

**Escuela Superior Politécnica del litoral**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

Rediseño de Infraestructura Wi-Fi Corporativa para Mitigación de

Interferencias y Mejora de Cobertura RF

**INGE-2863**

**Proyecto Integrador**

Previo a la obtención del Título de:

**Ingeniero en Telecomunicaciones**

Presentado por:

Bodero Jiménez Rosario Arelys

Morocho Tagua Kevin Isaías

Guayaquil – Ecuador

Año: 2025

## **Dedicatoria**

A mis queridos padres, José y Adelita, por darme las herramientas necesarias para conquistar cada una de mis metas, por su amor y apoyo incondicional.

A mis hermanos, Keyla y José, por creer en mí y ser mi motivación diaria para lograr cada uno de mis sueños.

A mis abuelitos, quienes son la luz que guía mi camino, su amor se manifiesta en mi vida cada día por medio de Dios.

A mi querida amiga Abigail, quien me acompaña desde que inició este sueño, su amistad es un tesoro invaluable para mí.

A mis queridas amigas Daybe, Katty, Denise, Miriam, Joselin y Eva, quienes siempre me brindan su amistad y amor incondicional.

***Rosario Arelys Boderó Jiménez***

## **Dedicatoria**

Dedico este proyecto a mi bella familia Morocho Tagua, por su gran apoyo incondicional y su continuo interés a lo largo de mi formación.

A mis amigos, por su compañía, interés y aliento en cada paso de este camino.

En especial, dedico este trabajo en memoria de Jorge Morocho y Cristhian Morocho, cuyo ejemplo de perseverancia, esfuerzo y fe siempre fueron una fuente de inspiración y motivación en mi vida. Gracias, millón gracias.

***Kevin Isaías Morocho Tagua.***

## **Agradecimientos**

Manifestamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestro tutor, el Ing. Juan Carlos Avilés Castillo, por su invaluable guía, constante seguimiento, valiosas correcciones y por facilitarnos herramientas claves para el desarrollo del Proyecto Integrador. Asimismo, agradecemos a la Ing. Patricia Ximena Chávez Burbano por su valioso tiempo y acertadas observaciones durante todo el curso.

Extendemos un especial agradecimiento a la empresa del sector corporativo que nos abrió sus puertas, por la confianza depositada y la información facilitada. Agradecemos a Pablo Hinojosa, jefe de Sistemas, por su colaboración, y de manera muy especial a Darwin Antonio Pincay Palma, Coordinador de Infraestructura, por su continua enseñanza, paciencia y amistad, cuyo apoyo técnico fue crucial para nuestro trabajo.

## **Declaración Expresa**

Nosotros Bodero Jiménez Rosario Arelys y Morocho Tagua Kevin Isaías acordamos y reconozco/reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

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

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

Guayaquil, 31 de mayo del 2025.

Morocho Tagua Kevin  
Isaías

Bodero Jiménez Rosario  
Arelys

## **Evaluadores**

---

**Patricia Ximena Chavez Burbano**

**Profesor de Materia**

---

**Juan Carlos Aviles Castillo**

**Tutor de Proyecto**

## Resumen

En este proyecto se aborda el análisis y resolución de problemas de conectividad en la red WiFi corporativa de una empresa, la infraestructura de la red inalámbrica de la corporación presenta un diseño ineficiente por superposición de canales e interferencias. Se plantea realizar un rediseño basado en simulaciones avanzadas que permitirá mejorar significativamente la cobertura y estabilidad de la red.

Para solucionar la problemática, se realizó un diagnóstico de la red existente mediante análisis de campo y recopilación de datos. Se utilizaron herramientas profesionales de simulación como Wireless InSite y Ekahau Pro para recrear la infraestructura WiFi y evaluar el comportamiento de la red ante diferentes configuraciones. Se siguieron normas de diseño de redes inalámbricas y buenas prácticas de despliegue de infraestructura WiFi.

Entre los principales resultados, se identificaron áreas críticas de cobertura de red, superposición de canales y puntos de acceso mal ubicados. A partir del análisis, se propuso una nueva topología de red mejorada, con una distribución eficiente de los APs y menor interferencia entre canales.

Finalmente, se evidenció que el uso de simuladores y un rediseño fundamentado mejora considerablemente el rendimiento de redes WiFi corporativas.

**Palabras clave:** Red inalámbrica, Wireless Insite, Simulaciones, Cobertura de re

## **Abstract**

*This project consists of analyzing and solving connectivity problems in a company's corporate WiFi network. The company's wireless network infrastructure has an inefficient design due to channel overlap and interference. A redesign based on advanced simulations is proposed, which will significantly improve network coverage and stability.*

*To solve the problem, a diagnosis of the existing network was carried out using field analysis and data collection. Using professional simulation tools, such as Wireless InSite and Ekahau Pro, were used to recreate the WiFi infrastructure and evaluate the behavior of the network in different configurations. Wireless network design standards and best practices for WiFi infrastructure deployment were followed.*

*Key findings included the identification of critical areas of network coverage, channel overlap, and poorly located access points. Based on the analysis, a new improved network topology was proposed, with efficient distribution of access points and less interference between channels.*

*Finally, it was demonstrated that the use of simulators and a well-founded redesign significantly improves the performance of corporate WiFi networks.*

*Keywords: Wireless network, Wireless Insite, Simulations, Network coverage*



## Índice general

Capítulo 1 .....	17
1.1    Introducción .....	18
1.2    Descripción del Problema .....	19
1.3    Justificación del Problema .....	20
1.4    Objetivos .....	21
1.4.1    Objetivo General .....	21
1.4.2    Objetivos Específicos.....	21
1.5    Marco teórico .....	21
1.5.1    Fundamentos de redes inalámbricas. ....	22
1.5.2    Estándar IEEE 802.11n .....	23
1.5.3    Factores que afectan el rendimiento de redes Wi-Fi.....	23
1.5.4    Tecnologías y herramientas para simulación de redes .....	24
1.5.5    Parámetros a modelar.....	25
2    Capítulo 2.....	27
2.1    Metodología. ....	28

2.2	Enfoque y fases de estudio.....	29
2.3	Fase I: Diagnóstico y Modelado del Escenario Actual .....	30
2.3.1	Levantamiento de Información y Caracterización del Entorno .....	31
2.3.2	Modelado Digital del Estado Inicial .....	33
2.3.3	Simulación y Análisis .....	35
2.4	Fase II: Formulación y Evaluación de Alternativas de Solución .....	36
2.4.1	Descripción de las Alternativas de Solución.....	37
2.5	Fase III: Diseño Conceptual y Validación de Propuesta seleccionada.....	43
3	Capítulo 3 .....	44
3.1	Introducción al Análisis Comparativo .....	45
3.2	Análisis Comparativo de la Calidad de la Señal (SINR) .....	45
3.2.1	Análisis Comparativo del Rendimiento de la Red mediante FDP .....	46
3.2.2	Análisis Comparativo del Rendimiento de la Red mediante CDF .....	54
3.2.3	Visualización y Análisis cuantitativo de Mapas de Calor basado en SINR ..	57
3.3	Síntesis Cuantitativa y Selección de la Propuesta Óptima.....	60
4	Capítulo 4.....	63

4.1	Conclusiones y Recomendaciones .....	64
4.1.1	Conclusiones .....	64
4.1.2	Recomendaciones .....	65
5	Bibliografía .....	66

## Abreviaturas

<b>AP</b>	Punto de Acceso ( <i>Access Point</i> )
<b>BW</b>	Ancho de Banda ( <i>Bandwidth</i> )
<b>CDF</b>	Función de Distribución Acumulativa ( <i>Cumulative Distribution Function</i> )
<b>CPU</b>	Unidad Central de Procesamiento ( <i>Central Processing Unit</i> )
<b>CSMA/CA</b>	Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Prevención de Colisiones ( <i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance</i> )
<b>ESPOL</b>	Escuela Superior Politécnica del Litoral
<b>FDP</b>	Función de Densidad de Probabilidad ( <i>Probability Density Function</i> )
<b>IEEE</b>	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos ( <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> )
<b>IoT</b>	Internet de las Cosas ( <i>Internet of Things</i> )
<b>MIMO</b>	Múltiple Entrada, Múltiple Salida ( <i>Multiple-Input Multiple-Output</i> )
<b>MU-MIMO</b>	Múltiple Entrada, Múltiple Salida para Múltiples Usuarios ( <i>Multi-User Multiple-Input Multiple-Output</i> )
<b>OFDM</b>	Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales ( <i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing</i> )
<b>RF</b>	Radiofrecuencia
<b>RSSI</b>	Indicador de Fuerza de Señal Recibida ( <i>Received Signal Strength Indicator</i> )
<b>SINR</b>	Relación Señal-Interferencia-más-Ruido ( <i>Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio</i> )
<b>SNR</b>	Relación Señal-Ruido ( <i>Signal-to-Noise Ratio</i> )
<b>VoIP</b>	Voz sobre Protocolo de Internet ( <i>Voice over Internet Protocol</i> )
<b>Wi-Fi</b>	Fidelidad Inalámbrica ( <i>Wireless Fidelity</i> )
<b>WLAN</b>	Red de Área Local Inalámbrica ( <i>Wireless Local Area Network</i> )

## Simbología

<b>dB</b>	Decibelio
<b>dBm</b>	Decibelios-milivatio
<b>Gbps</b>	Gigabits por segundo
<b>GHz</b>	Gigahercio
<b>Kbps</b>	Kilobits por segundo
<b>M</b>	Metro
<b><i>m</i><sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>Mbps</b>	Megabits por segundo
<b>MHz</b>	Megahercio
<b>μ</b>	Media o promedio (letra griega Mu)
<b>σ</b>	Desviación estándar (letra griega Sigma)

## Índice De Figuras

<i>Ilustración 1. Flujo de Fases para el desarrollo del proyecto.</i>	28
<i>Ilustración 2. Puntos de acceso de la sede principal y ancho de banda asignado por canal en 2.4 GHz.</i>	30
<i>Ilustración 3. Distribución Espacial y Orientación (Horizontal/Vertical) de los Puntos de Acceso - Wireless InSite 3D</i>	31
<i>Ilustración 4. Distribución Espacial de los Puntos de Acceso Identificados Durante el Levantamiento de Información - Wireless InSite 3D.</i>	32
<i>Ilustración 5. Distribución Espacial de los Puntos de Acceso Identificados Durante el Levantamiento de Información - Eka-pro.</i>	32
<i>Ilustración 6. Niveles Críticos de Utilización de Recursos del AP Exterior-Presidencia.</i>	33
<i>Ilustración 7. Configuración de Parámetros de Materiales para Simulación de Cobertura RF</i>	34
<i>Ilustración 8. Configuración de Parámetros de transmisión para Simulación de Cobertura RF</i>	34
<i>Ilustración 9. Mapa de calor del SINR para los transmisores del canal 1</i>	36
<i>Ilustración 10. Mapa de calor del SINR para los transmisores del canal 11</i>	36
<i>Ilustración 11. Distribución Espacial y Orientación de los Puntos de Acceso para Solución 1</i>	40
<i>Ilustración 12. Distribución Espacial y Orientación de los Puntos de Acceso para Solución 2</i>	42
<i>Ilustración 13. Distribución Espacial y Orientación de los Puntos de Acceso - Solución 1</i>	42
<i>Ilustración 14. FDP perteneciente al canal 01 de la infraestructura inicial</i>	47

<i>Ilustración 15. FDP Canal 11 red inicial</i>	48
<i>Ilustración 16. FDP canal 1 red propuesta 01</i>	49
<i>Ilustración 17. FDP canal 6 red propuesta 01</i>	50
<i>Ilustración 18. FDP Canal 11 red inicial</i>	51
<i>Ilustración 19. FDP perteneciente al canal 1 de la Propuesta 02</i>	52
<i>Ilustración 20. PDF perteneciente al canal 6 de la Propuesta 02</i>	53
<i>Ilustración 21. PDF perteneciente al canal 11 de la Propuesta 02</i>	53
<i>Ilustración 22. CDF perteneciente a la infraestructura inicial</i>	54
<i>Ilustración 23. CDF perteneciente a la infraestructura de la propuesta 1</i>	55
<i>Ilustración 24. CDF perteneciente a la infraestructura de la propuesta 2</i>	56
<i>Ilustración 25. Mapa de calor basado en los valores de SINR de la infraestructura inicial</i>	57
<i>Ilustración 26. Mapa de calor basado en los valores de SINR de la infraestructura inicial</i>	58
<i>Ilustración 27. Mapa de calor basado en los valores de SINR de la Propuesta 1</i>	59
<i>Ilustración 28. Mapa de calor basado en los valores de SINR de la Propuesta 2</i>	60

## Índice De Tablas

*Tabla 1. Cuadro comparativo de herramientas de simulación utilizadas.*\_\_\_\_\_ 29

*Tabla 2. Requisitos de ancho de banda por aplicación (cisco)* \_\_\_\_\_ 39

*Tabla 3. Porcentaje del área de cobertura por categoría de calidad SINR* \_\_\_\_\_ 62



## **Capítulo 1**

## 1.1 Introducción

En los últimos años las redes inalámbricas se han convertido en un componente esencial en el mundo corporativo (Ing. Valeriano Cantos, 2024), facilitando la comunicación en tiempo real, acceso a bases de datos y la conectividad de dispositivos en entornos de trabajo dinámicos. En un mundo cada vez más digitalizado, la calidad de las redes Wi-Fi impacta directamente la productividad y la operatividad de las empresas especialmente en aquellas con alta densidad de dispositivos inalámbricos. Sin embargo, problemas como interferencias, cobertura limitada y desconexiones frecuentes pueden comprometer el rendimiento de estas redes, afectando las operaciones diarias, calidad de servicio y generando pérdidas económicas y de tiempo. Este es el caso de una empresa ecuatoriana del sector camaronero que enfrenta desafíos significativos en su infraestructura Wi-Fi interna, los cuales incluyen desconexiones esporádicas de los equipos finales, pérdida frecuente de acceso a internet, ralentización en las velocidades de subida (upload) y bajada (download) e inhibiciones de Puntos de Accesos. Las interferencias en una infraestructura Wi-Fi corporativa pueden originarse por diversos factores como, superposición de canales, presencia de dispositivos electrónicos que operan en bandas similares, y la coexistencia con otras redes inalámbricas en entornos densamente poblados.

El presente estudio se centra en abordar esta problemática mediante el rediseño técnico de la infraestructura Wi-Fi de la corporación, con el propósito de mitigar las interferencias y mejorar la cobertura de radiofrecuencia. A través de un enfoque basado en el diagnóstico, modelado digital y simulación con herramientas avanzadas como Wireless Insite y complementos, este proyecto busca garantizar una conectividad estable y eficiente en un entorno de trabajo que abarca un área de  $862\text{ m}^2$  y alberga a aproximadamente 100 empleados.

## 1.2 Descripción del Problema

La corporación perteneciente al sector camaronero, opera en una sede principal con un área de  $862\text{ m}^2$ , donde trabajan aproximadamente 100 empleados. La infraestructura Wi-Fi de la empresa ha contado con nueve puntos de acceso modelo UniFi AC Pro-Gen 2, colocados en diferentes sectores para garantizar conectividad estable para dispositivos como laptops, celulares, impresoras, televisores y equipos de proyección. Sin embargo, la red ha llegado a presentar los siguientes problemas recurrentes que han afectar la operatividad diaria: los empleados han experimentado desconexiones esporádicas del servicio Wi-Fi, pérdida simultaneas de acceso a internet, ralentización, inaccesibilidad a la base de datos, entre otros. Estos problemas persisten a pesar de que los puntos de acceso permanecen en línea, según pruebas de conectividad (ping) realizadas desde redes internas y el servidor UniFi, lo que descarta fallos físicos o de hardware.

El problema se manifiesta de manera más crítica en tres a cuatro APs cercanos entre sí, donde se presentan fallos intermitentes en la transmisión de datos de forma simultánea. El análisis preliminar apunta a que las causas radican en saturación de señales, configuración inadecuada, equipos anticuados, solapamiento de canales en la banda de 2.4 GHz y una planificación deficiente de la distribución espacial de los APs. Las variables de interés para este estudio incluyen la intensidad de la señal, el nivel de interferencia, la cobertura RF y la tasa de pérdida de paquetes, las cuales son susceptibles de medición, análisis y optimización mediante herramientas de simulación como Wireless Insite y complementos.

La solución de este problema descrito es importante porque impacta directamente la productividad de los empleados y la estabilidad de los servicios internos de la corporación, afectando la ejecución de tareas críticas. Además, es un desafío actual y relevante, ya que

muchas empresas enfrentan problemas similares en entornos con alta densidad de dispositivos inalámbricos, lo que subraya la necesidad de soluciones técnicas basadas en análisis y diseño.

