



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

— **TELECOM** ESCUELA
TÉCNICA **VLC** SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de
Telecomunicación

Diseño, análisis y propuesta de optimización de red WiFi
en entorno corporativo multisede

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de
Telecomunicación

AUTOR/A: Sánchez Soler, Miguel

Tutor/a: Romero Martínez, José Oscar

CURSO ACADÉMICO: 2024/2025



Resumen

En el ámbito corporativo, disponer de infraestructuras de comunicación fiables y bien adaptadas a las necesidades actuales es esencial para asegurar un buen funcionamiento y facilitar el día a día de los usuarios. La conectividad inalámbrica, en particular, se ha vuelto clave para permitir movilidad, flexibilidad y una experiencia fluida dentro de la red corporativa.

Este Trabajo de Fin de Grado ha tenido como objetivo el estudio, diseño y optimización de la red Wifi en una nueva sede corporativa, teniendo en cuenta tanto los requerimientos técnicos como las complicaciones físicas del entorno. La nueva sede se ha integrado, con éxito, en la infraestructura de red ya existente de la organización, estableciendo su conexión principal con la sede central mediante servicios de conectividad IPsec túnel.

El estudio se ha centrado en evaluar la cobertura Wifi necesaria para garantizar un acceso eficiente y estable, considerando los distintos dispositivos que se conectarán a la red.

Para la medición de la cobertura en las bandas de 2,4 GHz y 5 GHz, se empleó la herramienta Ekahau HeatMapper, la cual permite generar mapas de calor y detectar zonas de baja cobertura en distintas ubicaciones del edificio.

Uno de los retos planteados ha sido garantizar conectividad a un segundo edificio anexo, al cual no es posible extender cableado físico. Para ello, se ha optado por una solución inalámbrica, permitiendo así extender la red de forma eficiente y mantener un rendimiento aceptable en dicho espacio.

En una segunda fase del proyecto, se desarrolló una propuesta de mejora basada en los resultados obtenidos durante las pruebas iniciales. Dicha propuesta incluyó la optimización del número y ubicación de los puntos de acceso (AP). Finalmente, se analizaron los resultados obtenidos.

Resum

En l'àmbit corporatiu, disposar d'infraestructures de comunicació fiables i ben adaptades a les necessitats actuals és essencial per a assegurar un bon funcionament i facilitar el dia a dia dels usuaris. La connectivitat sense fils, en particular, s'ha tornat clau per a permetre mobilitat, flexibilitat i una experiència fluida dins de la xarxa corporativa.

Aquest Treball de Final de Grau ha tingut com a objectiu l'estudi, disseny i optimització de la xarxa WiFi en una nova seu corporativa, tenint en compte tant els requeriments tècnics com les complicacions físiques de l'entorn. La nova seu s'ha integrat amb èxit en la infraestructura de xarxa ja existent de l'organització, establint la seua connexió principal amb la resta d'oficines mitjançant serveis de connectivitat amb túnel IPsec.

L'estudi s'ha centrat en avaluar la cobertura WiFi necessària per a garantir un accés eficient i estable, considerant els diferents dispositius que es connectaran a la xarxa.

Per a la mesura de la cobertura en les bandes de 2,4 GHz i 5 GHz, es va utilitzar l'eina Ekahau HeatMapper, la qual permet generar mapes de calor i detectar zones de baixa cobertura en diferents ubicacions de l'edifici.

Un dels reptes plantejats ha sigut garantir la connectivitat en un segon edifici annex, al qual no és possible estendre cablejat físic. Per a això, s'ha optat per una solució sense fil, permetent així estendre la xarxa de manera eficient i mantindre un rendiment acceptable en aquest espai.

En una segona fase del projecte, es va desenvolupar una proposta de millora basada en els resultats obtinguts durant les proves inicials. Aquesta proposta va incloure l'optimització del nombre i la ubicació dels punts d'accés (AP). Finalment, es van analitzar els resultats obtinguts.



Abstract

In the corporate environment, having reliable communication infrastructures that are well adapted to current needs is essential to ensure smooth operation and facilitate the day-to-day life of users. Wireless connectivity has become key to enable mobility, flexibility, and a seamless experience within the corporate network.

This Final Degree Project aimed to study, design and optimize the WiFi network in a new corporate headquarters, considering both technical requirements and the physical complications of the environment. The new headquarters has been successfully integrated into the existing network infrastructure of the organization, establishing its main connection with the central office through IPsec tunnel connectivity services.

The study focused on evaluating the WiFi coverage required to ensure efficient and stable access, considering the different devices that will connect to the network.

For measuring coverage in the 2.4 GHz and 5 GHz bands, the Ekahau HeatMapper tool was used to generate heat maps and detect areas of low coverage in different locations of the building.

One of the challenges addressed was ensuring connectivity to a second annex building, to which it is not possible to extend physical cabling. To solve this, a wireless solution was implemented, allowing us to extend the network efficiently and maintain an acceptable performance in that space.

In a second phase of the project, an improvement proposal was developed based on the results obtained during the initial tests. This proposal will include the optimization of both the number and location of access points (APs). Finally, the results obtained were analysed.

RESUMEN EJECUTIVO

La memoria del TFG del Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación debe desarrollar en el texto los siguientes conceptos, debidamente justificados y discutidos, centrados en el ámbito de la ingeniería de telecomunicación

CONCEPT (ABET)	CONCEPTO (traducción)	¿Cumple? (S/N)	¿Dónde? (páginas)
1. IDENTIFY:	1. IDENTIFICAR:		
1.1. Problem statement and opportunity	1.1. Planteamiento del problema y oportunidad	Sí	3, 8-12
1.2. Constraints (standards, codes, needs, requirements & specifications)	1.2. Toma en consideración de los condicionantes (normas técnicas y regulación, necesidades, requisitos y especificaciones)	Sí	8-12, 15-18
1.3. Setting of goals	1.3. Establecimiento de objetivos	Sí	3, 8-12,15-18
2. FORMULATE:	2. FORMULAR:		
2.1. Creative solution generation (analysis)	2.1. Generación de soluciones creativas (análisis)	Sí	19-30
2.2. Evaluation of multiple solutions and decision-making (synthesis)	2.2. Evaluación de múltiples soluciones y toma de decisiones (síntesis)	Sí	31-43
3. SOLVE:	3. RESOLVER:		
3.1. Fulfilment of goals	3.1. Evaluación del cumplimiento de objetivos	Sí	25, 30, 44-46
3.2. Overall impact and significance (contributions and practical recommendations)	3.2. Evaluación del impacto global y alcance (contribuciones y recomendaciones prácticas)	Sí	46



Índice

Capítulo 1.....	3
1.1 Contextualización del problema	3
1.2 Objetivos del trabajo	3
1.3 Metodología empleada.....	4
Capítulo 2. Fundamentos teóricos y estado del arte	5
2.1 Redes Wifi: principios básicos	5
2.2 Estándares IEEE 802.11 y su evolución	5
2.3 Arquitecturas de red en entornos corporativos	5
2.4 Seguridad en redes inalámbricas.....	6
2.4.1 Autenticación y cifrado	6
2.4.2 Segmentación y aislamiento de tráfico	6
2.4.3 Detección y mitigación de amenazas.....	6
2.4.4 Gestión segura de la infraestructura	6
2.5 Herramientas de análisis y simulación de redes WiFi	7
2.6 Estado actual de las redes multisede.....	7
Capítulo 3. Análisis del entorno corporativo actual.....	8
3.1 Estructura de red multisede.....	8
3.2 Características de la nueva sede.....	8
3.3 Problemas detectados.....	9
3.4 Requisitos funcionales y técnicos	9
3.5 Análisis de cobertura, capacidad y rendimiento	10
3.6 Equipamiento de red cableada y seguridad.....	11
3.7 Equipamiento de red inalámbrica	12
Capítulo 4. Diseño y análisis de cobertura WiFi	13
4.1 Metodología aplicada.....	13
4.2 Planos de la sede	13
4.3 Configuración de los puntos de acceso	14
4.4 Simulación de cobertura	15
4.5 Conexión inalámbrica con el edificio anexo.....	17
Capítulo 5. Análisis de resultados de la simulación.....	19
5.1 Grado de cumplimiento de los requisitos técnicos	19



5.2	Análisis de la sede – Planta.....	19
5.2.1	Distribución puntos de acceso	19
5.2.2	Cobertura en banda de 2.4 GHz	20
5.2.3	Cobertura en banda de 5 GHz	21
5.2.4	Relación señal a ruido	22
5.2.5	Velocidad de transmisión y rendimiento	22
5.2.6	APs asociados - Planta.....	23
5.2.7	Conclusiones del análisis de la zona de Planta.....	25
5.3	Análisis de la sede – Oficinas	25
5.3.1	Distribución puntos de acceso	25
5.3.2	Cobertura en banda de 2.4 GHz	26
5.3.3	Cobertura en banda de 5 GHz	27
5.3.4	Relación señal a ruido	28
5.3.5	Velocidad de transmisión y rendimiento	29
5.3.6	APs asociados - Oficinas	30
5.4	Conclusiones del análisis de la zona de Oficinas.....	30
Capítulo 6.	Propuesta de implementación optimizada.....	31
6.1	Propuesta de mejora – Planta.....	31
6.1.1	Distribución puntos de acceso	31
6.1.2	Cobertura en banda 2.4 GHz	32
6.1.3	Cobertura en banda 5 GHz	33
6.1.4	Relación señal a ruido	34
6.1.5	Velocidad de transmisión y rendimiento	35
6.1.6	APs asociados - Planta.....	36
6.2	Propuesta de mejora – Oficinas	38
6.2.1	Distribución puntos de acceso	38
6.2.2	Cobertura en banda 2.4 GHz	39
6.2.3	Cobertura en banda 5 GHz	40
6.2.4	Relación señal a ruido	41
6.2.5	Rendimiento y velocidad de transmisión.....	41
6.2.6	APs asociados - Oficinas	43
Capítulo 7.	Conclusiones	44
7.1	Conclusiones de la optimización en Planta.....	44
7.2	Conclusiones de la optimización en Oficinas	44
7.3	Comparación entre Planta y Oficinas	45
7.4	Consideraciones finales y recomendaciones futuras.....	46



Bibliografía	47
ODS	48

Índice Ilustraciones

Ilustración 1: Planos sede - Planta.....	13
Ilustración 2: Planos sede - Oficinas	14
Ilustración 3: Edificio anexo	18
Ilustración 4: Distribución APs Diseño Planta.....	19
Ilustración 5: Nivel de señal primaria 2.4 GHz.....	20
Ilustración 6: Nivel señal secundaria 2.4 GHz	20
Ilustración 7: Nivel de señal terciaria 2.4 GHz	20
Ilustración 8: Nivel de señal primaria 5 GHz.....	21
Ilustración 9: Nivel de señal secundaria 5 GHz	21
Ilustración 10: Nivel de señal terciaria 5 GHz	21
Ilustración 11: Nivel de señal a ruido 2.4 GHz	22
Ilustración 12: Nivel de señal a ruido 5 GHz	22
Ilustración 13: Velocidad de transmisión 2.4 GHz	23
Ilustración 14: Nivel de velocidad de transmisión 5 GHz.....	23
Ilustración 15: Rendimiento 2.4 GHz	23
Ilustración 16: Rendimiento 5 GHz	23
Ilustración 17: APs asociados 2.4 y 5 GHz.....	24
Ilustración 18: Distribución APs Diseño Oficinas	25
Ilustración 19: Nivel de señal primaria 2.4 GHz.....	26
Ilustración 20: Nivel de señal secundaria 2.4 GHz	26
Ilustración 21: Nivel de señal terciaria 2.4 GHz	26
Ilustración 22: Nivel de señal primaria 5 GHz.....	27
Ilustración 23: Nivel de señal secundaria 5 GHz	27
Ilustración 24: Nivel de señal terciaria 5 GHz	28
Ilustración 25: Nivel señal a ruido 2.4 GHz.....	28
Ilustración 26: Nivel señal a ruido 5 GHz.....	28
Ilustración 27: Velocidad de transmisión 2.4 GHz	29



Ilustración 28: Velocidad de transmisión 5 GHz	29
Ilustración 29: Rendimiento 2.4 GHz	29
Ilustración 30: Rendimiento 5 GHz	29
Ilustración 31: APs asociados	30
Ilustración 32: Distribución APs Optimización Planta	31
Ilustración 33: Nivel de señal primaria 2.4 GHz.....	32
Ilustración 34: Nivel de señal secundaria 2.4 GHz	32
Ilustración 35: Nivel de señal terciaria 2.4 GHz	32
Ilustración 36: Nivel de señal primaria 5 GHz.....	33
Ilustración 37: Nivel de señal secundaria 5 GHz	33
Ilustración 38: Nivel de señal terciaria 5 GHz	33
Ilustración 39: Nivel de señal a ruido 2.4 GHz	34
Ilustración 40: Nivel de señal a ruido 5 GHz	34
Ilustración 41: Velocidad de transmisión 2.4 GHz	35
Ilustración 42: Velocidad de transmisión 5 GHz	35
Ilustración 43: Rendimiento 2.4 GHz	35
Ilustración 44: Rendimiento 5 GHz	35
Ilustración 45: APs asociados	36
Ilustración 46: Distribución APs Optimización Oficinas.....	38
Ilustración 47: Nivel de señal primaria 2.4 GHz.....	39
Ilustración 48: Nivel de señal secundaria 2.4 GHz	39
Ilustración 49: Nivel de señal terciaria 2.4 GHz	39
Ilustración 50: Nivel de señal primaria 5 GHz.....	40
Ilustración 51: Nivel de señal secundaria 5 GHz	40
Ilustración 52: Nivel de señal terciaria 5 GHz	40
Ilustración 53: Relación de señal a ruido 2.4 GHz.....	41
Ilustración 54: Relación de señal a ruido 5 GHz.....	41
Ilustración 55: Rendimiento 2.4 GHz	42
Ilustración 56: Rendimiento 5 GHz	42
Ilustración 57: Velocidad de transmisión 2.4 GHz	42
Ilustración 58: Velocidad de transmisión 5 GHz	42
Ilustración 59: APs asociados	43

Capítulo 1.

1.1 Contextualización del problema

Actualmente, en el entorno corporativo, la conectividad inalámbrica ha adquirido un papel clave dentro de las infraestructuras de red. Esto es debido a su gran aportación en cuanto a movilidad, flexibilidad y una experiencia de usuario eficiente. Contar con una red WIFI bien diseñada es fundamental para asegurar la productividad y el correcto funcionamiento de los servicios, especialmente en organizaciones multisede donde la interconexión entre distintas localizaciones es de extrema importancia.

Este Trabajo de Fin de Grado se desarrolla en el contexto de la apertura de una nueva sede dentro de una organización ya formada, la cual cuenta con varias oficinas interconectadas mediante una infraestructura de red corporativa. La adición de esta nueva sede supone el diseño de una red WIFI que garantice cobertura, estabilidad y rendimientos adecuados, considerando tanto las condiciones físicas del edificio, como los requisitos técnicos y de integración con la red existente.

