

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las tecnologías de
Telecomunicación

Diseño de la red Wi-Fi de un edificio de oficinas

Autor: Unai San Román Núñez

Tutor: Rafael Boloix Tortosa

Dpto. Teoría de la Señal y Comunicaciones
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2024



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías de Telecomunicación

Diseño de la red Wi-Fi de un edificio de oficinas

Autor:

Unai San Román Núñez

Tutor:

Rafael Boloix Tortosa

Profesor titular

Dpto. de Teoría de la Señal y Comunicaciones

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2024

Trabajo Fin de Grado: Diseño de la red Wi-Fi de un edificio de oficinas

Autor: Unai San Román Núñez

Tutor: Rafael Boloix Tortosa

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2024

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A Macarena

Agradecimientos

Quiero tomarme un momento para agradecerles de todo corazón por haber sido parte de mi trayectoria académica y por su apoyo durante la realización de mi trabajo de fin de carrera. Ustedes, profesores, familia y mi pareja, han sido mis pilares en este camino lleno de desafíos y aprendizajes.

A mis profesores, gracias por ser más que solo docentes, por inspirarme y desafiarme a dar lo mejor de mí en cada clase.

A mi familia, gracias por estar siempre ahí, por el ánimo, los consejos y por creer en mí incluso cuando yo dudaba.

Y a ti, Macarena, gracias por ser mi apoyo incondicional, por escucharme cuando necesitaba desahogarme y por celebrar conmigo cada pequeño logro.

Hoy, al llegar a esta meta, quiero que sepan que su influencia en mi vida es invaluable y que llevaré conmigo todo lo que me han enseñado en este viaje. ¡Gracias por todo!

Unai San Román Núñez

Grado en Ingeniería de las Tecnologías de Telecomunicación

Sevilla, 2024

Resumen

Este proyecto se enfoca en el estudio profesional de la cobertura Wi-Fi en un edificio de oficinas, utilizando la herramienta iBwave para el análisis. El Wi-Fi es crucial en entornos laborales para la productividad, y este estudio busca identificar áreas de mejora y proponer soluciones. Se estructura en una revisión teórica de los fundamentos del Wi-Fi, una descripción del método utilizado con iBwave, un análisis de los resultados y recomendaciones. El objetivo es aportar conocimientos prácticos para mejorar la infraestructura de comunicaciones inalámbricas en entornos empresariales.

Abstract

This project focuses on the professional study of Wi-Fi coverage in an-office building, using the iBwave tool for the analysis. Wi-Fi is crucial in work environments for productivity, and this study seeks to identify areas of improvement and propose solutions. It is structured in a theoretical review of Wi-Fi fundamentals, a description of the method used with iBwave, an analysis of the results and recommendations. The objective is to provide practical knowledge to improve the wireless communications infrastructure in enterprise environments.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xiv
Índice de Tablas	xvi
Índice de Figuras	xviii
Notación	xxii
1 Introducción	1
2 Wi-Fi	3
2.1 <i>Estándares</i>	3
2.1.1 Fundamentos de los estándares Wi-Fi	3
2.1.2 Innovaciones recientes y avances tecnológicos.	5
2.2 <i>Futuro</i>	7
2.2.1 WiFi 7 (80211be) y más allá	7
2.2.2 Inteligencia artificial y el internet de las cosas (IoT)	8
2.2.3 Ciberseguridad	8
2.2.4 Computación cuántica	9
2.2.5 Realidad Aumentada y virtual	9
2.2.6 Blockchain y Tecnologías descentralizadas	10
2.2.7 Inclusividad digital	11
2.2.8 Sostenibilidad digital	12
2.2.9 Regulación y ética	13
2.2.10 Integración con tecnologías complementarias	14
2.3 <i>Arquitectura y componentes de una red WiFi</i>	14
2.3.1 Estructura Básica de las Redes Wi-Fi	14
2.3.2 Funcionamiento de la Capa Física y Modos de Operación	15
3 Edificio	18
3.1 <i>Descripción del Edificio y Uso Previsto</i>	18

3.2	<i>Necesidades Detectadas</i>	18
3.3	<i>Características particulares que destacar</i>	18
3.4	<i>Particularidades que afectan al diseño de la red</i>	19
4	Memoria Práctica	20
4.1	<i>Metodología.</i>	20
4.1.1	iBwave	20
4.1.2	Punto de Acceso escogido (AP)	21
4.1.3	Posicionamiento de los Puntos de Acceso	22
4.1.4	Resultado de las simulaciones	26
5	Conclusiones	65
6	Anexos	67
	Referencias	69
	Glosario	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Avances tecnológicos del Wi-Fi

7

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Línea del tiempo de la evolución del estándar 802.11	5
Figura 2-2. Tendencia de adopción de estándares a lo largo de los años	6
Figura 2-3. Realidad virtual	10
Figura 2-4. Diagrama de Inclusividad digital ONU	12
Figura 2-5. Ética digital	13
Figura 2-6. Estructura básica de redes Wi-Fi	15
Figura 4-1. Edificio de oficinas 3D	20
Figura 4-2. Planta baja edificio de oficinas 3D	21
Figura 4-3. Posicionamiento Puntos de Acceso. Planta baja.	23
Figura 4-4. Posicionamiento Puntos de Acceso. Planta 1.	23
Figura 4-5. Posicionamiento Puntos de Acceso. Planta 2.	24
Figura 4-6. Posicionamiento Puntos de Acceso. Planta 3.	24
Figura 4-7. Posicionamiento Puntos de Acceso. Planta 4.	25
Figura 4-8. Posicionamiento Puntos de Acceso. Planta 5.	25
Figura 4-9. Nivel Fuerza de Señal 2.4Ghz. Planta baja.	26
Figura 4-10. Nivel Fuerza de Señal 5Ghz. Planta baja.	27
Figura 4-11. Nivel Fuerza de Señal 6Ghz. Planta baja.	27
Figura 4-12. Nivel Fuerza de Señal 2.4Ghz. Planta 1.	28
Figura 4-13. Nivel Fuerza de Señal 5Ghz. Planta 1.	28
Figura 4-14. Nivel Fuerza de Señal 6Ghz. Planta 1.	29
Figura 4-15. Nivel Fuerza de Señal 2.4Ghz. Planta 2.	29
Figura 4-16. Nivel Fuerza de Señal 5Ghz. Planta 2.	30
Figura 4-17. Nivel Fuerza de Señal 6Ghz. Planta 2.	30
Figura 4-18. Nivel Fuerza de Señal 2.4Ghz. Planta 3.	31
Figura 4-19. Nivel Fuerza de Señal 5Ghz. Planta 3.	31
Figura 4-20. Nivel Fuerza de Señal 6Ghz. Planta 3.	32
Figura 4-21. Nivel Fuerza de Señal 2.4Ghz. Planta 4.	32

Figura 4-22. Nivel Fuerza de Señal 5Ghz. Planta 4.	33
Figura 4-23. Nivel Fuerza de Señal 6Ghz. Planta 4.	33
Figura 4-24. Nivel Fuerza de Señal 2.4Ghz. Planta 5.	34
Figura 4-25. Nivel Fuerza de Señal 5Ghz. Planta 5.	34
Figura 4-26. Nivel Fuerza de Señal 6Ghz. Planta 5.	35
Figura 4-27. SNR 2.4Ghz. Planta baja.	36
Figura 4-28. SNR 5Ghz. Planta baja.	36
Figura 4-29. SNR 6Ghz. Planta baja.	37
Figura 4-30. SNR 2.4Ghz. Planta 1.	37
Figura 4-31. SNR 5Ghz. Planta 1.	38
Figura 4-32. SNR 6Ghz. Planta 1.	38
Figura 4-33. SNR 2.4Ghz. Planta 2.	39
Figura 4-34. SNR 5Ghz. Planta 2.	39
Figura 4-35. SNR 6Ghz. Planta 2.	40
Figura 4-36. SNR 2.4Ghz. Planta 3.	40
Figura 4-37. SNR 5Ghz. Planta 3.	41
Figura 4-38. SNR 6Ghz. Planta 3.	41
Figura 4-39. SNR 2.4Ghz. Planta 4.	42
Figura 4-40. SNR 5Ghz. Planta 4.	42
Figura 4-41. SNR 6Ghz. Planta 4.	43
Figura 4-42. SNR 2.4Ghz. Planta 5.	43
Figura 4-43. SNR 5Ghz. Planta 5.	44
Figura 4-44. SNR 6Ghz. Planta 5.	44
Figura 4-45. Zona de Overlap 2.4Ghz. Planta baja.	45
Figura 4-46. Zona de Overlap 5Ghz. Planta baja.	46
Figura 4-47. Zona de Overlap 6Ghz. Planta baja.	46
Figura 4-48. Zona de Overlap 2.4Ghz. Planta 1.	47
Figura 4-49. Zona de Overlap 5Ghz. Planta 1.	47
Figura 4-50. Zona de Overlap 6Ghz. Planta 1.	48
Figura 4-51. Zona de Overlap 2.4Ghz. Planta 2.	48
Figura 4-52. Zona de Overlap 5Ghz. Planta 2.	49
Figura 4-53. Zona de Overlap 6Ghz. Planta 2.	49
Figura 4-54. Zona de Overlap 2.4Ghz. Planta 3.	50
Figura 4-55. Zona de Overlap 5Ghz. Planta 3.	50
Figura 4-56. Zona de Overlap 6Ghz. Planta 3.	51
Figura 4-57. Zona de Overlap 2.4Ghz. Planta 4.	51
Figura 4-58. Zona de Overlap 5Ghz. Planta 4.	52
Figura 4-59. Zona de Overlap 6Ghz. Planta 4.	52
Figura 4-60. Zona de Overlap 2.4Ghz. Planta 5.	53

Figura 4-61. Zona de Overlap 5Ghz. Planta 5.	53
Figura 4-62. Zona de Overlap 6Ghz. Planta 5.	54
Figura 4-63. Mejor Servidor de AP 2.4Ghz. Planta baja.	55
Figura 4-64. Mejor Servidor de AP 5Ghz. Planta baja.	55
Figura 4-65. Mejor Servidor de AP 6Ghz. Planta baja.	56
Figura 4-66. Mejor Servidor de AP 2.4Ghz. Planta 1.	56
Figura 4-67. Mejor Servidor de AP 5Ghz. Planta 1.	57
Figura 4-68. Mejor Servidor de AP 6Ghz. Planta 1.	57
Figura 4-69. Mejor Servidor de AP 2.4Ghz. Planta 2.	58
Figura 4-70. Mejor Servidor de AP 5Ghz. Planta 2.	58
Figura 4-71. Mejor Servidor de AP 6Ghz. Planta 2.	59
Figura 4-72. Mejor Servidor de AP 2.4Ghz. Planta 3.	59
Figura 4-73. Mejor Servidor de AP 5Ghz. Planta 3.	60
Figura 4-74. Mejor Servidor de AP 6Ghz. Planta 3.	60
Figura 4-75. Mejor Servidor de AP 2.4Ghz. Planta 4.	61
Figura 4-76. Mejor Servidor de AP 5Ghz. Planta 4.	61
Figura 4-77. Mejor Servidor de AP 6Ghz. Planta 4.	62
Figura 4-78. Mejor Servidor de AP 2.4Ghz. Planta 5.	62
Figura 4-79. Mejor Servidor de AP 5Ghz. Planta 5.	63
Figura 4-80. Mejor Servidor de AP 6Ghz. Planta 5.	63

Notación

A^*	Conjugado
c.t.p.	En casi todos los puntos
c.q.d.	Como queríamos demostrar
■	Como queríamos demostrar
e.o.c.	En cualquier otro caso
e	número e
ℜ	Parte real
ℑ	Parte imaginaria
sen	Función seno
tg	Función tangente
arctg	Función arco tangente
sen	Función seno
$\sin^x y$	Función seno de x elevado a y
$\cos^x y$	Función coseno de x elevado a y
Sa	Función sampling
sgn	Función signo
rect	Función rectángulo
Sinc	Función sinc
$\partial y \partial x$	Derivada parcial de y respecto
x°	Notación de grado, x grados.
$\Pr(A)$	Probabilidad del suceso A
SNR	Signal-to-noise ratio

MSE	Minimum square error
:	Tal que
<	Menor o igual
>	Mayor o igual
\	Backslash
↔	Si y sólo si

1 INTRODUCCIÓN

En la era digital actual, la conectividad inalámbrica se ha convertido en un elemento fundamental para la comunicación y el acceso a la información en diversos entornos. Uno de los estándares más prevalentes en este ámbito es el Wi-Fi, una tecnología que permite la transmisión de datos de manera inalámbrica a través de redes locales.

El presente trabajo de fin de grado se centra en el análisis y estudio profesional de la cobertura Wi-Fi en un entorno específico: un edificio de oficinas. En un mundo cada vez más interconectado, la calidad de la conexión Wi-Fi dentro de los espacios de trabajo es crucial para la productividad y eficiencia de las operaciones empresariales.

Para llevar a cabo este estudio, se empleará una herramienta de diseño y análisis de redes inalámbricas reconocida en el ámbito profesional: iBwave. Esta plataforma ofrece capacidades avanzadas para la planificación, diseño y optimización de redes Wi-Fi, permitiendo una evaluación exhaustiva de la cobertura y rendimiento de la red en entornos complejos como edificios de oficinas.

El objetivo principal de este trabajo es realizar una evaluación detallada de la cobertura Wi-Fi en el edificio de oficinas seleccionado, identificando posibles áreas de mejora y proponiendo soluciones para optimizar la calidad de la conexión inalámbrica. A través de un enfoque metodológico riguroso y el uso de herramientas especializadas como iBwave, se espera obtener resultados precisos y relevantes que contribuyan a mejorar la infraestructura de comunicaciones dentro del entorno empresarial estudiado.

El presente documento se estructura en varias secciones, que incluyen una revisión teórica sobre los fundamentos del Wi-Fi y los conceptos clave relacionados con la cobertura inalámbrica, una descripción detallada del método utilizado para llevar a cabo el estudio de cobertura, así como un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos y las recomendaciones para mejorar la infraestructura Wi-Fi en el edificio de oficinas objeto de estudio.

En resumen, este trabajo busca aportar conocimientos significativos en el campo de las redes inalámbricas, específicamente en lo que respecta a la evaluación y mejora de la cobertura Wi-Fi en entornos empresariales, utilizando herramientas y técnicas profesionales para garantizar resultados precisos y aplicables en la práctica.

El término IEEE 802.11, generalmente identificado con WiFi, se refiere a una serie de protocolos estandarizados por el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), orientados específicamente para la implementación de redes inalámbricas de área local (Infante, 2008). Esta denominación surge de los esfuerzos llevados a cabo por la WiFi Alliance para asegurar la compatibilidad y facilitar la interoperabilidad entre dispositivos de diversos fabricantes, mediante la estandarización de ciertos aspectos previamente no definidos en dichos protocolos.

El WiFi permite la conexión de dispositivos a Internet y entre sí de forma inalámbrica, brindando movilidad y flexibilidad en comparación con las redes cableadas tradicionales (Vásquez, 2014). En este punto, se abordarán tres aspectos fundamentales relacionados con las redes WiFi: los estándares, su futuro y los componentes básicos de una red WiFi, para ello:

- Se examinará detalladamente la tecnología WiFi, un componente esencial que ha transformado las dinámicas de conexión e interacción en espacios digitales y físicos. Inicialmente, se abordarán los Estándares WiFi, analizando las especificaciones técnicas que han facilitado la interoperabilidad entre dispositivos de diversos fabricantes, asegurando así una experiencia de usuario coherente y segura. Esta exploración no se limitará a los protocolos históricos como 802.11a/b/g/n; se extenderá a las innovaciones más actuales, como 802.11ac y 802.11ax, proporcionando una visión integral sobre la evolución de estos estándares y su impacto en la eficacia y eficiencia de las redes contemporáneas.
- Subsecuentemente, la sección Futuro se enfocará en las tendencias emergentes y en el desarrollo de tecnologías que prometen redefinir el panorama del WiFi. Se investigará cómo las mejoras en términos de velocidad, capacidad y eficiencia energética están preparadas para satisfacer la creciente demanda por una conectividad inalámbrica más sólida y ubicua. Además, se evaluará el papel potencial de la inteligencia artificial, el Internet de las Cosas (IoT) y otras vanguardias tecnológicas en la futura evolución del WiFi.
- Por último, la sección dedicada a la Arquitectura y componentes de una red WiFi descompondrá los elementos constitutivos de estas redes, desde puntos de acceso hasta dispositivos cliente, incluyendo la infraestructura de red que facilita su operación cohesiva. Este análisis se centrará en la estructuración de dichas redes, examinando los tipos de arquitecturas de red más utilizados (tales como LAN inalámbricas, WLANs y configuraciones de malla) y destacando el rol vital que desempeñan diversos componentes para proveer un servicio de conectividad inalámbrica eficiente y seguro.

2.1 Estándares

Para explicar qué significan los estándares en el WiFi, es fundamental entender que estos están diseñados para asegurar la interoperabilidad y compatibilidad entre dispositivos de red inalámbrica de distintos fabricantes. Los estándares WiFi son un conjunto de protocolos de comunicación desarrollados y mantenidos por el IEEE) bajo la denominación 802.11. Estos protocolos especifican las características técnicas necesarias para que los dispositivos puedan comunicarse mediante redes inalámbricas locales (WLAN) (Nganga, 2021).

2.1.1 Fundamentos de los estándares Wi-Fi

El estándar inicial fue lanzado en 1997, después de que el comité de evaluación se estableciera en 1990. Su objetivo era proporcionar diversas maneras de conectar computadoras y otros dispositivos sin utilizar cables. Aunque esta versión inicial se considera obsoleta hoy en día, estableció los cimientos para el desarrollo de una tecnología con un gran potencial (Iñiguez, 2002).

