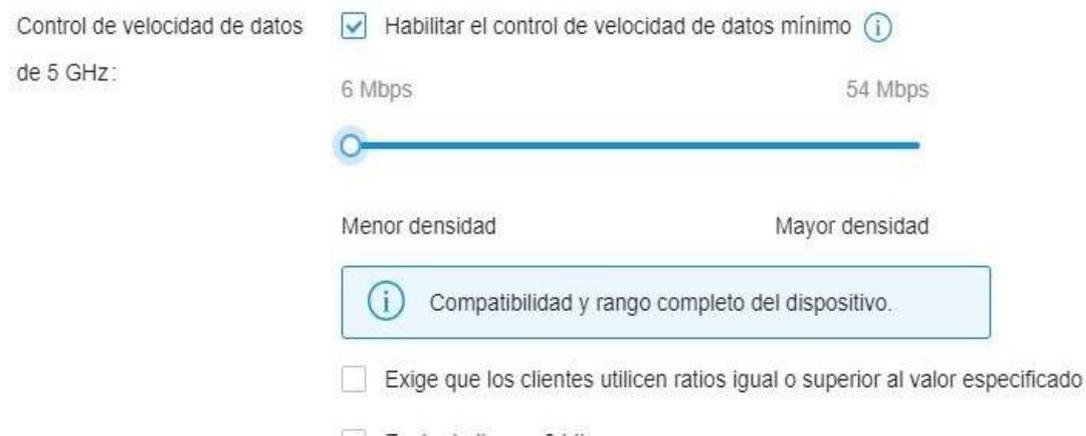
Enviar balizas a 1 Mbps

*Control de la tasa 802.11 para 2.4 GHz*

*Nota.* Esta figura muestra las configuraciones para el control de la tasa 802.11 para la frecuencia de 2.4 GHz.

### Figura3.13

#### Control de la tasa 802.11 para 5 GHz



*Nota.* Esta figura muestra las configuraciones para el control de la tasa 802.11 para la frecuencia de 5 GHz.

La función "Habilitar el control de velocidad de datos mínimo" se pretende activar para mejorar el rendimiento de la red Wi-Fi en entornos de mayor densidad de usuarios, utilizando el estándar 802.11ax (Wi-Fi 6). Este ajuste permite eliminar las tasas de bits más bajas, como las CCK (1/2/5.5/11 Mbps), optimizando el rendimiento al enfocarse en dispositivos más modernos que soportan velocidades superiores. Aunque esto puede limitar la compatibilidad con dispositivos antiguos y reducir el rango de cobertura, la decisión está alineada con los beneficios que ofrece el estándar 802.11ax, como mayor eficiencia espectral y mejor manejo de la congestión en redes densas. Estas configuraciones de optimización se observan en las figuras Figura3.11-13.

# **CAPÍTULO 4**

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- El traslado a un sitio de mayor expansión reveló un déficit de cobertura y ancho de banda para el cliente. Fue necesario un replanteamiento de infraestructura y diseño de red, considerando que el usuario demandaba una alta conectividad y una red mallada similar a la previa. Por lo tanto, mediante un escalamiento de red se añadieron 3 dispositivos APs nuevos, respaldado por un estudio técnico previo del terreno, lo que derivó en una conectividad eficiente en el complejo residencial privado.
- Mediante la herramienta Ekahau Survey, se realizó un prospecto de la topología de red, evaluando escenarios de cobertura alta, media y baja. El análisis permitió identificar las necesidades de infraestructura, confirmando una consistencia significativa entre la simulación y el escenario real. Complementariamente, utilizando las herramientas del controlador de red Mesh, se validaron parámetros como latencia, ancho de banda y tráfico de red.
- Los equipos seleccionados fueron idóneos para este entorno, ya que poseen características técnicas que les permiten adaptarse automáticamente a las necesidades de la red. Entre estas capacidades destacan el monitoreo constante, la selección de canales menos saturados para optimizar la conexión del usuario y la capacidad de cambiar la conectividad hacia el APs con mejor potencia de recepción, lo que permitió facilidades para la instalación y configuración de los equipos y red.
- La implementación no resultó de alta complejidad, ya que el controlador fue ubicado en el mini rack que posee el usuario y los APs se conectan inalámbricamente entre sí y al controlador. Esta configuración representa una ventaja significativa de la red mallada, simplificando su instalación y operatividad.

## 4.2 Recomendaciones

- En la implementación de redes malladas con nodos inalámbricos, es fundamental realizar un análisis detallado de la ubicación de los dispositivos. Dado que los APs son omnidireccionales, su rendimiento óptimo se logra en espacios abiertos, con mínimas obstrucciones y preferiblemente en posiciones elevadas, lo que maximiza su cobertura y eficiencia de señal.
- Definir una metodología para implementar redes mesh es fundamental. Se recomienda utilizar herramientas que permitan obtener un panorama claro del despliegue, complementando el empirismo, aspecto muy utilizado pero que no siempre proporciona el caso real. Un estudio técnico ayuda a comprender las necesidades reales del proyecto, mejorando la planificación de la infraestructura de red.
- Al realizar un escalamiento en estos escenarios, es fundamental considerar la elección de equipos. Para garantizar una integración y comunicación fluida, todos los nodos deben ser compatibles y utilizar protocolos de red mesh similares, especialmente si se desean usar APs de modelos parecidos.

# BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, P. (19 de 12 de 2016). *Cobertura máxima de redes de sensores inalámbricos para un sistema de gestión de energía en hogares inteligentes*. Obtenido de INGE CUC: <https://revistascientificas.cuc.edu.co/index.php/ingecuc/article/view/860>
- EnGenius. (s.f.). *Top 5 Mesh Wireless Network Best Practices*. Obtenido de engeniustech: [https://www.engeniustech.com/top-5-mesh-wireless-network-best-practices/?utm\\_source](https://www.engeniustech.com/top-5-mesh-wireless-network-best-practices/?utm_source)
- Hakimi, D. (04 de 03 de 2019). *Illuminating the Future: How Bluetooth Mesh will Fundamentally Change Lighting Systems*. Obtenido de Archdaily: [https://www.archdaily.com/912394/illuminating-the-future-how-bluetooth-mesh-will-fundamentally-change-lighting-systems?utm\\_source](https://www.archdaily.com/912394/illuminating-the-future-how-bluetooth-mesh-will-fundamentally-change-lighting-systems?utm_source)
- Paúl Andrade, J. M. (2016). *Cobertura Máxima de Redes de Sensores Inalámbricos para un Sistema de Gestión de Energía en Hogares Inteligentes*. Quito.
- Rico-Bautista, D. S.-E. (2014). *Mesh networks, an alternative to network coverage problems: a literature review*. Ocaña, Colombia.
- Testa, T. (13 de 03 de 2020). *Connectivity Q&A: Enhancing the Smart Home with Mesh Wi-Fi Systems*. Obtenido de Qorvo: <https://www.qorvo.com/design-hub/blog/connectivity-q-and-a-mesh-wifi-systems>