Además, se presenta un reto adicional: extender la conectividad a un segundo edificio anexo donde no es posible el tendido de cableado físico. Esto obliga a plantear soluciones inalámbricas que mantengan un rendimiento aceptable y aseguren la continuidad del servicio.

1.2 Objetivos del trabajo

El objetivo principal de este trabajo es diseñar, analizar y optimizar la red WIFI de una nueva sede corporativa, garantizando su integración dentro de una infraestructura multisede existente. Para alcanzar este fin, se definen los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar las necesidades de conectividad inalámbrica en la nueva sede, teniendo en cuenta los diferentes perfiles de usuario y dispositivos.
- Analizar la cobertura de la señal en las bandas de 2,4 GHz y 5GHz mediante herramientas especializadas.
- Detectar deficiencias en la cobertura y rendimiento de la red a través de simulaciones y mapas de calor.
- Diseñar una solución de conectividad para un edificio anexo sin cableado físico.
- Proponer una optimización de la red basada en los resultados obtenidos, ajustando la cantidad y ubicación de los puntos de acceso.
- Garantizar que la red WIFI cumpla con los requisitos de estabilidad, escalabilidad y seguridad propios de un entorno corporativo.

1.3 Metodología empleada

El enfoque metodológico de este trabajo combina el análisis técnico con una fase práctica de diseño y simulación. El proceso seguido incluye:

1. **Recopilación de información:** Se analizan los requerimientos de la organización, el plano del edificio y las limitaciones físicas del entorno.
2. **Diseño inicial:** análisis de red WiFi basada en estándares actuales, teniendo en cuenta requisitos de cobertura, seguridad y segmentación.
3. **Simulación de cobertura:** instalación preliminar de puntos de acceso temporales y uso de herramientas como Ekahau HeatMapper para realizar mediciones reales y generar mapas de cobertura.
4. **Análisis de resultados:** evaluación de los datos obtenidos y detección de deficiencias en la cobertura.
5. **Propuesta de optimización:** Tras evaluar los resultados de la simulación, se plantean mejoras y ajustes para maximizar el rendimiento de la red.
6. **Propuesta final y conclusiones:** documentación del diseño optimizado, reflexión sobre el proceso y aportaciones del trabajo.

Capítulo 2. Fundamentos teóricos y estado del arte

2.1 Redes Wifi: principios básicos

Las redes Wifi, basadas en el estándar IEEE 802.11, permiten la transmisión de datos mediante señales de radiofrecuencia sin necesidad de cableado físico. Estas redes operan principalmente en bandas de 2,4 GHz y 5 GHz, cada una con características específicas en cuanto a alcance, capacidad de penetración y velocidad de transmisión.

El funcionamiento básico de una red Wifi se basa en un punto de acceso que actúa como intermediario entre los dispositivos inalámbricos y la red cableada. En muchas ocasiones se utiliza un router que cumple con ambos roles. Estos dispositivos se comunican a través de ondas de radio utilizando protocolos que regulan el acceso al medio, evitando colisiones y optimizando la eficiencia del canal compartido.

2.2 Estándares IEEE 802.11 y su evolución

El IEEE 802.11 es un conjunto de estándares para redes de área local inalámbricas (WLAN) desarrollados por el **Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)**. Su objetivo principal es definir como los dispositivos pueden comunicarse de forma inalámbrica utilizando radiofrecuencias específicas. A continuación, se presentan los principales estándares y sus características más relevantes: [1]

- 802.11a/b/g: Primeras versiones que ofrecían velocidades básicas de hasta 54Mbps. El 802.11g combinó compatibilidad con 802.11b y operatividad en la banda 2,4 GHz, utilizando OFDM (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal).
- 802.11n: Introdujo MIMO (Multiple Input, Multiple Output), mejorando la velocidad, hasta 600Mbps, y la cobertura.
- 802.11ac: Estándar para la banda de 5 GHz, permitió velocidades superiores a 1 Gbps gracias a tecnologías como beamforming y canales de mayor ancho de banda (80/160 Mhz).
- 802.11ax (Wi-fi 6): Mejora el rendimiento en entornos de alta densidad. Introduce OFDMA y TWT, aumentando la eficiencia energética y el rendimiento total.
- 802.11be (Wi-fi 7): Aumenta la velocidad gracias a la utilización de canales de 320 MHz y la tecnología MLO (Multi-Link Operation). Funciona en 2,4 GHz, 5 GHz y 6 GHz, lo que reduce aún más las interferencias y mejora la latencia.

2.3 Arquitecturas de red en entornos corporativos

En un entorno corporativo, la red inalámbrica debe integrarse con la red cableada y responder a necesidades de alta disponibilidad, seguridad, segmentación del tráfico y gestión centralizada. Existen dos modelos principales de arquitectura Wi-fi:

- Autónoma (standalone): Cada AP se configura y gestiona de forma individual. Adecuada para redes pequeñas, pero limitada en escalabilidad y administración.
- Controlada (con controlador WLAN o en la nube): Los APs están gestionados por un controlador central (local o cloud), lo que permite actualizaciones, ajustes de configuración, balanceo de carga y mayor visibilidad del tráfico. Es el modelo más utilizado en entornos corporativos multisede.

Además, es común implementar redes distribuidas con conectividad WAN (VPN, MPLS o SD-WAN) entre sedes, lo que plantea retos adicionales en cuanto a latencia, redundancia y gestión de la movilidad.

2.4 Seguridad en redes inalámbricas

La seguridad en entornos WiFi es fundamental para garantizar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los datos corporativos. A continuación, se describen los mecanismos y buenas prácticas clave:

2.4.1 Autenticación y cifrado

- WPA3: estándar más moderno para empresas. Emplea SAE (Simultaneous Authentication of Equals), como sustitución del PSK, ofreciendo protección contra ataques de diccionario y autenticación mutua. [2]
- WPA2: ampliamente utilizado, basa su seguridad en AES-CCMP y EAP-TLS. Aunque robusto, su uso sin certificados (PSK) queda desaconsejado en redes críticas.
- EAP (Extensible Authentication Protocol): framework de autenticación. En entorno corporativo, el método EAP-TLS (certificados cliente/servidor) es el más seguro; EAP-PEAP y EAP-TTLS permiten túneles seguros para credenciales.

2.4.2 Segmentación y aislamiento de tráfico

- VLANs por SSID: separar usuarios corporativos, invitados y dispositivos IoT en VLANs distintas evita movimientos laterales tras una intrusión.
- Red de invitados: configurada con acceso limitado a Internet, portal cautivo para aceptación de términos y registros de usuarios, y control de ancho de banda para evitar abusos.
- Control de acceso basado en roles.

2.4.3 Detección y mitigación de amenazas

- WIDS (Wireless Intrusion Detection System): monitoriza pasivamente el espectro, detecta rogue APs, ataques de desautenticación, spoofing de MAC y fuentes de interferencia.
- WIPS (Wireless Intrusion Prevention System): añade capacidad de acción automática: desautenticar clientes de APs no autorizados, cambiar canales ante interferencias críticas o aislar dispositivos sospechosos. [3]
- Integración con SIEM: centralizar eventos en una plataforma de correlación para la generación de alertas y creación de informes de seguridad.

2.4.4 Gestión segura de la infraestructura

- Acceso administrativo protegido: eliminar credenciales por defecto y habilitar MFA para controladores, switches y servidores RADIUS.
- Actualizaciones y parches: aplicar firmware y parches con rapidez para cerrar vulnerabilidades.
- Registro de logs y auditorías: habilitar logs detallados de acceso, eventos de intrusión y cambios de configuración; realizar revisiones periódicas y pruebas de penetración.

2.5 Herramientas de análisis y simulación de redes WiFi

Para diseñar y optimizar redes inalámbricas, se emplean herramientas especializadas que permiten prever el comportamiento de la red antes de su despliegue:

- Ekahau HeatMapper / Ekahau Pro: Altamente utilizadas para la medición de cobertura real y simulaciones predictivas. Generan mapas de calor con métricas como potencia de señal, SNR y tasa de datos.
- NetSpot: Alternativa sencilla para pequeñas redes.
- Cisco Packet Tracer: Utilizado para simular arquitecturas de red y configuraciones de dispositivos, aunque no específicos para WiFi.
- WireShark: Para el análisis de tráfico y detección de anomalías en la red.

Estas herramientas son clave para identificar zonas de sombra, interferencias y sobredimensionamiento.

2.6 Estado actual de las redes multisede

Las organizaciones con múltiples sedes requieren una conectividad robusta, segura y homogénea que permita el acceso continuo a recursos compartidos, sincronización entre sistemas, etc. Las tecnologías más habituales para interconectar oficinas son:

- MPLS (Multiprotocol Label Switching): ofrece conexiones dedicadas con calidad de servicio (QoS), baja latencia y gestión centralizada. Es la solución preferida en sedes principales con alta criticidad operativa.
- Túneles IPSec sobre Internet pública: utilizados en sedes secundarias o más pequeñas, permiten establecer comunicaciones seguras y cifradas a través de enlaces no dedicados, a un coste inferior. Sin embargo, ofrecen menor capacidad de gestión del tráfico y dependen de la calidad de la conexión pública.
- MetroEthernet: es una tecnología que permite extender redes Ethernet a nivel metropolitano, ofreciendo conectividad de alta velocidad entre sedes ubicadas dentro de una misma ciudad o región. Se apoya en infraestructuras del operador y puede configurarse como enlace punto a punto o multipunto, con garantías de ancho de banda y baja latencia. En muchos casos, MetroEthernet funciona sobre una red subyacente basada en MPLS, combinando la simplicidad de Ethernet con el control de tráfico propio de redes más avanzadas. [4]
- SD-WAN: es una arquitectura de red que permite gestionar y optimizar conexiones WAN mediante software centralizado, desvinculando el control de la red del hardware físico subyacente. Su objetivo es mejorar el rendimiento, la seguridad y la eficiencia operativa de las comunicaciones entre sedes distribuidas, especialmente en entornos corporativos.

A diferencia de las WAN tradicionales, que dependen de configuraciones manuales, enlaces MPLS y routers físicos, una SD-WAN emplea controladores inteligentes para enrutar el tráfico de forma dinámica a través de múltiples enlaces disponibles (MPLS, Internet, LTE, etc.), priorizando aplicaciones críticas según políticas predefinidas. [5]

La coexistencia de múltiples tecnologías, como en el caso analizado, requiere una planificación de red WiFi que contemple la segmentación del tráfico, la integración con los sistemas corporativos y la facilidad de gestión desde un punto centralizado.

Capítulo 3. Análisis del entorno corporativo actual

3.1 Estructura de red multisede

La organización opera bajo un esquema corporativo multisede, donde cada ubicación dispone de un rango de direcciones IP propio. La sede diseñada en este proyecto está integrada dentro del rango 10.33.0.0/16, que identifica de forma exclusiva a todos los dispositivos conectados a su red local.

La interconexión entre sedes se realiza a través de una VPN corporativa gestionada desde la sede central. Cada sede establece una conexión segura con esta ubicación principal, que actúa como punto de convergencia para todo el tráfico inter-sede. Desde la central, se gestionan los distintos túneles IPsec que conectan con el resto de las sedes, lo que permite simplificar la configuración en cada sede y centraliza el control del tráfico.

Gracias a este modelo, cualquier sede conectada a la VPN corporativa puede acceder a recursos compartidos y comunicarse con otras ubicaciones de forma segura, sin necesidad de establecer múltiples túneles punto a punto. La sede desarrollada en este proyecto se conecta a esta VPN mediante su infraestructura de red local, y una vez autenticada, puede intercambiar tráfico cifrado con el resto de la red corporativa.

Las sedes se conectan a esta red central mediante diferentes topologías:

- Las sedes principales utilizan enlaces MPLS para garantizar baja latencia y alta disponibilidad.
- Las secundarias, como la que se desarrolla en este trabajo, están conectadas a través de túneles IPsec, lo que permite establecer una comunicación segura con la central a través de la red pública.

En todas las ubicaciones de la organización, la red inalámbrica se configura con SSID comunes y contraseñas unificadas. Esto permite que los dispositivos de los usuarios puedan conectarse en cualquier sede sin necesidad de cambiar credenciales o perfiles de conexión, facilitando la movilidad y el acceso a los recursos corporativos compartidos.

3.2 Características de la nueva sede

El proyecto se centra en una nueva sede que se suma al conjunto de oficinas existentes. Esta nueva sede se compone de diversos edificios:

- Edificios principales: donde se ubicará la mayor parte del personal y los equipos de red principales. Se contará con cableado estructurado y se instalarán puntos de acceso (APs), por lo que se requiere una cobertura WiFi fiable y uniforme.
- Edificio secundario: Se encuentra próximo al edificio principal, pero presenta la limitación técnica que impide establecer cableado físico entre ambos. Este espacio será utilizado ocasionalmente por empleados y visitantes, por lo que se requiere una solución inalámbrica para extender la red desde el edificio principal.

Ambos conjuntos de edificios deben estar completamente cubiertos por la red WiFi y conectados a la red corporativa general.

3.3 Problemas detectados

Durante la fase de análisis previa al diseño, se han identificado una serie de limitaciones y condicionantes que influyen directamente en la planificación de la red inalámbrica:

- Barreras físicas: La estructura del edificio, con muros de carga, zonas acristaladas y múltiples divisiones internas, limita significativamente la propagación de la señal, generando zonas de sombra que deben ser consideradas en la planificación de cobertura.
- Alta densidad de dispositivos: Se espera un elevado número de dispositivos conectados simultáneamente, lo que exige un diseño capaz de distribuir eficientemente la carga y evitar saturaciones.
- Ausencia de cableado estructurado en el edificio anexo: Este espacio adicional no cuenta con infraestructura física de red, lo que obliga a recurrir a un enlace inalámbrico punto a punto como solución de interconexión.
- Limitaciones en la ubicación de los puntos de acceso: Existen restricciones físicas y técnicas que impiden instalar los APs en ubicaciones óptimas, lo que obliga a adaptar el diseño a las condiciones reales del entorno.
- Condiciones impuestas por el cliente: La propuesta de optimización está condicionada por criterios económicos y operativos del cliente, lo que limita la posibilidad de desplegar un número mayor de dispositivos o realizar ciertos cambios estructurales.
- Heterogeneidad en los dispositivos cliente: La coexistencia de dispositivos modernos con equipos antiguos obliga a mantener compatibilidad con estándares menos eficientes, lo que compromete el rendimiento global de la red en algunos escenarios.

Estas problemáticas condicionan tanto la arquitectura de red propuesta como la selección de herramientas utilizadas para su análisis y simulación.