La cronología de los estándares IEEE 802.11 comienza en 1997, con la introducción del estándar original que operaba en la banda de 2.4 GHz con velocidades de hasta 2 Mbps, marcando el inicio de la tecnología WiFi. Este estándar fue diseñado para facilitar la interconexión inalámbrica de dispositivos en entornos SOHO.

Dos años más tarde, en 1999, el estándar se diversificó con el lanzamiento de 802.11a y 802.11b. El primero operaba en la banda de 5 GHz y ofrecía velocidades de hasta 54 Mbps, aunque no era compatible con 802.11b, que funcionaba en 2.4 GHz y proporcionaba velocidades de hasta 11 Mbps. Ambos estándares abrieron camino para redes inalámbricas de mayor alcance y velocidades más elevadas.

En 2003, 802.11g fue introducido, combinando las mejores características de 802.11a y b. Operaba en 2.4 GHz y también ofrecía velocidades de hasta 54 Mbps, con la ventaja de ser compatible con 802.11b. La siguiente gran evolución llegó en 2009 con el estándar 802.11n, que incrementó significativamente la velocidad y el alcance, ofreciendo hasta 600 Mbps al utilizar tanto las bandas de 2.4 como la de 5 GHz. Esto supuso una mejora en la capacidad y el rendimiento de las redes WiFi, adaptándose a las crecientes demandas de conectividad.

Finalmente, la tecnología continuó avanzando con 802.11ac en 2013, que maximizó aún más las velocidades de transmisión hasta 1300 Mbps en la banda de 5 GHz, y posteriormente 802.11ax en 2019, con velocidades impresionantes de hasta 15 Gbps, marcando la actual frontera de la tecnología WiFi.

El rápido desarrollo tecnológico ha propiciado la formación los estándares IEEE antes mencionados. Dentro de este marco, el IEEE 802.11 destaca por contar con distintos grupos de trabajo. Estos equipos se dedican a investigar y formular desarrollos en áreas variadas relacionadas con la normativa 802.11, a continuación, se presentan las variantes según Yunquera (2005):

- 802.11a: Este estándar mantiene el conjunto de protocolos base del estándar original, funcionando en la banda de 5 GHz. Se caracteriza por utilizar 52 subportadoras de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), alcanzando velocidades máximas de hasta 54 Mbps, con velocidades prácticas cercanas a los 20 Mbps. Sin embargo, una desventaja notable es su falta de interoperabilidad con dispositivos que siguen el estándar 802.11b.
- 802.11b: La variante 802.11b ofrece velocidades de transmisión máximas de 11 Mbps y opera bajo el método de acceso CSMA/CA establecido en el estándar original. Este estándar se utiliza en la banda de 2.4 GHz.
- 802.11g: Siguiendo el uso de la banda de 2.4 GHz como el 802.11b, el estándar 802.11g mejora la velocidad teórica máxima a 54 Mbps, con velocidades de transferencia reales alrededor de 24.7 Mbps. Ofrece compatibilidad con el estándar 802.11b y utiliza las mismas frecuencias.
- 802.11n: Con el estándar 802.11n, las velocidades de transmisión efectivas pueden alcanzar hasta 500 Mbps, siendo hasta 10 veces más rápidas que las redes bajo los estándares 802.11a y 802.11g, y aproximadamente 40 veces más rápidas que las del estándar 802.11b.
- 802.11e: Este estándar introduce funcionalidades para la calidad de servicio (QoS) y aplicaciones multimedia en redes 802.11, aplicable tanto a 802.11a como a 802.11b, mejorando la gestión de tráfico para soportar aplicaciones que requieren mayor ancho de banda.
- 802.11f: Este se refiere a una especificación destinada a la intercomunicación entre puntos de acceso de diferentes fabricantes, facilitando el roaming o la itinerancia de los clientes en redes que operan bajo el estándar 802.11g.

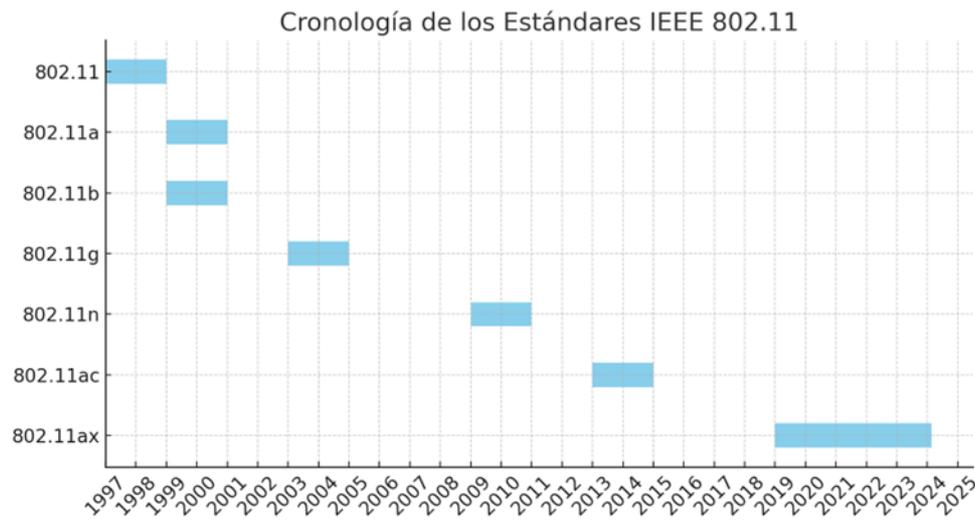


Figura 2-1. Línea del tiempo de la evolución del estándar 802.11. Fuente: elaboración propia.

2.1.2 Innovaciones recientes y avances tecnológicos.

Los avances en la tecnología WiFi han sido significativos en la última década, especialmente con la introducción de WiFi 5 y WiFi 6, correspondientes a los estándares 802.11ac y 802.11ax, respectivamente. Estas innovaciones han marcado una nueva era en la conectividad inalámbrica, ofreciendo velocidades más rápidas, mayor capacidad y eficiencia mejorada.

El estándar 802.11ac se diseñó con la finalidad de alcanzar un rendimiento agregado superior a 1 Gbps en la banda de 5 GHz. Este incremento en el rendimiento se logra a través de la implementación de nuevas capas físicas (PHY) y mejoras en el control de acceso al medio, que incluyen un ancho de banda de canal ampliado, esquemas de modulación avanzados, el uso de MU-MIMO para transmisiones simultáneas a múltiples usuarios, y un sistema obligatorio de agregación de tramas (Mora, Macía, Rodríguez, & Sacón, 2021). Estas características no solo mejoran la velocidad, sino que también aumentan la cantidad de usuarios que pueden conectarse de manera concurrente a una red (Mosquera, 2019). MU-MIMO, en particular, se adapta perfectamente para aplicaciones en tiempo real, como videoconferencias y juegos en línea, gracias a sus mecanismos flexibles para reducir la interferencia y una gestión de energía más eficiente. Los routers de nueva generación, conocidos como AC Wave 2, ya están integrando esta tecnología para permitir la conexión de múltiples dispositivos simultáneamente a través de Wi-Fi (Hinojosa y Garcés, 2019). Además, la compatibilidad con los estándares existentes 802.11 a y n está asegurada, y debido a que la transmisión de datos es más eficiente, también contribuye a la prolongación de la vida útil de la batería en dispositivos móviles.

Mora et al. (2021), en su artículo publicado, continúa comentando que a medida que las redes inalámbricas evolucionan para conectar un creciente número de dispositivos electrónicos, el estándar 802.11ax emerge para responder a esta necesidad, orientado a incrementar la capacidad y fiabilidad inalámbrica para proporcionar una experiencia de usuario mejorada. Este estándar introduce mejoras significativas en comparación con sus precursores, incorporando novedades como OFDMA en enlaces tanto descendentes como ascendentes, MU-MIMO multiusuario, la reutilización espacial y una reducción en el consumo de energía. Estas innovaciones representan un avance sobre las funcionalidades existentes, con la incorporación de OFDMA y la reutilización espacial como adiciones destacadas.

Orthogonal Frequency-Division Multiple Access Orthogonal Frequency-Division Multiple Access (OFDMA) es una técnica avanzada de modulación que permite a múltiples usuarios compartir el mismo canal de transmisión dividiendo el espectro en subportadoras asignadas individualmente. Esto facilita la combinación eficiente de múltiples señales y distribuye el ancho de banda de manera que a cada usuario se le otorgan diferentes cantidades de subportadoras. Comparativamente, OFDMA ofrece un desempeño sustancialmente mejorado respecto a las metodologías de acceso más antiguas, multiplicando hasta seis veces el rendimiento, acercando la experiencia Wi-Fi a la eficiencia de las redes celulares como LTE, aunque, a diferencia de LTE, en WiFi el proceso es coordinado por los puntos de acceso y se basa en un enfoque híbrido FDMA/TDMA. Este enfoque híbrido divide el espectro en canales de frecuencia para transmisiones simultáneas, además de asignar

el ancho de banda total en intervalos de tiempo específicos a cada usuario. OFDMA, por lo tanto, se destaca por su robustez, su capacidad para reducir la potencia de transmisión general y la eficiencia en la transferencia de energía a través de cada sub-canal, lo que lo convierte en un área de interés clave para estudios y aplicaciones en proyectos modernos de red inalámbrica (Pachon, 2015; Khorov, Kiryanov, Lyakhov, & Bianchi, 2019).

El estándar 802.11ax ha incorporado mejoras notables en el ámbito multiusuario, optimizando el uso de MU-MIMO para intensificar la eficiencia de las transmisiones tanto de enlace ascendente como descendente. Esta tecnología permite a un punto de acceso emitir una trama de control con detalles de programación y sincronización, habilitando la asignación de recursos a hasta ocho usuarios simultáneamente. Además, se puede asignar hasta cuatro flujos espaciales a cada usuario, siempre que el total de flujos espaciales no supere los ocho (Khorov, Kiryanov, Lyakhov, & Bianchi, 2019).

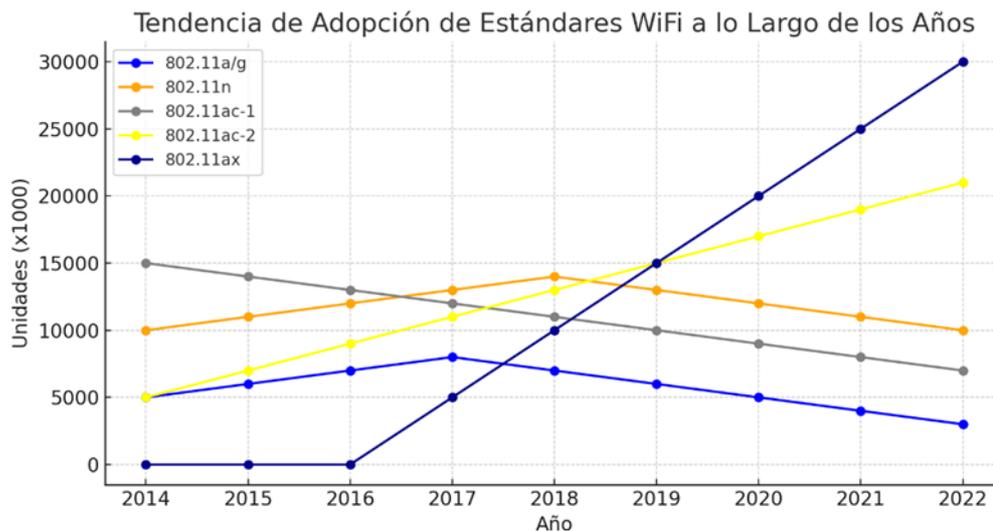


Figura 2-2. Tendencia de adopción de estándares a lo largo de los años. *Fuente: elaboración propia a partir de (PANDUIT, 2021).*

3 de los avances tecnológicos que se pueden registrar el WiFi, según (Mora, Macía, Rodríguez, & Sacón, 2021) son:

Tabla 2–1. Avances tecnológicos del WiFi

Concepto	Descripción
Reutilización espacial ¹	Es la capacidad de permitir que los dispositivos transmitan al mismo tiempo y en el mismo canal evitando la pérdida de tráfico debido a las colisiones producto de interferencia causados por los usuarios Wi-Fi. El estándar 802.11ax para evitar dicha problemática utiliza la técnica de coloración BSS donde su principal objetivo es optimizar la reutilización de frecuencias mediante la asignación de un color diferente lo que permite que los clientes identifiquen los diferentes tráficos y determinar si una trama de transmisión está ocupada.
Target Wake Time (TWT) ²	Es un método de ahorro de energía que permite a los dispositivos programar su activación para enviar o recibir datos. Un dispositivo al aumentar su tiempo que permanezca en suspensión mientras no esté activo conservará la vida útil de la batería. El mecanismo TWT admite transmisiones de enlace ascendente basada en disparos, lo que significa que puede admitir estaciones que no hayan negociado acuerdo con el AP beneficiando la reducción de la sobrecarga y la ineficiencia del proceso normal de contención de Wi-Fi
Internet de las cosas (IoT) ³	IoT es una tendencia emergente que está en constante desarrollo, se prevé que hasta el año 2025 existan más de cien mil millones de dispositivos están conectados a través de distintas tecnologías de comunicación. El acelerado flujo de información que genera la red no son lo suficientemente eficiente para su administración con las tecnologías vigentes, por ello surge la necesidad de nuevos protocolos de comunicación que sirvan de base para su despliegue como es la tecnología Wi-Fi 6 que constituye el próximo avance en conectividad y una infraestructura clave para la transformación digital.

2.2 Futuro

2.2.1 WiFi 7 (80211be) y más allá

WiFi 7, o IEEE 802.11be, se está desarrollando para superar los límites de la comunicación inalámbrica más allá del actual estándar 802.11ax. Uno de sus objetivos principales es alcanzar un rendimiento máximo de al menos 30 Gbps, lo que representa un salto significativo con respecto a su predecesor, con el objetivo de soportar entornos con alta densidad de conectividad y garantizar una baja latencia para aplicaciones sensibles al tiempo. La introducción de la modulación 4096-QAM dentro de WiFi 7 indica una mejora considerable en las capacidades de transmisión de datos, prometiendo mejoras sustanciales en la eficiencia y la fiabilidad de la red (PANDUIT, 2021). El grupo de trabajo encargado del IEEE 802.11be se centra en mejorar la latencia y el jitter en los peores casos, lo cual es crucial para aplicaciones que requieren alta precisión y conectividad constante. Además, la nueva enmienda es la primera en definir un nivel tan alto de QAM, mostrando el compromiso del

¹ Coleman, D., Correll, P., & Gates, A. (2018). " (2018). 802.11ax". *High Efficiency Wireless*, 1-7.

² Mosquera, Á. (2019). "Estudio y análisis de las nuevas tecnologías 802.11ax y 5G para el desarrollo del internet de las cosas." <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/13364>

³ Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (2015). "La internet de las cosas - una breve reseña". *Methodologies and Techniques for Advanced Maintenance*. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-85729-103-5_5

estándar con el avance de la calidad y el rendimiento de las futuras LAN inalámbricas.

La tecnología WiFi continúa innovando para satisfacer las crecientes demandas de conectividad de dispositivos. La enmienda 802.11be, con su Extremadamente Alto Rendimiento (EHT), está preparada para revolucionar la conectividad inalámbrica no licenciada presentando características clave y mejoras, al tiempo que mantiene la coexistencia con otras tecnologías inalámbricas. Los resultados de simulaciones sugieren que las ganancias de rendimiento de 802.11be en comparación con 802.11ax son significativas, asegurando que el futuro estándar WiFi podrá soportar la creciente necesidad de conexiones más rápidas y fiables (PANDUIT, 2021).

Los estándares de WiFi han cambiado constantemente a lo largo del tiempo, lo que se caracteriza por mejoras constantes en la velocidad, la inclusión de nuevas funcionalidades o tecnologías y la actualización de los nombres de usuario. El estándar 802.11ax, también conocido como Wi-Fi 6, fue lanzado en 2021 y se destaca por su impresionante velocidad de 9.6 gigabits por segundo (Gbps) y el soporte de bandas de frecuencia variadas, como 2.4 GHz, 5 GHz y 6 GHz, así como canales amplios de 80 y 160 MHz, entre otras características avanzadas (Llorente, 2022).

El Wi-Fi 6 aún no está ampliamente disponible en el mercado, a pesar de sus notables características. Según un informe del grupo de trabajo de junio de 2022, los ingenieros ya están trabajando en el desarrollo del próximo estándar, el 802.11be o Wi-Fi 7, cuyas mejoras se proyectan como un "hito importante". Con su lanzamiento previsto para 2024, este estándar se espera que sea desarrollado en un futuro cercano (Llorente, 2022).

A pesar de que el WiFi sigue siendo la tecnología de conectividad más confiable y continúa expandiéndose, se vislumbran alternativas que podrían complementarlo e incluso llegar a sustituirlo en el futuro. Según Sujit Dey, la llegada del 5G a la mayoría de los países europeos, Estados Unidos y América Latina es innegable, pero el desafío radica en que la mayoría de las implementaciones del 5G se han basado en el 4G, lo que requerirá algunos años para lograr una implementación plena y auténtica. (universal, 2022).

2.2.2 Inteligencia artificial y el internet de las cosas (IoT)

Cuando hablamos de inteligencia artificial, nos referimos a la capacidad de una máquina para mostrar habilidades humanas como el aprendizaje y la creatividad. El Internet de las cosas es una red digital de objetos tecnológicos en constante evolución que brinda mejoras significativas en tareas simples y complejas. Sus ventajas son notables y contribuyen significativamente a las empresas. La aplicación de la Inteligencia Artificial en Internet de las Cosas abarca desde aspectos técnicos y profesionales hasta aspectos cotidianos. Algunos ejemplos incluyen sistemas cognitivos que personalizan menús o recetas según preferencias individuales, sensores especializados que "escuchan" y capturan información en formato de audio, y mantenimiento preventivo que alerta sobre posibles averías futuras, ahorrando costos significativos para las empresas (Itop, 2023).