### **1.3 Justificación del Problema**

La mejora de la infraestructura Wi-Fi de la corporación presenta una necesidad crítica con implicaciones directas en el ámbito operativo. La intermitencia del servicio y las fallas de conectividad degradan la productividad del personal al interrumpir flujos de trabajo y generar retrasos en tareas críticas. Esto no solo impacta la eficiencia interna, sino que también compromete su competitividad dentro del sector camaronero.

En segundo lugar, el problema tiene relevancia técnica y académica ya que la optimización de redes Wi-Fi en entornos corporativos con alta densidad de dispositivos es un desafío común que requiere soluciones. Este proyecto propone un enfoque basado en simulación y análisis predictivo. Además, la mejora de la infraestructura tecnológica de la corporación se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible *Industria, Innovación e Infraestructura*.

Finalmente, la metodología de la solución desarrollada en este proyecto posee un potencial comercial significativo. Dado que muchas empresas enfrentan problemas similares de interferencia y cobertura en sus redes Wi-Fi, la metodología que se aplica para el rediseño propuesto puede servir como un modelo replicable, abriendo oportunidades para la comercialización de servicios de consultoría y diseño de redes inalámbricas. Por estas razones, abordar este problema no solo beneficia a la corporación, sino que también aporta valor al sector corporativo, tecnológico y a la comunidad académica.

## **1.4 Objetivos**

A continuación, se plantean tanto el objetivo general como los específicos de la investigación, los mismo que están orientados a dar solución al problema planteado, así como establecer una guía en el procedimiento metodológico.

### **1.4.1 Objetivo General**

- Rediseñar la infraestructura Wi-Fi Corporativa para mitigar las interferencias y mejorar la cobertura RF.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Diagnosticar las posibles causas de interferencia y problemas de rendimiento en la red Wi-Fi, a partir del análisis de cobertura, orientación, distribución y canales utilizados por los puntos de acceso en la sede principal.
- Modelar digitalmente la infraestructura inicial de la red inalámbrica de la empresa, incorporando parámetros físicos del entorno y configuración de los puntos de acceso.
- Diseñar y simular una propuesta mejorada de la red inalámbrica que permita reducir interferencias y distribuir eficientemente los APs, garantizando una cobertura RF funcional y estable en toda el área de trabajo.

## **1.5 Marco teórico**

La evolución de las redes Wi-Fi en entornos corporativos ha sido un tema ampliamente estudiado, especialmente en contextos con alta densidad de dispositivos en donde la demanda de una conectividad estable y eficiente representa desafíos significativos a la infraestructura de la

red. De acuerdo con la investigación presentada por Vega Maldonado, las redes inalámbricas operan bajo principios de propagación de señales que se ven afectados por factores como la interferencia, la atenuación, la difracción y la reflexión (Vega Maldonado Gendry Eduardo, 2022), que son críticos en espacios cerrados con múltiples puntos de acceso. En el caso de la corporación mencionada anteriormente, la banda de 2.4 GHz, utilizada por los puntos de acceso UniFi AC Pro, es propensa al solapamiento de canales debido a su limitado espectro, un fenómeno bien documentado por (Arévalo, 2022), quien señala que el uso de canales no superpuestos (1, 6 y 11) es una práctica recomendada para minimizar interferencias.

### **1.5.1 Fundamentos de redes inalámbricas.**

El principio de funcionamiento de una red Wi-Fi en parte depende del ancho de banda asignado, canales disponibles y técnicas de modulación que determinan su rendimiento. Las redes Wi-Fi operan principalmente en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz, de acuerdo con una investigación se señala que la banda de 2.4 GHz ofrece mayor alcance, pero menor ancho de banda y mayor susceptibilidad a interferencias, mientras que la banda de 5 GHz proporciona mayor capacidad, pero con alcance reducido (Bernabe, 2024). Dentro de estas bandas, los canales representan segmentos de frecuencia, y el solapamiento ocurre cuando canales adyacentes se utilizan simultáneamente, aumentando la interferencia, como ocurre en la corporación que opera con múltiples APs. Por otra parte, la modulación Ortogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM), utilizada en los equipos Unifi AP AC PRO, corresponde a una técnica para la multiplexación y modulación que permite transmitir datos a altas velocidades dividiendo la señal en múltiples subportadoras ortogonales, aunque su eficiencia depende de las condiciones del entorno y la calidad de la señal (Daniel Felipe Romero Lara, 2024).

### **1.5.2 Estándar IEEE 802.11n**

Introducido en 2009, el estándar 802.11n mejora las redes Wi-Fi con la implementación de tecnología MIMO y velocidades de hasta 600 Mbps en las bandas de 2.4 y 5 GHz. Usa modulación OFDM y canales de 20 o 40 MHz (IEEE, 2009). Sin embargo, en entornos con alta densidad de APs como la corporación camaronera que es nuestro objeto de estudio, el uso en 2.4 GHz puede contribuir al solapamiento de canales y a las interferencias si la planificación no se realiza adecuadamente, un aspecto que este proyecto busca abordar.

El estándar IEEE 802.11ac, introducido en 2013, opera en la banda de 5 GHz, alcanzando velocidades de hasta 1.3 Gbps con hasta ocho flujos espaciales, canales de hasta 160 MHz y con esquema MU-MIMO (Multiuser-Multiple Input Multiple Output) (IEEE-Standard, 2013). Es ideal para reducir la congestión en infraestructuras como la de la corporación mencionada, pero requiere una redistribución estratégica de puntos de acceso para optimizar la cobertura.

El estándar IEEE 802.11ax, una tecnología lanzada en 2019 que está diseñado para entornos de alta densidad de usuarios y alta concentración de tráfico, usando canales más anchos para alcanzar hasta 9.6 Gbps (Calderón Cruz, 2025).

### **1.5.3 Factores que afectan el rendimiento de redes Wi-Fi**

El desempeño de las redes Wi-Fi está condicionado por diversos factores, como interferencias co-canal y adyacente, que determinan la calidad de la señal, la velocidad de transferencia de datos y la satisfacción del usuario, especialmente en entornos corporativos como el de la empresa bajo estudio, donde operan nueve puntos de acceso UniFi AC Pro en un área reducida. Estos factores abarcan diversos aspectos de la propagación de señales y la gestión de

recursos, y su comprensión resulta importante para diseñar soluciones efectivas que reduzcan las interferencias y mejoren la cobertura de radiofrecuencia.

La interferencia co-canal emerge como un factor crítico cuando múltiples puntos de acceso operan en el mismo canal dentro de la misma banda de frecuencia (Burbano Rivera, 2020). Este tipo de interferencia tiende a reducir la relación señal-ruido por lo que degrada el rendimiento, especialmente en escenarios de alta densidad de dispositivos. Por su parte, la interferencia adyacente ocurre cuando canales contiguos se solapan debido a la proximidad de los APs (Álava Cruzatty, 2018), un problema documentado en entornos con configuraciones deficientes de canales, como las observadas preliminarmente en la empresa de estudio.

Otro factor significativo es la interferencia electromagnética. Esta es generada por dispositivos externos que operan en frecuencias cercanas a las bandas Wi-Fi, como microondas o equipos electrónicos (Rojas Torres, 2005), interferencia que introduce ruido adicional en la señal, afectando la calidad de la conexión.

Por otro lado, la atenuación de la señal por obstáculos físicos y materiales desempeña un rol clave. Elementos como paredes, muebles y otros objetos del entorno absorben o reflejan las ondas de radio, reduciendo la cobertura RF (Antonio, 2025). Esta situación es evidente en la empresa, ya que la estructura interna de su sede con múltiples divisiones contribuye a esta atenuación.

#### **1.5.4 Tecnologías y herramientas para simulación de redes**

La simulación de las redes Wi-Fi desempeña un papel crucial en el diseño y mejora de infraestructuras inalámbricas, permitiendo prever el comportamiento de la señal en entornos



complejos como es el caso de la empresa de estudio. Entre las herramientas más destacadas se encuentra Eka-PRO, que se considera una solución integral que facilita la planificación, validación y resolución de problemas mediante mapas de cobertura y análisis espectral en tiempo real (Jaramillo Namicela, 2023). Su capacidad para simular tanto la distribución espacial como la configuración de los puntos de acceso permite llevar a cabo análisis más exhaustivos de interferencias co-canal, solapamientos de cobertura y densidad de usuarios lo cual resulta esencial para mejorar el rendimiento de la red en entornos de alta complejidad.

Por otro lado, Wireless InSite proporciona una alternativa de análisis más avanzada, específicamente diseñada para modelar con alta precisión la propagación de la señal en entornos tridimensionales. Esto incluye la consideración de mecanismos de propagación como reflexiones, difracciones y retardos en infraestructuras, así como la evaluación de parámetros críticos, como el solapamiento de coberturas o la atenuación en espacios con múltiples obstáculos. Al combinar ambas herramientas e integrar información real del entorno, es posible llevar a cabo un rediseño más preciso y robusto de la red, mejorando tanto la ubicación de los puntos de acceso como la gestión de interferencias en un escenario de alta densidad. Esto proporciona una base más sólida para garantizar una conectividad estable, de alta capacidad y resiliente capaz de dar soporte a las exigencias de tráfico y densidad de dispositivos.

### **1.5.5 Parámetros a modelar**

La modelación de parámetros constituye una etapa fundamental para evaluar y mejorar el rendimiento de infraestructuras inalámbricas. Estos parámetros permiten identificar alto tráfico, mitigar interferencias, mejorar la cobertura y garantizar una conectividad estable.

La intensidad de señal, comúnmente medida como Received Signal Strength Indicator (RSSI), representa la potencia de la señal recibida en un punto específico. De acuerdo a UniFi un valor de RSSI por encima de -67 dBm se considera adecuado para aplicaciones corporativas, según estándares de la industria (UniFi, N.F).

La relación señal a ruido (Signal-to-Noise Ratio, SNR) mide la relación entre la potencia de la señal deseada y el ruido de fondo, siendo un indicador crítico de la calidad de la conexión (Cabezas Ruiz, 2025). Un SNR superior a 25 dB asegura un rendimiento óptimo, mientras que valores inferiores indican interferencias significativas (Hollyland, 2025). Para la empresa de estudio, donde el solapamiento de canales en la banda de 2.4 GHz causa interferencia y posible ruido adicional, la evaluación del SNR resulta esencial para determinar el rendimiento del sistema.

La relación señal a ruido más interferencia (Signal-to-Interference-Plus-Noise Ratio, SINR) se define como la potencia de una señal de interés dividida entre la suma de la potencia de interferencia (de todas las demás señales interferentes) y la potencia de algún ruido de fondo (Teltonika, 2024). Este parámetro será relevante en el proceso de análisis debido a que permitirá conocer los niveles de interferencia en la red inalámbrica.

La pérdida de paquetes, definida como el porcentaje de datos perdidos durante la transmisión, afecta directamente la confiabilidad de la red (Fortinet, 2023). Los niveles superiores al 1% pueden provocar desconexiones y fallos en aplicaciones críticas (FasterCapital, N.F). La medición de este parámetro permite identificar zonas de alta pérdida y proponer ajustes en la configuración de los APs.

## Capítulo 2

## 2.1 Metodología.

El capítulo detalla los procesos metodológicos y técnicos empleados para el rediseño de la infraestructura Wi-Fi, con la finalidad de mitigar las interferencias existentes en la infraestructura inicial y mejorar la cobertura de radiofrecuencia. La metodología planteada se organizó en tres fases principales, alineadas con los objetivos definidos en el Capítulo 1. En el diagrama 1 se detalla las fases a seguir:

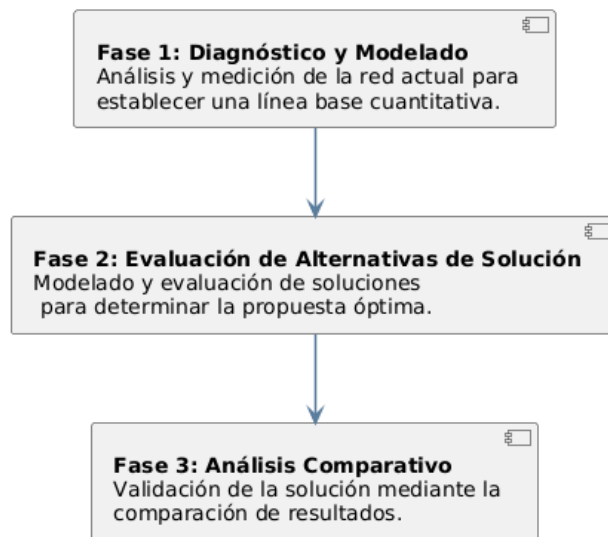


Ilustración 1. Flujo de Fases para el desarrollo del proyecto.

Durante el desarrollo del proyecto integrador se utilizaron herramientas de simulación de grado profesional como Wireless InSite y Eka-Pro para el modelamiento del comportamiento de la red inalámbrica, evaluación de cobertura y simulación de soluciones, y MATLAB para el procesamiento y visualización de datos comparativos. Este enfoque permitió identificar las causas subyacentes de los problemas observados, como desconexiones esporádicas y solapamiento de cobertura radioeléctrica, y proponer una solución optimizada para los puntos de acceso UniFi AC Pro distribuidos en el área de estudio. La estrategia se basó en un análisis

cuantitativo de datos recolectados y simulaciones predictivas, garantizando una intervención técnica fundamentada y aplicable.

Tabla 1. Cuadro comparativo de herramientas de simulación utilizadas.

Criterio de Comparación	Eka-Pro	Wireless InSite.
<b>Función Principal</b>	Diseño y validación de sistemas Wi-Fi	Modelado basado en el trazado de rayos para un análisis profundo del canal
<b>Fortaleza Distintiva</b>	Modelado rápido de redes basado en estándares IEEE 802.11	Precisión de grado científico, ideal para el análisis riguroso de trayectos múltiples
<b>Precisión y Enfoque</b>	Alta precisión, calibrada para el comportamiento de redes Wi-Fi en entornos empresariales	Análisis profundo y destinado para estudios de comportamientos realistas
<b>Visualizaciones Clave</b>	Mapas de calor de RSSI, SNR e Interferencia	Datos de propagación de alta fidelidad que validan el comportamiento de la señal
<b>Complejidad y Uso Ideal</b>	Moderada. Generación de mapas de calor de forma inmediata y software amigable	Alta. Enfocada en investigación, diseño profundo y análisis detallado del comportamiento de la señal
<b>Rol en proyecto</b>	Herramienta complementaria para modelar, simular y optimizar la solución WLAN	Herramienta principal para simular y confirmar con rigor los fenómenos de propagación

La Tabla 1 ofrece un análisis comparativo entre las herramientas Eka-Pro y Wireless InSite, enfocándose en sus diferencias clave de precisión y funcionalidad. Esta comparación justifica la función específica asignada a cada herramienta para cumplir con los objetivos del proyecto integrador.

## 2.2 Enfoque y fases de estudio

El rediseño de la infraestructura Wi-Fi se llevó a cabo mediante un enfoque técnico estructurado en tres fases, descritas brevemente en la Sección 2.1. La primera corresponde al diagnóstico de la red Wi-Fi y modelado del escenario actual, donde se levantó y analizó información de la red existente. La segunda etapa aborda la formulación y evaluación de

alternativas, a través del uso de herramientas especializadas. Finalmente, la tercera fase se centra en el diseño y la validación de la solución propuesta.

2.3 Fase I: Diagnóstico y Modelado del Escenario Actual

En esta fase se llevó a cabo el diagnóstico del estado inicial de la red inalámbrica, identificando varios factores que han afectado negativamente su desempeño. Entre los hallazgos más importantes, se identificaron puntos de acceso con una antigüedad aproximada de seis años, los cuales han permanecido en servicio durante dicho periodo, una alta densidad de dispositivos APs en áreas reducidas y la configuración de anchos de canal de 40 MHz (ver Ilustración 2) en espacios que no lo requieren generando la aparición de interferencias, intermitencias en la conectividad, inhibiciones de algunos puntos de accesos y la degradación de la calidad del servicio. El análisis inicial ha permitido establecer una línea base cuantitativa del comportamiento de la red, que servirá como referencia técnica para evaluar el impacto de las soluciones propuestas. Esta fase integra el primer y segundo objetivo específico del estudio, enfocado en el diagnóstico de interferencias y problemas de rendimiento.

Name	Ch. 2.4 GHz
WIFI-COMEDOR	1 (20 MHz)
WIFI-DC	1 (40 MHz)
WIFI-EXTERIOR-GF	1 (40 MHz)
WIFI-EXTERIOR-PRESIDENCIA	11 (40 MHz)
WIFI-GARITA	11 (40 MHz)
WIFI-GERENCIA-GENERAL	11 (40 MHz)
WIFI-LACOSTA	11 (40 MHz)
WIFI-LOGISTICA	1 (40 MHz)
WIFI-OFICINA-GERENCIA-PROYECTOS	1 (40 MHz)
WIFI-OFICINA-GF	1 (40 MHz)
WIFI-PASILLO-CAFETERIA	1 (20 MHz)
WIFI-PAUL-EXTERIOR	1 (20 MHz)
WIFI-RACK-TEKALARY	1 (40 MHz)
WIFI-RRHH	1 (40 MHz)

Ilustración 2. Puntos de acceso de la sede principal y ancho de banda asignado por canal en 2.4 GHz.