3.4 Requisitos funcionales y técnicos

El diseño de red WiFi debe garantizar la cobertura, capacidad y seguridad necesarias para el entorno corporativo descrito. A continuación, se recogen los principales requisitos funcionales y técnicos que debe cumplir la infraestructura inalámbrica:

Requisitos funcionales:

- Proporcionar conectividad inalámbrica continua en todas las zonas de trabajo de cada sede.
- Permitir el acceso diferenciado a la red corporativa y a la red de invitados.
- Garantizar la movilidad del usuario entre puntos de acceso sin pérdida de conexión.
- Unificar los SSID en todas las sedes para facilitar la itinerancia de los dispositivos.
- Asegurar el acceso a recursos corporativos compartidos ubicados en la sede central.
- Posibilitar la gestión remota y centralizada de los puntos de acceso.

Requisitos técnicos:

- Cobertura mínima de -67 dBm en las zonas de uso intensivo.

- Relación señal/ruido (SNR) superior a 20 dB.
- Velocidades de transmisión superiores a 100 Mbps en zonas de alta densidad.
- Capacidad de soportar un mínimo de 25 dispositivos por punto de acceso sin degradación de servicio.
- Segmentación del tráfico por VLANs para usuarios corporativos, invitados y gestión.
- Interconexión con la sede central mediante VPN IPsec persistente.
- Gestión automática de potencia y canales para reducir interferencias.
- Compatibilidad con alimentación PoE/PoE+ para facilitar la instalación.

3.5 Análisis de cobertura, capacidad y rendimiento

A partir de los requerimientos anteriores, se plantea un diseño inicial basado en los siguientes principios:

- En los edificios principales, se distribuirán puntos de acceso (APs) conectados a un switch PoE central, integrados con el router que proporciona acceso a la red MPLS. La ubicación de los APs se basará en criterios de cobertura, densidad de usuarios y características físicas del entorno.
- Para el edificio anexo, se propone establecer un enlace inalámbrico punto a punto (P2P) utilizando equipos de alta capacidad. Este enlace sustituirá al cableado físico y permitirá la conexión lógica de los APs del anexo al switch del edificio principal.
- La red inalámbrica incluirá tres SSIDs principales, asociados a las VLANs correspondientes: corporativo, invitados, terminales.

Para la solución WiFi, por condición del cliente, se basa en puntos de acceso HP y Aruba, configurados para operar en doble banda (2,4 GHz y 5 GHz), emitiendo tres SSIDs segmentados por VLAN. En este proyecto no se ha realizado una asignación manual de canales. El sistema selecciona automáticamente la mejor opción disponible dentro de los canales permitidos en cada banda. Este diseño inicial fue utilizado como base para la simulación predictiva descrita en el capítulo siguiente.

3.6 Equipamiento de red cableada y seguridad

El diseño de la red cableada en la sede contempla la instalación de un switch gestionado Cisco CBS250-24P-4G-EU, que dispone de 24 puertos Gigabit Ethernet con PoE+ y 4 puertos SFP uplink. Este equipo permitirá la conexión de los puntos de acceso y otros dispositivos cableados, proporcionando alimentación eléctrica a través de los puertos PoE y gestionando las VLANs definidas para los distintos servicios. Además, su interfaz de administración facilita la configuración y el mantenimiento de la red a través de una interfaz web y CLI básica.

En cuanto a la salida a Internet, la sede contará con dos routers TP-Link ER7206, configurados en un esquema de failover multi-WAN. Uno de ellos actuará como router principal y el otro como enlace de respaldo. Cada router estará conectado a un proveedor de servicios distinto, lo que proporciona redundancia a nivel de operador.

En caso de caída del enlace principal, el sistema conmuta automáticamente al secundario, garantizando la continuidad del acceso a Internet sin intervención manual.

Para la protección del tráfico y la segmentación de la red, se implementa una solución de seguridad en alta disponibilidad (HA) con doble firewall. La arquitectura contempla dos niveles de protección:

- Primer nivel: Un FortiGate 100F que actúa como núcleo de la red interna. Este equipo se encargará del enrutamiento, la gestión de las políticas entre VLANs y el acceso a los servicios corporativos. Se implementará en alta disponibilidad (HA), con un segundo equipo en modo pasivo que tomará el control en caso de fallo del dispositivo principal, asegurando así la continuidad del servicio.
- Segundo nivel: Un Palo Alto PA-220, situado en la salida hacia la red externa, que realiza inspección profunda de paquetes (DPI), filtrado avanzado y control de aplicaciones. Esta capa adicional refuerza la seguridad perimetral y protege la red frente a amenazas externas.

Esta estructura de red garantiza una red segura, segmentada y altamente disponible, capaz de resistir fallos tanto por equipos como de enlaces, y preparada para soportar los requisitos de un entorno corporativo multisede.

3.7 Equipamiento de red inalámbrica

Para la red inalámbrica de la sede se han considerado dos tipos de puntos de acceso, correspondientes a distintas fases de despliegue: los equipos heredados actualmente en uso y los nuevos dispositivos propuestos para la optimización de la infraestructura.

HP ProCurve MSM310:

Estos dispositivos constituyen parte de la infraestructura inicial de la sede. Se trata de APs de gama corporativa que operan en la banda de 2.4 GHz y ofrecen funciones básicas de conectividad inalámbrica. No obstante, presentan limitaciones importantes en cuanto a velocidad máxima soportada, eficiencia en entornos de alta densidad y capacidades de gestión centralizada. Al ser un modelo discontinuado, su integración en arquitecturas modernas resulta limitada y la administración debe realizarse de forma individualizada, lo que incrementa la complejidad operativa.

Aruba AP-505:

En la fase de optimización, se plantea la incorporación de APs Aruba AP-505, compatibles con WiFi 6 (802.11ax). Estos equipos ofrecen mejoras significativas en términos de velocidad, eficiencia espectral y gestión de múltiples clientes simultáneos, gracias a tecnologías como OFDMA y MU-MIMO. Cada AP puede gestionar hasta 512 conexiones simultáneas, aunque se recomienda un dimensionamiento de entre 100 y 200 clientes por dispositivo para garantizar un rendimiento óptimo. Además, se integran de manera nativa con la controladora Aruba, lo que permite una gestión centralizada de todos los puntos de acceso, simplificando la monitorización, la configuración de SSID, la seguridad y la aplicación de políticas de red homogéneas en todas las sedes.

La coexistencia de ambos modelos refleja el estado de transición de la infraestructura, donde los equipos HP ProCurve se consideran una solución provisional que será sustituida durante la propuesta de optimización. La introducción de los Aruba AP-505 permite homogeneizar la red inalámbrica con el estándar corporativo y preparar la infraestructura para futuras ampliaciones, con mayores garantías de seguridad, escalabilidad y rendimiento.

Capítulo 4. Diseño y análisis de cobertura WiFi

4.1 Metodología aplicada

Dado que la sede aún no se encuentra en funcionamiento y no dispone de una red WiFi desplegada, se ha optado por realizar una simulación predictiva de cobertura utilizando la herramienta profesional Ekahau Pro. Esta aplicación permite anticipar el comportamiento de la red inalámbrica antes de su instalación definitiva, evaluando aspectos como la intensidad de la señal, las interferencias, el solapamiento de canales y la cobertura efectiva por planta.

El uso de esta herramienta permite evitar despliegues físicos preliminares, reducir costes de prueba y error, y mejorar la planificación técnica desde la fase de diseño.

4.2 Planos de la sede

El primer paso consistió en la obtención de los planos arquitectónicos de los edificios principales, donde se va a desplegar la red WiFi. Los planos e ilustraciones de los edificios fueron proporcionados por la propia empresa y corresponden a una versión simplificada de los planos originales.

Los planos fueron cargados en Ekahau Pro, tras lo cual se procedió a escalar correctamente el entorno, utilizando como referencia medidas reales de pasillos, salas o fachadas. Esta calibración es fundamental para garantizar que las simulaciones de cobertura reflejen distancias y áreas de forma precisa.

Una vez escalados, se identificaron y marcaron las zonas críticas a cubrir (despachos, salas de reuniones, zonas comunes, pasillos), lo que permitió establecer prioridades a la hora de ubicar los puntos de acceso en la fase de diseño posterior. La calidad del plano y su nivel de detalle influyen directamente en la fiabilidad de la simulación, por lo que se revisó cuidadosamente su correspondencia con el espacio real.

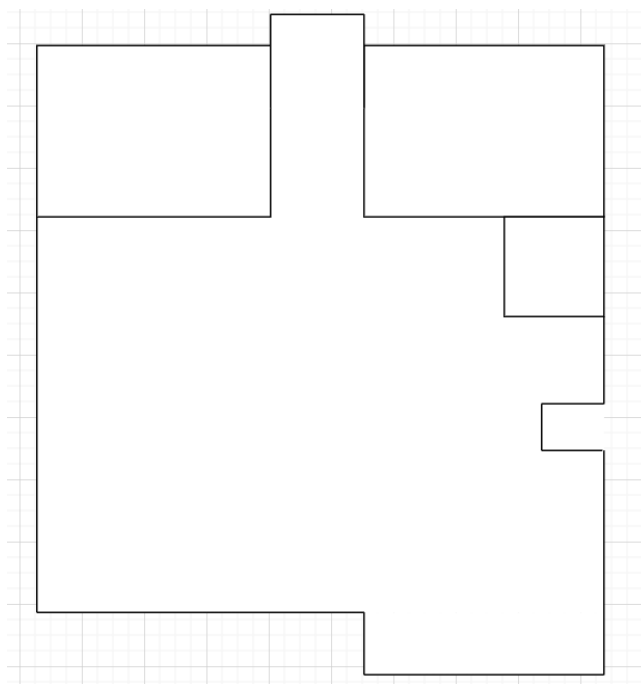


Ilustración 1: Planos sede - Planta

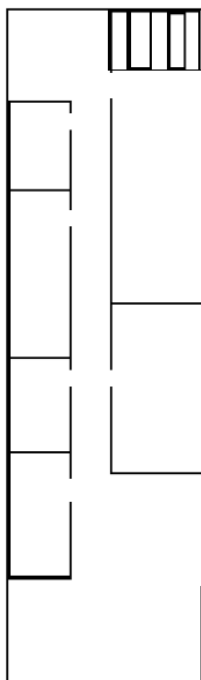


Ilustración 2: Planos sede - Oficinas

4.3 Configuración de los puntos de acceso

Para llevar a cabo la simulación se han configurado virtualmente puntos de acceso en zonas clave del edificio, replicando el comportamiento previsto en el despliegue real. Esta aproximación permite realizar mediciones reales de cobertura inalámbrica utilizando herramientas como Ekahau Pro antes del despliegue definitivo. Este procedimiento es común en entornos profesionales, ya que permite validar el diseño predictivo inicial, detectar posibles deficiencias y afinar la distribución final de los equipos.

Cada punto de acceso fue parametrizado en el entorno de simulación atendiendo a los siguientes criterios técnicos:

- Frecuencias de transmisión: los APs fueron configurados para emitir simultáneamente en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz.
- Potencia de transmisión: se establecieron valores acordes al comportamiento típico de estos equipos en entornos corporativos, respetando las potencias máximas permitidas y ajustándolas según la densidad de APs por zona.
- Altura de instalación: se simuló una colocación estándar en techo suspendido a una altura de entre 2.5 y 3 metros.
- Patrón de radiación: se utilizó una antena omnidireccional interna, propia de este tipo de dispositivos, con un lóbulo de cobertura uniforme en planta.
- Gestión de canal y potencia: al igual que en el diseño previsto, se dejó la selección de canales y la potencia de emisión en modo automático dentro del perfil de simulación, reproduciendo así el comportamiento real del sistema gestionado por los controladores Aruba.

Los puntos de acceso fueron ubicados siguiendo el esquema planteado en el pre-diseño del capítulo anterior, priorizando la cobertura uniforme, la redundancia de señal en áreas críticas y el equilibrio en la carga de usuarios.

Además, en el momento de la simulación se definieron los tres SSIDs que emiten en todos los APs, replicando así la configuración lógica de red prevista para el entorno de producción. Esta estructura permitió evaluar la cobertura para cada perfil de uso y valorar el impacto de la segmentación de tráfico en las distintas áreas del edificio.

SSID	Broadcast SSID
Usuarios	Abierto
Terminales	Abierto
Invitados	Abierto

4.4 Simulación de cobertura

Con los puntos de acceso definidos y ubicados en el entorno virtual de Ekahau Pro, se procedió a realizar la simulación predictiva de cobertura, con el objetivo de anticipar el comportamiento de la red inalámbrica y validar que se cumplieran los requisitos técnicos definidos previamente.

El estudio de cobertura se ha centrado en analizar los siguientes parámetros clave:

- Nivel de señal primaria, secundaria y terciaria
- Relación señal/ruido (SNR)
- Cobertura por canal
- Throughput estimado
- RTT (tiempo de ida y vuelta)
- Pérdida de paquetes

Para poder evaluar si el diseño cumplía con los objetivos técnicos del proyecto, se definieron previamente los siguientes umbrales de validación en su perfil de simulación. Estos valores corresponden a los requisitos mínimos que deben cumplirse en cada una de las bandas.

Banda 2.4 GHz

Signal Strength Min	-67.0 dBm
Secondary Signal Strength Min	-67.0 dBm
Tertiary Signal Strength Min	-85.0 dBm
Signal-to-Noise Ratio Min	25.0 dBm
Data Rate Min	24 Mbps
Channel Interference Max	1 min at -85.0 dBm
Round Trip Time (RTT) Max	200 ms
Packet Loss Max	0.0 %

Tabla 1 – Criterios de validación simulación Ekahau para banda 2.4 GHz

Banda 5 GHz

Signal Strength Min	-67.0 dBm
Secondary Signal Strength Min	-67.0 dBm
Tertiary Signal Strength Min	-85.0 dBm
Signal-to-Noise Ratio Min	25.0 dB
Data Rate Min	24 Mbps
Channel Interference Max 1 at min.	1 min at -85.0 dBm
Round Trip Time (RTT) Max	200 ms
Packet Loss Max	0.0 %

Tabla 2 – Criterios de validación Ekahau para banda 5 GHz

En ambos casos, Ekahau Pro ha generado mapas de calor representativos que reflejan la distribución de la señal y las zonas con mayor o menor calidad de conexión. Estos resultados permiten identificar áreas críticas, verificar la superposición adecuada de cobertura entre varios APs (necesaria para un roaming eficiente) y valorar el rendimiento estimado por usuario en función de su ubicación.

4.5 Conexión inalámbrica con el edificio anexo

En el diseño de red de esta sede corporativa es necesario proporcionar conectividad a un edificio físicamente separado, situado dentro del mismo complejo, a aproximadamente 600 metros de distancia. Al tratarse de un entorno rural, no es viable establecer conexión mediante cableado estructurado, canalizaciones subterráneas o tendido de fibra óptica, tanto por las limitaciones geográficas como por el elevado coste que supondría.