Debido a la amplia gama de posibilidades, estas aplicaciones son solo ejemplos. La implementación adecuada de esta unión proporciona beneficios significativos tanto a las empresas del mismo sector como a las de la agricultura u otros sectores públicos. El ahorro de costos y tiempo, la detección anticipada de fallas, un mayor control en los procesos de producción, una mayor seguridad para el personal y una mejor atención al cliente con asistentes virtuales y lenguaje natural son algunos de los beneficios (Itop, 2023).

En el mundo actual, las tecnologías disruptivas como el big data, el Internet de las cosas, la Inteligencia Artificial y la computación en la nube tienen un impacto significativo en muchas industrias. En el campo de la percepción remota, se resalta la influencia de los big data en las imágenes, la unión de sensores remotos y cercanos a través de Internet, lo que forma el Internet de las Cosas en la percepción remota, y el papel importante de la Inteligencia Artificial, que, a través de componentes como las redes neuronales artificiales y software inteligente, facilita el análisis automático de imágenes y el diseño de naves espaciales autónomas. Según Pérez (2019), la agricultura inteligente es un ejemplo de cómo estas tecnologías funcionan mejor cuando se integran.

2.2.3 Ciberseguridad

La ciberseguridad, también conocida como seguridad de la tecnología de la información (TI), se enfoca en proteger sistemas críticos e información confidencial de ataques digitales, ya sean internos o externos. La detección, la respuesta, la pérdida de ingresos y el daño a la reputación fueron los costos promedio de una brecha de seguridad global en 2020 de \$3.86 millones y \$8.64 millones en los Estados Unidos. Los ciberdelincuentes obtienen información de identificación personal (PII) de clientes, como nombres, direcciones y datos de tarjeta de crédito, para su uso en mercados digitales clandestinos. La pérdida de confianza, multas regulatorias y

posibles acciones legales son las consecuencias (IBM, 2023).

Una estrategia integral de ciberseguridad que incorpora mejores prácticas y automatiza con analítica avanzada, inteligencia artificial (IA) y machine learning puede combatir eficazmente las amenazas cibernéticas. Se requieren capas de protección para protegerse de delitos como acceso no autorizado, modificación o destrucción de datos, extorsión y perturbación de operaciones normales (Aguilar).

La seguridad de infraestructura, la seguridad de redes, las aplicaciones, la seguridad en la nube, la seguridad de información, la educación del usuario final, la recuperación de desastres, la seguridad de almacenamiento y la seguridad móvil son algunas de las áreas que las contramedidas deben abordar (Fernández & Martínez, 2018).

La ciberseguridad debe adaptarse a la evolución del malware, el ransomware, las estafas por correo electrónico, las amenazas internas, los ataques DDoS, las amenazas persistentes avanzadas (APT) y los ataques de intermediario en cuanto a las amenazas emergentes. La gestión de eventos e información de seguridad (SIEM), la gestión de identidad y acceso y una plataforma integral de seguridad de datos son herramientas clave para una ciberseguridad efectiva (Gamón, 2017).

2.2.4 Computación cuántica

Este texto sirve como una introducción a los fundamentos de la computación y la arquitectura cuánticas, que están basadas en la interacción entre los componentes del mundo atómico. Bits cuánticos, compuertas cuánticas, estados confusos, teletransportación cuántica, paralelismo y criptografía cuánticos son componentes de la computación cuántica. Una arquitectura cuántica respaldada por la comunidad de investigación y diseñada para ser compatible con arquitecturas actuales. Incluye memoria, unidades de procesamiento aritmético/lógico y componentes cuánticos como el planificador dinámico y el teletransportador de código. Aunque tiene éxito teórico, su puesta en práctica depende de la creación futura de una computadora cuántica.

La capacidad de reducir significativamente los recursos computacionales necesarios para la ejecución de algoritmos, incluso aquellos que requieren gran poder computacional en las computadoras actuales, se ha demostrado gracias a los avances teóricos en la computación cuántica. Los principios de la computación cuántica se han utilizado con éxito para desarrollar algoritmos matemáticos, como la factorización de números primos, y algoritmos de manejo de información, como la búsqueda en bases de datos no ordenadas.

Las interacciones del mundo atómico y las implementaciones futuras de computadoras cuánticas, que actualmente están en fase experimental, sirven como base para la teoría de la computación cuántica. Ya se han obtenido resultados alentadores, como la creación de la computadora cuántica de cinco qubits de Steffen, a pesar de estar en laboratorios de investigación.

Las propiedades de la interacción cuántica entre partículas subatómicas, como la superposición simultánea de dos estados en una sola partícula, son la base de la computación cuántica. En la teoría de algoritmos cuánticos, la superposición cuántica permite que un bit cuántico mantenga más de un estado, a diferencia del bit convencional que solo puede mantener un estado de "0" o "1" a la vez. El paralelismo cuántico y el paralelismo cuántico masivo se logran en la computación cuántica mediante la superposición cuántica. Además, interactúa con el mundo subatómico para aprovechar el fenómeno de cambio cuántico. Esto se usa en la teletransportación cuántica para transmitir qubits y como un mecanismo de seguridad en la criptografía cuántica (Figuroa-Nazuno, Renteria-Agualimpia, & Bustillo-Hernández, 2008).

2.2.5 Realidad Aumentada y virtual

La rivalidad entre la Realidad Virtual (RV) y la Realidad Aumentada (RA) es principalmente una competencia de ideas, con una diferencia clave en el uso de componentes reales. La Realidad Virtual, una tecnología inmersiva que crea entornos imaginarios a través de imágenes y sonidos creados por computadora, se ha considerado la "próxima gran cosa". Por otro lado, la Realidad Aumentada mejora la experiencia visual al agregar elementos virtuales al entorno del mundo real.

Aunque las diferencias entre Realidad Virtual y Realidad Aumentada inicialmente pueden resultar desconcertantes debido a la rapidez con la que se están desarrollando, ambas tecnologías están destinadas a desempeñar un papel crucial en el futuro. Cada una de estas tecnologías será examinada ahora.

REALIDAD VIRTUAL (RV): La realidad virtual utiliza la inteligencia artificial para transportar a las personas a entornos distintos o mundos imaginarios. Se experimenta un lugar creado por computadora utilizando

dispositivos como auriculares o una pantalla en la cabeza, donde se pueden manipular objetos y desplazarse mediante controladores hápticos, todo conectado a una consola o PC. Algunas experiencias avanzadas incluyen controladores manuales especializados y permiten incluso el libre movimiento.

La VR se emplea principalmente para:

- Crear mundos imaginarios a través de juegos y entretenimiento.
- Desarrollar proyectos de forma virtual para visualizarlos antes de su realización física
- Simulaciones de la realidad para prácticas previas (simuladores de vuelo para pilotos) mejoran la capacitación

Realidad Aumentada (RA): La Realidad Aumentada mejora el mundo real con detalles digitales y capas de percepción adicionales al sobreponer información digital sobre elementos reales. La Realidad Aumentada se centra en el mundo real, a diferencia de la Realidad Virtual, que crea un mundo totalmente creado por computadora.

La implementación de la Realidad Aumentada en dispositivos móviles, como computadoras portátiles, teléfonos inteligentes y tabletas, está cambiando la interacción entre el mundo real y las imágenes digitales. El objetivo es mejorar las experiencias agregando elementos virtuales, como imágenes digitales o gráficos, al entorno físico, brindando una nueva dimensión de interacción con la realidad circundante, como se muestra en la figura 3 (Camara Valencia, 2024).

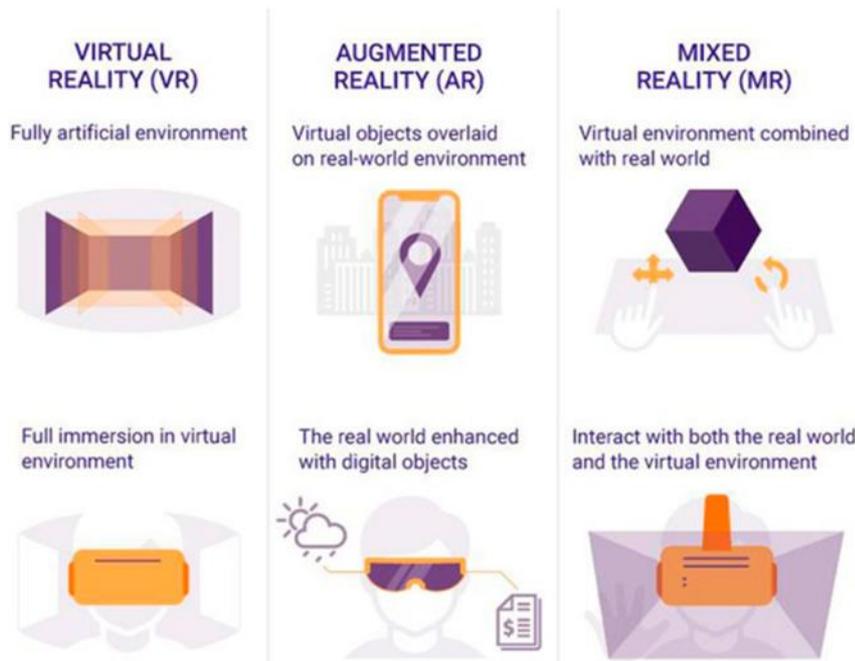


Figura 2-3. Realidad virtual. Fuente: (Camara Valencia, 2024)

2.2.6 Blockchain y Tecnologías descentralizadas

Debido a sus aplicaciones útiles y su amplia aceptación, la tecnología Blockchain ha despertado un gran interés en los últimos años. Utilizando una variedad de metodologías para la interfaz y la supervisión de transacciones, esta tecnología ha revolucionado la idea tradicional de centralización. La descentralización, la inmutabilidad, la transparencia y la comunicación entre pares son estrategias efectivas para abordar las tendencias actuales.

Este artículo ofrece una revisión completa de la tecnología blockchain, discutiendo sus características, clasificación, billeteras y aplicaciones. La cadena de bloques, que se creó en 2009 y fue acuñada por Satoshi Nakamoto, se compone de bloques que están conectados entre sí y utiliza la criptografía para evitar la alteración de los datos. Cada bloque contiene datos de transacción, una marca de tiempo y el valor hash criptográfico del bloque anterior. La distribución descentralizada y descentralizada de la cadena de bloques impide la modificación retroactiva sin tener un impacto en los bloques subsiguientes.

La programabilidad, la seguridad, la transparencia, la descentralización y la inmutabilidad son características

principales de la cadena de bloques. El sistema funciona sin depender de autoridades centralizadas para transacciones de datos, lo que elimina la necesidad de validación externa. Los usuarios pueden verificar transacciones de manera económica e independiente. Para reducir la probabilidad de que las entradas sean obsoletas, las transacciones completadas se codifican y resumen en un árbol de Merkle en el bloque. Esto se hace agregando bloques nuevos sin sobrescribir los bloques existentes.

Una tecnología preferida para implementar un libro de contabilidad distribuido es blockchain. Los registros se agrupan en bloques y los valores hash se utilizan para asegurar criptográficamente su contenido. Los bloques se encadenan mediante la conexión del valor hash del bloque actual al bloque anterior. La escalabilidad depende del tiempo y el tamaño de creación de bloques, y se debe considerar cuidadosamente el equilibrio entre rendimiento y seguridad. Sharding, una técnica de paralelización divide transacciones en "shards", lo que requiere atención cuidadosa para evitar ataques potenciales.

Los desarrollos recientes en Blockchain incluyen stablecoins y DeFi. Las stablecoins, similares a commodities o monedas tradicionales, mantienen un valor estable, haciéndolas adecuadas para diversas aplicaciones, especialmente en intercambios de criptomonedas. DeFi (finanzas descentralizadas) aprovecha las stablecoins para múltiples aplicaciones, permitiendo a los propietarios de tokens beneficiarse a cambio (Rajasekaran, Azees y Al-Turjman, 2022).

2.2.7 Inclusividad digital

La democratización de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) es fundamental para la sociedad actual, ya que brindan acceso a innumerables oportunidades informativas, laborales y de ocio. La inclusión digital tiene como objetivo garantizar que las personas mayores, las personas con menor poder adquisitivo o las personas con discapacidades motrices, intelectuales o audiovisuales no se queden excluidas de un mundo lleno de oportunidades.

La brecha digital divide a las personas con acceso a Internet de las personas sin acceso. En el año 2000, había 413 millones de personas en todo el mundo conectadas a Internet; esto aumentó a 3.400 millones en 2016 y llegó a 4.660 millones a finales de 2020. A pesar de la notable evolución, todavía un 40% de la población mundial no tiene acceso al mundo digital.

La Comisión Europea afirma que la inclusión digital significa que todos pueden participar y beneficiarse de la economía y la sociedad digitales. Esto requiere abordar una serie de problemas:

- Acceso a las TIC asegurando infraestructura, costos bajos y facilidad de uso.
- Tecnologías que faciliten el acceso a las personas con discapacidades.
- Alfabetización digital, incluida la capacitación en TIC en educación básica y continua.
- Inclusión social, enfocándose en grupos vulnerables mediante la implementación de programas específicos.

La brecha digital no solo se refiere al acceso a Internet, sino también a los obstáculos que impiden a ciertos grupos de personas convertirse en ciudadanos digitales, como la falta de habilidades, confianza, motivación y diseños deficientes de servicios digitales. La brecha digital tiene el mayor impacto en los grupos más vulnerables, que incluyen mujeres, personas mayores, minorías raciales y étnicas, discapacitados, comunidades rurales y grupos socioeconómicos desfavorecidos. Para que el acceso a Internet tenga un impacto positivo en el crecimiento social, económico y en el empoderamiento de comunidades desfavorecidas, según Tim Berners-Lee, los objetivos de la inclusión digital son superar ciertos desafíos.

En el mundo actual, ser ciudadano digital brinda más oportunidades laborales, educativas, recreativas, mejor aprovechamiento del tiempo, acceso a información y mayor protección contra delitos digitales. Diversas organizaciones internacionales, como la UNESCO y la Comisión Europea, están trabajando para reducir la brecha digital y aumentar la inclusión, financiando proyectos y promoviendo iniciativas en áreas como salud, medio ambiente, accesibilidad y ocio digital, como se muestra en la figura 4 (Iberdrola, 2024).

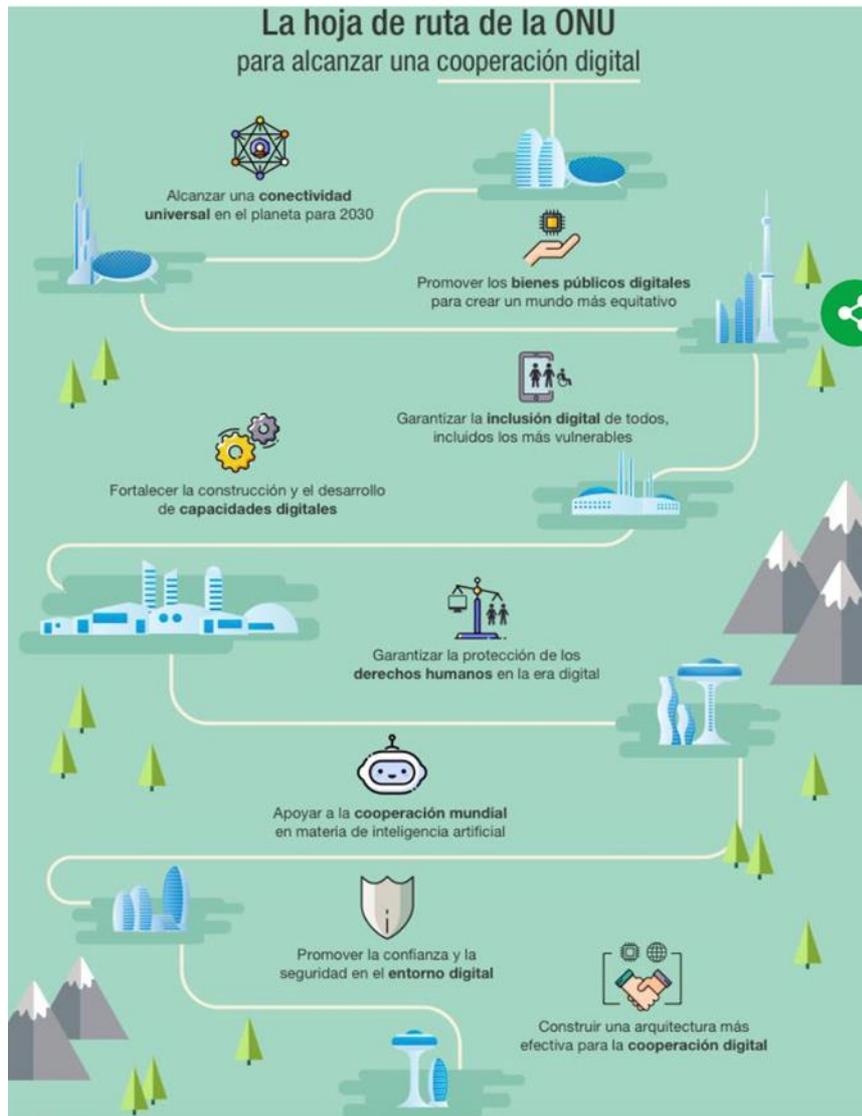


Figura 2-4. Diagrama de Inclusividad digital ONU. *Fuente: (Iberdrola, 2024).*

2.2.8 Sostenibilidad digital

Los recursos digitales enfocados en la sostenibilidad incluyen herramientas y tecnologías destinadas a promover y mejorar la sostenibilidad en aspectos sociales, económicos y ambientales. Dado que la tecnología digital se integra cada vez más en nuestra vida cotidiana y en la sociedad en general, estos recursos digitales son cada vez más importantes en la actualidad.