### 2.3.1 Levantamiento de Información y Caracterización del Entorno

Como resultado de esta fase, el diagnóstico de la red inalámbrica existente identificó un conjunto de anomalías críticas que degradan significativamente su rendimiento y fiabilidad. La problemática central se atribuye a una severa interferencia por co-canal, originada por una planificación deficiente de la infraestructura. Específicamente, se detectó la implementación de anchos de canal de 40 MHz en un entorno de alta densidad de APs. La configuración inadecuada para dicho escenario reduce el número de canales no superpuestos disponibles de tres a uno en la banda de 2.4 GHz, aumentando la probabilidad de auto interferencia. Este factor se ve intensificado por una distribución física inadecuada de los APs, dando como resultado un solapamiento de la cobertura y una falta de optimización en la potencia de transmisión. Las **Ilustraciones 3 y 4** ilustran la distribución espacial y la orientación de los APs tal como fueron modelados en el entorno de Wireless InSite. Del mismo modo, la **Ilustración 5** presenta el mismo despliegue, pero visualizado mediante la interfaz de simulación de Eka-Pro.

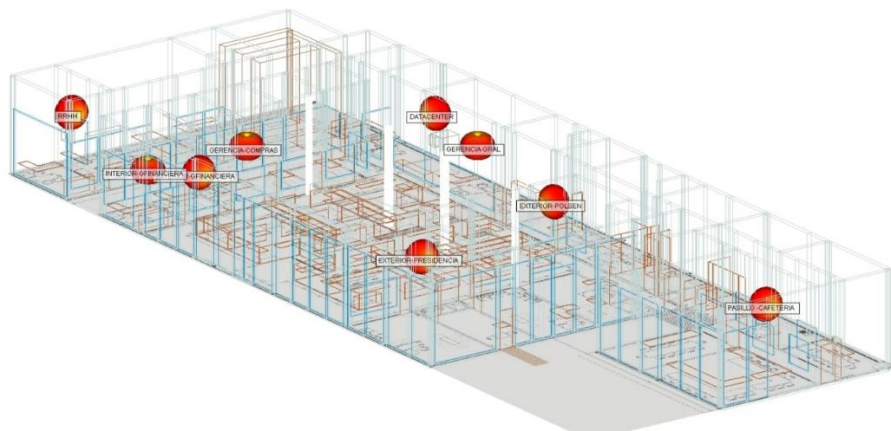


Ilustración 3. Distribución Espacial y Orientación (Horizontal/Vertical) de los Puntos de Acceso - Wireless InSite 3D



Ilustración 4. Distribución Espacial de los Puntos de Acceso Identificados Durante el Levantamiento de Información - Wireless InSite 3D.



Ilustración 5. Distribución Espacial de los Puntos de Acceso Identificados Durante el Levantamiento de Información - Eka-pro.

Las consecuencias de esta configuración se manifiestan en múltiples capas. A nivel de la capa de enlace, la alta interferencia incrementa la saturación del medio y la probabilidad de colisiones, lo que dispara los mecanismos de retransmisión, conforme al protocolo CSMA/CA (Sammour, Chalhoub, & Habachi, 2024). Esta alta tasa de retransmisiones ha generado una carga computacional elevada sobre los APs, conduciendo al agotamiento de sus recursos de CPU y



memoria, como se ilustra en la **Ilustración 6**. Dicho agotamiento generaba fallos intermitentes en los equipos, que se manifestaban como estados de inoperatividad temporal. Para el usuario final, esta inestabilidad representaba una conexión deficiente, caracterizada por alta latencia, jitter e interrupciones recurrentes de la conexión.

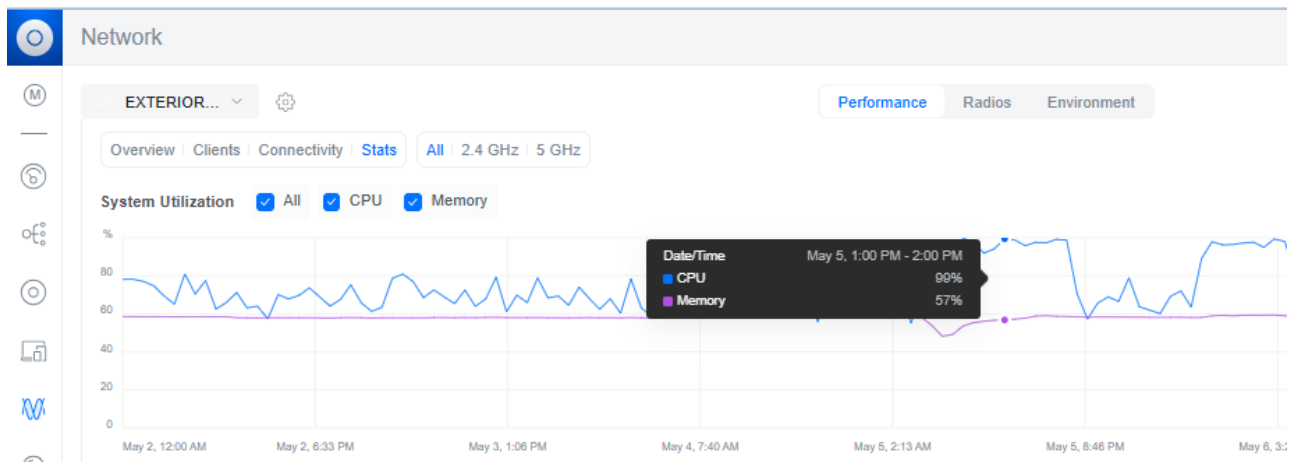


Ilustración 6. Niveles Críticos de Utilización de Recursos del AP Exterior-Presidencia.

La instalación física inadecuada de los puntos de acceso constituyó otro factor identificado que degradaba el rendimiento de la red. Se constató que un número significativo de equipos fue montado verticalmente sobre las paredes, en lugar de una instalación horizontal en el tumbado en zonas claves. Dicha práctica alteraba negativamente el patrón de radiación de las antenas, ocasionando una reducción del alcance efectivo y la creación de zonas con baja intensidad de señal con una consecuente conectividad intermitente.

### 2.3.2 Modelado Digital del Estado Inicial

Para el levantamiento digital del estado inicial de la infraestructura WiFi, se realizó un levantamiento detallado de la infraestructura física e información técnica de la oficina. Se inició con la elaboración del plano arquitectónico en AutoCad, posterior a esto se construyó el modelo

digital en las herramientas de simulación Eka-Pro y Wireless InSite, importando el plano arquitectónico y configurando las propiedades electromagnéticas de los materiales constructivos y obstáculos (ver **Ilustración 7**). Los APs fueron ubicados virtualmente conforme a su posición real (ver **Ilustración 3**), configurando sus parámetros de transmisión y estándares de operación, como se ilustra en la **Ilustración 8**.

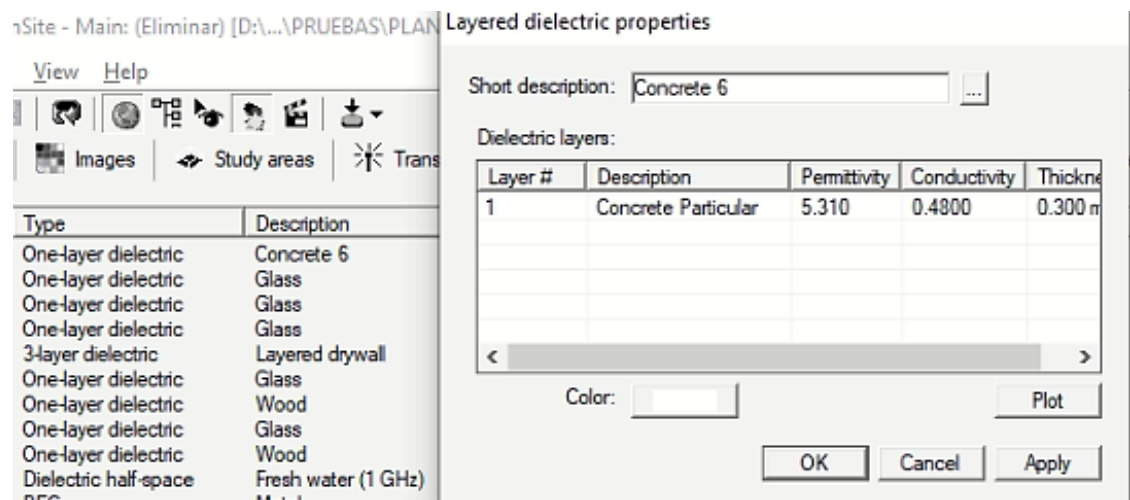


Ilustración 7. Configuración de Parámetros de Materiales para Simulación de Cobertura RF

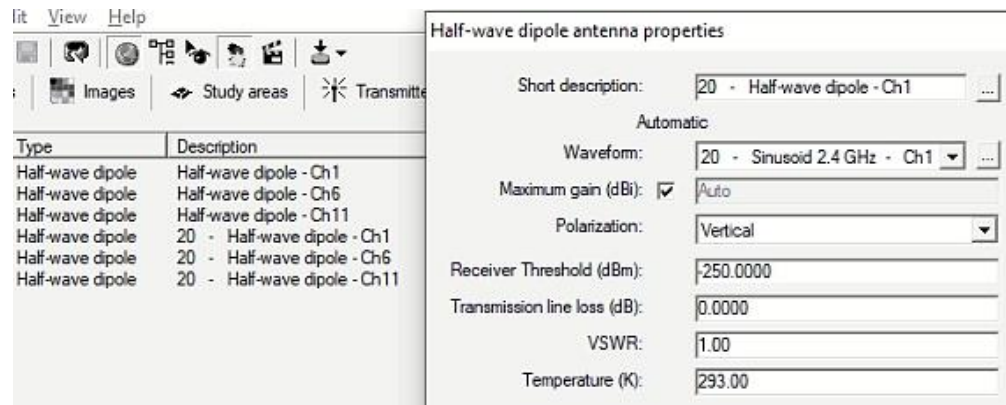


Ilustración 8. Configuración de Parámetros de transmisión para Simulación de Cobertura RF

### 2.3.3 Simulación y Análisis

Una vez realizado el levantamiento del escenario inicial con todas sus características se realizaron simulaciones predictivas y se obtuvieron una serie de datos que permitieron obtener mapas de calor de potencia recibida (RSSI) (Véase Anexo A) y la relación señal-interferencia-ruido (SINR) (Véase Anexo B) por canal; esto permitió identificar áreas de baja cobertura, zonas de interferencia y superposición excesiva. Los datos obtenidos fueron procesados en Matlab, donde se desarrolló un código para graficar, procesar y analizar el comportamiento de la red WiFi. Para este análisis, es importante diferenciar entre los mapas de calor de RSSI y SINR: el mapa de SINR, como se muestra en la **Ilustración 9**, evalúa la calidad de la señal considerando la relación entre la potencia de la señal deseada y la suma de interferencias y ruido, reflejando la capacidad de la red para mantener conexiones estables frente a interferencias. Por el contrario, el mapa de RSSI mide únicamente la intensidad de la señal recibida en un punto específico lo que lo hace útil para evaluar la cobertura de un único AP. Sin embargo, un SINR bajo, incluso en presencia de un RSSI elevado llega a degradar directamente la calidad de la señal.

Con el fin de obtener, el SINR por receptor se tomó en cuenta el canal en el que trabaja cada transmisor por lo que agrupando transmisores por canal se obtuvo el SINR para los transmisores que trabajan en el canal 1 y 11. La **Ilustración 9** se puede observar el mapa de calor del SINR de los transmisores que trabajan en el canal 1, el mapa de calor indicó que la cobertura estaba limitada por un bajo SINR. Se constató que, aunque existían regiones acotadas con una SINR superior a 13 dB, la mayor parte del área de interés presentaba valores inferiores a este umbral, llegando a producir una pérdida significativa de la cobertura.

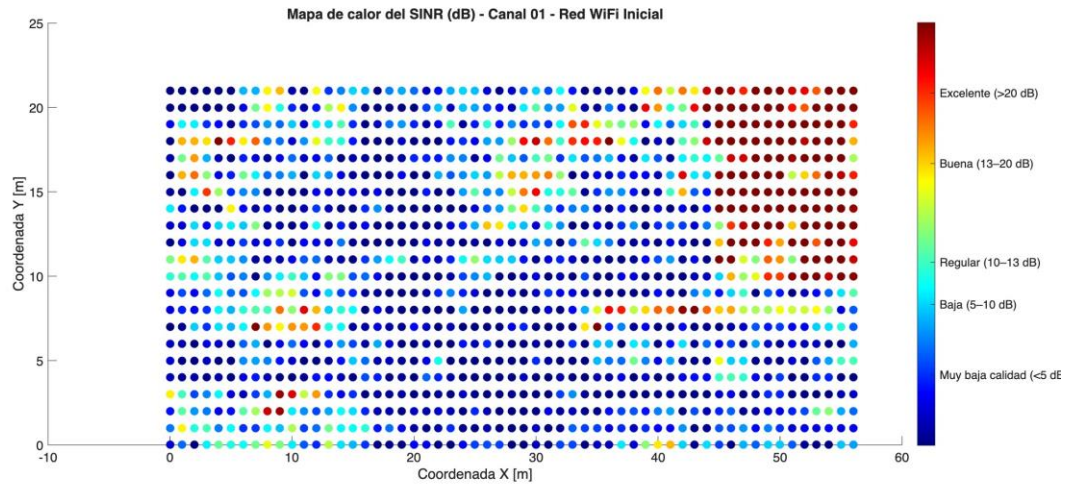


Ilustración 9. Mapa de calor del SINR para los transmisores del canal 1

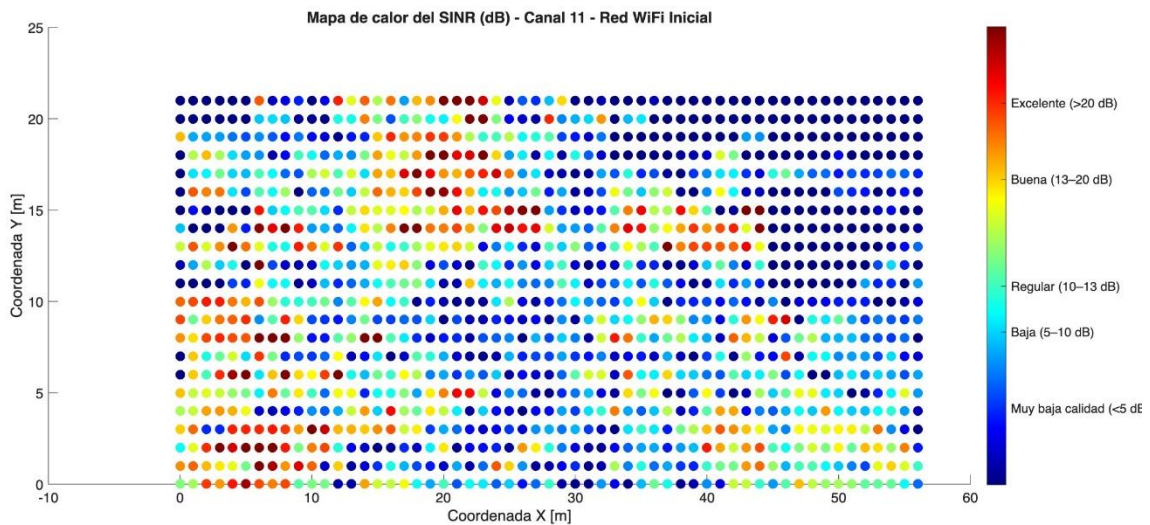


Ilustración 10. Mapa de calor del SINR para los transmisores del canal 11

## 2.4 Fase II: Formulación y Evaluación de Alternativas de Solución

Una vez concluida la fase I se obtuvo la información y datos necesarios para empezar a realizar la Formulación y Evaluación de Alternativas de Solución optando por técnicas enfocadas en la mitigación de interferencias y mejora de cobertura RF. Las posibles propuestas de rediseño que se detallaran en esta fase se formularon considerando la configuración de canales,

renovación de equipos, reubicación física de puntos de acceso, y la actualización de parámetros operativos. Esta fase se realizó en concordancia con el tercer objetivo específico, razón por la cual se comparó el comportamiento proyectado de cada alternativa de solución por medio de simulaciones predictivas y análisis cuantitativos, con el fin de elegir una alternativa de solución que se alinee con los objetivos de este proyecto y la situación real de la corporación.