Como solución, se ha optado por la instalación de un enlace inalámbrico punto a punto (PtP), una alternativa práctica que permite extender la red desde el edificio principal, donde se concentra la infraestructura LAN y el acceso a la red corporativa, hasta el edificio anexo, que dispondrá de cobertura Wi-Fi a través de puntos de acceso gestionados. Características de la solución actual:

Características de la solución actual:

- Distancia del enlace: aproximadamente 600 metros.
- Entorno: rural, sin obstáculos y con visibilidad directa.
- Tecnología: enlace inalámbrico TP-Link configurado en modo PtP.
- Frecuencia operativa: 5 GHz.
- Velocidad estimada: variable, sin garantía de caudal sostenido.
- Seguridad: configuración básica, sin cifrado corporativo ni autenticación avanzada.

En la instalación actual, se utilizan dos antenas direccionales configuradas como puente inalámbrico. Una de ellas actúa como nodo principal (master), conectado a la red LAN de la sede, y la otra como nodo receptor (slave), instalada en el edificio anexo. Gracias a la línea de visión directa y a la ausencia de interferencias relevantes, el enlace ofrece un funcionamiento aceptable para tareas básicas, como navegación web, acceso a recursos compartidos y servicios ofimáticos.

Desde el punto de vista operativo, es importante tener en cuenta ciertas consideraciones prácticas en la gestión de este tipo de enlaces. Por ejemplo, en caso de caída de la conexión, puede ser necesario reiniciar ambos dispositivos para restablecer la comunicación. En estos casos, se recomienda apagar ambas antenas y encender primero la antena master, asegurando que inicie correctamente la emisión de la señal. Una vez esté operativa, se procede a encender la antena slave, que se conectará a la señal del nodo principal. Este procedimiento garantiza una correcta sincronización y evita posibles fallos de conexión provocados por estados residuales en los dispositivos, especialmente en configuraciones de tipo doméstico o semiprofesional como la utilizada.

No obstante, esta solución presenta limitaciones relevantes:

- Es una instalación de nivel doméstico o semiprofesional.
- No asegura un rendimiento constante ni una calidad de servicio garantizada.
- Carece de medidas de seguridad corporativa, como cifrado robusto y autenticación gestionada.
- No dispone de herramientas de gestión remota ni sistemas de monitorización centralizada.

Aunque el enlace actual es funcional, sería recomendable sustituirlo en futuras fases por una solución profesional que ofrezca mayor capacidad, estabilidad y seguridad para garantizar la continuidad del servicio en el edificio anexo.



Ilustración 3: Edificio anexo

Capítulo 5. Análisis de resultados de la simulación

Dado que las simulaciones del estudio de cobertura se realizaron durante mi estancia en las prácticas en empresa, todas las imágenes provienen del software profesional Ekahau Pro, utilizado en el entorno laboral para este tipo de análisis.

5.1 Grado de cumplimiento de los requisitos técnicos

Los resultados obtenidos a través de la simulación predictiva en Ekahau Pro permiten evaluar si la red WiFi diseñada cumple con los objetivos técnicos establecidos en el capítulo anterior, identificando fortalezas y áreas de mejora.

5.2 Análisis de la sede – Planta

5.2.1 Distribución de los puntos de acceso

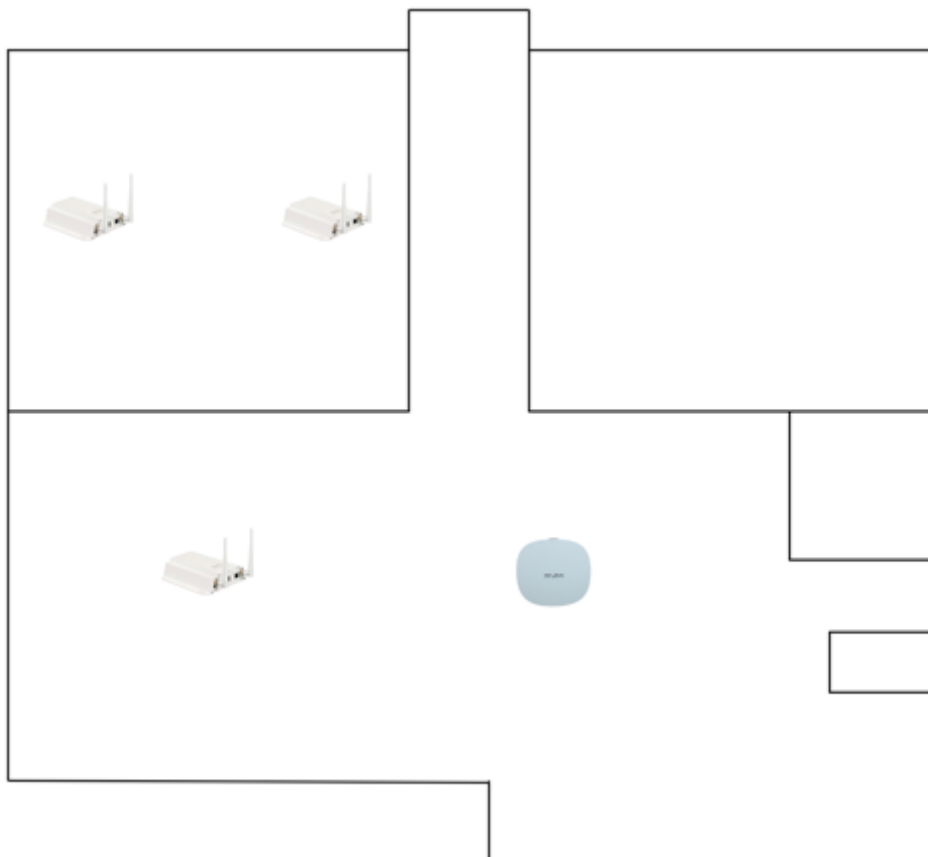


Ilustración 4. Distribución APs Diseño Planta

5.2.2 Cobertura en banda de 2.4 GHz

Tras observar la cobertura en la banda de 2.4 GHz vemos que la señal alcanza correctamente la mayor parte de la planta, con niveles adecuados para garantizar la conectividad en las áreas principales. Como se puede observar en las ilustraciones 4, 5 y 6, los espacios centrales se benefician de una distribución consistente, sin cortes ni zonas críticas.

En cambio, hacia los laterales y algunas esquinas del plano, la intensidad empieza a reducirse de forma visible. En estas zonas, la señal sigue siendo utilizable, pero presenta un margen menor de calidad, especialmente en condiciones de mayor ocupación o presencia de obstáculos.

A pesar de estas pequeñas caídas en las zonas periféricas, el nivel de servicio en esta banda se mantiene dentro de los valores aceptables para la actividad diaria, permitiendo un funcionamiento estable en prácticamente todos los espacios de trabajo.

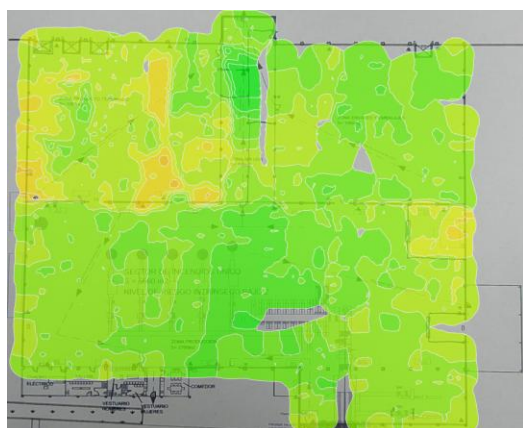


Ilustración 5: Nivel de señal primaria 2.4 GHz

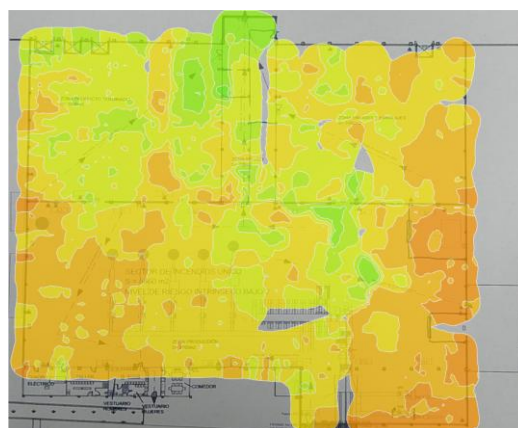


Ilustración 6: Nivel señal secundaria 2.4 GHz

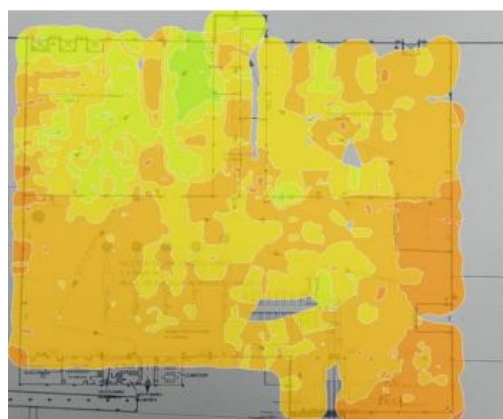


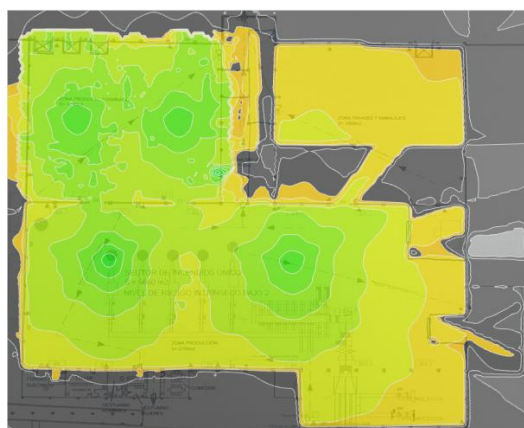
Ilustración 7: Nivel de señal terciaria 2.4 GHz

5.2.3 Cobertura en banda de 5 GHz

En general, la cobertura a 5 GHz alcanza bien los espacios principales de la planta, especialmente en las zonas más abiertas o cercanas a los puntos de acceso. En estos puntos, el rendimiento es estable y suficiente para el uso diario.

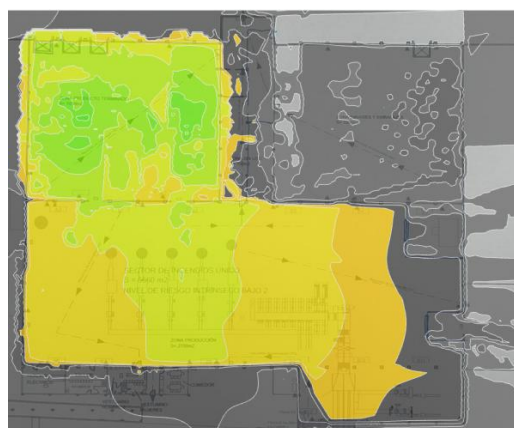
Sin embargo, en algunas salas más alejadas o con obstáculos (como paredes gruesas), la intensidad de señal comienza a reducirse de forma progresiva. Aunque aún se puede trabajar la calidad de conexión es baja, especialmente si se conectan varios dispositivos al mismo tiempo.

En comparación con la banda de 2.4 GHz, la cobertura de 5 GHz es más sensible a las pérdidas por distancia y por las estructuras del edificio, lo que hace que sea necesario reforzar la red si en el futuro se requiere asegurar el mismo nivel de cobertura en todos los rincones de la planta.



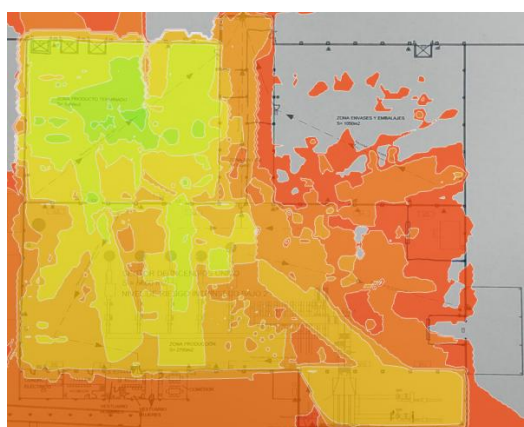
-85 dBm -67 ≥ -30 dBm

Ilustración 8: Nivel de señal primaria 2.4 GHz



-85 dBm -67 ≥ -30 dBm

Ilustración 9: Nivel de señal secundaria 2.4 GHz



-85 dBm -67 ≥ -30 dBm

Ilustración 10: Nivel de señal terciaria 2.4 GHz

5.2.4 Relación señal a ruido

El análisis presente en las ilustraciones 10 y 11, muestra una relación señal a ruido adecuada en la mayoría de la planta, lo cual es indicativo de un entorno libre de interferencias graves y ruido significativo. Con esto podemos suponer un rendimiento elevado dado que una buena relación señal a ruido permite velocidades estables, menor tasa de retransmisiones y buena calidad de conexión. Se observa que la banda 5 GHz es más vulnerable en las zonas periféricas debido a su menor capacidad de penetración.

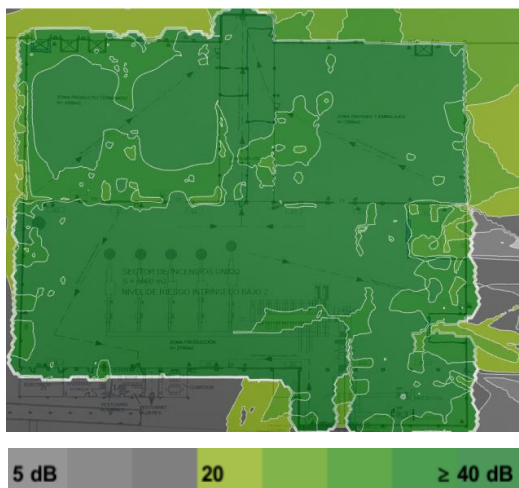


Ilustración 4: Nivel de señal a ruido 2.4 GHz

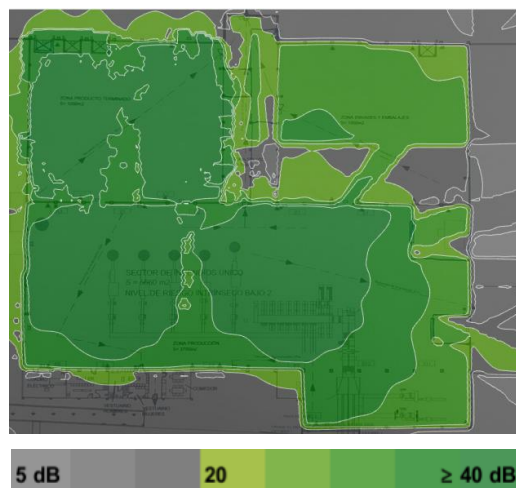


Ilustración 5: Nivel de señal a ruido 5 GHz

5.2.5 Velocidad de transmisión y rendimiento

El estudio combinado de las velocidades de transmisión y el rendimiento en la planta muestra diferencias notables entre ambas bandas.