Algunos de los recursos digitales más populares para fomentar la sostenibilidad incluyen:

1. Las plataformas de comercio electrónico sostenible facilitan la transacción de productos sostenibles entre empresas y consumidores, lo que contribuye a reducir los efectos ambientales y sociales asociados con la producción y el consumo.
2. Los sistemas de gestión ambiental ayudan a las empresas a evaluar y reducir el impacto que tienen en el medio ambiente. Las herramientas digitales se utilizan en estos sistemas para analizar y controlar el uso de recursos, las emisiones de gases de efecto invernadero y la gestión de residuos, entre otros aspectos.
3. Herramientas de seguimiento y medición: Permiten a las empresas y organizaciones medir y evaluar su rendimiento en términos de sostenibilidad. Aplicaciones que miden la huella de carbono o el impacto ambiental de la producción son ejemplos.
4. Plataformas de divulgación y redes sociales: Las plataformas digitales se utilizan para aumentar la conciencia sobre la sostenibilidad y animar a las personas a adoptar prácticas sostenibles en la vida.

diaria. Las campañas en las redes sociales pueden fomentar el uso del transporte público, la reducción de desechos o el uso de energías renovables.

5. Sistemas de transporte inteligentes: utilizan tecnología digital para mejorar la movilidad en las ciudades y reducir los efectos del transporte en el medio ambiente. Por ejemplo, los sistemas de gestión de tráfico que reducen la congestión y las emisiones de gases de efecto invernadero, así como las aplicaciones móviles que promueven el uso compartido de vehículos, pueden ayudar a reducir la cantidad de vehículos en las carreteras.

Estos recursos electrónicos son herramientas cruciales para fomentar prácticas más sostenibles y avanzar hacia un futuro para todos más respetuoso con el medio ambiente (Bernardo, 2023).

2.2.9 Regulación y ética

La progresión constante de la tecnología ha llevado a cambios en nuestros hábitos y comportamientos, lo que ha generado desafíos y preocupaciones inéditos que podrían amenazar el porvenir de nuestra sociedad digital. ¿Cuál es el remedio? Se propone una nueva ética que se basa en Internet, el epicentro de este cambio. A pesar de que los avances tecnológicos como el Internet de las cosas, la Inteligencia Artificial, el Big Data, los robots y la ciberseguridad han generado cambios que han planteado desafíos importantes en la actualidad. Por ejemplo, hace apenas 20 años, nuestra forma de relacionarnos, nuestros hábitos de consumo e incluso nuestra identidad cambiaron.

En la actualidad, el acceso rápido a la información y la privación de nuestra privacidad son aspectos esenciales de nuestra vida diaria. Los expertos afirman que esto es solo el comienzo. Gerd Leonhard, un futurista alemán, afirma que en las próximas dos décadas se producirán más transformaciones impulsadas por la tecnología que en los últimos 300 años. Para que el progreso tecnológico beneficie a todos, esta transformación conllevará peligros, oportunidades y dilemas. ¿Por qué? La mayoría de los expertos están de acuerdo en que es necesaria una nueva ética de Internet que fomente la convivencia y proteja los derechos de los ciudadanos digitales como se muestra en la figura 5 (Iberdrola, 2024).



Figura 2-5. Ética digital. Fuente: (Iberdrola, 2024)

2.2.10 Integración con tecnologías complementarias

Nuestra vida cotidiana requiere el estándar IEEE 802.11 para redes locales inalámbricas (WLAN), también conocidas como Wi-Fi. Cerca de cien mil millones de dispositivos de Internet de las cosas (IoT), tabletas, computadoras portátiles, computadoras de escritorio, televisores inteligentes, cámaras de video, monitores, impresoras y otros dispositivos de consumo están conectados a Internet a través de más de mil millones de puntos de acceso Wi-Fi. Esto permite que millones de aplicaciones lleguen a todos, en todas partes. La evolución de la tecnología Wi-Fi también llevó a la implementación comercial de tecnologías como transmisión óptica de espectro ensanchado, comunicaciones ópticas de alta velocidad, OFDM, MIMO y mmWave. Las industrias de telefonía luego las adoptaron más ampliamente (Pahlavan, 2020).

La popularidad y la amplia utilización de redes Wi-Fi en áreas interiores impulsaron aún más la creación de aplicaciones cibernéticas oportunistas que aprovechan las señales Wi-Fi ubicuas. Cualquier dispositivo Wi-Fi que aloje o admita estas aplicaciones oportunistas puede acceder a una "nube de RF" a través de la señal de radiofrecuencia emitida por los puntos de acceso Wi-Fi. Las primeras aplicaciones oportunistas populares de la "nube de RF" de Wi-Fi fueron la posición y la inteligencia de ubicación de Wi-Fi. Los investigadores actualmente están investigando aplicaciones oportunistas de señales Wi-Fi para la detección de gestos y movimiento, así como para la autenticación y la seguridad. Este artículo ofrece una visión general de los avances tecnológicos (Pahlavan, 2020).

2.3 Arquitectura y componentes de una red WiFi

El servidor, una computadora o aplicación que proporciona servicios específicos, como el almacenamiento de información, a otros equipos conocidos como clientes, es uno de los componentes más importantes de las redes. El servidor procesa las solicitudes de los clientes y les transmite los datos a través de una red, ya sea local o de Internet, mientras opera bajo la arquitectura cliente-servidor. Existe una variedad de tipos, incluidos servidores de correo electrónico y servidores web, cada uno de los cuales realiza tareas específicas, como enviar correos o visualizar contenido web (Jasso, 2017).

Otro componente crucial es la estación de trabajo, que representa el equipo informático destinado a tareas científicas, técnicas o profesionales. Estas estaciones, conectadas a través de un servidor, facilitan los flujos de información y periféricos, lo que hace que las oficinas u otros lugares de trabajo sean lugares donde las personas trabajen juntas (Rodríguez, 2022).

Aunque está integrada en el equipo, la tarjeta de conexión a la red permite la conexión a la red a través de programas controladores compatibles con el sistema operativo. El repetidor, por otro lado, amplifica señales de red débiles, lo que lo hace esencial en lugares con muchos dispositivos conectados para ajustar y aumentar la intensidad de la señal (Rodríguez, 2022).

Puentes de red, también conocidos como puentes de red, conectan segmentos de una red sin la necesidad de un router, lo que facilita la comunicación entre equipos conectados a diferentes segmentos de la red. Mientras que los hubs funcionan como concentradores y conectan dispositivos en un único segmento de red, los switches digitales conectan segmentos de red, formando redes de área local (LAN) que funcionan como Ethernet estándar (Rodríguez, 2022)

El router finalmente busca la mejor ruta para la transmisión de datos en una red, ya que es esencial para distribuir conexiones de red y permitir que varios dispositivos compartan una conexión a Internet. La estructura fundamental de las redes informáticas se compone de estos elementos (Rodríguez, 2022; Jasso, 2017).

2.3.1 Estructura Básica de las Redes Wi-Fi

Una red de computadoras está compuesta por una serie de componentes fundamentales que trabajan juntos para facilitar la comunicación y el intercambio de datos. Los nodos, que son dispositivos conectados a la red, como computadoras, servidores, impresoras y teléfonos inteligentes, tienen una dirección única. Los datos se transmiten entre los nodos a través de canales de transmisión, que pueden ser físicos o inalámbricos, como cables de red, fibra óptica o conexiones inalámbricas. Los protocolos de comunicación definen cómo se empaquetan, transmiten y reciben los datos. Los conmutadores y routers también dirigen el flujo de datos en la red, mientras que los firewalls brindan seguridad, protegiendo la red contra cualquier amenaza externa (Hinojo, Barrero, Sergio, Marín, & Cortes, 2011).

Las topologías de red son ampliamente utilizadas. La topología de estrella conecta todos los nodos a un punto central, lo que hace más fácil administrar la red, pero hace que la red sea vulnerable en caso de que el nodo central falle. La topología de bus utiliza un medio de transmisión único entre todos los nodos, lo que lo hace fácil pero también es susceptible a fallas si el cable se daña. Los nodos están conectados en un círculo cerrado mediante topología de anillo, pero una falla puede interrumpir la comunicación en toda la red. Aunque su implementación puede ser costosa, la topología de malla proporciona redundancia al conectar cada nodo a varios otros. La topología de árbol es una combinación de estrella y bus, que es común en redes de área amplia, como Internet (Hinojo, Barrero, Sergio, Marín, & Cortes, 2011).

Una red de computadoras transmite datos desde un nodo de origen a un nodo de destino utilizando los medios disponibles y siguiendo los protocolos de comunicación establecidos. El empaquetamiento de datos, la transmisión, la recepción, la confirmación de entrega y la posibilidad de comunicación bidireccional son todos componentes de este proceso (Hinojo, Barrero, Sergio, Marín, & Cortes, 2011).

Las redes de computadoras son esenciales para la sociedad moderna porque permiten la comunicación global, el acceso a recursos compartidos, la conexión a Internet, las aplicaciones empresariales, la educación en línea, la investigación científica y la automatización industrial, entre otras cosas, como se muestra en la figura 6 (Hinojo, Barrero, Sergio, Marín, & Cortes, 2011).

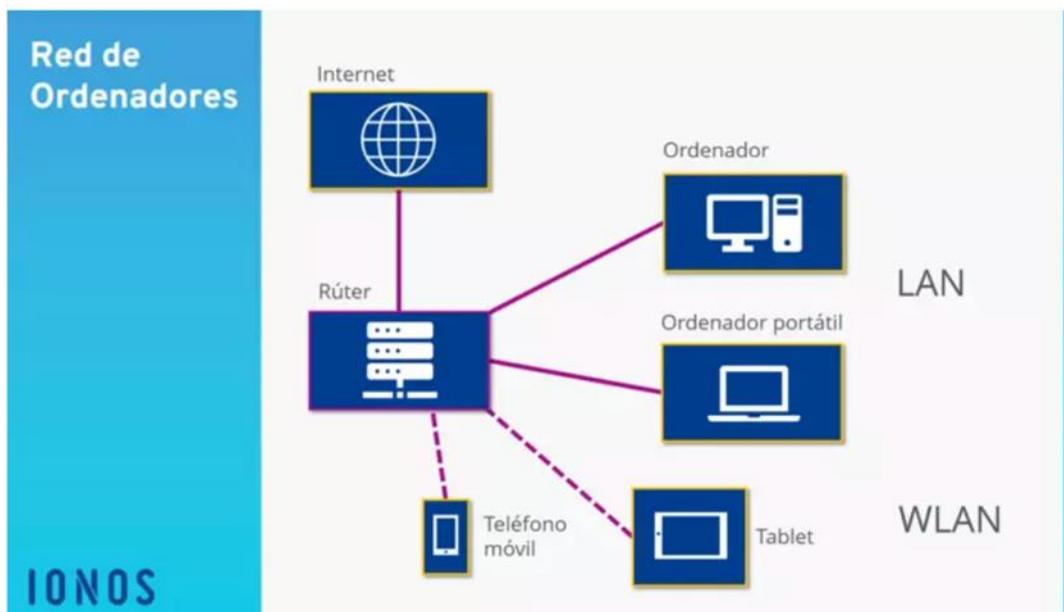


Figura 2-6. Estructura básica de redes Wi-Fi. Fuente: (Iconos,2021)

2.3.2 Funcionamiento de la Capa Física y Modos de Operación

El modelo Open Systems Interconnection (OSI) es un marco de referencia que establece estándares para la comunicación entre dos sistemas y permite la interacción independientemente del hardware o software que se use. Desarrollado desde 1977 y lanzado en 1983, se compone de siete capas superpuestas con funciones específicas (Iconos, 2023).

Las capas del modelo OSI son:

1. Capa física (Physical Layer)
2. Capa de enlace (Data Link Layer)
3. Capa de red (Network Layer)
4. Capa de transporte (Transport Layer)
5. Capa de sesión (Session Layer)
6. Capa de presentación (Presentation Layer)
7. Capa de aplicación (Application Layer) (Iconos, 2023).

La primera y más baja capa física conecta las unidades de una red. Establecer e interrumpir conexiones, supervisar la transmisión de información y controlar la estructura y el valor de los bits son sus principales responsabilidades. No corrige errores ni distingue entre bits de información y control la capa física. La capa física solo puede establecer una conexión física, enviar datos como un flujo de bits y garantizar una desconexión adecuada. Además, realiza funciones administrativas y responde preguntas sobre variables físicas, dirección de transmisión y representación física de dígitos binarios (Iconos, 2023).

Esta capa proporciona información a otras capas para permitir una conexión fluida, lo que influye en la elección del hardware y tipo de red. La capa física determina parámetros como el medio de transmisión, la velocidad y el sentido de transmisión, que afectan a las demás capas. Los componentes de hardware de la capa física se clasifican en pasivos (resistencias, antenas, cables y conectores) y activos (hubs, tarjetas de red, repetidores, transceptores y amplificadores). Las tecnologías como 1-Wire, Bluetooth, DSL, Ethernet, USB y Wi-Fi se basan en la capa física de acuerdo con los principios del modelo Open Systems Interconnection (OSI) (Iconos, 2023)

3 EDIFICIO

En este apartado, se llevará a cabo una descripción detallada del edificio. Se explorarán tanto sus características físicas como funcionales, destacando su distribución interior, diseño arquitectónico y servicios disponibles. Además, se analizarán las necesidades específicas que este tipo de estructura busca satisfacer, así como su relevancia en el contexto urbano y empresarial.

3.1 Descripción del Edificio y Uso Previsto

El edificio en cuestión es una estructura de cinco plantas diseñada específicamente para albergar oficinas comerciales. Situado en el centro del distrito financiero de la ciudad, el edificio presenta una arquitectura moderna y elegante, con amplias áreas de trabajo, salas de reuniones y espacios comunes diseñados para fomentar la colaboración y la productividad entre los empleados.

Cada planta del edificio se divide en varias áreas de oficinas, con una distribución que se adapta para ofrecer la mayor flexibilidad a las cambiantes necesidades de las empresas que alberga.

Durante el proceso de diseño y planificación del edificio, se identificaron varias necesidades con relación al acceso y conectividad WiFi que debían abordarse, a fin de generar un entorno de oficina sin fricciones y eficiente.

3.2 Necesidades Detectadas

Durante el proceso de diseño y planificación del edificio, se identificaron varias necesidades relacionadas con la conectividad WiFi que debían abordarse para garantizar un entorno de trabajo eficiente y sin problemas.

Entre las necesidades detectadas se incluyen:

- Cobertura WiFi uniforme en todas las áreas del edificio, incluidas las zonas comunes y las oficinas periféricas.
- Capacidad para soportar múltiples dispositivos conectados simultáneamente, incluidos teléfonos móviles, tabletas, computadoras portátiles y dispositivos IoT.
- Seguridad de red robusta para proteger los datos confidenciales de las empresas y evitar accesos no autorizados.
- Ancho de banda suficiente para admitir aplicaciones y servicios en la nube, videoconferencias de alta definición y transferencia de archivos de gran tamaño.