#### **2.4.1 Descripción de las Alternativas de Solución**

Con fundamento en el análisis, diagnóstico y simulaciones preliminares se formularon dos alternativas de solución orientadas en mitigar los problemas de interferencia y mejorar la cobertura de radiofrecuencia con un enfoque de mejora para el rendimiento general de la red Wi-Fi corporativa. Cada una de las propuestas fue diseñada desde un enfoque técnico con el fin de garantizar el rendimiento y disponibilidad a corto y mediano plazo. A continuación, se presenta y describe cada una de las propuestas de solución.

## **Propuesta 1: Rediseño de Infraestructura y Configuración de Equipos**

La primera propuesta consistió en realizar un rediseño completo de la infraestructura inalámbrica mediante la incorporación de equipos mejorados, capaces de ofrecer un mejor rendimiento y mayor capacidad de gestión de usuarios simultáneos. Esta solución contempló el reemplazo de los puntos de acceso existentes por dispositivos que soportaban tecnologías avanzadas para mejorar significativamente la eficiencia espectral, la cobertura y la calidad del servicio. Los equipos propuestos ofrecen un rendimiento superior en la banda de 2.4 GHz, alcanzando velocidades máximas teóricas de hasta 688 Mbps (Unifi U7-Pro) y 574 Mbps (Cambium XE3-4X00A00-RW), en contraste con los 450 Mbps del modelo anterior. Más importante aún, la capacidad para gestionar clientes simultáneos es mayor, soportando más de 300 conexiones por AP.

Adicionalmente, el rendimiento de radiofrecuencia de los equipos propuestos es notablemente superior, destacando su capacidad para operar a mayores niveles de potencia de transmisión. Modelos como el Cambium XE3-4 son capaces de alcanzar hasta 30 dBm un valor considerablemente más alto que el de la infraestructura inicial (22 dBm). Una mayor potencia de transmisión incrementa directamente la intensidad de la señal recibida, lo que representa un mayor alcance de cobertura y una mejor penetración de obstáculos. No obstante, se realizaron diversas pruebas para el ajuste de la potencia de transmisión durante la fase de diseño para controlar el tamaño de cada celda de cobertura y mitigar el riesgo de generar interferencia co-canal.

Tabla 2. Requisitos de ancho de banda por aplicación (cisco)

Application by Use Case	Nominal Throughput
Web - Casual	500 kilobits per second (Kbps)
Web - Instructional	1 Megabit per second (Mbps)
Audio - Casual	100 Kbps
Audio - Instructional	1 Mbps
On-demand or Streaming Video - Casual	1 Mbps
On-demand or Streaming Video - Instructional	2-4 Mbps
Printing	1 Mbps
File Sharing - Casual	1 Mbps
File Sharing - Instructional	2-8 Mbps
Online Testing	2-4 Mbps
Device Backups	10-50 Mbps

El dimensionamiento de la red se basó en un modelo de planificación de capacidad, adaptado de las guías de diseño de la industria (AccessAgility, 2017). Tras analizar el consumo real promedio de la red, obtenidos de la consola de gestión de red (**Véase anexo C**), se clasificó al personal dentro del perfil de "On-demand or Streaming video - Instructional" (**Véase Tabla 2**), caracterizado por el uso de aplicaciones empresariales y navegación web compleja, lo que resultó en la adopción de un consumo promedio de 3 Mbps por usuario activo. Para el cálculo se partió de la estimación consumo de ancho de banda por usuario, los usuarios activos, la tasa de concurrencia, la capacidad de clientes y finalmente el rendimiento objetivo por AP.

$$\text{Número de APs} = \frac{\text{Capacidad de clientes}}{\frac{\text{Rendimiento de AP}}{\text{Consumo de BW por usuarios} * \% \text{ usuarios activos} * \text{tasa de concurrencia}}} =$$

$$\text{Número de APs} = \frac{\frac{120 \text{ Usuarios}}{20 \text{ Mbps}}}{3 \text{ Mbps} * 0.5 * 0.5} = 4.5 \text{ APs} \approx 5 \text{ APs Aproximadamente}$$

El diseño se basa en la implementación de cinco puntos de acceso distribuidos estratégicamente en zonas clave (**Ver Ilustración 11**), seleccionadas a partir de estudios de cobertura y análisis de demanda. La reducción en el número de transmisores no solo optimiza la gestión de recursos y reduce la interferencia entre equipos, sino que también permite una administración más sencilla y un menor consumo energético. Además, se considera una configuración adecuada de canales y anchos de banda, junto con el ajuste de potencias de transmisión, para maximizar el SINR y garantizar una cobertura uniforme y estable en todas las áreas críticas.

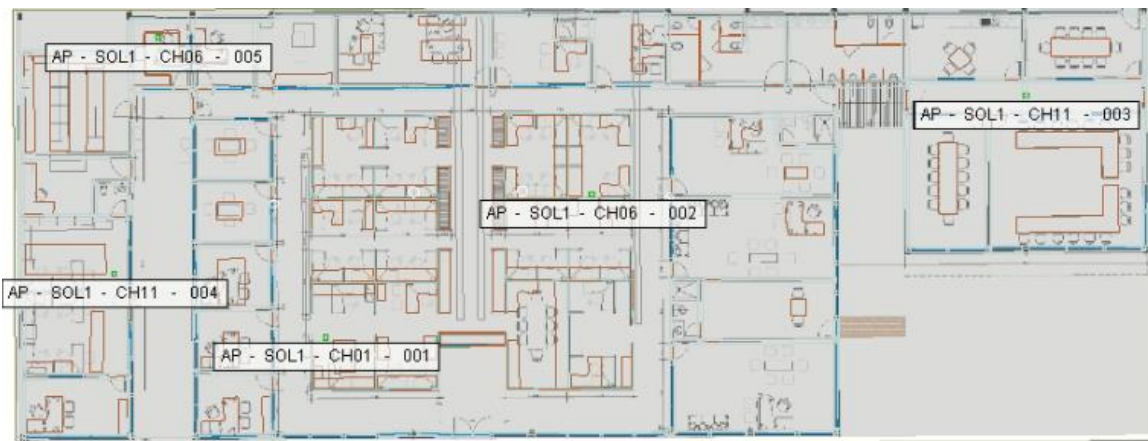


Ilustración 11. Distribución Espacial y Orientación de los Puntos de Acceso para Solución 1

### **Propuesta 2: Rediseño Basado en la Infraestructura Inicial**

La segunda alternativa de solución se centró en un enfoque de mejora lógica, cuyo propósito fue validar si una reconfiguración técnica de la infraestructura existente era suficiente para resolver las deficiencias de rendimiento de la red. Esta propuesta, que no incurrió en costos de adquisición de nuevos equipos ni reubicación, abordó directamente la problemática de interferencia por co-canal. Para ello, se ejecutó una reducción del 33% en la densidad de equipos, pasando de los nueve APs UniFi AC Pro originales a seis APs activos. La selección de los



equipos a mantener se basó en su ubicación estratégica, con el fin de eliminar aquellos que introducían mayor redundancia y solapamiento de cobertura en la red.

Los ajustes técnicos para los seis puntos de acceso activos fueron un pilar fundamental en esta propuesta. Para mitigar de forma contundente la interferencia, se estandarizó el ancho de canal a 20 MHz en la banda de 2.4 GHz para todos los puntos de acceso. Dicha acción exigió una planificación efectiva en el uso de las bandas de frecuencias (canales) disponibles, mediante el cual se distribuyeron los APs exclusivamente entre los canales no superpuestos 1, 6 y 11. Adicionalmente, en lugar de basarse en la reubicación física de los equipos y para compensar la desactivación de tres equipos y asegurar una cobertura completa en toda el área de estudio, la potencia de transmisión fue ajustada de 17 dBm a 20 dBm. Cabe destacar que, se realizaron pruebas para establecer un balance entre el alcance de la cobertura y la mitigación de la Interferencia Co-Canal.

Un hallazgo clave de este proceso fue que para los puntos de acceso que compartían el canal 6, se aplicó una estrategia de ajuste de potencia considerando su ubicación, orientación y la cobertura objetivo a cubrir. El AP "DATACENTER", ubicado en un entorno cerrado y próximo a otro transmisor, se configuró con una potencia baja de 10 dBm para crear una celda de cobertura reducida y evitar interferencia. Por otra parte, el AP "EXTERIOR-PRESIDENCIA", ubicado en un espacio más abierto, se ajustó a 20 dBm para garantizar una cobertura más amplia sin generar interferencia perjudicial en el AP "DATACENTER".

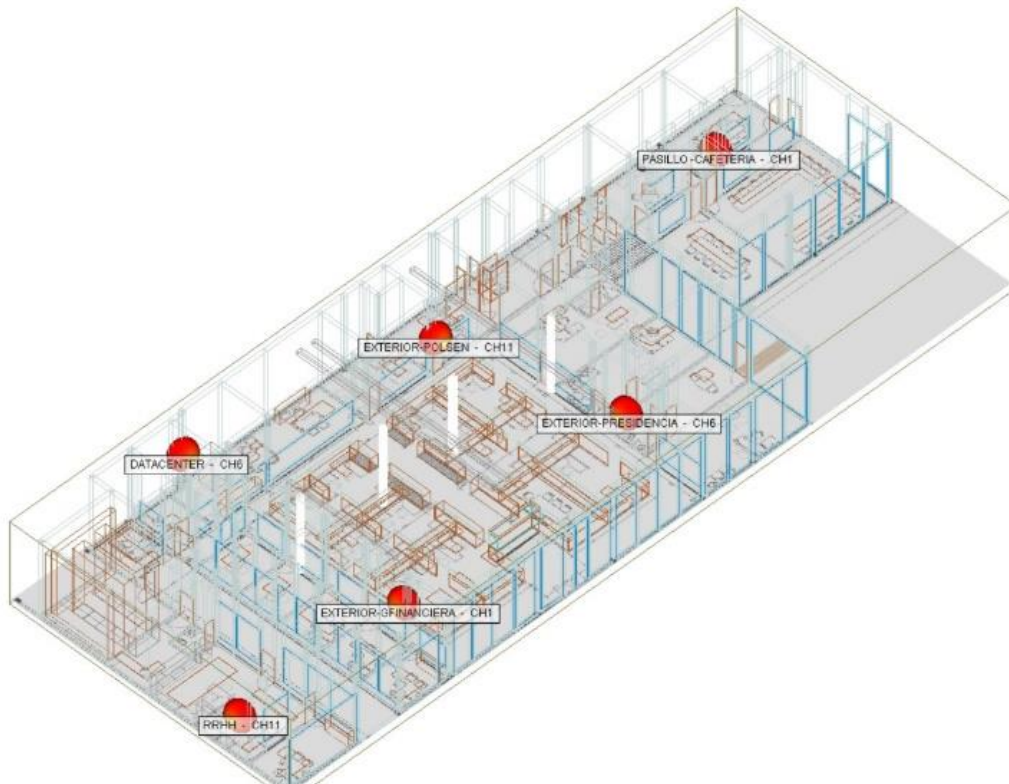


Ilustración 12. Distribución Espacial y Orientación de los Puntos de Acceso para Solución 2

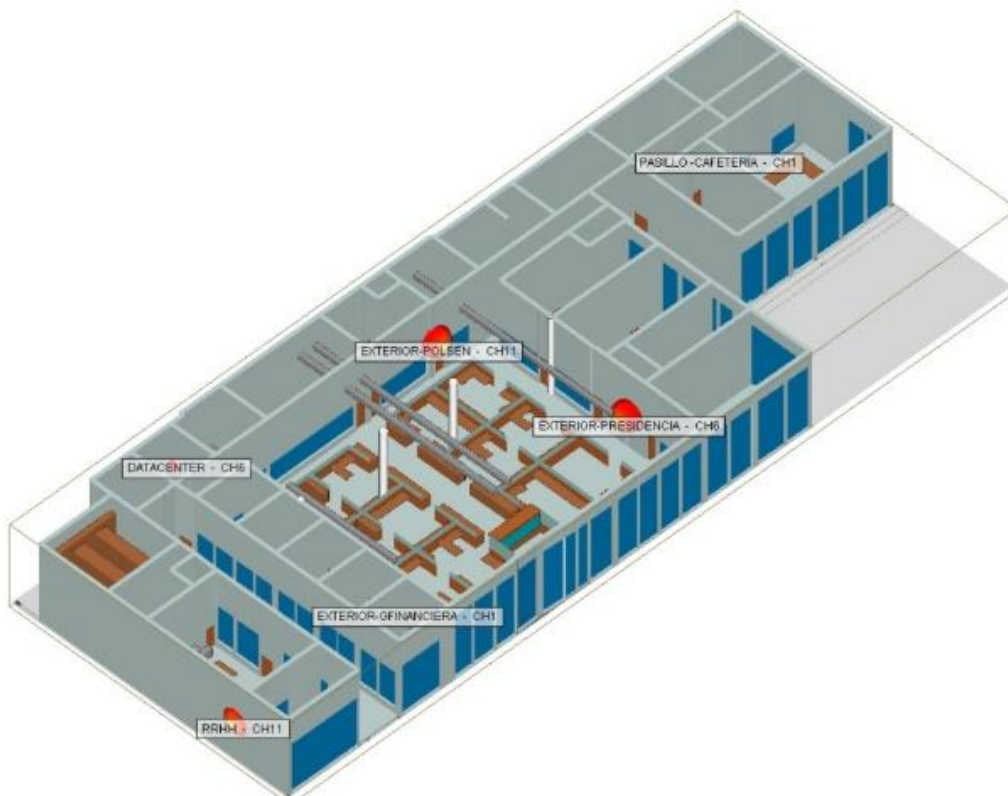


Ilustración 13. Distribución Espacial y Orientación de los Puntos de Acceso - Solución 1

## **2.5 Fase III: Diseño Conceptual y Validación de Propuesta seleccionada.**

La selección de la Propuesta 1 se fundamenta en el análisis técnico de los niveles de potencia de radiofrecuencia recibidas en la infraestructura inicial. El diagnóstico determinó que la disposición vertical de los puntos de acceso comprometía su rendimiento, al distorsionar el patrón de radiación y generar una distribución de cobertura ineficiente e irregular. Este factor, sumado a la excesiva densidad de APs, generaba una elevada Interferencia Co-Canal.

La solución propuesta mejora la topología física de la red mediante la reducción de la densidad de APs y su reubicación en posiciones estratégicas con montaje horizontal (tumbado), garantizando una propagación de señal eficiente. Adicionalmente, se implementó la reasignación de canales no superpuestos y el ajuste de potencias de transmisión que minimizan las interferencias. Estas mejoras reducen la probabilidad de colisiones y la tasa de retransmisión de tramas, aliviando la carga de procesamiento y memoria en los APs.

## Capítulo 3

### **3.1 Introducción al Análisis Comparativo**

Este capítulo describe la transición entre la metodología aplicada y los resultados obtenidos en el estudio, simulación y rediseño de la infraestructura Wi-Fi de la corporación. El problema identificado fue la degradación del rendimiento de la red, atribuida a tres factores principales: interferencias co-canales derivadas de una asignación inadecuada de frecuencias y ancho de banda, ubicación y orientación deficientes de APs, y configuraciones inapropiadas. La definición de una línea base ha permitido evaluar las soluciones propuestas y su impacto en el desempeño de la red, con el objetivo de garantizar una infraestructura más eficiente, confiable y robusta.

El propósito de este capítulo es presentar los resultados de las simulaciones para evaluar el desempeño de los tres escenarios distintos. En el primero, denominado Estado o infraestructura inicial caracterizada por la utilización de nueve APs con una distribución espacial deficiente. El segundo escenario plantea un rediseño con cinco APs nuevos, estratégicamente ubicados para maximizar la cobertura y minimizar las interferencias. Finalmente, el tercer escenario evalúa los efectos de una reconfiguración de la infraestructura inicial, reduciendo el número de APs a seis, estandarizando los canales a un ancho de banda de 20 MHz y ajustando la potencia de transmisión.

### **3.2 Análisis Comparativo de la Calidad de la Señal (SINR)**

El análisis se fundamenta en la evaluación de indicadores clave de rendimiento, con especial énfasis en el indicador de intensidad de la señal recibida (RSSI) y la relación señal a interferencia más ruido (SINR), que permite cuantificar la calidad de la señal en cada escenario.

Los resultados presentados buscan demostrar que la Propuesta 1 constituye una solución eficaz, garantizando un mejor rendimiento frente a las limitaciones identificadas en la red original.

### **3.2.1 Análisis Comparativo del Rendimiento de la Red mediante FDP**

Para evaluar la Relación Señal-Interferencia-Ruido de cada red Wi-Fi se ha analizado la Función de Densidad de Probabilidad (FDP) de cada SINR obtenido por canal. Este análisis permite determinar cómo se distribuyen los valores del SINR en cada red y a su vez evaluar el desempeño y calidad del servicio de cada red.