Utilizando la frecuencia de 2.4 GHz, las tasas de transmisión alcanzadas son suficientes para tareas simples como la navegación o el uso de aplicaciones ligeras, especialmente en las áreas con buena cobertura. No obstante, a medida que se avanza hacia otras zonas de la planta, el caudal disponible disminuye de forma considerable, lo que limita la posibilidad de soportar tráfico simultáneo o servicios que requieran mayor capacidad.

Por otro lado, la banda de 5 GHz permite trabajar con velocidades mucho más elevadas en los espacios donde la señal es sólida, facilitando un uso intensivo como videoconferencias o transferencia de datos pesados. A pesar de ello, esta frecuencia sufre caídas más acusadas cuando existen obstáculos o la distancia aumenta, lo que repercute directamente en la calidad de la conexión en zonas menos favorecidas. Para mantener un servicio estable en toda la planta sería necesario reforzar la cobertura con mayor densidad de dispositivos.

De forma global, la banda de 2.4 GHz resulta válida para conexiones básicas en espacios con señal suficiente, mientras que la banda de 5 GHz proporciona mejores resultados en términos de velocidad y rendimiento siempre que se garantice una cobertura continua.



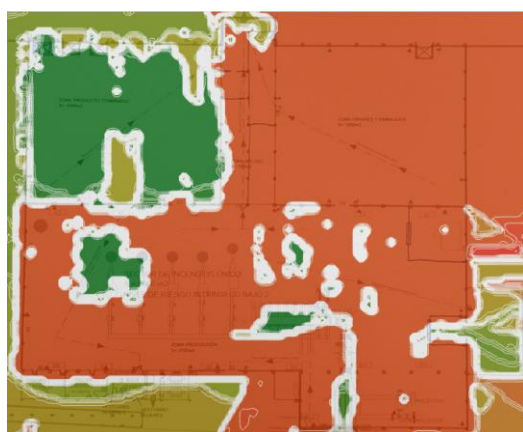
1 Mb/s 300 Mb/s

Ilustración 6: Velocidad de transmisión 2.4 GHz



1 Mb/s 1300 Mb/s

Ilustración 7: Nivel de velocidad de transmisión 5 GHz



0 Mb/s 240 Mb/s

Ilustración 8: Rendimiento 2.4 GHz



0 Mb/s 715 Mb/s

Ilustración 9: Rendimiento 5 GHz

5.2.6 APs asociados - Planta

El mapa de puntos de acceso asociados muestra la distribución y la influencia de cada AP dentro de la planta, diferenciando las áreas de cobertura dominantes para cada dispositivo tanto en la banda 2.4 GHz como en la de 5 GHz.

En la ilustración se observa claramente que los APs 4, 5, 6 y 7 proporcionan cobertura en ambas bandas, pero con zonas de predominancia diferenciadas. Las áreas centrales y periféricas tienden a estar asociadas de forma estable a un AP concreto, lo que es deseable para evitar cambios continuos entre puntos de acceso y facilitar roaming eficiente.

El color en el mapa refleja a qué AP está asociado cada zona, permitiendo identificar como se distribuyen las cargas y que espacios podrían necesitar una optimización. Las zonas donde un único AP proporciona cobertura exclusiva pueden volverse vulnerables ante caídas de señal o saturación. En cambio, las zonas de solapamiento entre APs son positivas, ya que permiten redundancia y facilitan una transacción fluida entre dispositivos en movimiento.

Con la actual distribución de los APs se recomienda vigilar las zonas donde un único punto de acceso es responsable de la cobertura para garantizar que soportan correctamente la carga prevista y ajustar la potencia de transmisión o la ubicación de los puntos de acceso si se detectan situaciones de saturación o cobertura insuficiente.

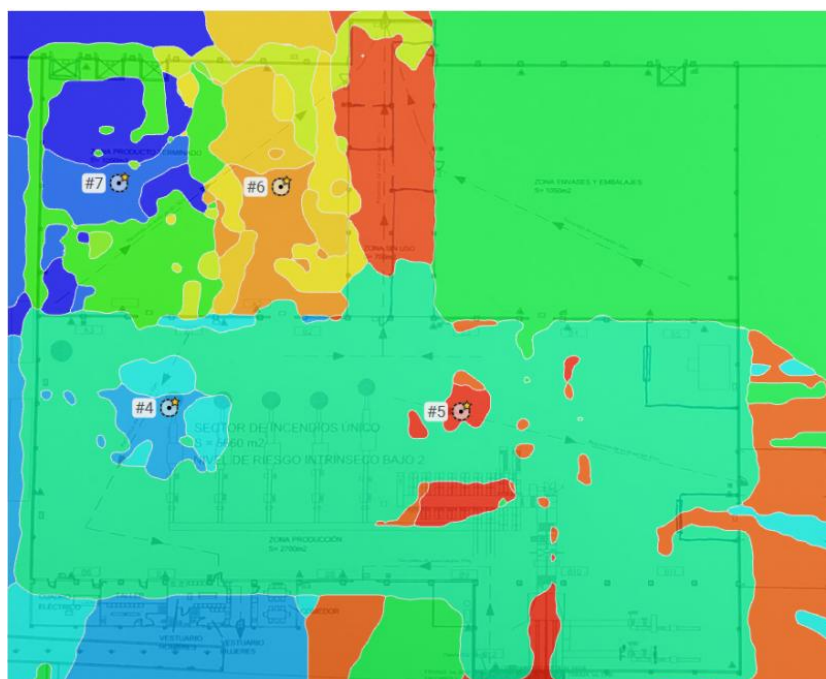


Ilustración 10: APs asociados 2.4 y 5 GHz



AP #	Wi-Fi
4	● Banda 2.4 GHz ● Banda 5 GHz
5	● Banda 2.4 GHz ● Banda 5 GHz
6	● Banda 2.4 GHz ● Banda 5 GHz
7	● Banda 2.4 GHz ● Banda 5 GHz

5.2.7 Conclusiones del análisis de la zona de Planta

La evaluación global de la planta principal tras las simulaciones realizadas permite concluir que la red WiFi diseñada cubre de forma adecuada las necesidades operativas básicas, ofreciendo una cobertura aceptable en la mayoría de los espacios críticos y un rendimiento razonable para las aplicaciones previstas.

La distribución de los puntos de acceso proporciona una cobertura estable en zonas centrales y pasillos, con solapamiento suficiente para permitir roaming fluido y evitar interrupciones. No obstante, se han detectado áreas periféricas y salas interiores donde la intensidad de señal y el rendimiento disminuyen de forma significativa, especialmente operando en 5 GHz, lo que podría afectar a la experiencia de usuario en momentos de alta carga o con dispositivos de menor sensibilidad.

En general, los resultados obtenidos en esta fase son satisfactorios para validar el planteamiento inicial, aunque existen oportunidades claras de mejora para optimizar la cobertura secundaria y reforzar aquellas zonas con caídas de rendimiento. Este análisis justifica la necesidad de realizar pequeños ajustes en la ubicación y configuración de los puntos de acceso para garantizar un servicio homogéneo en toda la planta.

En el siguiente capítulo se desarrolla la propuesta de optimización específica a partir de estas conclusiones

5.3 Análisis de la sede – Oficinas

5.3.1 Distribución de los puntos de acceso

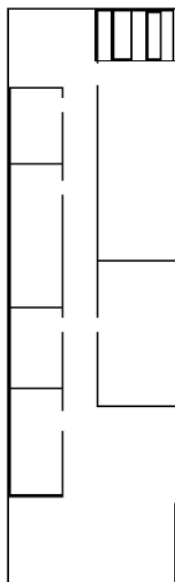


Ilustración 18. Distribución APs Diseño Oficinas

5.3.2 Cobertura en banda de 2.4 GHz

La interpretación de la cobertura en el espectro de 2.4 GHz en las oficinas muestra un comportamiento adecuado en términos generales, con un buen alcance y una distribución razonable de la señal.

La cobertura primaria se mantiene en niveles óptimos en prácticamente todo el pasillo central y las áreas de trabajo colindantes. Se observa una señal uniforme y fuerte en casi toda la superficie, lo que asegura una conexión estable y continua para los usuarios fijos y en movimiento.

En cuanto a la señal secundaria, se detectan algunas zonas con ligeras caídas de señal en las esquinas del plano, se pueden observar en la ilustración 18. Aun así, la intensidad de señal en estas áreas se mantiene dentro de un rango aceptable para un uso básico de la red.

Respecto a la cobertura terciaria, el análisis evidencia que las zonas periféricas presentan una mayor degradación de la señal, especialmente en los extremos del pasillo y en algunas áreas interiores más alejadas del punto de acceso. Estas zonas, aunque presentan menor intensidad de señal, no suponen un problema crítico para la conectividad general del entorno, dado que el uso principal de estas oficinas no requiere alta movilidad ni altas demandas de ancho de banda.

Considerando esto, la cobertura de 2.4 GHz en las oficinas se considera adecuada para garantizar el correcto funcionamiento de los servicios habituales, proporcionando conectividad suficiente en la mayor parte del espacio y sin zonas de sombra significativas.



5.3.3 Cobertura en banda de 5 GHz

La revisión de la cobertura refleja un comportamiento limitado, condicionado principalmente por la mayor sensibilidad de esta banda a la distancia y a los obstáculos físicos.

La cobertura primaria se mantiene razonablemente bien en las zonas próximas al punto de acceso, especialmente en el pasillo central y áreas contiguas. Sin embargo, se aprecian zonas grises con falta de cobertura en espacios laterales y salas más alejadas, lo que indica que la cobertura no es continua en toda la superficie.

La cobertura secundaria presenta resultados más críticos, con amplias zonas donde la señal cae por debajo de los niveles mínimos recomendados. Esto afecta especialmente a los extremos del plano y a las salas que no tienen línea de visión directa con el punto de acceso. La degradación de la señal en estas zonas puede suponer interrupciones en la conectividad o velocidades inestables.

La cobertura terciaria es prácticamente inexistente en la mayor parte de la oficina. Solo se conservan algunas zonas puntuales con niveles de señal residuales, insuficientes para garantizar una conexión de calidad.

En conjunto, la cobertura de 5 GHz en las oficinas es insuficiente para garantizar un servicio robusto en toda la superficie. Se detectan zonas críticas que requerirían la incorporación de puntos de acceso adicionales o un reajuste de la potencia y ubicación para mejorar la cobertura global. Esta situación pone de manifiesto que, en este espacio, la red en 5 GHz no cumple con los niveles de servicio deseados y sería necesario optimizar el diseño para proporcionar conectividad continua y estable.

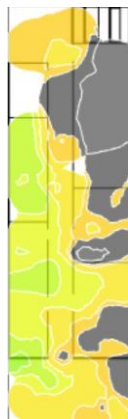
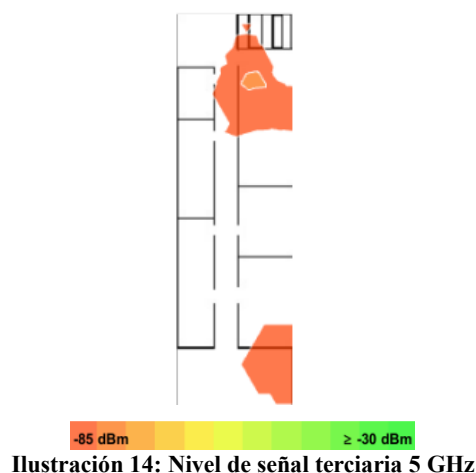


Ilustración 12: Nivel de señal primaria 5 GHz



Ilustración 13: Nivel de señal secundaria 5 GHz



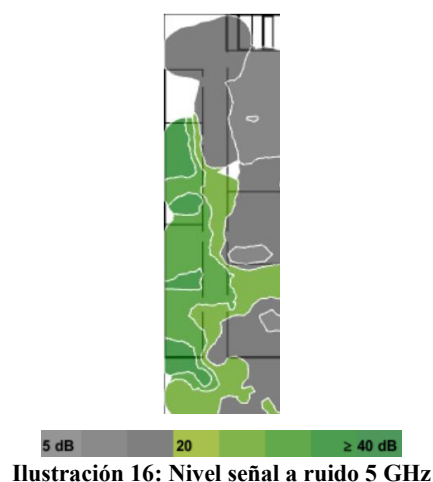
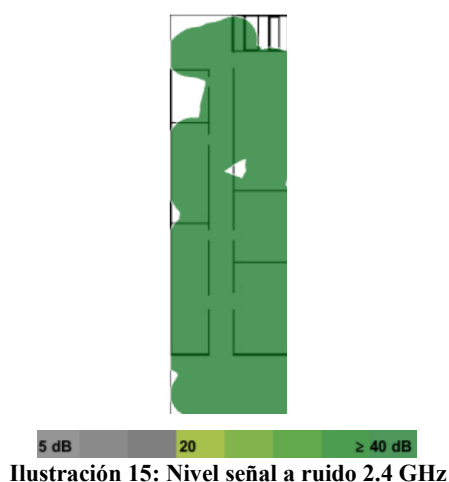
5.3.4 Relación señal a ruido

El análisis permite evaluar la calidad real de la conexión inalámbrica, teniendo en cuenta tanto la intensidad de la señal como el nivel de ruido presente en el entorno.

En la banda de 2.4 GHz, la relación señal a ruido es excelente en prácticamente toda la superficie de las oficinas. El mapa generado muestra valores estables y consistentes, sin zonas con interferencias significativas ni niveles de ruido que puedan comprometer la calidad de la conexión. Este comportamiento garantiza la estabilidad de la red y una baja tasa de retransmisiones en esta banda.

En el espectro de 5 GHz, la situación es menos favorable. La relación señal a ruido se mantiene adecuada únicamente en las zonas próximas al punto de acceso, especialmente a lo largo del pasillo central. Sin embargo, en las áreas laterales y zonas interiores se detectan amplias superficies con una SNR insuficiente o nula, lo que se traduce en posibles pérdidas de conexión, baja velocidad o inestabilidad en la red. Este resultado confirma que la cobertura en 5 GHz en las oficinas no es suficiente para proporcionar una calidad de servicio homogénea en todo el espacio.

En conclusión, la banda de 2.4 GHz proporciona una excelente relación señal a ruido, mientras que la banda de 5 GHz presenta limitaciones importantes que deberían ser corregidas mediante una redistribución o aumento de los puntos de acceso.



5.3.5 Velocidad de transmisión y rendimiento

En las oficinas, la banda de 2.4 GHz proporciona un caudal suficiente para tareas simples como navegación y uso de aplicaciones ligeras. La velocidad se mantiene dentro de márgenes funcionales, aunque el rendimiento disminuye notablemente en la mayor parte del espacio, como se observa en las ilustraciones 25 y 26. Este descenso se traduce en tiempos de respuesta más largos y menor estabilidad en situaciones donde varios usuarios utilizan la red al mismo tiempo. Únicamente en la parte superior del plano se registran tasas aceptables para un uso más ágil, mientras que el resto del entorno queda limitado a un nivel de servicio básico.