3.3 Características particulares que destacar

El edificio presenta varias características particulares que influyen en el diseño de la red WiFi:

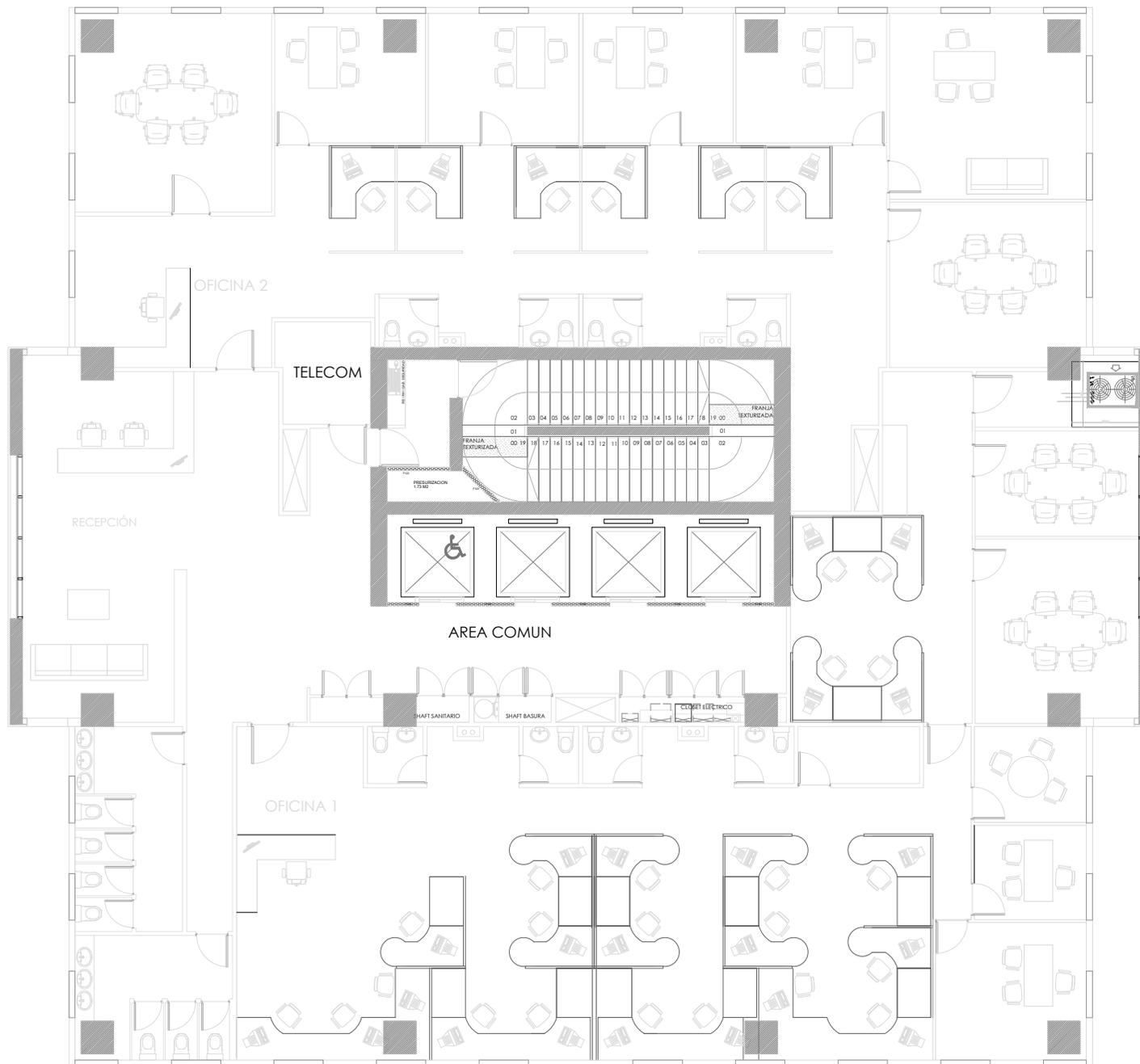
- **Diseño Arquitectónico:** Con su estructura de cinco plantas, el edificio requiere una cuidadosa planificación de la ubicación de los puntos de acceso WiFi para garantizar una cobertura uniforme y sin interferencias.
- **Materiales de Construcción:** el uso de materiales como el vidrio, el acero, y de hormigón en la edificación del edificio afecta la propagación de la señal WiFi, razón por la que deben considerarse durante el diseño de la red.
- **Densidad de Usuarios:** en cuanto a las empresas modernas, el entorno empresarial está saturado de tecnología, por lo tanto, la cantidad de usuarios que estarán conectados a la red WiFi en todo momento será significativa. Así, la infraestructura debe ser capaz de soportar una gran cantidad de dispositivos conectados simultáneamente.

3.4 Particularidades que afectan al diseño de la red

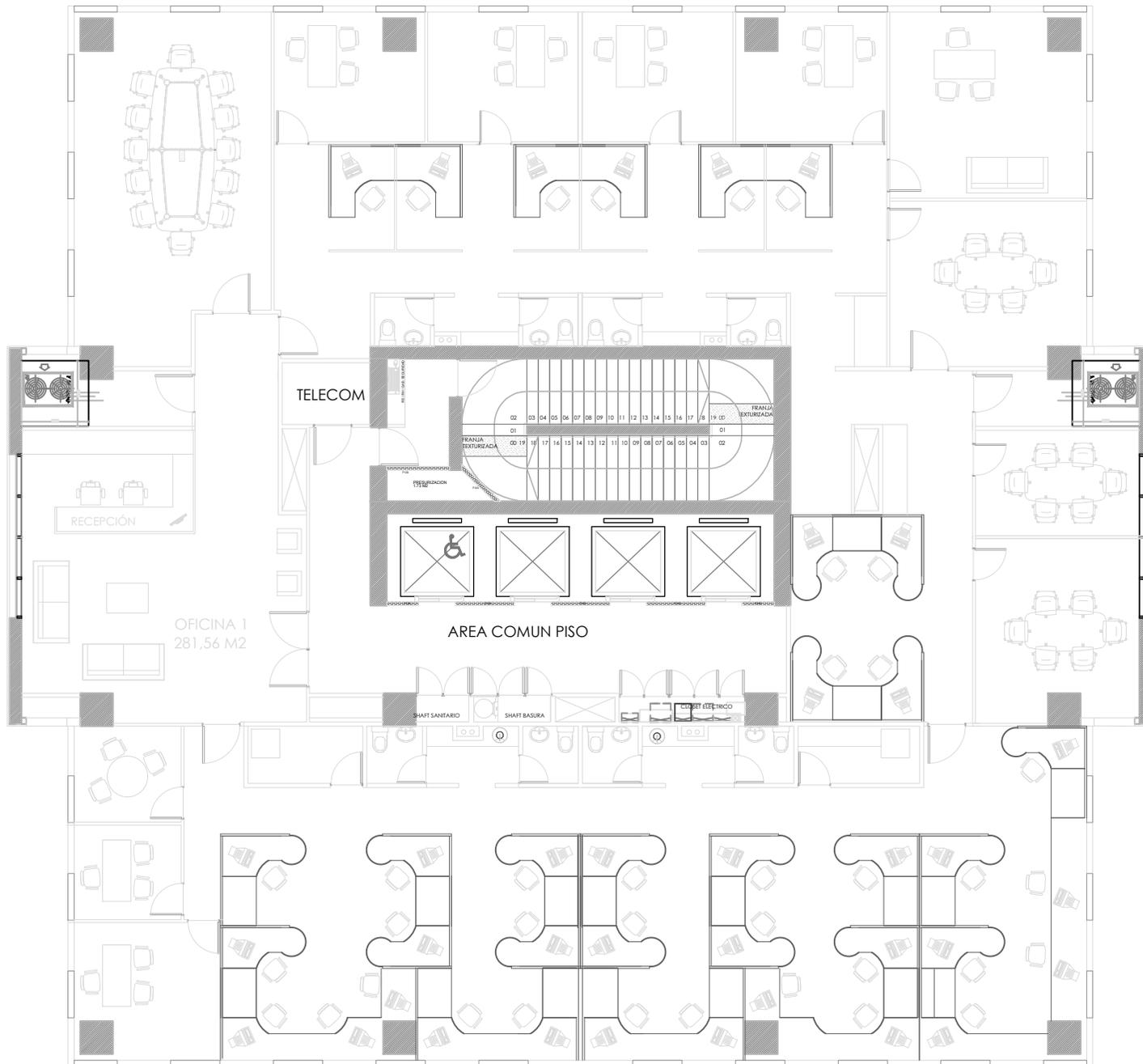
Al diseñar la red WiFi para el edificio de oficinas, es importante tener en cuenta varias particularidades que pueden influir en su rendimiento y eficacia:

- Interferencias Electromagnéticas: La presencia de equipos electrónicos y otros dispositivos inalámbricos en las oficinas puede generar interferencias en la señal WiFi, por lo que se deben tomar medidas para minimizar su impacto.
- Movilidad de los Usuarios: Con un entorno de trabajo dinámico donde los empleados pueden moverse libremente por el edificio, es fundamental implementar tecnologías de roaming que permitan una transición fluida entre los puntos de acceso WiFi sin interrupciones en la conexión.
- Seguridad: Dado que el edificio alberga empresas con información confidencial, se deben implementar medidas de seguridad avanzadas, como autenticación de usuarios, cifrado de datos y firewalls, para proteger la red contra amenazas internas y externas.

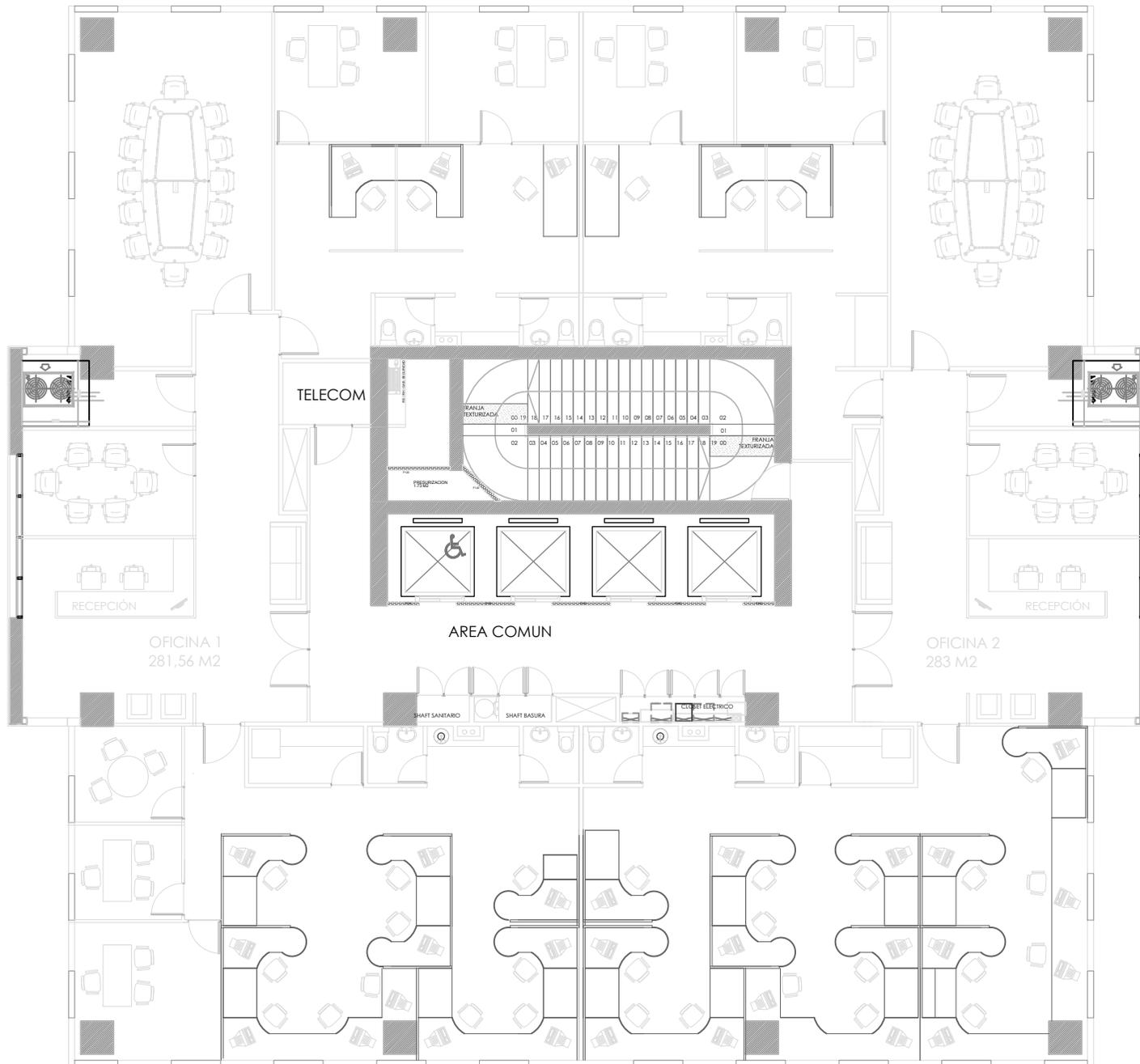
Adjunto a este capítulo se incluyen los planos del edificio, que detallan la distribución de las áreas de oficina, los puntos de acceso WiFi propuestos y otros aspectos relevantes para el diseño de la red.



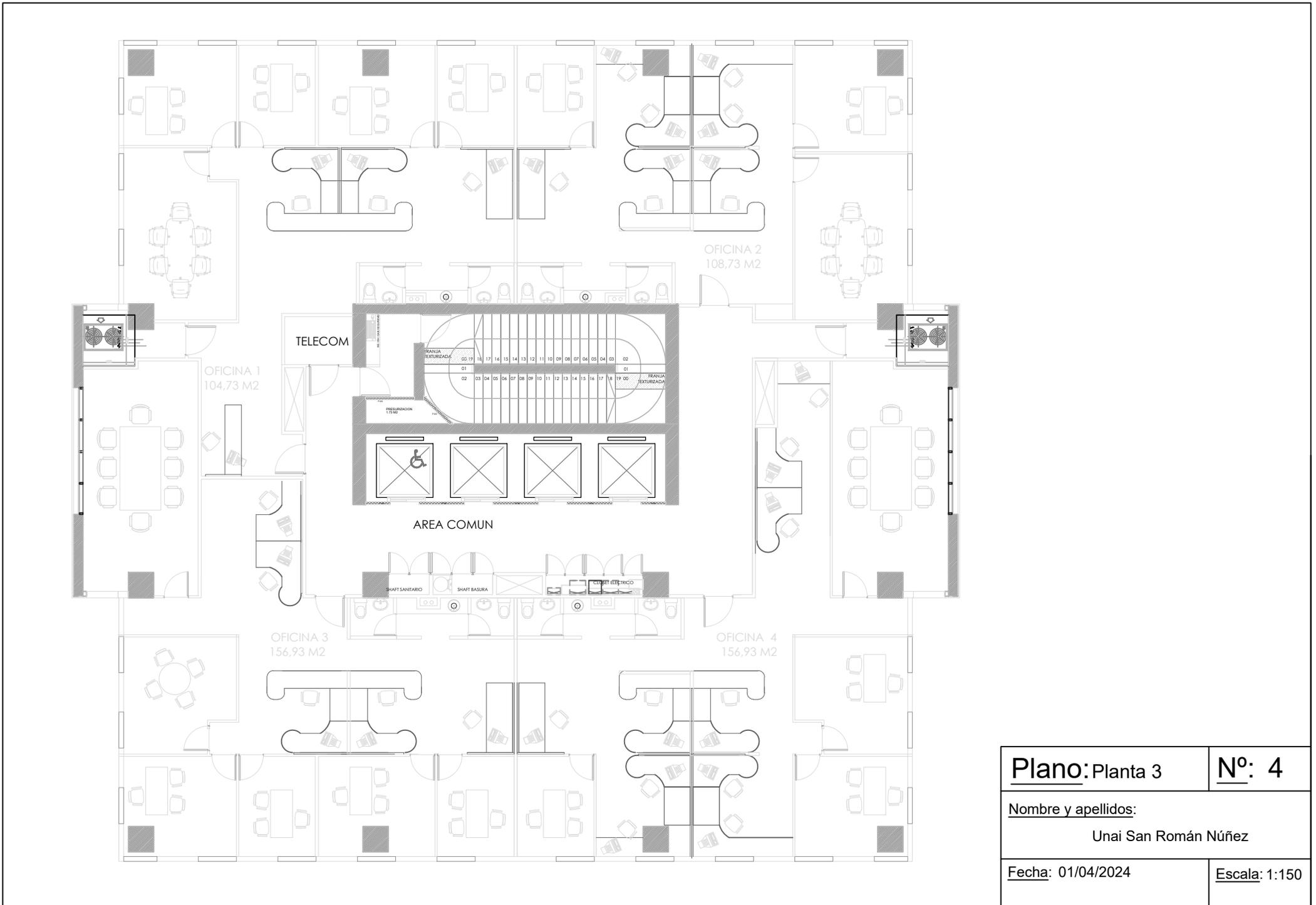
Plano: Planta baja	Nº: 1
Nombre y apellidos: Unai San Román Núñez	
Fecha: 01/04/2024	Escala: 1:150



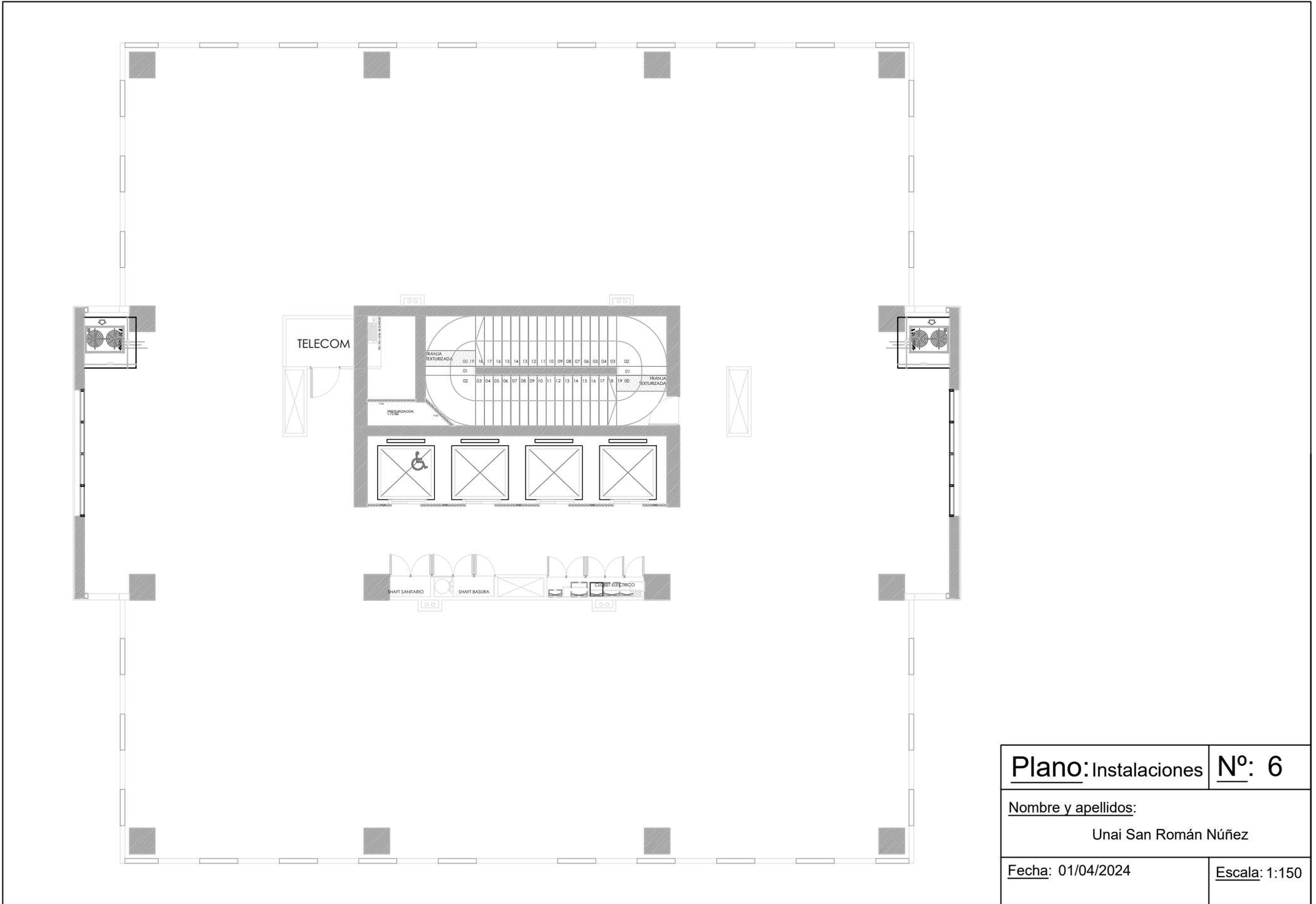
Plano: Planta 1	Nº: 2
Nombre y apellidos: Unai San Román Núñez	
Fecha: 01/04/2024	Escala: 1:150



Plano: Planta 2 y 4	Nº: 3
Nombre y apellidos: Unai San Román Núñez	
Fecha: 01/04/2024	Escala: 1:150



Plano: Planta 3	Nº: 4
Nombre y apellidos: Unai San Román Núñez	
Fecha: 01/04/2024	Escala: 1:150



Plano: Instalaciones **Nº:** 6

Nombre y apellidos:
Unai San Román Núñez

Fecha: 01/04/2024

Escala: 1:150

4 MEMORIA PRÁCTICA

El presente proyecto tiene como objetivo principal realizar un estudio detallado de la red WiFi en un edificio de oficinas utilizando el software iBwave. Se han llevado a cabo mediciones de nivel de fuerza de señal, relación señal-ruido (SNR), zona de overlap y la identificación del mejor servidor de punto de acceso (AP) para optimizar el rendimiento de la red inalámbrica en el edificio.