Para la red Wi-Fi del estado inicial se realiza el análisis de los canales 01 y 11, teniendo en cuenta cada uno de los 9 transmisores de la red y el respectivo canal en el que operan. En el canal 01 operan 7 APs, mientras que en el canal 11 operan 2 APs.

En la **ilustración 14** se muestra la Función de densidad de probabilidad (FDP) del canal 1 donde se evidencia una situación crítica pues presenta un valor pico de SINR de 0.48 dB con una densidad de probabilidad de 0.07 esto indica que la mayoría de los valores de su SINR están cerca de 0 dB. A pesar de que presenta una distribución sesgada a la derecha con valores altos de SINR estos tienen una baja densidad lo cual demuestra que solo una pequeña parte de la red tiene un SINR de buena calidad. Su área central se encuentra en el rango de -4.51 dB a 22.08 dB con un nivel alto de densidad de probabilidad en las regiones consideradas deficiente e inaceptable, se destaca una media cercana a 0 dB y una desviación estándar altamente variable con zonas con SINR por debajo de los 5 dB, esto más la presencia de valores de SINR negativos demuestran que la interferencia y ruido superan las condiciones óptimas de la señal para el canal 1 provocando fallas en la red.

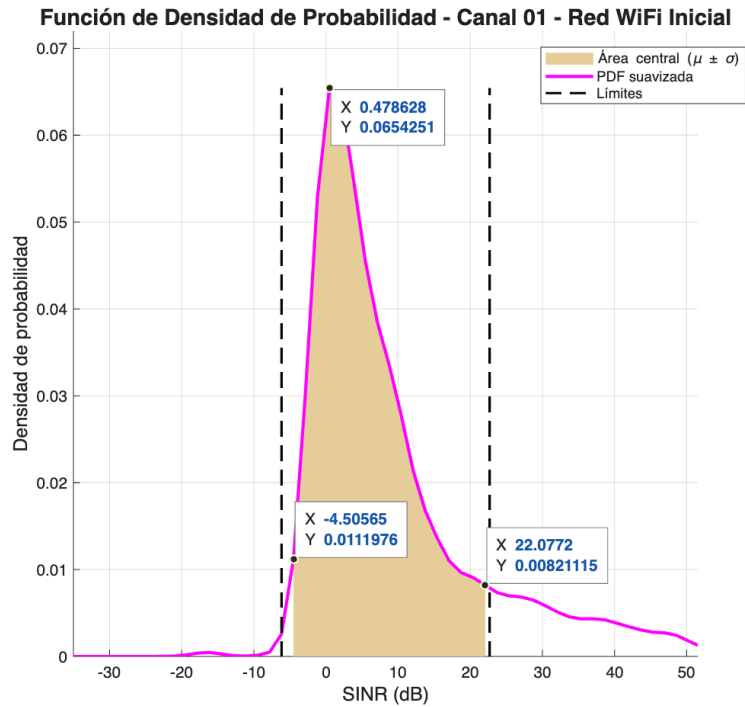


Ilustración 14. FDP perteneciente al canal 01 de la infraestructura inicial

En la **ilustración 15** se observa la FDP para el SINR del canal 11. Se puede notar un valor pico de SINR de 7.24(dB) con una densidad de probabilidad de 0.039, siendo este el valor más frecuente entre los datos de SINR para el canal 11, se debe destacar que este valor pico está por debajo de los 15 (dB) típicos de SINR para que se considere una red Wi-Fi de buen servicio. La red tiene presencia de valores de SINR negativos lo cual indica que una porción de usuarios sufre interferencias severas o ruido dominante. A demás tiene una alta dispersión de valores, esto evidencia que hay receptores con SINR muy bajos y otros con valores más altos, esto se puede notar en su área central que va de -22.77(dB) a 30.41 (dB) lo cual refleja una red desigual y mal balanceada.

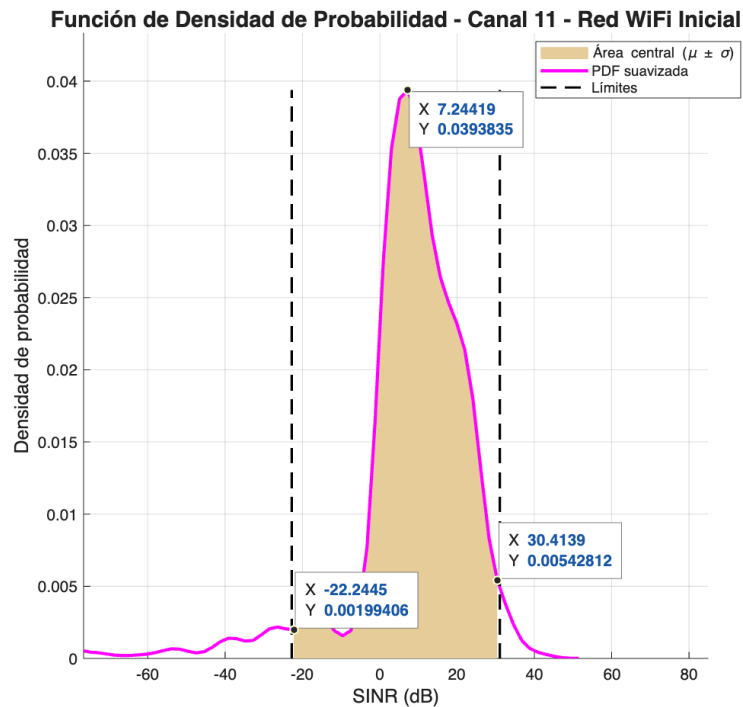


Ilustración 15. FDP Canal 11 red inicial

Para la red WiFi propuesta 01 se distribuyeron 5 APs en 3 canales, se propuso el uso del canal 1 para un AP, mientras que los canales 6 y 11 operan con 2 APs cada uno. A continuación, se evalúa la FDP del SINR y/o SNR de sus 3 canales.

Tal y como se observa en la **ilustración 16** la FDP del SNR del canal 1 presenta su valor pico en 63.7211 (dB) con una densidad de probabilidad de 0.0317779 lo cual demuestra una alta calidad de la señal por la frecuencia de este valor pico. Se destaca que su límite inferior tiene un valor de 15.8992 (dB) lo cual asegura que la mayoría de los receptores se encontraran dentro del umbral de una calidad de señal eficiente.



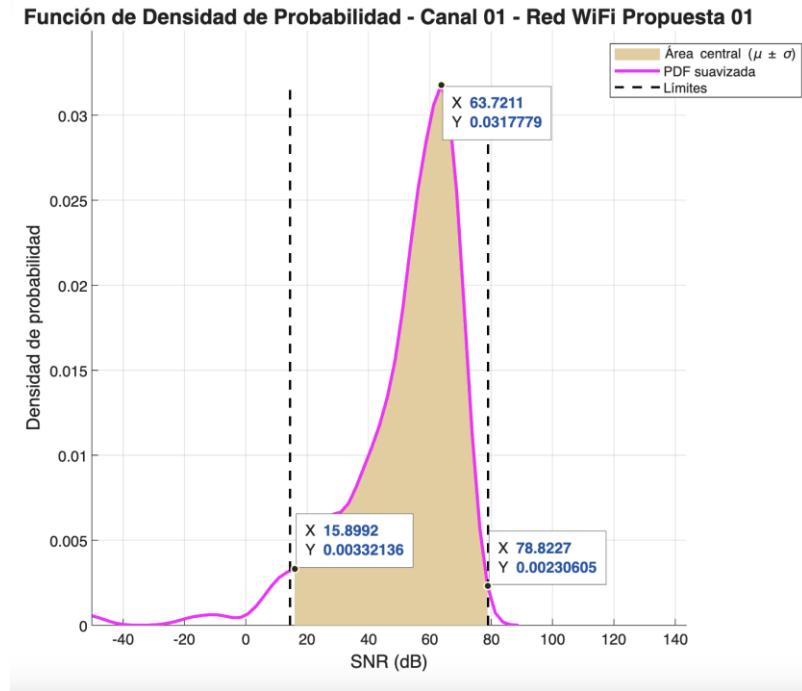


Ilustración 16. FDP canal 1 red propuesta 01

Para el canal 6 de la red WiFi propuesta 01 se puede notar en la **ilustración 17** que su valor pico es de 52.97 (dB) con una densidad de probabilidad de 0.0194806, a pesar de que presenta un límite inferior cercano a los 5 (dB) se destaca que tiene una densidad significativa entre 20 dB – 55 dB lo cual permite una mejor cobertura para la mayoría de los receptores. El canal 6 tiene un desempeño menor al del canal 1, no obstante, también tiene un rango operativo adecuado.

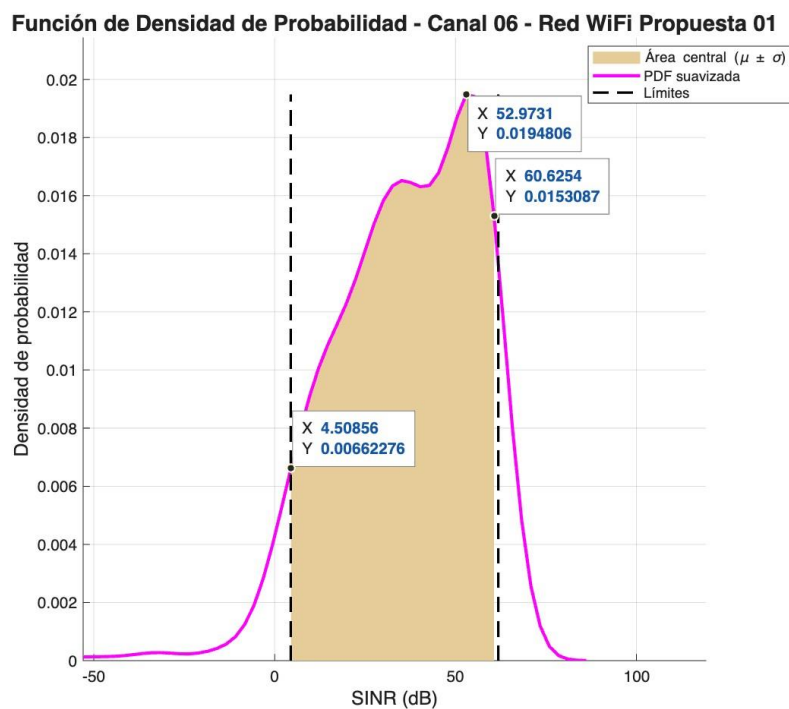


Ilustración 17. FDP canal 6 red propuesta 01

En la **Ilustración 18** se muestra la FDP del canal 11 de la red propuesta 01, como hallazgo principal se puede notar una distribución marcadamente bimodal del SINR. Se identificaron dos picos de densidad de probabilidad predominantes: un primer grupo con un rendimiento modesto centrado en 15.9911 dB y un segundo grupo con una densidad de 0.02116 que dispone de una calidad de conexión excelente, con un pico en 54.34 dB. El comportamiento bimodal del SINR en el canal 11 se atribuye a la presencia de dos grupos de receptores en condiciones distintas. No obstante, los APs cumplen eficientemente su función, proporcionando una cobertura estable en las zonas objetivo, asegurando una conectividad óptima. Los valores de SINR, con un promedio de 15.9911 dB, se presencian en áreas no críticas, como sanitarios, jardines y exteriores, donde los requisitos de alto rendimiento son menos exigentes.

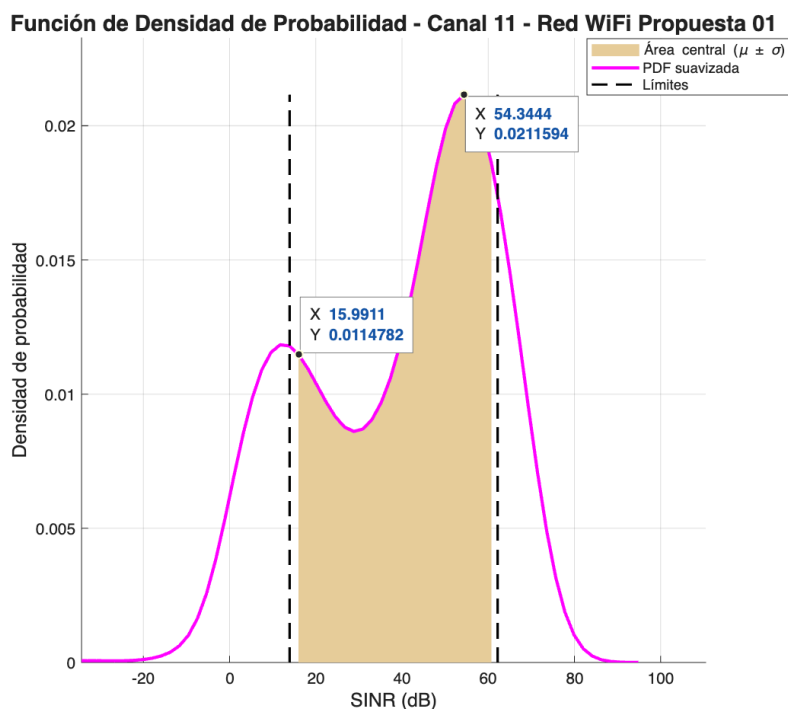


Ilustración 18. FDP Canal 11 red inicial

Para la propuesta 02 se realiza el análisis de los 3 canales, canal 1, 6 y 11. Es necesario detallar que en cada canal operan 2 APs. En la **ilustración 19** la FDP del canal 1 de la propuesta 02 indica un valor pico de 40.85 dB con 0.0197 de densidad de probabilidad. Se destaca que a pesar de que su valor limite se encuentre cercano a los 0 (dB) la mayor parte de la densidad de probabilidad está entre los 20 dB – 50 dB. Estas características evidencian una respuesta robusta frente al ruido e interferencia.

Función de Densidad de Probabilidad - Canal 01 - Red WiFi Propuesta 02

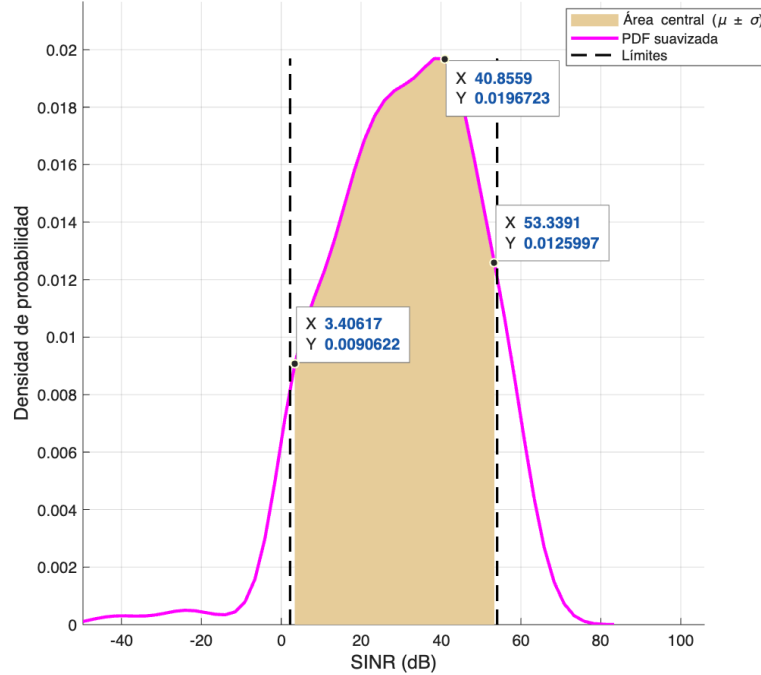


Ilustración 19. FDP perteneciente al canal 1 de la Propuesta 02

Tal como se observa en la **ilustración 20** para el canal 6 de la propuesta 02 hay un valor pico de SINR de 14.0 (dB) con una densidad de probabilidad de 0.0269 aproximadamente. Presenta una distribución asimétrica positiva en torno a los 10 - 15 (dB), sin embargo, también se destaca un sesgo a la izquierda que abarca valores negativos, lo cual sugiere una mejora del desempeño de los APs que trabajan en el canal 6 para mitigar posibles interferencias o desconexiones.