En 5 GHz, se alcanzan mejores prestaciones. Los valores de velocidad son significativamente más altos y permiten trabajar cómodamente con servicios que requieren mayor capacidad. A pesar de ello, las zonas donde se consigue este buen comportamiento son restringidas, ya que fuera de los espacios bien cubiertos, la señal pierde eficacia y el rendimiento se ve afectado.

En resumen, la banda de 2.4 GHz resulta válida para un uso poco exigente, mientras que la banda de 5 GHz aporta las mejores condiciones cuando la cobertura lo permite. Para garantizar un servicio más equilibrado, sería conveniente extender el alcance de la banda de 5 GHz en futuras ampliaciones.



1 Mb/s 180 Mb/s

Ilustración 17: Velocidad de transmisión 2.4 GHz



1 Mb/s 1300 Mb/s

Ilustración 18: Velocidad de transmisión 5 GHz



0 Mb/s 155 Mb/s

Ilustración 19: Rendimiento 2.4 GHz



0 Mb/s 715 Mb/s

Ilustración 30: Rendimiento 5 GHz

5.3.6 APs asociados - Oficinas

La ilustración 29 muestra los APs asociados en las oficinas. La cual sugiere que toda la conectividad inalámbrica en esta zona podría estar proporcionada por el router, actuando como único punto de acceso. Este escenario es coherente con la cobertura limitada observada, el bajo rendimiento general en la banda de 2.4 GHz y la escasa cobertura en 5 GHz. La ausencia de APs adicionales explicaría la concentración de conexiones en una única célula y la falta de solapamiento entre zonas. Para garantizar una cobertura homogénea y mejorar el rendimiento, sería recomendable valorar la instalación de puntos de acceso dedicados que complementen la cobertura del router y optimicen la distribución del tráfico.

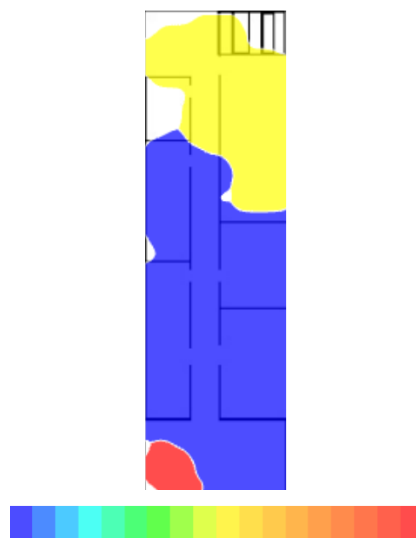


Ilustración 31: APs asociados

5.4 Conclusiones del análisis de la zona de Oficinas

El estudio realizado sobre las oficinas ha permitido comprobar que la cobertura inalámbrica y el rendimiento general presentan limitaciones, especialmente en la situación inicial donde la conectividad dependía exclusivamente del router. Las simulaciones han puesto de manifiesto que la banda de 2.4 GHz ofrece conectividad funcional, pero con velocidades y estabilidad ajustadas, lo que la hace adecuada únicamente para tareas básicas.

Respecto a la frecuencia de 5 GHz, las ilustraciones reflejan una mejora considerable en cuanto a capacidad y velocidad, pero con un alcance muy localizado. Las zonas bien cubiertas permiten un uso más intensivo de la red, aunque fuera de esos espacios la calidad de la conexión disminuye rápidamente.

Se considera que la cobertura actual es suficiente para un uso general, pero insuficiente para garantizar un servicio homogéneo de alta capacidad en todo el entorno de las oficinas. La red requiere refuerzos para consolidar la banda de 5 GHz como opción principal y asegurar que las prestaciones sean estables en todos los puntos del espacio.

Por tanto, aunque el diseño actual es funcional y apto para el despliegue, existe margen de mejora en la cobertura secundaria y terciaria, así como en la distribución del rendimiento. En el siguiente apartado se presentan propuestas específicas para optimizar la red inalámbrica a partir de los datos obtenidos en esta fase de simulación.

Capítulo 6. Propuesta de implementación optimizada

Tras la simulación inicial y el análisis de los resultados, se han identificado zonas con cobertura deficiente, caídas de rendimiento y problemas derivados de una distribución ineficiente de los puntos de acceso. El presente capítulo describe las medidas de optimización aplicadas para corregir estas deficiencias, con el objetivo de mejorar la cobertura, la calidad de la señal y la capacidad de la red en ambas bandas de frecuencia.

La propuesta de mejora incluye ajustes en la ubicación de los puntos de acceso, la redistribución de potencias de emisión y la incorporación de nuevos dispositivos para reforzar la infraestructura existente.

Aunque la infraestructura de red contempla elementos de conectividad WAN —como un sistema de doble router con failover y un túnel IPsec persistente hacia la sede central— esta propuesta de optimización se centra exclusivamente en la red inalámbrica local. No se han planteado cambios en la topología de acceso externo, si bien se ha tenido en cuenta su integración en el diseño para garantizar la compatibilidad operativa con el entorno corporativo multisede.

6.1 Propuesta de mejora – Planta

Como parte de la optimización propuesta en la planta, se plantea la sustitución de los puntos de acceso HP por equipos Aruba, con el objetivo de homogeneizar la infraestructura WiFi con la solución implantada en las oficinas. Este cambio permitirá que toda la red inalámbrica de la sede sea gestionada a través de la controladora Aruba, mejorando la administración, la monitorización y las futuras ampliaciones.

Adicionalmente, se han ajustado los niveles de potencia de emisión de los puntos de acceso en ambas bandas. En la banda de 2.4 GHz, se ha reducido la potencia de los APs ubicados en zonas centrales para evitar solapamientos innecesarios, logrando una reducción aproximada del 25–30%. En cambio, en áreas periféricas se ha mantenido la configuración por defecto. En el canal de 5 GHz, donde la propagación es más limitada, se han aplicado incrementos moderados para extender la cobertura en zonas críticas, siempre dentro de los márgenes legales.

6.1.1 Distribución puntos de acceso

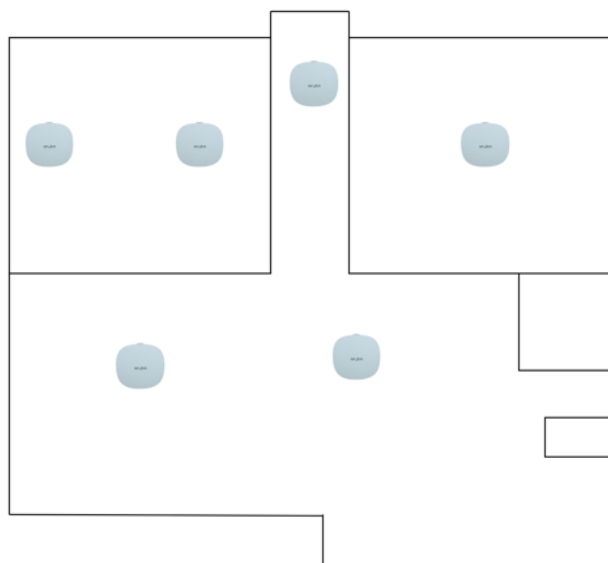


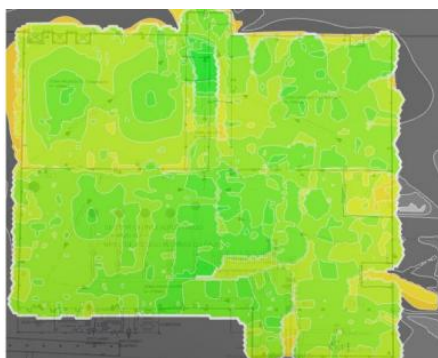
Ilustración 32. Distribución APs Optimización Planta

6.1.2 Cobertura en banda 2.4 GHz

La propuesta de mejora aplicada a la banda de 2.4 GHz ha permitido extender la cobertura de forma notable en la planta. Tras la optimización, la señal alcanza casi la totalidad del espacio con niveles suficientes para ofrecer una conectividad continua.

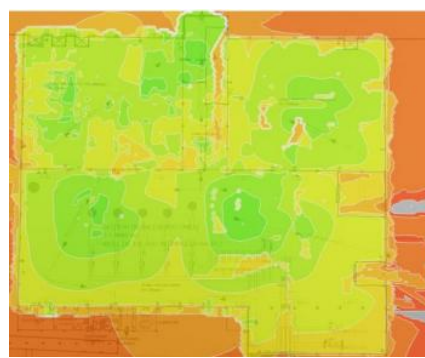
Los ajustes realizados, visibles en las ilustraciones 30, 31 y 32, han reducido de forma significativa las zonas con baja intensidad, mejorando especialmente en los bordes y en las áreas que anteriormente quedaban más expuestas a pérdidas de señal. Las zonas centrales y de mayor uso ahora disponen de una cobertura más estable, lo que contribuye a mejorar la calidad de la conexión y a minimizar interrupciones.

El resultado es una red más equilibrada, capaz de proporcionar un servicio fiable en la mayor parte del entorno, con márgenes de cobertura más amplios y menos zonas comprometidas. La propuesta actual proporciona un nivel de servicio adecuado para soportar la actividad diaria de la planta sin necesidad de refuerzos adicionales en esta banda.



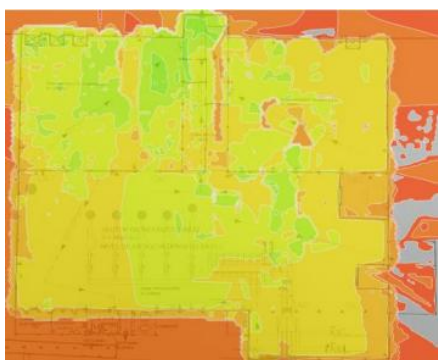
-85 dBm -67 $\geq$ -30 dBm

Ilustración 20: Nivel de señal primaria 2.4 GHz



-85 dBm $\geq$ -30 dBm

Ilustración 21: Nivel de señal secundaria 2.4 GHz



-85 dBm $\geq$ -30 dBm

Ilustración 22: Nivel de señal terciaria 2.4 GHz

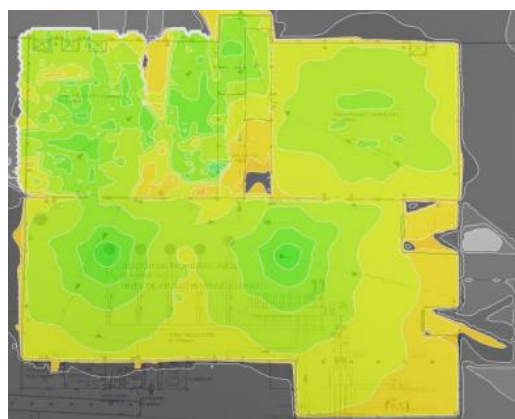
6.1.3 Cobertura en banda 5 GHz

La optimización realizada en la banda de 5 GHz ha permitido mejorar de manera notable el alcance y la calidad de la señal. La distribución actual garantiza niveles sólidos en los espacios de trabajo, donde se requiere una conexión rápida y estable.

Los ajustes implementados han ampliado la superficie con buena cobertura, reduciendo los problemas de señal débil que existían en la configuración inicial. Las zonas más transitadas ahora cuentan con una señal fiable, lo que facilita el uso de aplicaciones que requieren mayor capacidad.

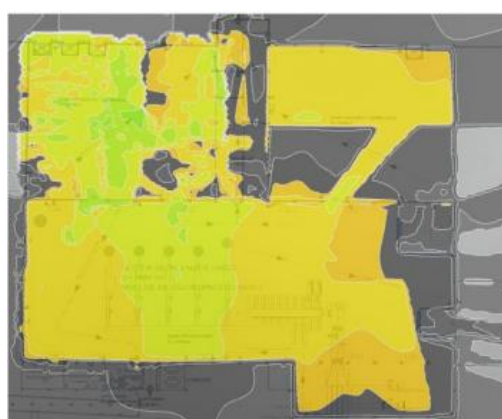
A pesar de los avances, persisten algunas áreas con señal insuficiente, sobre todo en los extremos de la planta. En estas zonas, el nivel de cobertura no alcanza los márgenes ideales, lo que podría afectar a la continuidad del servicio si se incrementa la densidad de usuarios o se desplazan hacia esos espacios menos cubiertos.

El diseño actual proporciona un rendimiento adecuado en las áreas de mayor actividad, pero sería conveniente considerar futuras ampliaciones para reforzar la cobertura en los puntos más alejados y así garantizar un servicio homogéneo en toda la planta.



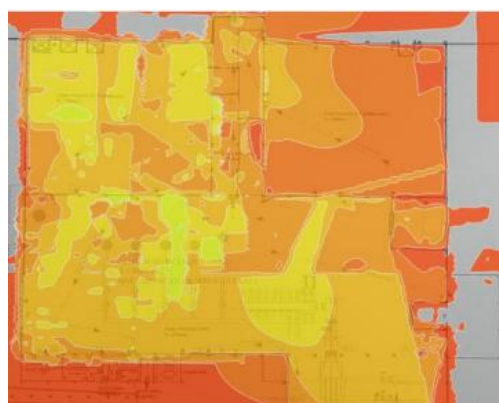
-85 dBm -67 ≥ -30 dBm

Ilustración 23: Nivel de señal primaria 5 GHz



-85 dBm -67 ≥ -30 dBm

Ilustración 24: Nivel de señal secundaria 5 GHz



-85 dBm -67 ≥ -30 dBm

Ilustración 25: Nivel de señal terciaria 5 GHz

6.1.4 Relación señal a ruido

Tras la optimización aplicada, la relación señal a ruido en la planta muestra una mejora sustancial en ambas bandas. La calidad de la señal ha alcanzado niveles estables y adecuados para garantizar una conectividad fiable incluso en escenarios de alta densidad de dispositivos.

En el dominio de 2.4 GHz, el mapa resultante presenta una distribución homogénea con niveles de SNR elevados en prácticamente toda la superficie cubierta. La reducción de zonas críticas es evidente, ya que no se observan áreas con valores inferiores a los umbrales recomendados para un servicio estable. Esta mejora garantiza un enlace consistente para tareas de baja y media exigencia y proporciona margen suficiente para soportar conexiones simultáneas sin degradación notable de la calidad.

En la franja de 5 GHz, la optimización ha logrado reforzar la calidad de la señal en las zonas clave, alcanzando valores de SNR adecuados para soportar servicios de alta capacidad como videoconferencias o transferencias de archivos pesados. La mayor sensibilidad de esta banda frente a obstáculos y distancia se ha mitigado con la reorganización y refuerzo de la cobertura. Aunque todavía existen algunas pequeñas áreas periféricas con niveles más justos, la calidad general del enlace es muy superior a la situación inicial.