4.1 Metodología.

Para llevar a cabo este estudio, se realizó un relevamiento detallado del edificio de oficinas, teniendo en cuenta la distribución de las áreas de trabajo, las paredes, los obstáculos y otros factores que puedan influir en la propagación de la señal WiFi. A continuación, se utilizó el software iBwave para modelar la red WiFi y realizar simulaciones que nos permitieran obtener los resultados deseados.

4.1.1 iBwave

iBwave es una plataforma integral de diseño y análisis de redes inalámbricas que se utiliza principalmente en el diseño de redes WiFi, DAS (Distributed Antenna Systems) y redes móviles en interiores. Esta herramienta está diseñada para ingenieros y profesionales del sector de las telecomunicaciones que necesitan planificar, diseñar, implementar y optimizar redes inalámbricas en entornos interiores complejos como edificios de oficinas, estadios, centros comerciales, hospitales y más.

A continuación, describiré las principales características y funciones de iBwave:

1. Diseño de Redes Inalámbricas

iBwave permite a los usuarios diseñar redes inalámbricas desde cero, teniendo en cuenta factores como la distribución del edificio, los materiales de construcción, la densidad de usuarios, los requerimientos de cobertura y capacidad, entre otros. Permite la creación de planos de planta detallados que sirven como base para el diseño de la red.

2. Simulaciones Predictivas

Una de las características más destacadas de iBwave es su capacidad para realizar simulaciones predictivas de cobertura y rendimiento de la red WiFi. Utilizando algoritmos avanzados, iBwave puede predecir con precisión la cobertura de la señal, la calidad de la conexión y el rendimiento de la red en diferentes áreas del edificio.

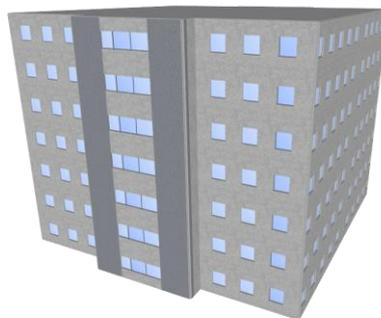
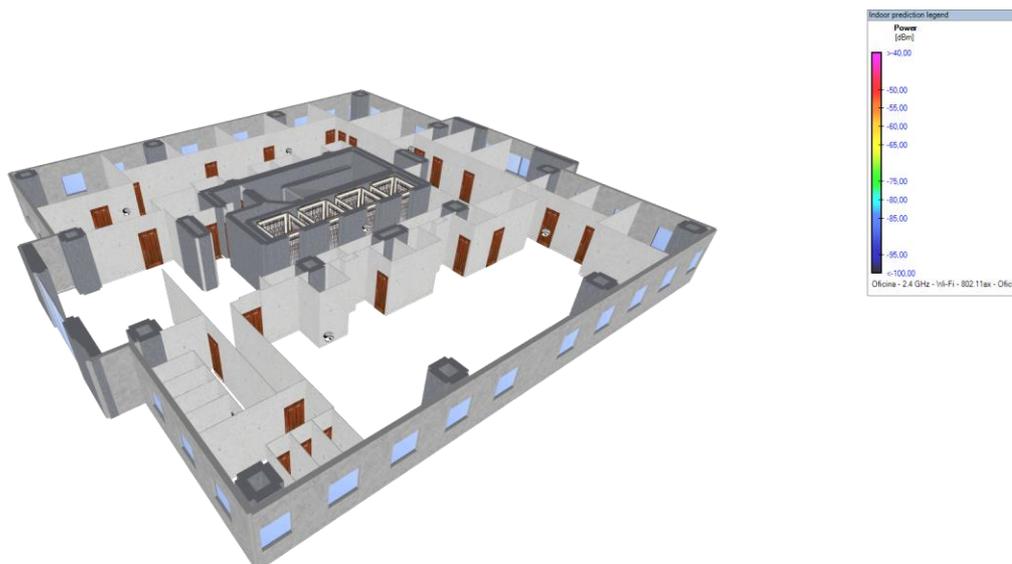


Figura 4-1. Edificio de oficinas 3D



Project Name: Estudio Wifi edificio oficinas

Figura 4-2. Planta baja edificio de oficinas 3D

3. Análisis de Cobertura y Capacidad

La plataforma proporciona herramientas para analizar la cobertura de la señal WiFi, la capacidad del sistema y la calidad del servicio (QoS). Esto incluye la visualización de mapas de calor que muestran la intensidad de la señal en diferentes ubicaciones, así como métricas como la tasa de transferencia de datos y la latencia.

4. Optimización de Redes

iBwave ofrece herramientas de optimización que permiten a los usuarios mejorar la eficiencia y el rendimiento de la red. Esto puede incluir la reubicación de puntos de acceso, ajustes en la potencia de transmisión, la configuración de canales y otras optimizaciones para minimizar la interferencia y maximizar la cobertura.

5. Integración con Herramientas de Medición

La plataforma es compatible con una variedad de dispositivos de medición y análisis de redes inalámbricas, lo que permite a los usuarios importar datos de mediciones reales para validar y calibrar los modelos de simulación. Esto ayuda a garantizar una precisión aún mayor en las predicciones de cobertura y rendimiento.

6. Generación de Informes y Documentación

iBwave facilita la generación de informes detallados que resumen los resultados del diseño y análisis de la red. Estos informes pueden incluir mapas de cobertura, análisis de capacidad, recomendaciones de optimización y otros datos relevantes para los stakeholders del proyecto.

En resumen, iBwave es una herramienta completa y poderosa para el diseño, análisis y optimización de redes inalámbricas en entornos interiores. Su capacidad para realizar simulaciones predictivas precisas y su amplia gama de características lo convierten en una opción popular entre los profesionales de las telecomunicaciones que buscan garantizar el despliegue exitoso de redes WiFi y DAS en edificios y espacios interiores.

4.1.2 Punto de Acceso escogido (AP)

El AP (Punto de Acceso) Aruba 630 es parte de la línea de productos de redes inalámbricas de Aruba Networks,

una empresa líder en soluciones de redes empresariales. El Aruba 630 está diseñado para ofrecer conectividad inalámbrica de alto rendimiento y confiable en entornos empresariales y de alta densidad, como oficinas corporativas, campus universitarios, centros de convenciones y espacios públicos.

Descripción detallada de algunas de las características clave del AP Aruba 630:

1. **Tecnología Wi-Fi 6:** El Aruba 630 es compatible con el estándar Wi-Fi 6 (también conocido como 802.11ax), que ofrece mejoras significativas en velocidad, capacidad y eficiencia en comparación con las generaciones anteriores de Wi-Fi. Esto permite un rendimiento óptimo incluso en entornos con alta densidad de dispositivos y tráfico de red.
2. **MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) y MU-MIMO (Multi-User MIMO):** Estas tecnologías permiten al AP manejar múltiples transmisiones de datos simultáneas, lo que mejora la capacidad y la eficiencia de la red al permitir que varios dispositivos se comuniquen con el AP al mismo tiempo.
3. **Beamforming:** El Aruba 630 utiliza la tecnología de beamforming para dirigir de manera inteligente las señales de Wi-Fi hacia los dispositivos clientes, mejorando así la cobertura y la calidad de la señal inalámbrica.
4. **Antenas Internas:** Este AP está equipado con antenas internas de alto rendimiento que están diseñadas para proporcionar una cobertura Wi-Fi uniforme y confiable en toda el área de implementación.
5. **Puertos Ethernet:** El Aruba 630 cuenta con puertos Ethernet que permiten la conexión de dispositivos cableados, como computadoras de escritorio, impresoras o dispositivos de red adicionales. Esto proporciona flexibilidad en la implementación de la red y la capacidad de aprovechar la conectividad cableada cuando sea necesario.
6. **Gestión Centralizada:** Como parte del ecosistema de Aruba Networks, el AP Aruba 630 se puede gestionar de forma centralizada a través de la plataforma de gestión de redes de Aruba, lo que facilita la configuración, supervisión y resolución de problemas de múltiples AP desde una ubicación central.
7. **Seguridad Avanzada:** El Aruba 630 ofrece una amplia gama de características de seguridad para proteger la red y los datos de usuarios. Esto incluye encriptación WPA3, autenticación de usuarios, firewalls integrados y detección de amenazas.

En resumen, el Aruba 630 es un punto de acceso de alto rendimiento diseñado para proporcionar conectividad inalámbrica confiable y de alta velocidad en entornos empresariales exigentes. Con características como Wi-Fi 6, MIMO, beamforming y seguridad avanzada, el Aruba 630 es una opción ideal para organizaciones que buscan mejorar la eficiencia y la capacidad de su infraestructura de red inalámbrica.

En el Anexo A se adjunta la Ficha de Datos del Access Point.

4.1.3 Posicionamiento de los Puntos de Acceso

La elección de la posición de los puntos de acceso en un estudio WiFi es fundamental para garantizar un rendimiento óptimo de la red inalámbrica. Los puntos de acceso son los dispositivos encargados de transmitir la señal WiFi y conectar los dispositivos a la red, por lo que su ubicación estratégica puede marcar la diferencia entre una conexión rápida y confiable o una conexión lenta y poco fiable.

En primer lugar, la cobertura es clave. Colocar los puntos de acceso de manera que cubran todas las áreas necesarias con una señal fuerte y estable es esencial para evitar zonas muertas donde la conexión sea deficiente o inexistente. Esto implica tener en cuenta la distribución física del espacio, así como posibles obstáculos como paredes, muebles u otros dispositivos electrónicos que puedan interferir con la señal.

Además de la cobertura, la capacidad de la red también debe considerarse. Dependiendo del número de dispositivos que se espera que se conecten a la red WiFi y el tipo de actividades que realizarán (como navegación web, streaming de video, transferencia de archivos), se debe dimensionar adecuadamente el número de puntos de acceso y su disposición para evitar congestiones y garantizar un ancho de banda suficiente para todos los usuarios.

Aunque la distribución de cada planta es distinta, se puede observar en las imágenes de a continuación como los Puntos de Acceso quedan situados en el mismo lugar para cada planta. Hay que tener en cuenta que esto se debe

a que no se encuentran obstáculos en la posición de cada uno de ellos y gracias a la ausencia de materiales poco reflexivos como cristalería, paredes de alta densidad, etc.

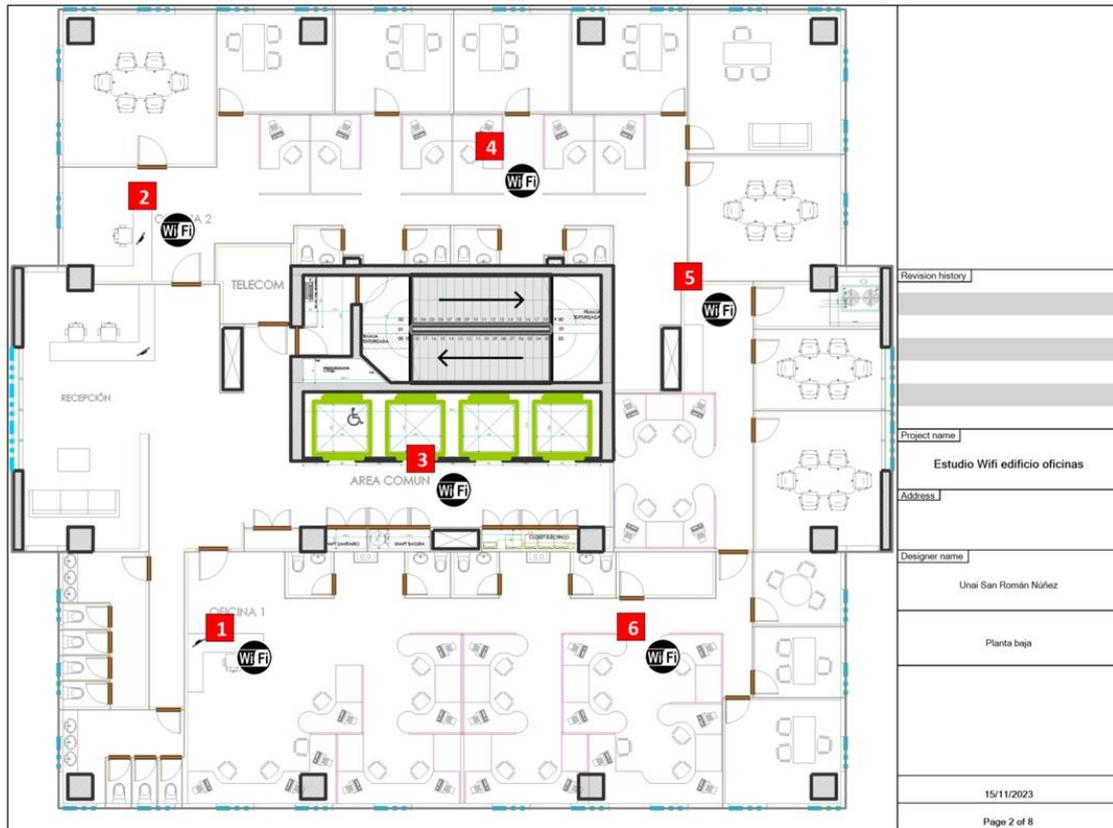


Figura 4-3. Posicionamiento Puntos de Acceso. Planta baja.

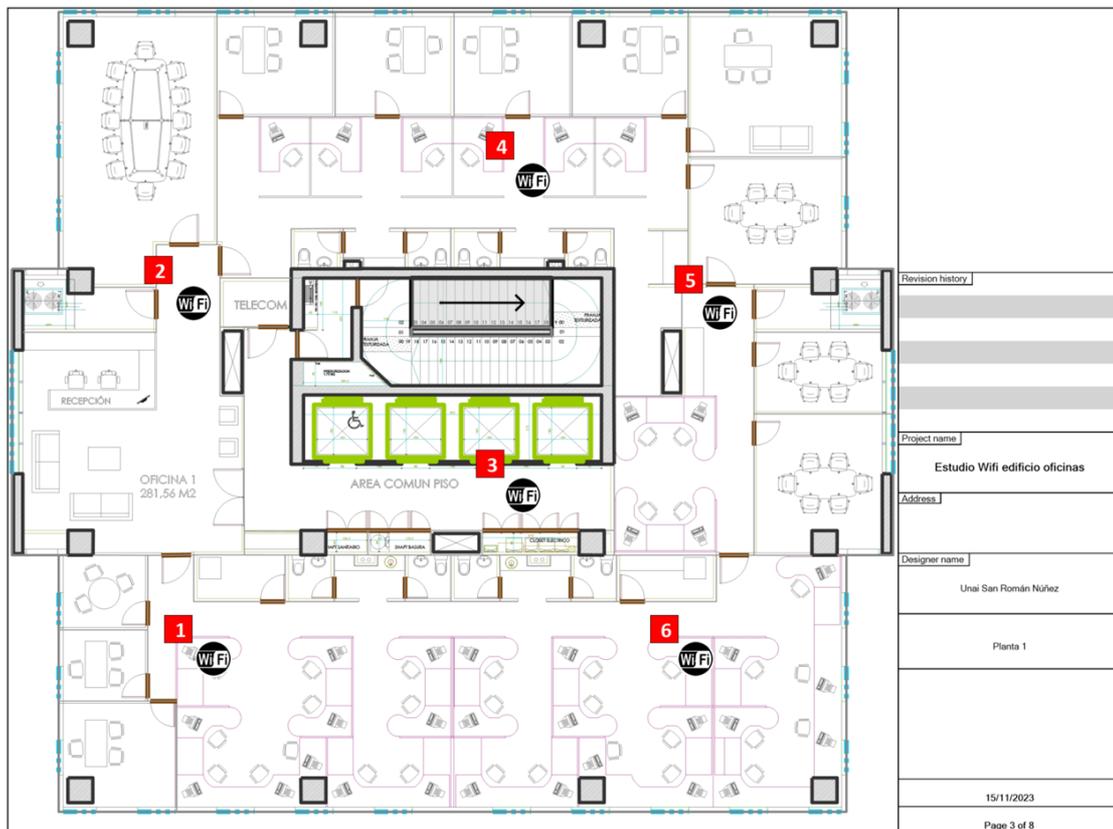


Figura 4-4. Posicionamiento Puntos de Acceso. Planta 1.