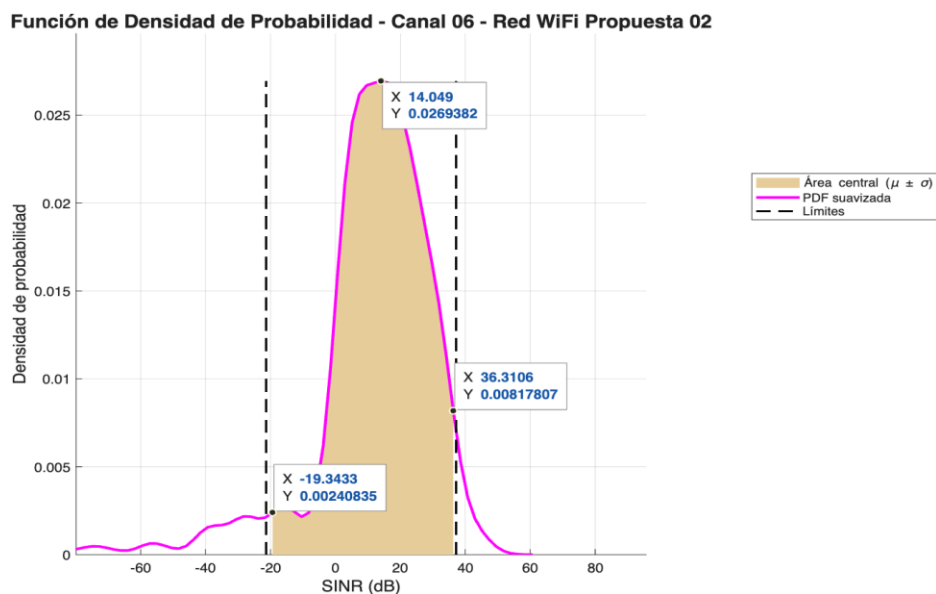


Ilustración 20. PDF perteneciente al canal 6 de la Propuesta 02

En la **ilustración 21** se muestra la FDP de SINR del canal 11 de la propuesta 02, el cual tiene un valor pico de 7.77 (dB) con una densidad de probabilidad de 0.0313, destacando en niveles de concentración respecto a los canales 1 y 6 de la misma propuesta. Se puede notar que para este canal predomina un SINR de 0 – 20 (dB) por lo cual se determina que este canal es estable pero débil.

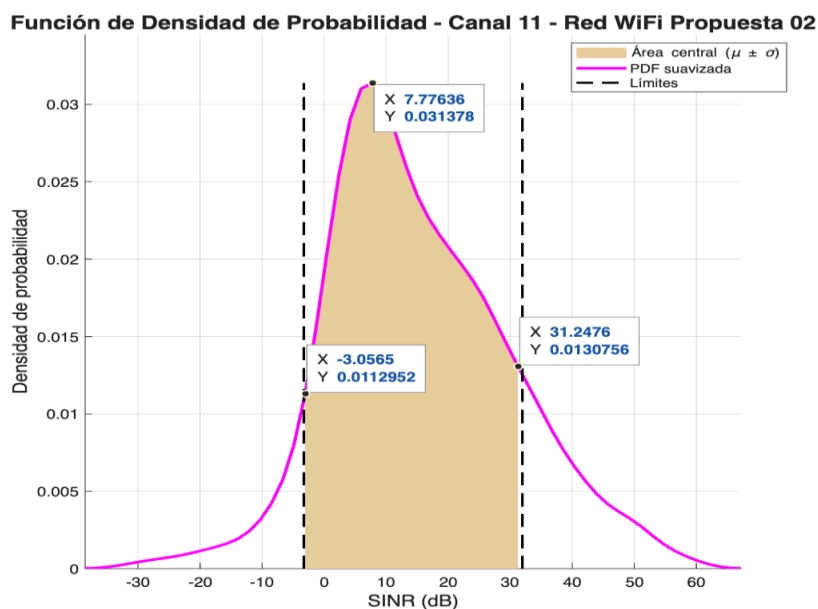


Ilustración 21. PDF perteneciente al canal 11 de la Propuesta 02

### 3.2.2 Análisis Comparativo del Rendimiento de la Red mediante CDF

Para complementar el análisis de la Función de Densidad de Probabilidad (FDP), se ha empleado la Función de Distribución Acumulativa (CDF) del SINR. Esta métrica es fundamental para evaluar de manera comparativa la calidad de servicio que ofrece cada infraestructura de red, ya que permite visualizar la probabilidad de que un receptor experimente un SINR por debajo de umbrales críticos de rendimiento.

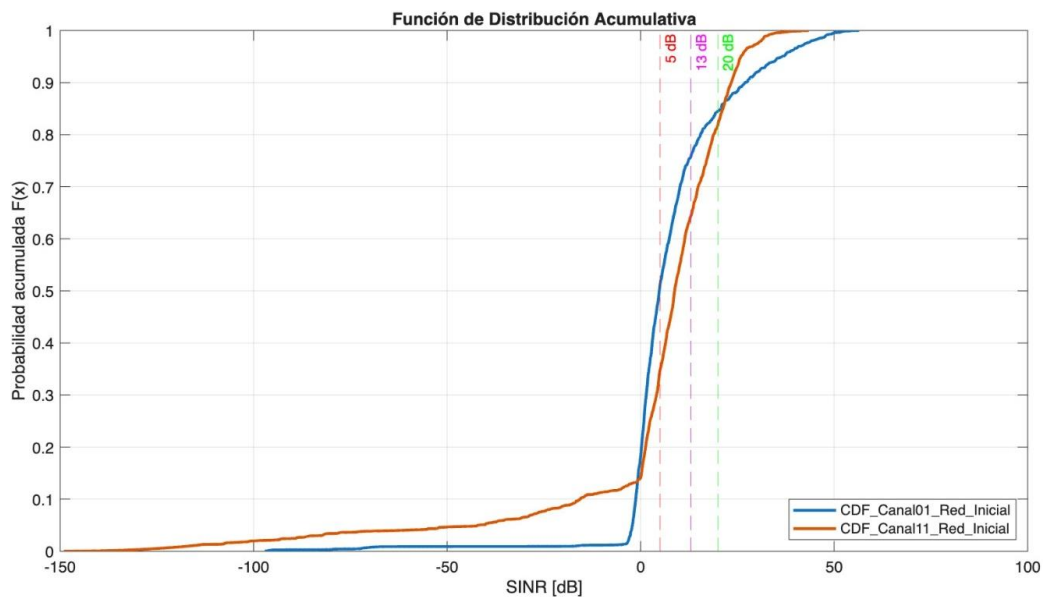


Ilustración 22. CDF perteneciente a la infraestructura inicial

En la **ilustración 22** se presenta el estado crítico de la infraestructura original, un hecho corroborado por la CDF, que evidencia que la red operaba en condiciones inapropiadas. En el Canal 1, aproximadamente existía un 76% de probabilidad de que los receptores reciban un SINR inferior a 13 dB, umbral mínimo para una conexión aceptable en tareas esenciales, mientras que, de manera más alarmante, el SINR no alcanzaba los 5 dB con una probabilidad del 50%, siendo algo crítico. En el Canal 11, pese a un leve mejoramiento, el rendimiento continúa siendo insuficiente, con una probabilidad del 65% de obtenerse una SINR menor o igual a 13 dB

que es menor que el mínimo umbral dentro del rango óptimo. La CDF de la infraestructura inicial confirma la incapacidad de la red inicial para proporcionar un servicio fiable, evidenciando una alta probabilidad de valores de SINR bajos en toda la cobertura. Los datos obtenidos respaldan la hipótesis del proyecto, atribuyendo las desconexiones e inestabilidades a la interferencia co-canal y a una planificación con errores.

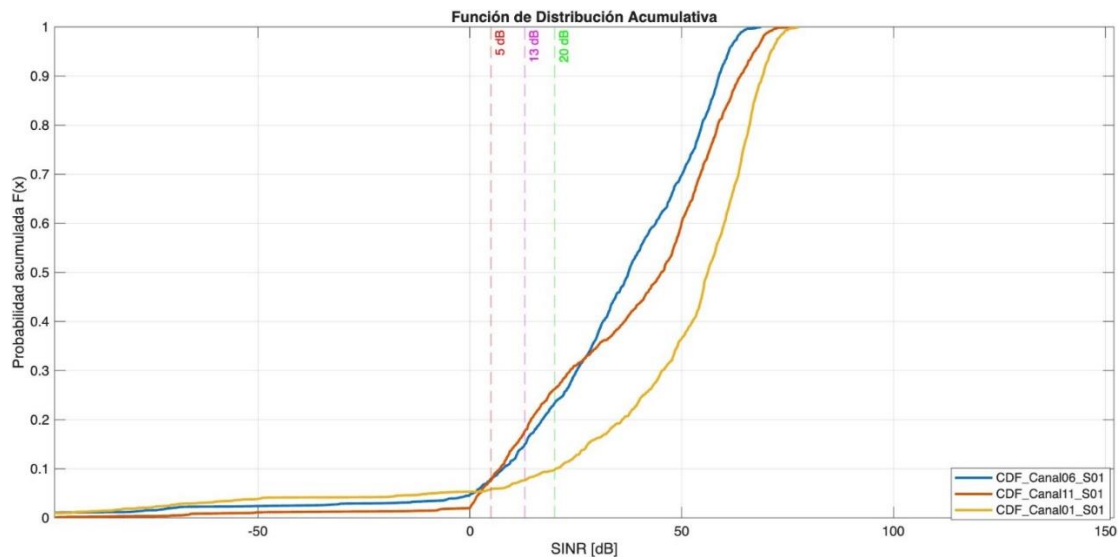


Ilustración 23. CDF perteneciente a la infraestructura de la propuesta 1

La **Ilustración 23** muestra la mejora significativa alcanzada mediante la Propuesta 1, reflejada en el pronunciado desplazamiento de todas las curvas hacia la derecha, lo que refleja un avance en el desempeño de la red y reducción de manera significativa de las interferencias. A nivel general, para los tres canales analizados, la probabilidad de que un usuario experimente un SINR inferior a 20 dB se mantiene baja. El Canal 1 se destaca ya que los usuarios tienen una probabilidad baja del 20% de que el SINR sea menor o igual a 37 dB. Por su parte, los Canales 6 y 11 presentan un desempeño igualmente destacado, con aproximadamente una probabilidad menor al 30% de tener una SINR menor o igual a 20 dB. La configuración de la propuesta 1 permite mitigar los problemas de interferencia y con ello la mejora de la calidad de la red,

garantizando una experiencia de usuario estable, fiable y homogénea a lo largo de toda la infraestructura.

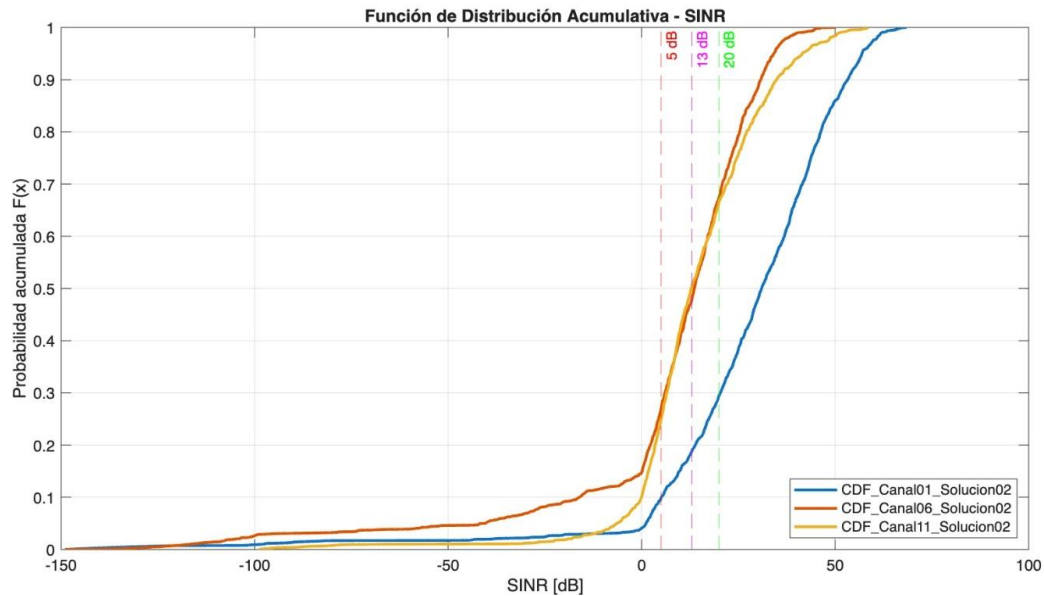


Ilustración 24. CDF perteneciente a la infraestructura de la propuesta 2

La **Ilustración 24** evalúa la Propuesta 2, centrada en la mejorar de la red existente sin incorporar cambios en su infraestructura. Aunque se observa una mejora respecto al estado inicial, el rendimiento alcanzado resulta inferior al de la Propuesta 1. El Canal 1 presenta un desempeño aceptable, con una probabilidad del 30% de que los receptores trabajen con una SINR menor o igual a 20 dB, lo que indica una conectividad razonablemente estable. Sin embargo, los Canales 6 y 11 constituyen el principal desafío del diseño, dado que cerca del 50% de la red opera con un SINR inferior al mínimo aceptable de 13 dB. Este análisis, respaldado por la función de distribución acumulativa, indica que la reconfiguración lógica atenúa parcialmente las deficiencias iniciales, pero no se resuelve completamente. Como resultado, aproximadamente la mitad de la red en los canales 6 y 11 podría experimentar una calidad de señal algo inferior, lo que podría ocasionar reducciones en la velocidad o estabilidad de la conexión, especialmente en áreas ubicadas en zonas alejadas o entre dos equipos APs operando en el mismo canal. En forma



favorable, la ubicación estratégica de otros puntos de acceso mitiga este problema al ofrecer al usuario alternativas de conexión más estables.

3.2.3 Visualización y Análisis cuantitativo de Mapas de Calor basado en SINR

Para evaluar de manera objetiva y comparativa el rendimiento de las infraestructuras de red propuestas y la red inicial, se analizaron los mapas de calor generados a partir del SINR. Este análisis se basó en la cuantificación del porcentaje del área de estudio cubierto por diferentes categorías de calidad de SINR (véase en la **ilustración 25**), lo que permite resumir el desempeño de cada configuración en una distribución porcentual. Las categorías de calidad corresponden a las siguientes: Inaceptable ( $\text{SINR} < 5 \text{ dB}$ ), Deficiente ( $5 \text{ dB} \leq \text{SINR} < 13 \text{ dB}$ ), Aceptable ( $13 \text{ dB} \leq \text{SINR} < 20 \text{ dB}$ ), Bueno ( $20 \text{ dB} \leq \text{SINR} < 30 \text{ dB}$ ) y Excelente ( $\text{SINR} \geq 30 \text{ dB}$ ).

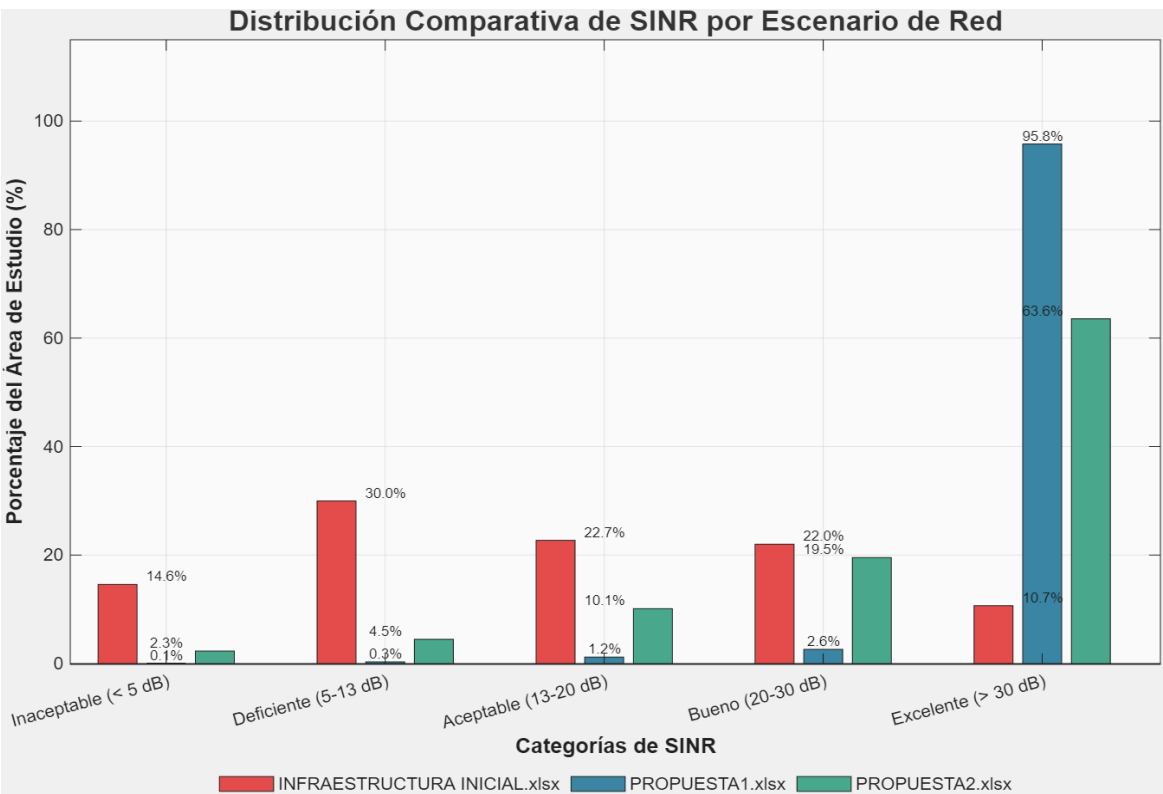


Ilustración 25. Mapa de calor basado en los valores de SINR de la infraestructura inicial

El análisis de la red original revela limitaciones significativas en su rendimiento, según lo observado en el mapa de calor de SINR presentado en la **ilustración 26**. Un 44.6% del área de estudio se encuentra en las categorías de calidad Inaceptable ( $< 5$  dB) o Deficiente (5–13 dB), lo que implica que una proporción considerable de usuarios experimenta dificultades para mantener conexiones estables en aplicaciones de baja demanda, como navegación web, o comunicaciones de voz, etc. Además, solo el 10.7% del área alcanza la categoría Excelente ( $> 30$  dB), lo que evidencia un desempeño insuficiente de la red.