La red resultante ofrece ahora una relación señal a ruido robusta que permitirá mantener la estabilidad del servicio, reducir el impacto de posibles interferencias externas y garantizar una mejor experiencia para los usuarios, especialmente operando en 5 GHz que, tras la optimización, se consolida como la opción prioritaria para un uso intensivo.

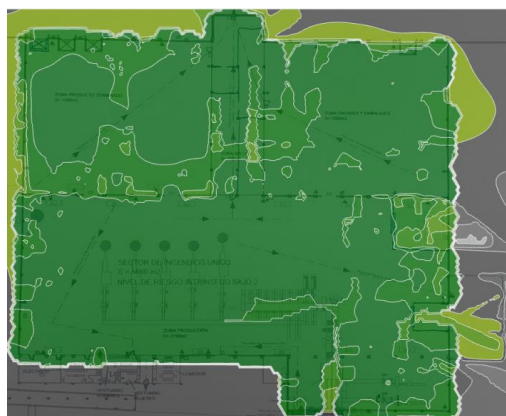


Ilustración 26: Nivel de señal a ruido 2.4 GHz

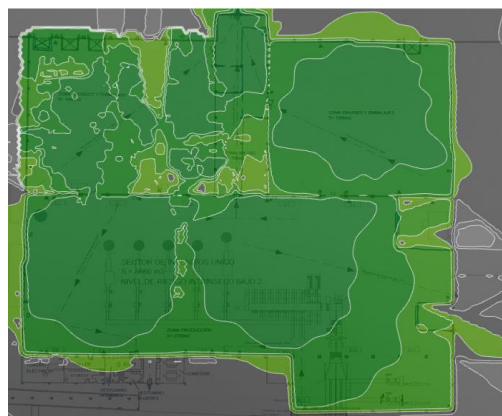


Ilustración 40: Nivel de señal a ruido 5 GHz

6.1.5 Velocidad de transmisión y rendimiento

Tras la optimización, la velocidad de transmisión y el rendimiento en la planta presentan mejoras claras en ambas bandas, especialmente en las áreas con mayor cobertura.

En 2.4 GHz, la red proporciona velocidades funcionales para tareas básicas, como la navegación web o el uso de aplicaciones ligeras. Se han reducido algunas zonas con velocidades extremadamente bajas, pero las tasas se mantienen limitadas en muchas áreas, especialmente en las zonas más alejadas de los puntos de acceso. Aunque las tasas de transmisión han mejorado respecto a la situación inicial, la banda sigue mostrando restricciones en cuanto a capacidad y sigue siendo sensible a la congestión cuando la carga de usuarios aumenta.

En 5 GHz, la situación es notablemente mejor. Las velocidades alcanzadas permiten soportar aplicaciones más exigentes, como videoconferencias o transferencia de archivos pesados, con valores que, en las mejores condiciones, se acercan a los 700 Mbps teóricos. Las zonas cubiertas muestran un rendimiento alto y sostenido, lo que permite trabajar con fluidez y estabilidad en la mayor parte del espacio operativo.

La red actual soporta un mayor número de dispositivos y permite mantener una calidad de servicio adecuada en las zonas de uso intensivo. Aunque la banda de 2.4 GHz sigue teniendo ciertas limitaciones, la cobertura mejorada en 5 GHz ofrece una experiencia de conexión mucho más eficiente y permite cubrir las necesidades planteadas para este entorno.



Ilustración 41: Velocidad de transmisión 2.4 GHz



Ilustración 42: Velocidad de transmisión 5 GHz

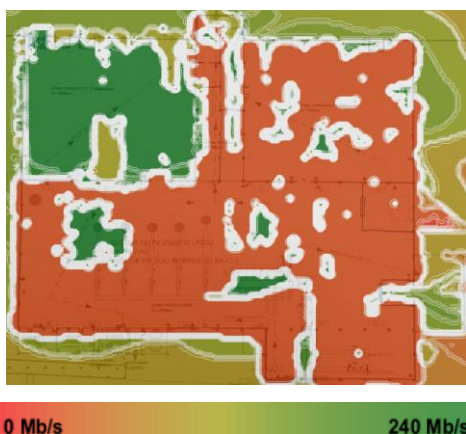


Ilustración 27: Rendimiento 2.4 GHz



Ilustración 28: Rendimiento 5 GHz

6.1.6 APs asociados - Planta

Los APs asociados para la propuesta de mejora muestran una distribución optimizada y equilibrada de las zonas de cobertura, con una asignación eficiente de los dispositivos a los diferentes puntos de acceso. En la nueva disposición, mostrada en la ilustración 42, cada área de la planta se encuentra asociada principalmente a un AP específico, lo que mejora la calidad de la señal y reduce la competencia entre celdas.

En la ilustración 42 puede observarse la ubicación de los puntos de acceso implementados en esta propuesta. Estos se encuentran situados en la zona norte del edificio y se identifican con los números 6 y 7, asignados por la herramienta de simulación.

La asociación de los dispositivos es homogénea y estable, sin zonas desatendidas ni áreas con asociaciones forzadas a APs lejanos. Además, la presencia de solapamiento entre celdas es adecuada, lo que facilita el roaming eficiente y permite que los dispositivos cambien de AP sin cortes perceptibles en la conexión.

Esta distribución asegura una buena gestión de la carga, mayor resiliencia ante posibles caídas de un AP y una cobertura robusta en las áreas críticas de la planta.

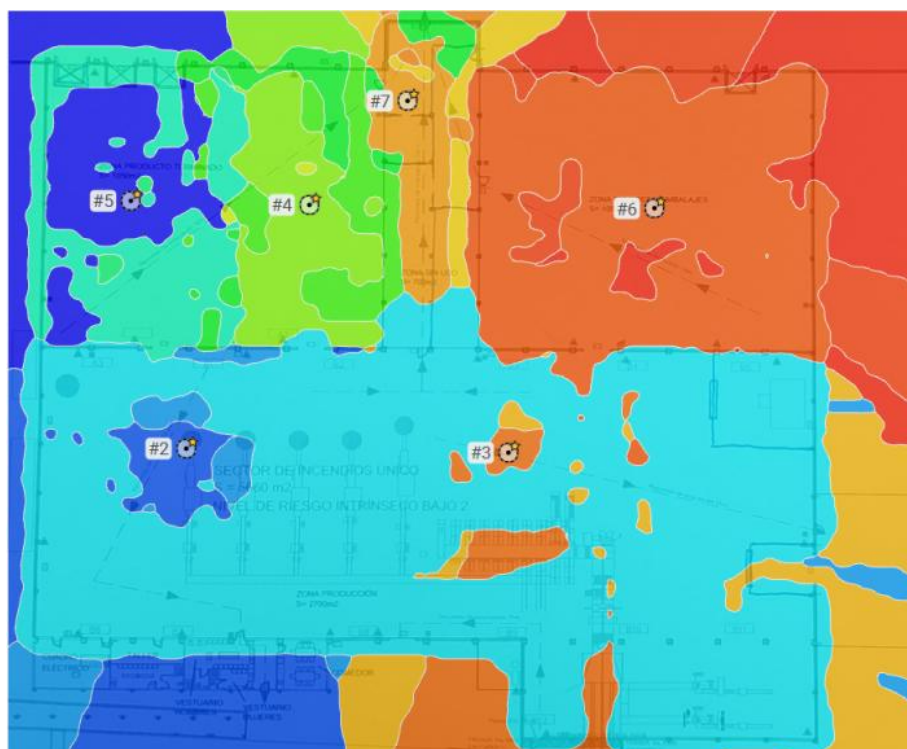


Ilustración 29: APs asociados

AP #	Wi-Fi
2	● Banda 2.4 GHz ● Banda 5 GHz
3	● Banda 2.4 GHz ● Banda 5 GHz



4	● Banda 2.4 GHz ● Banda 5 GHz
5	● Banda 2.4 GHz ● Banda 5 GHz
6	● Banda 2.4 GHz ● Banda 5 GHz
7	● Banda 2.4 GHz ● Banda 5 GHz

6.2 Propuesta de mejora – Oficinas

En el diseño inicial, no se disponía de puntos de acceso dedicados en la sede de oficinas; los dispositivos se conectaban directamente al router inalámbrico proporcionado por el operador, lo que limitaba tanto la cobertura como el rendimiento y la capacidad de gestión. Como parte de la propuesta de mejora, se ha incorporado un punto de acceso profesional gestionado, con el objetivo de proporcionar una infraestructura inalámbrica más robusta y controlable.

El nuevo AP se ha ubicado en el centro de las oficinas, maximizando su cobertura y permitiendo ofrecer conectividad estable en la totalidad del espacio de trabajo. Esta implementación mejora significativamente la calidad de la señal, incrementa la velocidad de transmisión y permite una gestión unificada a través de la controladora instalada en la sede.

Este único punto de acceso es suficiente para cubrir la superficie actual y la carga de dispositivos prevista. No obstante, por limitaciones operativas impuestas por el cliente, no ha sido posible desplegar un segundo AP en esta fase. Se recomienda considerar esta ampliación en futuras actualizaciones, especialmente si se incrementa el número de usuarios o si se desea aumentar la redundancia del sistema.

6.2.1 Distribución puntos de acceso



Ilustración 46. Distribución APs Optimización Planta

6.2.2 Cobertura en banda 2.4 GHz

La mejora aplicada en la banda de 2.4 GHz ha permitido reforzar de manera significativa la cobertura en las oficinas. La señal se distribuye de forma amplia, ofreciendo conectividad estable en prácticamente todo el espacio.

Los ajustes realizados consiguen mantener una señal suficiente en las zonas de trabajo habituales y también mejoran la cobertura en los pasillos y espacios secundarios. Se ha logrado reducir las áreas con menor intensidad, que en la configuración inicial limitaban el alcance efectivo de la red.

En las áreas más apartadas todavía se registran pequeños descensos en la intensidad de la señal, pero estas zonas no suponen un problema crítico para el funcionamiento general de la red. La solución optimizada proporciona una cobertura fiable y continua, adecuada para las actividades previstas en este entorno.



Ilustración 30: Nivel de señal primaria 2.4 GHz



Ilustración 31: Nivel de señal secundaria 2.4 GHz



Ilustración 32: Nivel de señal terciaria 2.4 GHz

6.2.3 Cobertura en banda 5 GHz

La propuesta de mejora aplicada sobre la frecuencia de 5 GHz ha logrado reforzar la cobertura en las oficinas, especialmente en las zonas de mayor uso. La señal cubre adecuadamente el espacio central, lo que facilita un servicio estable para las tareas diarias más exigentes.

En comparación con la situación inicial, ilustraciones 20 y 21, se ha conseguido ampliar el área de cobertura, pero aún persisten algunas limitaciones. Existen zonas donde la intensidad de la señal disminuye, lo que puede afectar a la conexión en aquellos puntos menos favorecidos. Estas áreas más débiles aparecen principalmente hacia los extremos del plano y en espacios laterales donde la cobertura no alcanza los niveles deseables.

A pesar de ello, el resultado obtenido permite mejorar la experiencia de conexión en gran parte de la oficina. El refuerzo actual proporciona una base sólida sobre la que sería recomendable continuar trabajando en futuras ampliaciones para garantizar un servicio más uniforme en todos los espacios.



Ilustración 50: Nivel de señal primaria 5 GHz

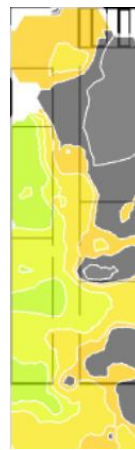


Ilustración 51: Nivel de señal secundaria 5 GHz

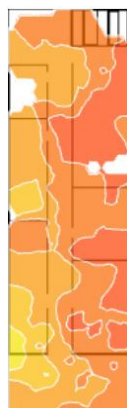


Ilustración 52: Nivel de señal terciaria 5 GHz

6.2.4 Relación señal a ruido

Las ilustraciones 49 y 50 muestra el resultado de la propuesta de optimización aplicada, la calidad de la señal en las oficinas ha mejorado notablemente en ambas bandas. Los niveles de relación señal a ruido alcanzados son elevados y se mantienen estables en prácticamente todo el espacio.

En la banda de 2.4 GHz, los valores son consistentes y reflejan un entorno limpio, sin presencia de interferencias significativas que puedan afectar al rendimiento de la red. Este resultado garantiza una conexión fiable y una baja tasa de errores durante el uso habitual.

En el canal de 5 GHz, la relación señal a ruido también es muy satisfactoria. La señal se mantiene con buena calidad en la mayor parte de las oficinas, lo que permite aprovechar las ventajas de esta frecuencia sin pérdidas destacables en la estabilidad del enlace.

El nivel de calidad alcanzado tras la mejora proporciona una red segura y eficiente, con un margen suficiente para soportar la conexión de varios dispositivos simultáneos sin que la relación señal a ruido se vea comprometida.



Ilustración 53: Relación de señal a ruido 2.4 GHz



Ilustración 54: Relación de señal a ruido 5 GHz

6.2.5 Rendimiento y velocidad de transmisión

La mejora aplicada en las oficinas ha permitido obtener mejores resultados en la velocidad de transmisión y el rendimiento, especialmente en el espectro de 5 GHz, donde se observa un salto de calidad respecto al diseño inicial.

En 2.4 GHz, las velocidades alcanzadas permiten realizar tareas simples como navegación web y el uso de aplicaciones poco exigentes. A pesar de la mejora, las tasas siguen siendo bajas en gran parte del espacio, lo que limita el uso de servicios que requieran mayor capacidad de red. La banda sigue viéndose afectada por la saturación y las interferencias típicas de este entorno. Las mejoras aplicadas han permitido reforzar ligeramente la señal, pero el rendimiento general continúa siendo modesto.

En 5 GHz, los avances son más evidentes. Las velocidades son más altas y se mantienen de forma estable en buena parte de las zonas cubiertas. Este escenario permite trabajar con aplicaciones que necesitan mayor ancho de banda, como videollamadas, transferencia de archivos pesados o

trabajo en plataformas online. La calidad de la conexión en esta banda es mucho más adecuada para un entorno de trabajo con múltiples dispositivos activos.

La red actual proporciona condiciones aceptables para un uso básico en 2.4 GHz, mientras que 5 GHz ofrece la capacidad necesaria para cubrir las necesidades más exigentes en las zonas con buena cobertura. Para mejorar la experiencia de conexión en todo el espacio sería recomendable, en el futuro, reforzar la banda de 5 GHz para extender sus ventajas a otras áreas.