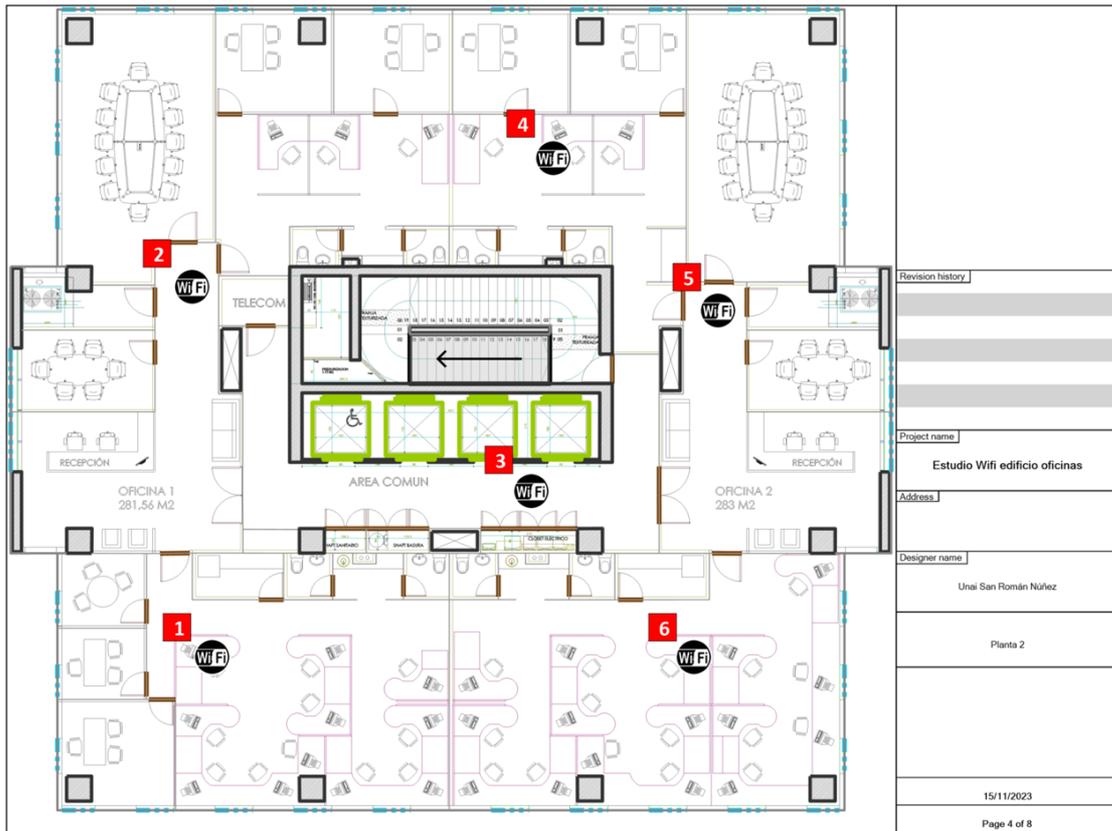


Figura 4-5. Posicionamiento Puntos de Acceso. Planta 2.

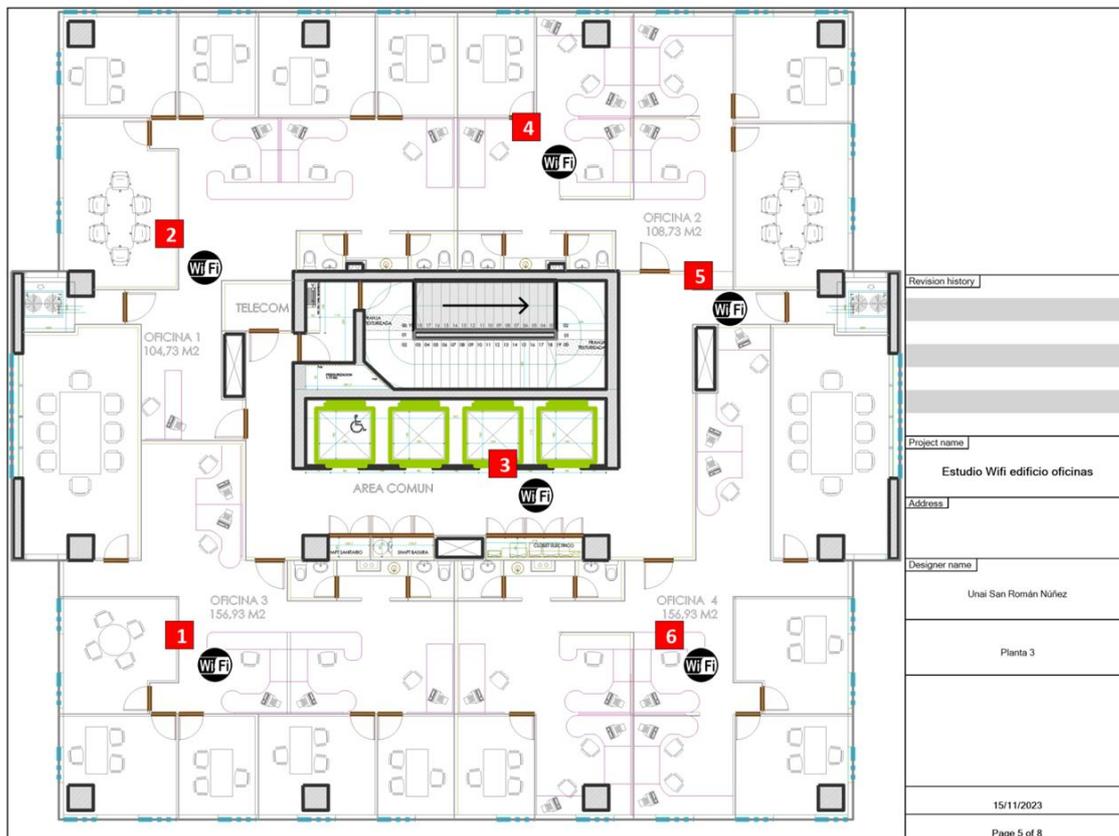


Figura 4-6. Posicionamiento Puntos de Acceso. Planta 3.

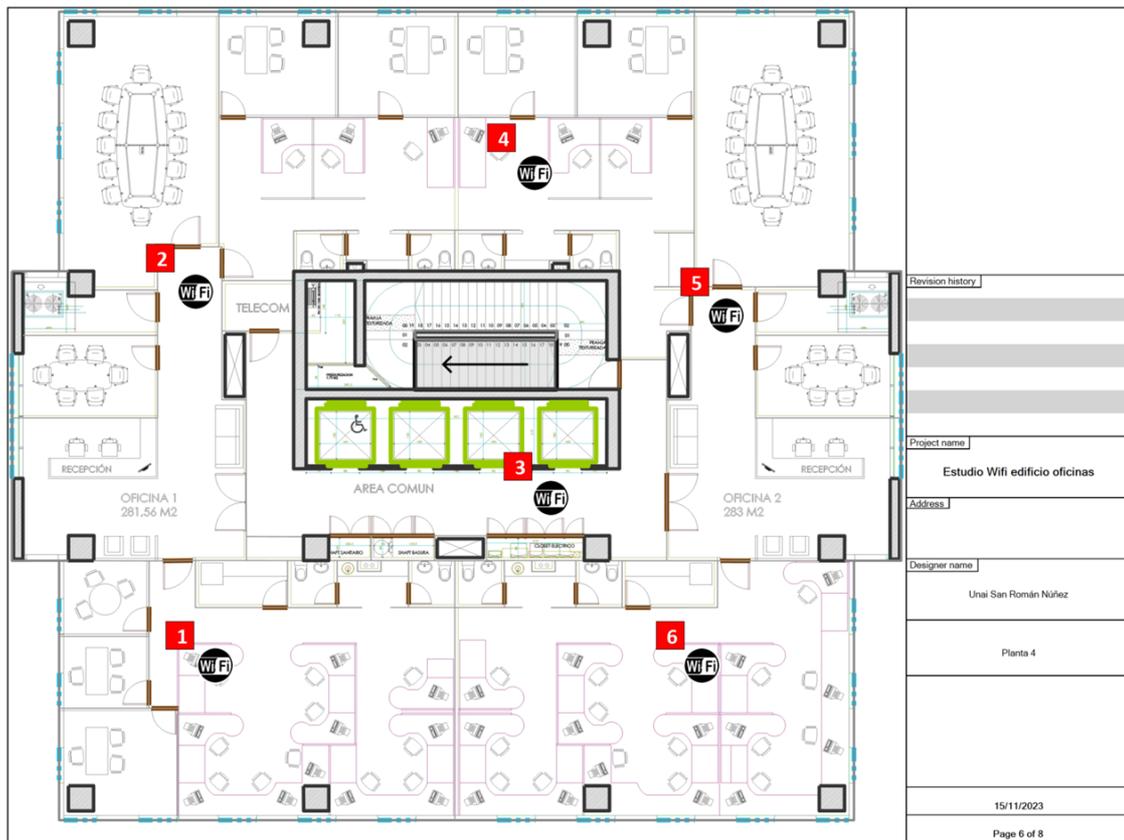


Figura 4-7. Posicionamiento Puntos de Acceso. Planta 4.

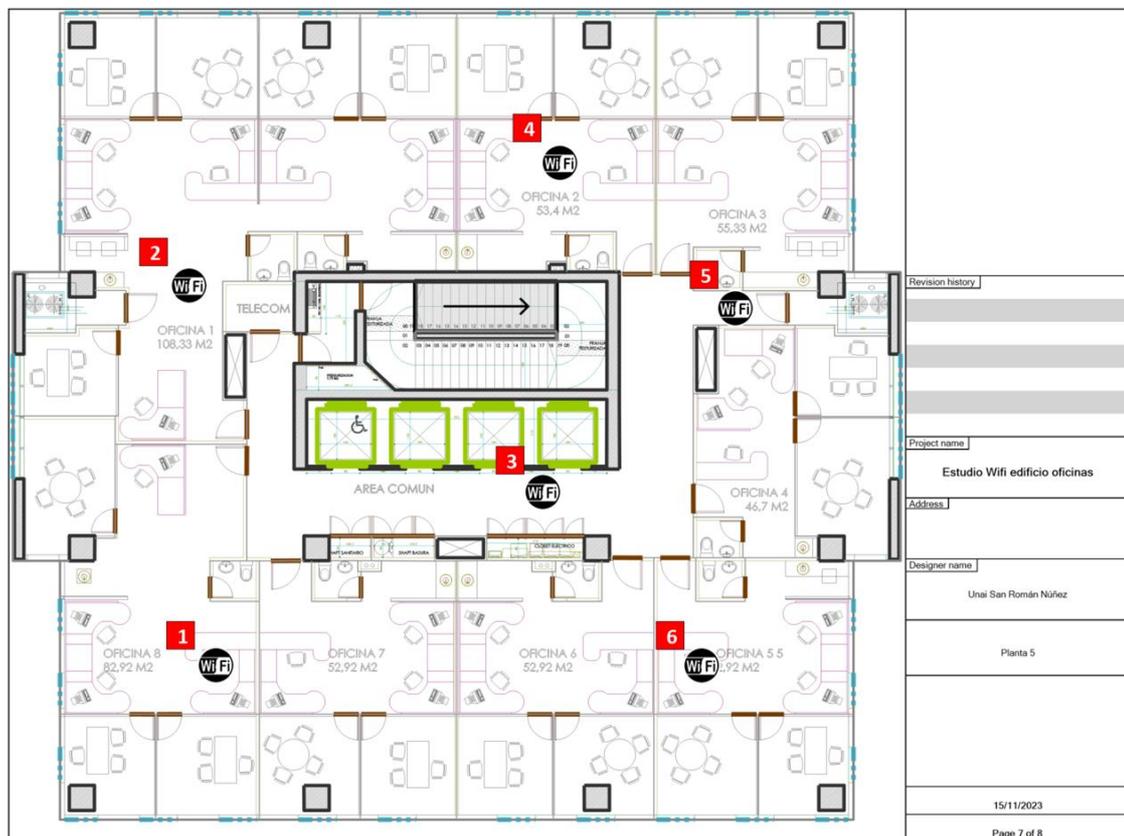


Figura 4-8. Posicionamiento Puntos de Acceso. Planta 5.

4.1.4 Resultado de las simulaciones

Dentro de todas las posibilidades que ofrece la herramienta iBwave se ha realizado 4 simulaciones para este proyecto. Se han realizado tanto en la banda de 2.4Ghz como en la de 5Ghz y 6Ghz

4.1.4.1 Gráficas de Nivel de Fuerza de Señal

Se ha obtenido una representación gráfica del nivel de fuerza de la señal WiFi en diferentes áreas del edificio. Estas gráficas muestran la intensidad de la señal en función de la ubicación, lo que nos permite identificar áreas con una cobertura deficiente y posibles puntos de acceso adicionales que podrían ser necesarios para mejorar la cobertura.

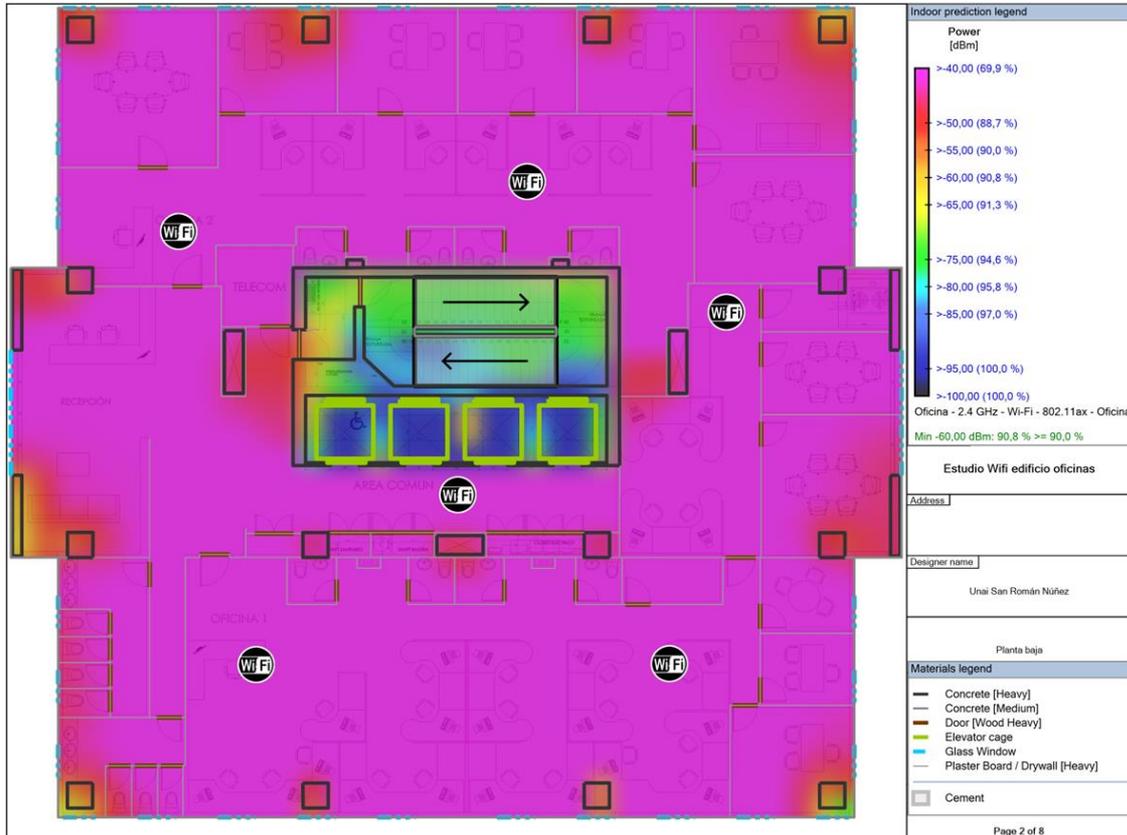


Figura 4-9. Nivel Fuerza de Señal 2.4Ghz. Planta baja.