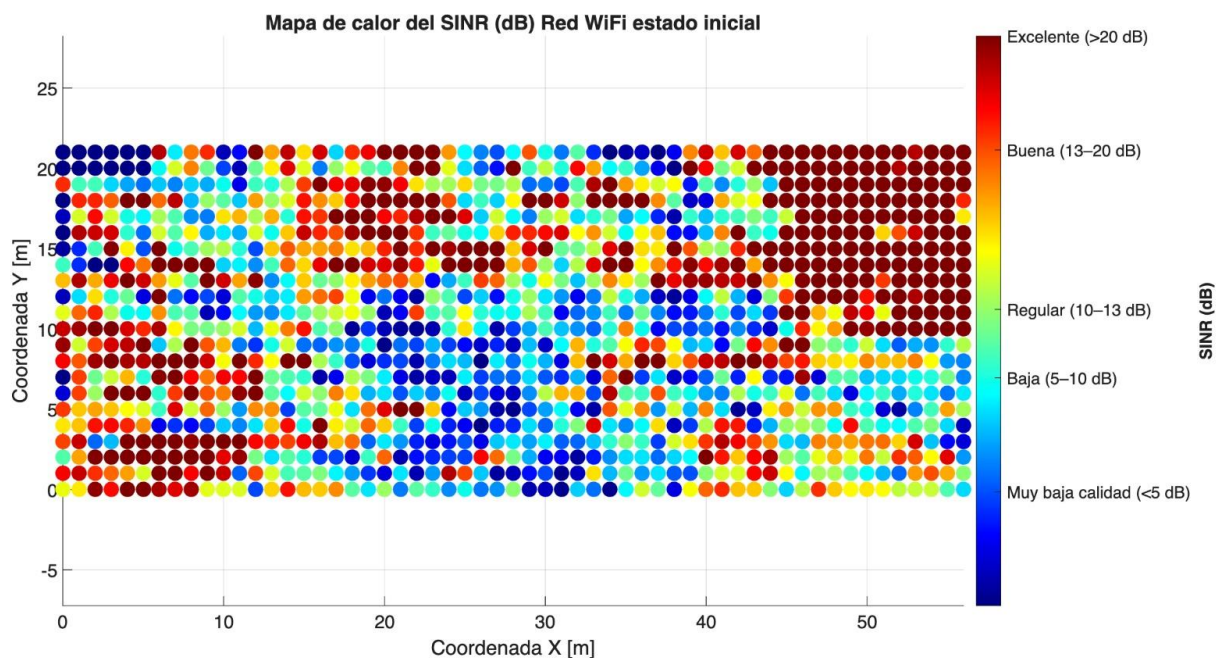


Ilustración 26. Mapa de calor basado en los valores de SINR de la infraestructura inicial

Los resultados de la Propuesta 1 demuestran un desempeño significativamente mejorado respecto al estado inicial, como se observa en la **ilustración 27**. Un 95.8% del área de estudio alcanza la categoría Excelente ( $> 30$  dB), lo que asegura un rendimiento robusto para aplicaciones empresariales, como streaming, VoIP y comunicaciones IoT. Las áreas con calidad de señal insuficiente, correspondientes a las categorías Inaceptable ( $< 5$  dB) y Deficiente (5–13

dB), corresponde solo a un 0.4%, lo que indica una cobertura prácticamente uniforme. Este nivel de rendimiento satisface plenamente los requisitos de calidad de servicios, posicionando a la Propuesta 1 como una solución idónea para satisfacer las necesidades actuales y futuras de la organización.

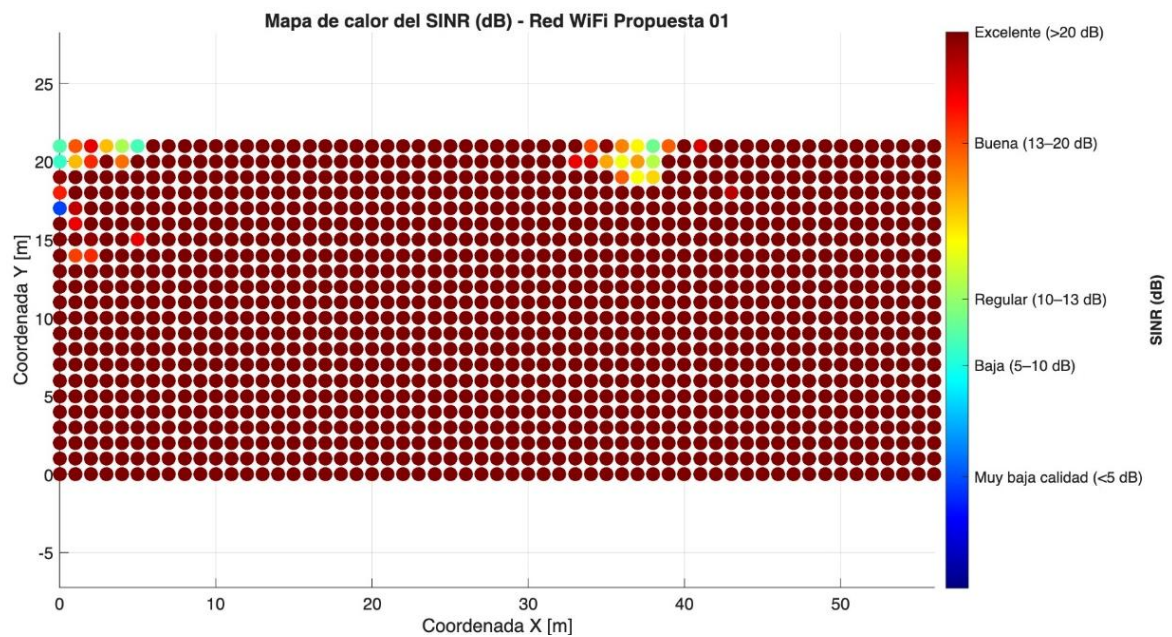


Ilustración 27. Mapa de calor basado en los valores de SINR de la Propuesta 1

El rediseño de la red en la Propuesta 2 ofrece una mejora significativa respecto al estado inicial, como se observa en la **ilustración 28**, al reducir considerablemente las áreas con calidad de señal Inaceptable ( $< 5$  dB) y Deficiente (5–13 dB). Un 63.6% del área de estudio alcanza la categoría Excelente ( $> 30$  dB), lo que indica un desempeño robusto para aplicaciones de alta demanda. Sin embargo, un 16.9% del área, compuesto por un 2.3% en Inaceptable, 4.5% en deficiente y 10.1% en Aceptable (13–20 dB), presenta un rendimiento insuficiente, lo que introduce inconsistencias en la calidad de servicio. Cabe destacar que no se consideró agregar otro AP con fines de mejora de calidad para esta propuesta debido a que la introducción de otro dispositivo podría generar interferencia co-canal, pues en los canales 1, 6 y 11 ya operan dos APs

por canal, al operar en la banda de 2.4 GHz agregar un tercer AP a cualquiera de los 3 canales no superpuestos degradaría notablemente el rendimiento de la red.

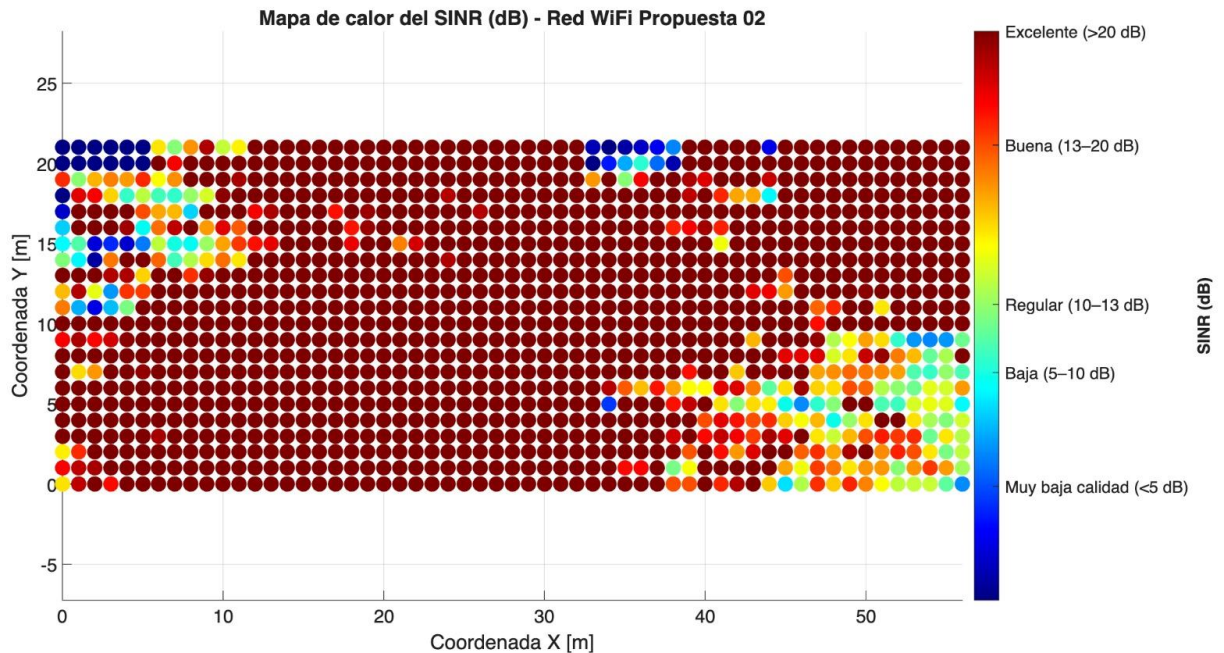


Ilustración 28. Mapa de calor basado en los valores de SINR de la Propuesta 2

### 3.3 Síntesis Cuantitativa y Selección de la Propuesta Óptima

Con la finalidad de seleccionar la propuesta optima que cumpla con los objetivos de este proyecto se sintetizó la situación de cada escenario respecto a su SINR. En la **tabla 3** se puede observar la evaluación de los 3 escenarios según la calidad del SINR teniendo en cuenta las siguientes categorías: Inaceptable ( $\text{SINR} < 5 \text{ dB}$ ), Deficiente ( $5 \text{ dB} \leq \text{SINR} < 13 \text{ dB}$ ), Aceptable ( $13 \text{ dB} \leq \text{SINR} < 20 \text{ dB}$ ), Bueno ( $20 \text{ dB} \leq \text{SINR} < 30 \text{ dB}$ ) y Excelente ( $\text{SINR} \geq 30 \text{ dB}$ ).

En el estado inicial de la red el alrededor del 40.6% del área de cobertura se enfrentaba a condiciones inaceptables o malas, lo cual evidencia que la infraestructura tiene serias deficiencias de cobertura e interferencias. A demás, es necesario destacar que tan solo el 10.7%

del área de cobertura presenta condiciones excelentes de la red, reflejando un aprovechamiento limitado de los canales disponibles.

En contraste, la propuesta 01 logra reducir drásticamente los inconvenientes respecto a cobertura e interferencias en las áreas problemáticas, pues se logra obtener un 95.8% del área de cobertura con SINR excelente, mientras que las áreas de cobertura con un SINR inaceptable o malo son mínimas (0.1% y 0.3% respectivamente). Esta propuesta muestra una mejora sustancial en términos de calidad RF.

Por otro lado, la Propuesta 2, si bien mejora respecto al escenario inicial, presenta un rendimiento intermedio: 63.6% del área de cobertura tiene condiciones excelentes y 6.8% aún en categorías inaceptables o malas, lo cual indica una mejora parcial, pero insuficiente en comparación con la Propuesta 1.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la Propuesta 1 se consolida como la alternativa óptima para el rediseño de la red Wi-Fi en la Corporación. Esta solución no solo mitiga eficazmente las interferencias, sino que también proporciona una cobertura RF robusta y uniforme en toda el área de trabajo. En consecuencia, permite alcanzar los objetivos planteados del proyecto, garantizando un entorno inalámbrico funcional, de alto rendimiento y adaptado a las necesidades operativas de la organización.

Tabla 3. Porcentaje del área de cobertura por categoría de calidad SINR

<b><i>Categoría de Calidad</i></b>	<b>Estado Inicial (%)</b>	<b>Propuesta 1 (%)</b>	<b>Propuesta 2 (%)</b>
<b><i>Inacceptable (&lt; 5 dB)</i></b>	14.6%	0.1%	2.3%
<b><i>Malo (5-13 dB)</i></b>	30.0%	0.3%	4.5%
<b><i>Aceptable (13-20 dB)</i></b>	22.7%	1.2%	10.1%
<b><i>Bueno (20-30 dB)</i></b>	22.0%	2.6%	19.5%
<b><i>Excelente (&gt; 30 dB)</i></b>	10.7%	95.8%	63.6%

## Capítulo 4

## **4.1 Conclusiones y Recomendaciones**

Tras la ejecución de las tres fases propuestas en este estudio, que incluyeron el diagnóstico y modelado, evaluación de alternativas de solución y análisis comparativo de las infraestructuras Wi-Fi propuestas con respecto a la línea base, se lograron mejoras significativas en la cobertura de radiofrecuencia y la mitigación de interferencias. A continuación, se detallan las conclusiones derivadas de los resultados obtenidos, alineadas con los objetivos establecidos en el proyecto integrador.

### **4.1.1 Conclusiones**

- El análisis inicial de la red Wi-Fi, realizado mediante herramientas como Wireless InSite, EkaPro y Matlab, permitió identificar interferencias co-canal, una planificación deficiente del espectro radioeléctrico y una distribución ineficiente de los puntos de acceso. La evaluación cuantitativa, basada en métricas como SINR y RSSI, reveló que el 44.6% de los usuarios enfrentaban condiciones inaceptables, con un SINR promedio inferior a 13 dB en áreas críticas, lo que validó la necesidad de mejora.
- La caracterización del entorno de 862 m<sup>2</sup>, considerando parámetros físicos como materiales constructivos y obstáculos, facilitó la generación de mapas de calor precisos. Los resultados de las simulaciones en Wireless InSite confirmaron que la orientación vertical de los APs contribuía a patrones de radiación distorsionados, limitando la cobertura y aumentando la interferencia, en la banda de 2.4 GHz.
- La Propuesta 1, que incluyó la redistribución de cinco APs en los canales no superpuestos 1, 6 y 11, y el ajuste de la potencia de transmisión, logró un SINR



promedio de 59.97 dB en el canal 1. Esta solución aseguro una cobertura clasificada como “Excelente” ( $\text{SINR} > 30 \text{ dB}$ ) en el 95.8% del área de estudio para los cinco APs en comparación con el 10.7% de la infraestructura original. Comparada con la red inicial, esta solución redujo drásticamente las interferencias y mejoró la cobertura total de la red Wireless, con solo un 0.4% de la red por debajo de los estándares de calidad, cumpliendo los objetivos de estabilidad y fiabilidad

#### **4.1.2 Recomendaciones**

Con base en los resultados obtenidos y las limitaciones identificadas durante el desarrollo del proyecto, se proponen las siguientes recomendaciones para ampliar y fortalecer el estudio de la infraestructura Wi-Fi en entornos corporativos:

- Una limitación del estudio fue la falta de modelado de patrones de uso en tiempo real. Futuros trabajos podrían integrar herramientas de monitoreo continuo para ajustar dinámicamente la configuración de los APs según la carga de usuarios, mejorando la adaptabilidad de la red.
- La metodología de diagnóstico, modelado y simulación validada en este proyecto para un entorno de oficinas puede ser replicada para optimizar redes inalámbricas en otros escenarios complejos de la corporación, como bodegas o plantas de producción, que presentan diferentes desafíos de propagación de RF y tipos de interferencia.
- Se recomienda como trabajo futuro realizar un análisis detallado de la banda de 5 GHz. Esto incluiría una planificación de canales para evitar interferencias en esta banda y la correcta asignación de anchos de canal.