Ilustración 55: Rendimiento 2.4 GHz



Ilustración 56: Rendimiento 5 GHz



Ilustración 33: Velocidad de transmisión 2.4 GHz

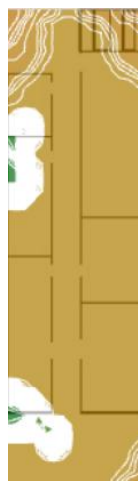


Ilustración 34: Velocidad de transmisión 5 GHz

6.2.6 APs asociados - Oficinas

En la simulación de los APs asociados tras la propuesta de mejora se muestra un cambio significativo respecto a la situación inicial. Antes de la optimización, la cobertura en este espacio era proporcionada directamente por el router, sin la presencia de puntos de acceso dedicados, lo que generaba limitaciones evidentes en cobertura, rendimiento y calidad de servicio.

Tras la mejora, se ha incorporado un punto de acceso específico, que proporciona cobertura en ambas bandas y que da servicio a la totalidad de las oficinas. Esta incorporación ha supuesto un salto de calidad, ofreciendo un mayor alcance y estabilidad, a la vez que se reducen las zonas de baja cobertura que existían anteriormente. Aunque se trata de una solución válida para el tamaño actual de las oficinas, por limitaciones impuestas no ha sido posible añadir un segundo punto de acceso. Para una futura propuesta de mejora se considerará la incorporación del segundo punto de acceso con el objetivo: de repartir la carga, aumentar la redundancia, mejorar la estabilidad de la conexión, etc.

La solución actual es plenamente funcional, pero sería conveniente reforzarla a medio plazo para asegurar su escalabilidad y robustez ante posibles aumentos de demanda.

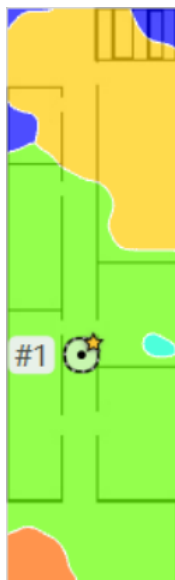


Ilustración 35: APs asociados

AP #	Wi-Fi
1	● Banda 2.4 GHz ● Banda 5 GHz

Capítulo 7. Conclusiones

7.1 Conclusiones de la optimización en Planta

La optimización realizada en la planta ha permitido mejorar de forma significativa la estructura de la red inalámbrica. La distribución de los puntos de acceso ha sido clave para alcanzar una cobertura sólida en las áreas de mayor actividad, especialmente en la banda de 5 GHz, que ahora soporta con solvencia aplicaciones de alta demanda como videoconferencias, trabajo en la nube o transferencia de archivos pesados.

En el rango de 2.4 GHz, la cobertura ha alcanzado un nivel adecuado en casi toda la planta. Se ha conseguido reducir las zonas con baja intensidad de señal, aunque las velocidades máximas continúan siendo limitadas por la propia naturaleza de esta banda. La saturación por el uso compartido del espectro y la mayor sensibilidad a interferencias externas siguen afectando a su rendimiento, lo que hace que esta banda sea recomendable únicamente para tareas de bajo consumo de ancho de banda, como navegación ligera y comunicaciones internas básicas.

Sobre la frecuencia de 5 GHz, el incremento de velocidad y la mejora de la relación señal a ruido han sido muy significativos. Las velocidades alcanzadas permiten trabajar con seguridad incluso en entornos de tráfico simultáneo y con varios dispositivos conectados de forma concurrente. Sin embargo, las simulaciones muestran que todavía existen puntos donde la señal cae por debajo de los niveles recomendados, sobre todo en áreas periféricas donde la cobertura no es completamente uniforme. Este efecto es característico de la banda de 5 GHz debido a su mayor atenuación con la distancia y su menor capacidad para atravesar obstáculos.

Como parte de la optimización, se ha decidido sustituir los puntos de acceso HP existentes por equipos Aruba, alineando así la infraestructura de la planta con la tecnología utilizada en las oficinas. Esta decisión permitirá que todos los puntos de acceso de la sede puedan ser gestionados de forma unificada desde la controladora Aruba, mejorando la administración y el mantenimiento de la red.

En términos de estabilidad y capacidad, la planta dispone ahora de una red capaz de soportar un número elevado de conexiones simultáneas y de ofrecer un servicio de calidad en las zonas de uso habitual. Para maximizar el rendimiento global, sería conveniente considerar en futuras fases la posibilidad de densificar la red, especialmente para garantizar la continuidad de la banda de 5 GHz en los espacios menos cubiertos.

7.2 Conclusiones de la optimización en Oficinas

En las oficinas, la mejora ha sido especialmente relevante, dado que la situación inicial partía de una red limitada que dependía únicamente del router como fuente de cobertura inalámbrica. La incorporación de un punto de acceso dedicado ha permitido ampliar la cobertura y mejorar de manera evidente la calidad de la conexión.

En el espectro de 2.4 GHz, la cobertura se distribuye correctamente por el espacio, con un nivel de señal suficiente para tareas poco exigentes como la navegación o la consulta de correo electrónico. No obstante, las velocidades alcanzadas siguen siendo modestas, lo que limita la red para soportar servicios que requieran caudales más altos o tráfico simultáneo intenso. La congestión y las interferencias de otras redes cercanas continúan siendo un factor limitante en este entorno.

En la banda de 5 GHz, se ha logrado una mejora más sustancial. Las zonas cubiertas alcanzan velocidades satisfactorias que permiten soportar aplicaciones que requieren ancho de banda considerable. Este rendimiento es posible gracias a la buena relación señal a ruido conseguida tras la optimización. Sin embargo, la cobertura sigue sin alcanzar toda la superficie, lo que provoca que algunas áreas continúen sin servicio o con una señal demasiado débil para ofrecer una conexión fiable.

Por decisión del cliente, no se ha incorporado un segundo punto de acceso en esta fase, lo que limita la capacidad de la red para proporcionar una cobertura completa el canal de 5 GHz y afecta a la distribución de la carga. Incluir un segundo dispositivo permitiría mejorar tanto la cobertura como el equilibrio de tráfico entre los puntos de acceso disponibles, lo que se plantea como una mejora necesaria para futuras fases.

En resumen, la red en las oficinas ha mejorado significativamente, pero presenta margen de mejora para garantizar un servicio uniforme y de calidad en todo el espacio.

7.3 Comparación entre Planta y Oficinas

La comparación entre la planta y las oficinas muestra diferencias relevantes tanto en la configuración de la red como en los resultados obtenidos tras la optimización.

En la planta, la red dispone de varios puntos de acceso distribuidos de forma adecuada, lo que permite ofrecer una cobertura más amplia y una mejor capacidad para soportar múltiples dispositivos conectados de forma simultánea. La banda de 5 GHz cubre aproximadamente el 80 % de la superficie útil, mientras que en las oficinas el alcance en esta banda es sensiblemente menor, situándose en torno al 50 %. La mayor densidad de puntos de acceso en la planta favorece la continuidad del servicio y permite ofrecer mejor calidad de conexión en las zonas operativas.

En las oficinas, aunque la situación ha mejorado de manera considerable con la incorporación de un punto de acceso dedicado, la cobertura en la señal a 5 GHz sigue siendo insuficiente para garantizar un servicio uniforme en todo el espacio. Además, la carga de usuarios se concentra en un único dispositivo, lo que podría generar cuellos de botella si se incrementa la demanda. La solución aplicada permite soportar tareas básicas y servicios de consumo medio, pero presenta limitaciones cuando se requiere un uso intensivo de la red.

En ambas zonas, la banda de 2.4 GHz continúa ofreciendo servicio para tareas poco exigentes, aunque con las limitaciones propias de saturación e interferencias de otras redes cercanas. La banda de 5 GHz, en cambio, proporciona mejores condiciones de velocidad y estabilidad siempre que la cobertura sea suficiente.

La planta presenta una infraestructura más robusta y está preparada para soportar mayores volúmenes de tráfico, mientras que las oficinas aún requieren refuerzos adicionales para alcanzar un nivel de servicio similar, especialmente en lo que respecta a la cobertura y capacidad en la banda de 5 GHz.

7.4 Consideraciones finales y recomendaciones futuras

La optimización llevada a cabo ha permitido reforzar la red Wi-Fi en toda la sede, proporcionando una cobertura más amplia, velocidades más estables y mejor calidad de servicio. La red actual responde a las necesidades presentes y es capaz de soportar un volumen considerable de conexiones simultáneas en las zonas de mayor actividad.

Para garantizar la continuidad de esta mejora a medio y largo plazo, se recomienda:

- Refuerzo de la banda de 5 GHz en las oficinas: La instalación de un segundo punto de acceso sería clave para mejorar la distribución de la cobertura, gestionar mejor la carga y ofrecer redundancia.
- Revisión de la cobertura en los bordes de la planta: Se deberían considerar ajustes adicionales o la incorporación de nuevos puntos de acceso para cubrir las áreas con menor densidad de señal, especialmente en la banda de 5 GHz
- Monitorización continua del rendimiento: Sería conveniente realizar un seguimiento periódico del tráfico, la calidad de la señal y el comportamiento de los dispositivos para anticiparse a posibles congestiones.
- Actualización de la conexión con el edificio anexo: El radioenlace actual se mantiene sin cambios, pero presenta limitaciones en capacidad y seguridad. Se recomienda valorar su actualización en próximas fases para garantizar una conexión fiable y segura en todo el complejo.

Además, el radioenlace que conecta con el edificio anexo continúa operando con los equipos existentes, sin haber sido objeto de actualización en esta fase. Este tipo de solución presenta limitaciones importantes en cuanto a capacidad sostenida, calidad del cifrado y gestión remota. Si en el futuro se incrementa el volumen de tráfico o se requiere garantizar la seguridad en la transmisión de datos sensibles, la infraestructura actual podría provocar cuellos de botella, latencia elevada y posibles brechas de seguridad. Se recomienda valorar la actualización de este enlace por una solución profesional, con radios dedicados de alta capacidad, cifrado avanzado y posibilidad de gestión centralizada, con el objetivo de garantizar la continuidad y fiabilidad de la conexión entre edificios.

La sustitución de los puntos de acceso HP por equipos Aruba no solo mejora la cobertura y la capacidad de la red, sino que también unifica la infraestructura WiFi de la sede. Esta homogeneización facilita la gestión centralizada, simplifica las futuras ampliaciones y garantiza una mejor compatibilidad con la arquitectura multisede de la organización.

Desde el punto de vista de la arquitectura multisede, la red propuesta se integra correctamente dentro del modelo existente de la organización, donde todas las sedes están interconectadas a través de la VPN corporativa y comparten el mismo esquema de autenticación Wi-Fi mediante SSID unificados.

La conexión de esta sede mediante IP túnel resulta adecuada para el volumen de tráfico actual, pero sería recomendable realizar un seguimiento periódico de la estabilidad y el rendimiento del enlace, especialmente en comparación con las sedes que utilizan conexiones MPLS, ya que los túneles IP pueden presentar mayor variabilidad en latencia y ancho de banda disponible.

El trabajo realizado sienta las bases para una red inalámbrica eficiente y escalable, preparada para las necesidades actuales y adaptable a futuras ampliaciones.

Para concluir, quisiera añadir que, gran parte del conocimiento técnico empleado en este trabajo, incluyendo la configuración de dispositivos, el diseño de la red inalámbrica, los criterios de ubicación de los puntos de acceso y la interpretación de los resultados de simulación, ha sido adquirido directamente durante la experiencia práctica en el departamento de comunicaciones de dicha empresa, bajo supervisión profesional. Este aprendizaje ha permitido aplicar criterios reales de diseño y evaluación, ajustados a las necesidades y limitaciones habituales en entornos corporativos.

Bibliografía

- [1] D. Chen, “A Survey of IEEE 802.11 Protocols: Comparison and Prospective,” *Proc. 5th Int. Conf. Mechatronics, Materials, Chemistry and Computer Engineering (ICMMCCE 2017)*, 2017, doi:10.2991/icmmcce-17.2017.106.
- [2] Yang Xiao, Yi-Bing Lin, Ding-Zhu Du, “Wireless Network Security,” *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2006, article 048374, 2007, doi:10.1155/WCN/2006/48374.
- [3] J. E. López Patiño, “Sistemas de detección y prevención de intrusiones”, *diapositivas de clase, Poliformat, Asignatura: Seguridad*, Tema 4, Bloque 3, 2024.
- [4] B. Klessig, “Ethernet Services Over Metro Ethernet Networks,” *Optical Networking Standards: A Comprehensive Guide*, Khurram Kazi, Ed., Springer, Boston, MA, 2006, pp. 343-372, doi:10.1007/978-0-387-24063-3_10.
- [5] W. Wang et al., “Software-Defined Wide Area Networks (SD-WANs): A Survey,” *Electronics*, vol. 13, no. 15, p. 3011, 2024, doi:10.3390/electronics13153011.

Relación del Trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030

Objetivos de Desarrollo Sostenible	Alto	Medio	Bajo	No procede
ODS 1. Fin de la pobreza.	☐	☐	☐	☒
ODS 2. Hambre cero.	☐	☐	☐	☒
ODS 3. Salud y bienestar.	☐	☐	☐	☒
ODS 4. Educación de calidad.	☐	☐	☐	☒
ODS 5. Igualdad de género.	☐	☐	☐	☒
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.	☐	☐	☐	☒
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.	☒	☐	☐	☐
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.	☐	☐	☐	☒
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	☒	☐	☐	☐
ODS 10. Reducción de las desigualdades.	☐	☐	☐	☒
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.	☐	☐	☐	☒
ODS 12. Producción y consumo responsables.	☒	☐	☐	☐
ODS 13. Acción por el clima.	☐	☐	☐	☒
ODS 14. Vida submarina.	☐	☐	☐	☒
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.	☐	☐	☐	☒
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.	☐	☐	☐	☒
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.	☐	☐	☐	☒

ODS 7 – Energía asequible y no contaminante:

El diseño contempla una ampliación del número de puntos de acceso respecto al estado inicial, con el objetivo de mejorar la calidad de la señal y reducir la necesidad de potencias elevadas. Se emplean dispositivos energéticamente más eficientes y compatibles con PoE+. La planificación busca minimizar el consumo total manteniendo un equilibrio entre cobertura y rendimiento.

ODS 9 – Industria, innovación e infraestructuras:

El proyecto desarrolla una red multisede moderna y segura, integrando tecnologías como VPN IPsec, segmentación por VLANs, routers con failover y puntos de acceso gestionados de forma unificada. Todo el diseño sigue criterios actuales de ingeniería de redes en entornos corporativos, favoreciendo la escalabilidad y la resiliencia.

ODS 12 – Producción y consumo responsables:

Aunque se incrementa el número de puntos de acceso respecto al diseño original, no se ha buscado una cobertura perfecta o absoluta. La propuesta se limita a los dispositivos necesarios para cumplir los objetivos funcionales del cliente, evitando sobredimensionamientos innecesarios. Este enfoque prioriza el uso racional de recursos, facilitando el mantenimiento y reduciendo el impacto energético sin comprometer la calidad del servicio.