## Bibliografía

AccessAgility. (18 de Mayo de 2017). *Cómo estimar la cantidad de puntos de acceso necesarios para proyectos WiFi*. Obtenido de <https://www.accessagility.com/blog/how-to-estimate-number-of-access-points-needed>

Álava Cruzatty, J. (2018). *ANÁLISIS DE TECNOLOGÍA LIFI COMO ALTERNATIVA A LA TRANSMISIÓN DE DATOS EN LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS PARA LAS CARRERAS DE SISTEMAS COMPUTACIONALES Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ*. Obtenido de Repositorio Digital UNESUM: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1196>

Antonio, J. M. (2025). *Fortalecimiento de la conectividad y seguridad en la red inalámbrica de la Unidad Educativa Bolívar*. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Telecomunicaciones: <https://repositorio.uta.edu.ec/items/5919b7c2-edd4-4f6a-86a7-c3cf904deaf0>

Arévalo, A. G. (14 de Julio de 2022). *EFFECTO DEL ANCHO DE BANDA DE LOS CANALES EN*. Obtenido de Universidad de Alcalá: <https://core.ac.uk/download/pdf/539363177.pdf>

Bernabe, H. Y. (Diciembre de 2024). *ANÁLISIS DE DETECCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE DISPOSITIVOS NO*. Obtenido de UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/12742>

Burbano Rivera, N. A. (2020). *Cálculo de la potencia media de la interferencia de co-canal en escenarios celulares que emplean sectorización imperfecta*. Obtenido de Repositorio Digital Universidad De Las Américas: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/12730>

Cabezas Ruiz, B. (10 de Enero de 2025). *Desarrollo de mapas de cobertura Wi-Fi para el análisis de la red*. Obtenido de UCrea: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/34981>

Calderón Cruz, J. A. (Marzo de 2025). *Análisis de rendimiento del estándar IEEE 802.11ax para escenarios con alta concentración de tráfico y densidad de usuarios mediante simulación*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana / Tesis / Grado: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/30020>

Daniel Felipe Romero Lara, R. S. (Septiembre de 2024). *Sistema transmisión-recepción 5G usando la técnica de acceso no ortogonal NOMA con dispositivos de radio definida por software*. Obtenido de Universidad Distrital Francisco José de Caldas: <https://repository.udistrital.edu.co/items/a84b8d44-a080-4bc7-a133-b7e1b55156c6>

FasterCapital. (N.F). *¿Qué Es La Pérdida De Paquetes Y Cómo Afecta La Transmisión De Datos*. Obtenido de <https://fastercapital.com/es/tema/%C2%BFqu%C3%A9-es-la-p%C3%A9rdida-de-paquetes-y-c%C3%B3mo-afecta-la-transmisi%C3%B3n-de-datos.html/1>

Fortinet. (2023). *¿Qué es la pérdida de paquetes?* Obtenido de Significado de pérdida de paquetes: <https://www.fortinet.com/lat/resources/cyberglossary/what-is-packet-loss>

Hollyland. (09 de Junio de 2025). *Todo sobre la relación señal/ruido*. Obtenido de <https://www.hollyland.com/blog/tips/signal-to-noise-ratio>

IEEE. (2009). *"IEEE Standard for Information technology-- Local and metropolitan area networks-- Specific requirements-- Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput*. Obtenido de IEEE Standard for Information technology-- Local and metropolitan area networks: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5307322>

IEEE-Standard. (2013). Obtenido de Standard for Information technology: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6687187>

Ing. Valeriano Cantos, I. A. (26 de 01 de 2024). *Google académico*. Obtenido de Propuesta de mejora del sistema de gestión de la red inalámbrica WiFi del CTI-ESPOL: <https://repositorio.epnewman.edu.pe/handle/20.500.12892/1052>

Jaramillo Namicela, B. G. (2023). *Diseño de la red inalámbrica de área local para el campus sur de la Universidad Politécnica Salesiana en los bloques C y D, utilizando el estándar 802.11ax*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana / Tesis / Grado: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25411>

Rojas Torres, M. A.-S. (2005). *Estudio, a través de mediciones, del canal de radio en las bandas ISM y UNII, y de las interferencias generadas en el Hospital Universitario de la Samaritana*. Obtenido de Repositorio institucional Séneca: <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/ed7ca4b9-9c62-4a6c-9356-0a4f1cc2cf7a>

Sammour, I., Chalhoub, G., & Habachi, O. (17 de Julio de 2024). *IEEE Xplore* . Obtenido de Intelligent CSMA/CA for Wi-Fi networks:

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10592613>

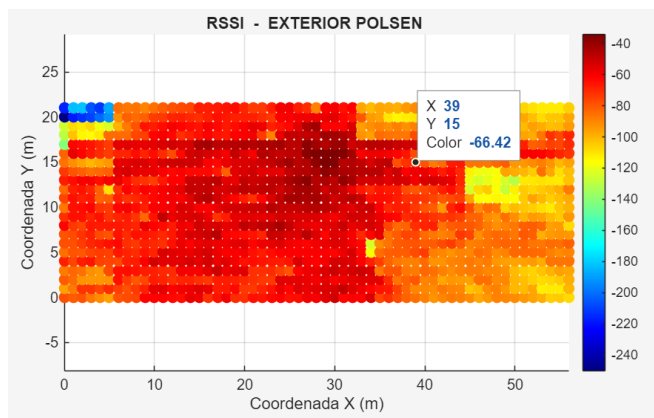
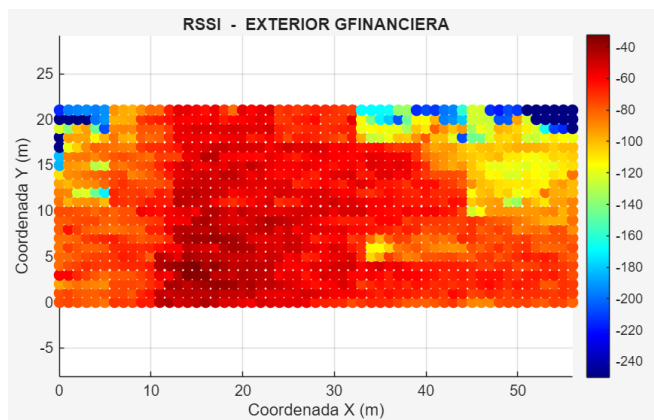
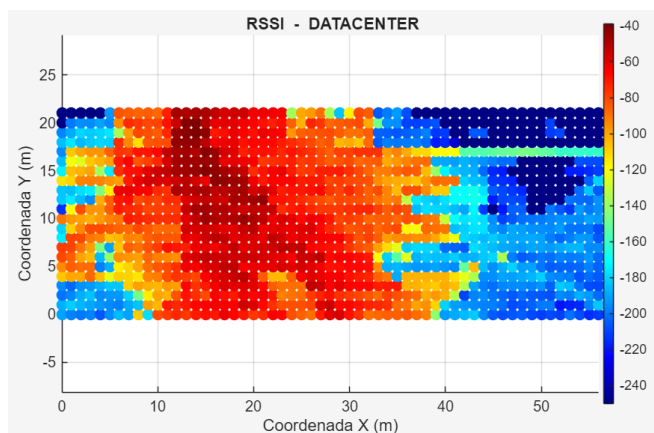
Teltonika. (2024). *Teltonika Networks Wiki*. Obtenido de SINR: <https://wiki.teltonika-networks.com/view/SINR>

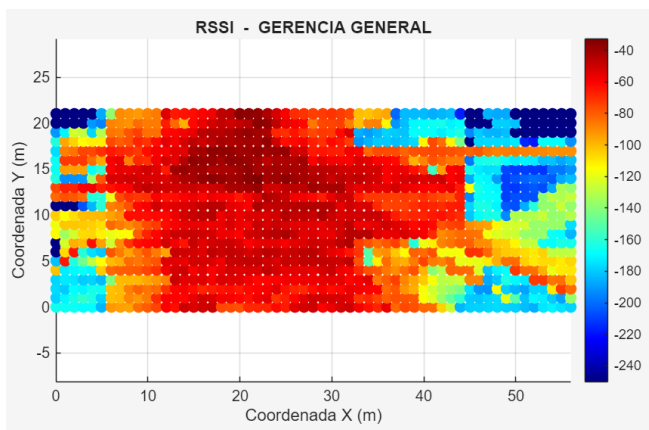
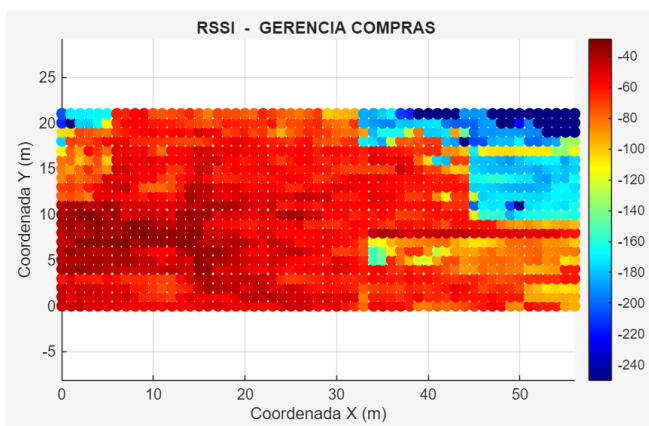
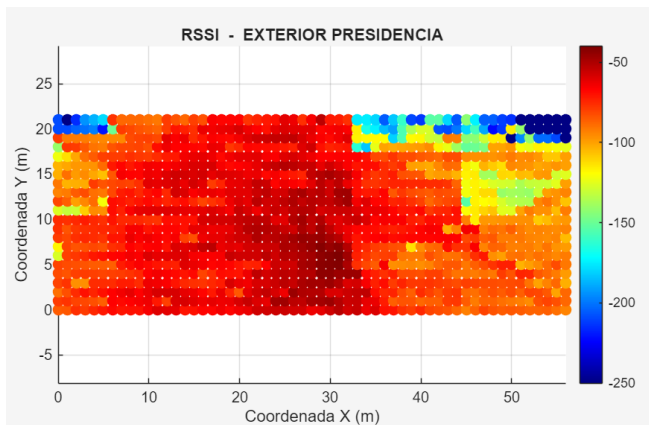
UniFi. (N.F). *Comprensión e implementación del RSSI mínimo*. Obtenido de Centro de ayuda de Ubiquiti: <https://help.ui.com/hc/en-us/articles/221321728-Understanding-and-Implementing-Minimum-RSSI>

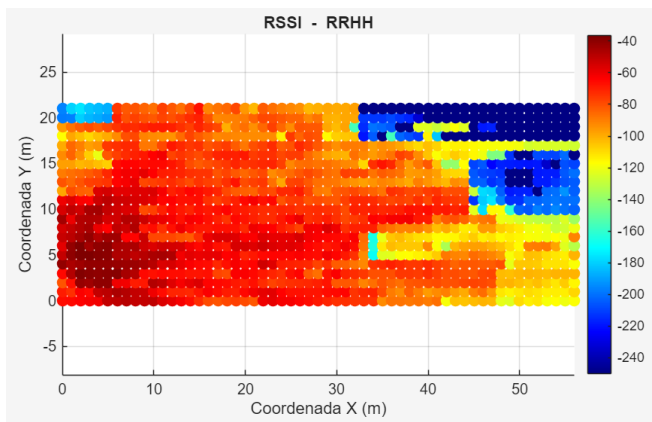
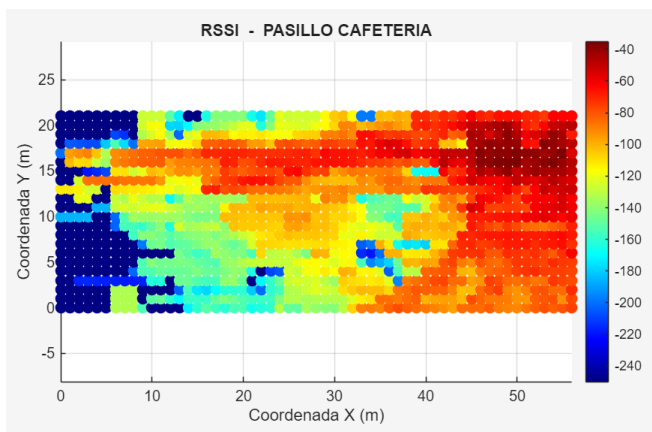
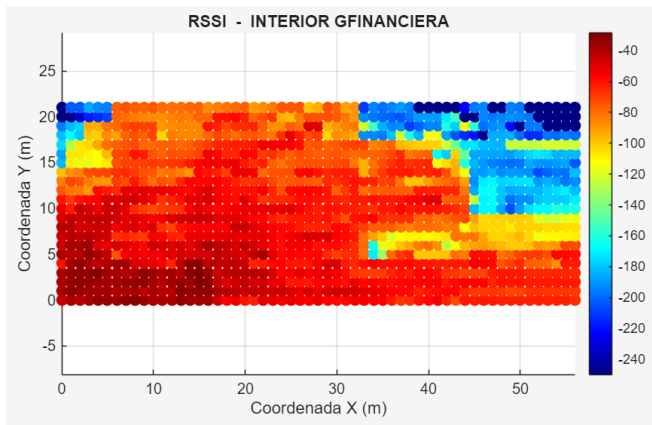
Vega Maldonado Gendry Eduardo, V. C. (2022). *Estudio de congestión y calidad de las conexiones en las bandas ISM de 2,4 y 5 GHz en la zona urbana céntrica de la ciudad de Guayaquil*. Obtenido de DSpace en ESPOL : <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57084>

## Anexos

### Anexo A. Mapas de potencia para cada AP de la infraestructura inicial.

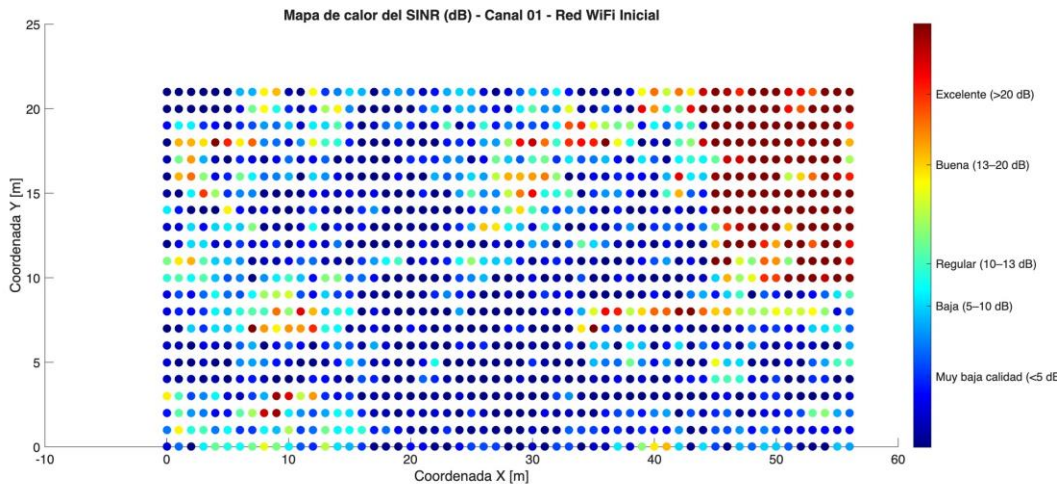
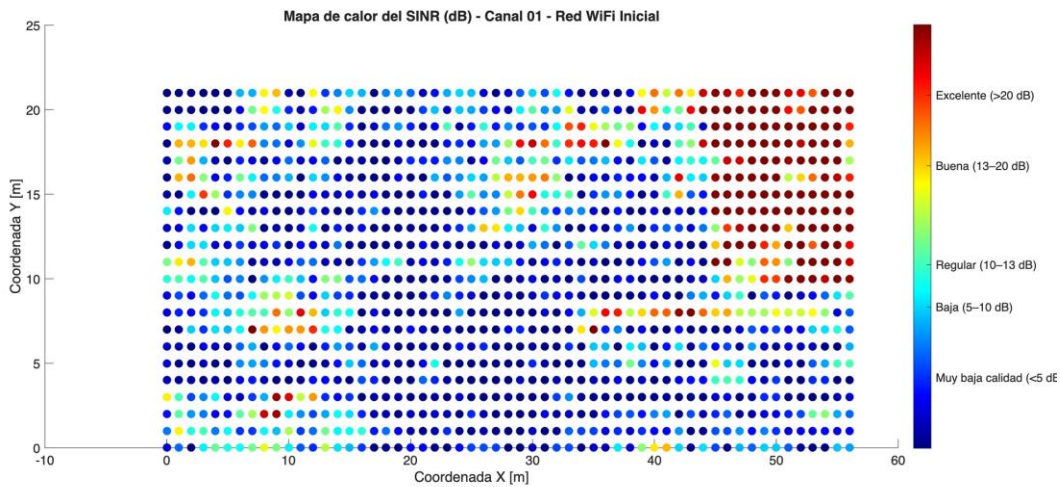








Anexo B. Mapas de SINR para cada canal de estudio de la infraestructura inicial.



Anexo C. Consola de gestión - Consumo promedio de red (upload and download) a lo largo del día.