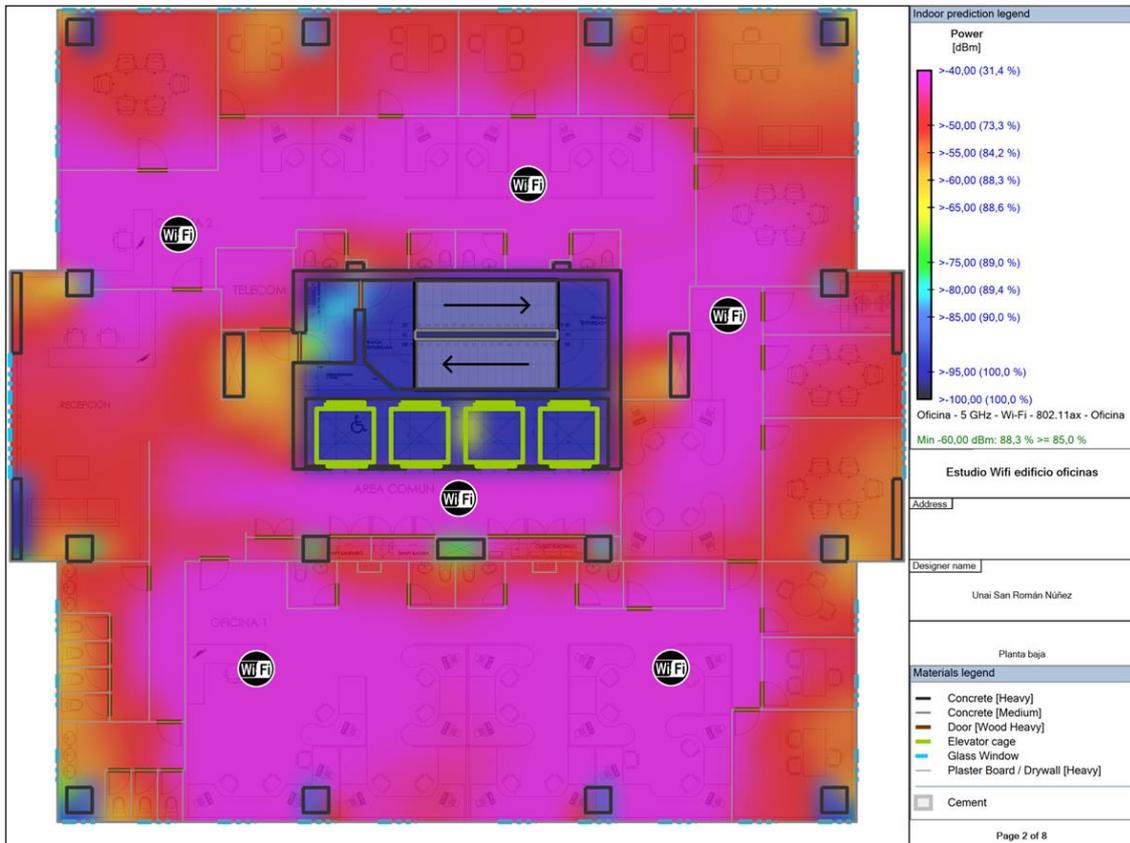


Figura 4-10. Nivel Fuerza de Señal 5Ghz. Planta baja.

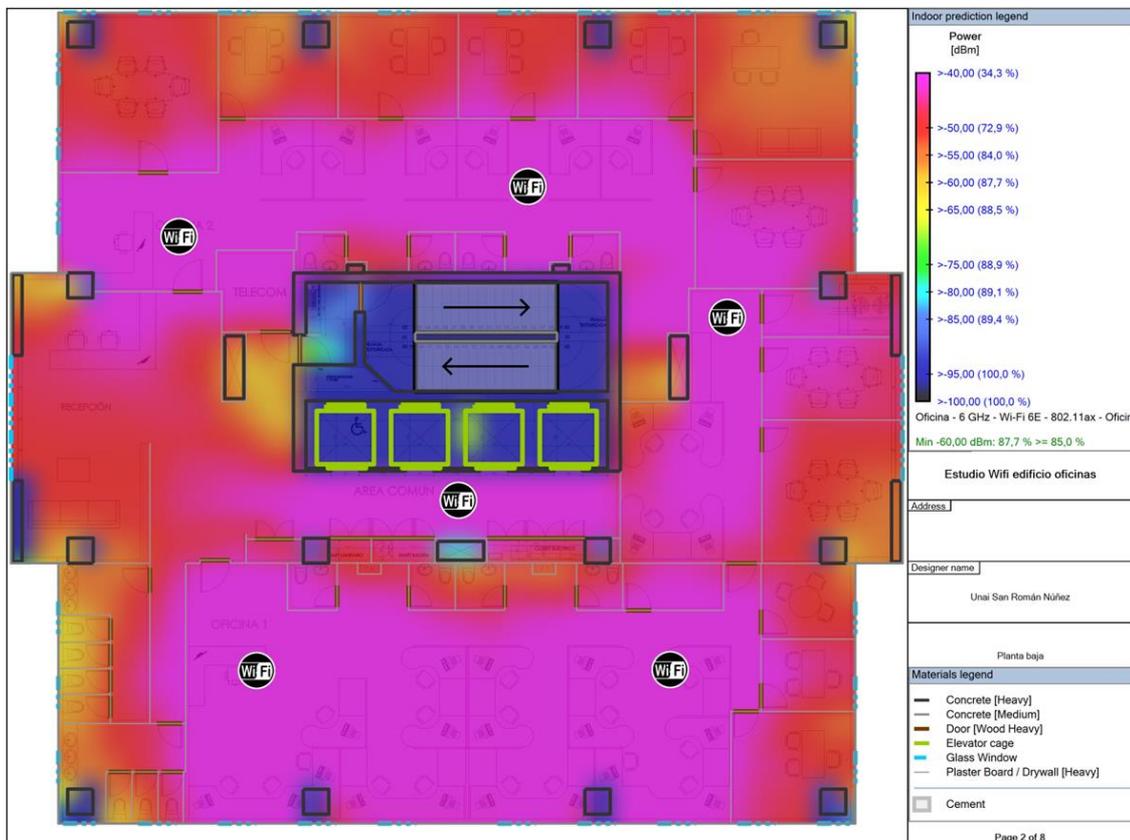


Figura 4-11. Nivel Fuerza de Señal 6Ghz. Planta baja.

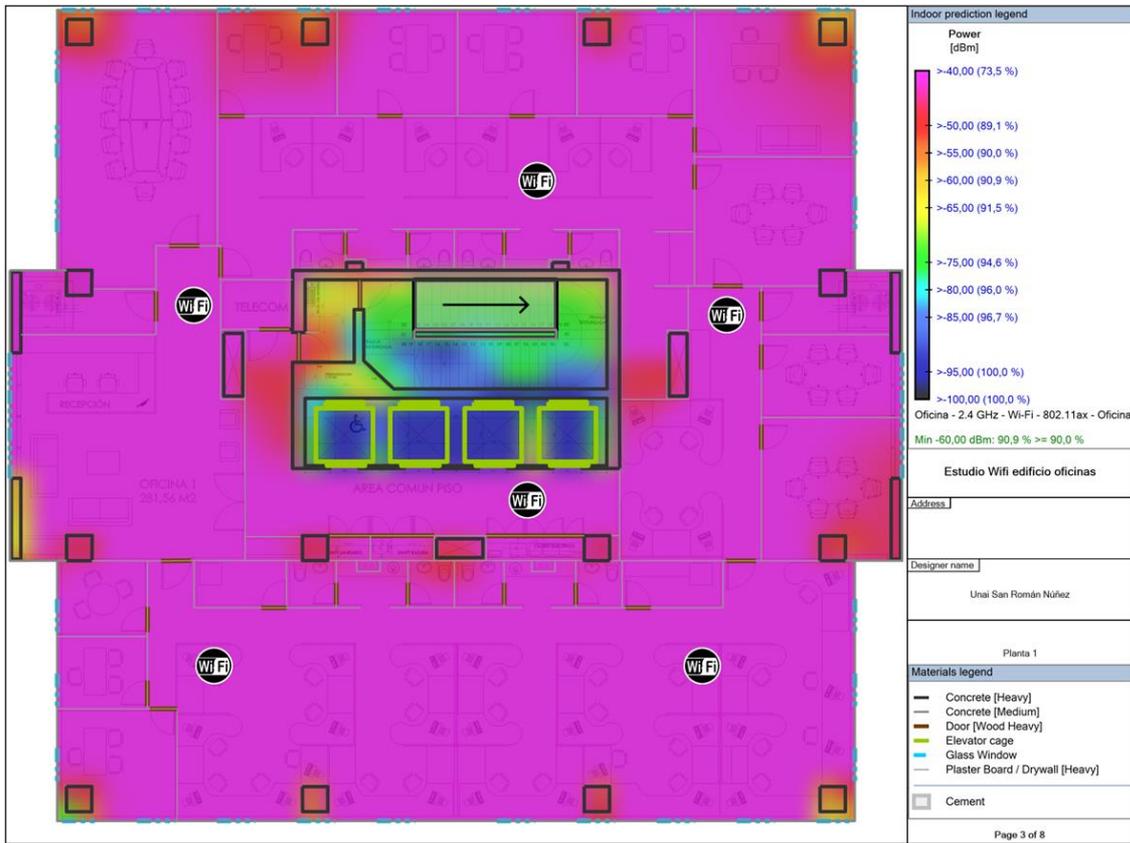


Figura 4-12. Nivel Fuerza de Señal 2.4Ghz. Planta 1.

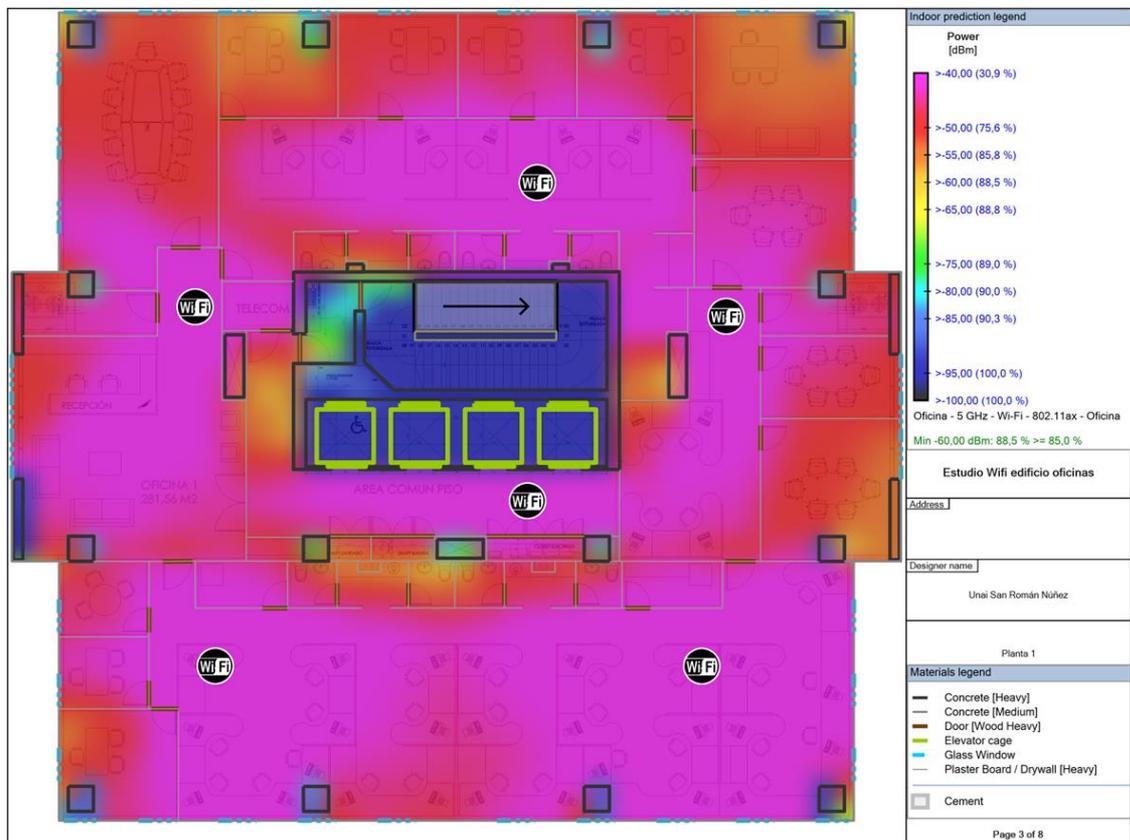


Figura 4-13. Nivel Fuerza de Señal 5Ghz. Planta 1.

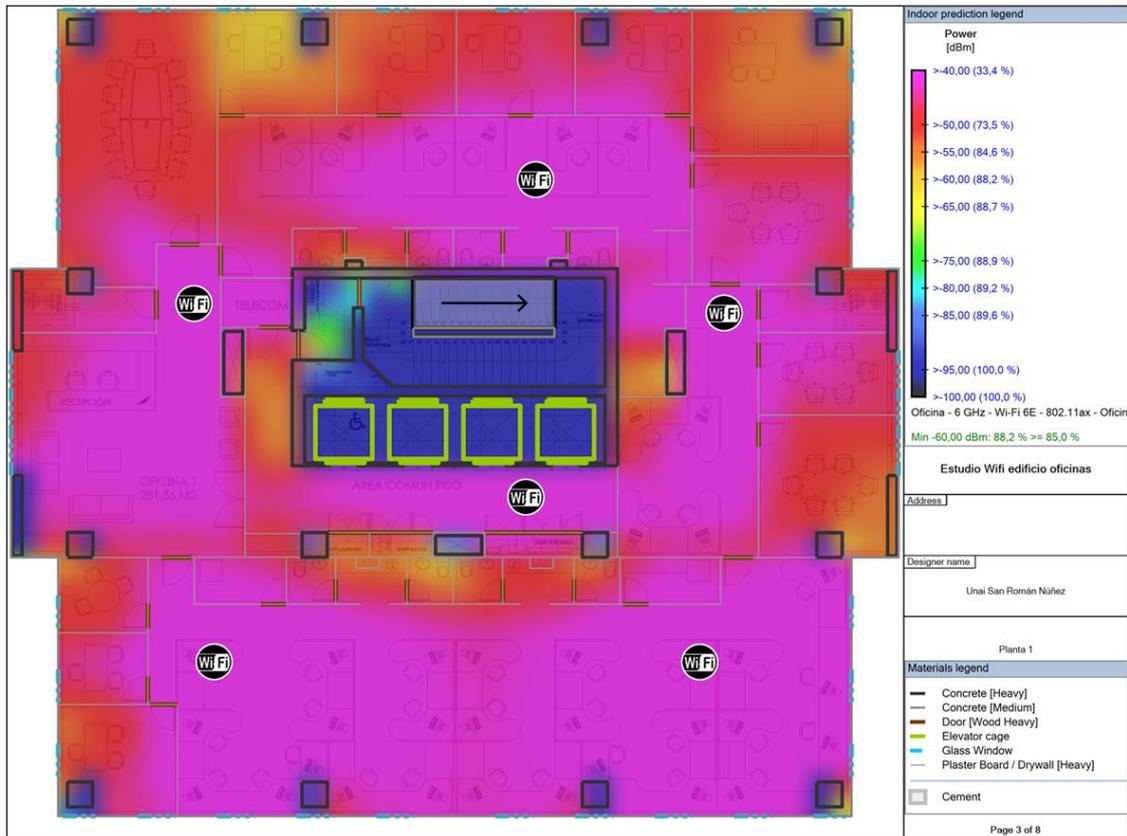


Figura 4-14. Nivel Fuerza de Señal 6Ghz. Planta 1.

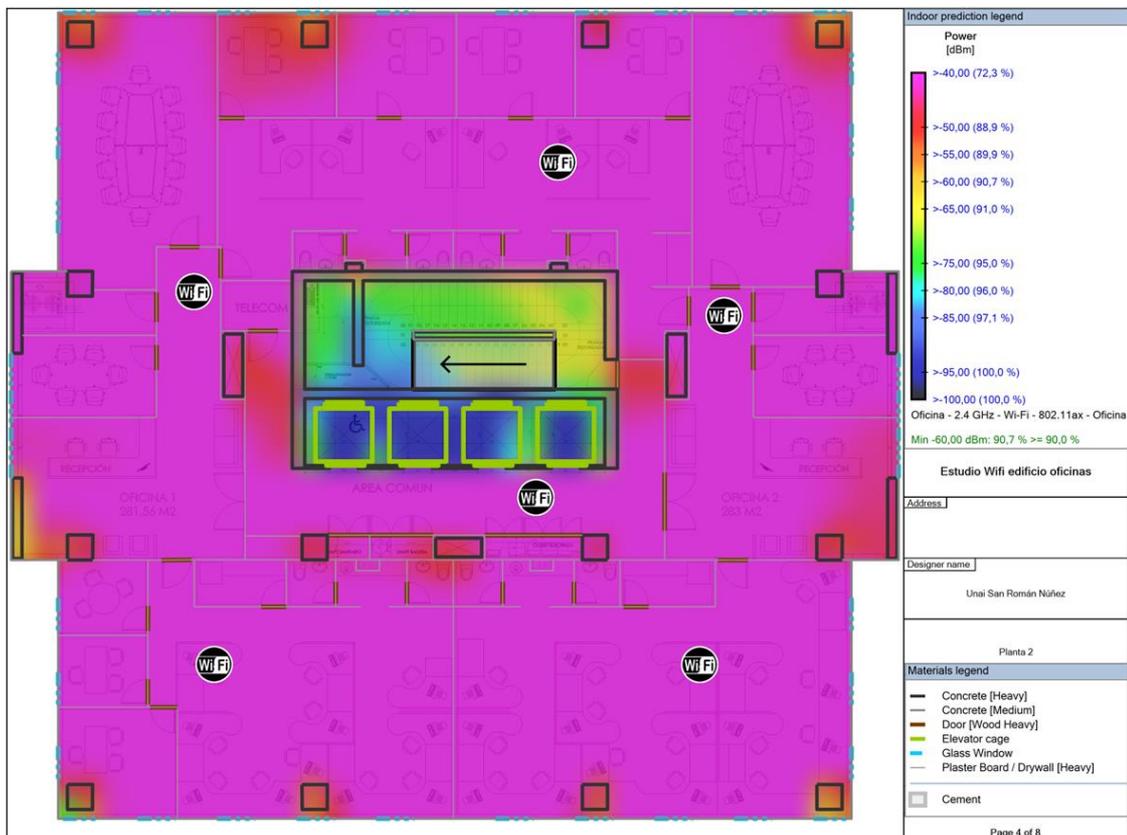


Figura 4-15. Nivel Fuerza de Señal 2.4Ghz. Planta 2.

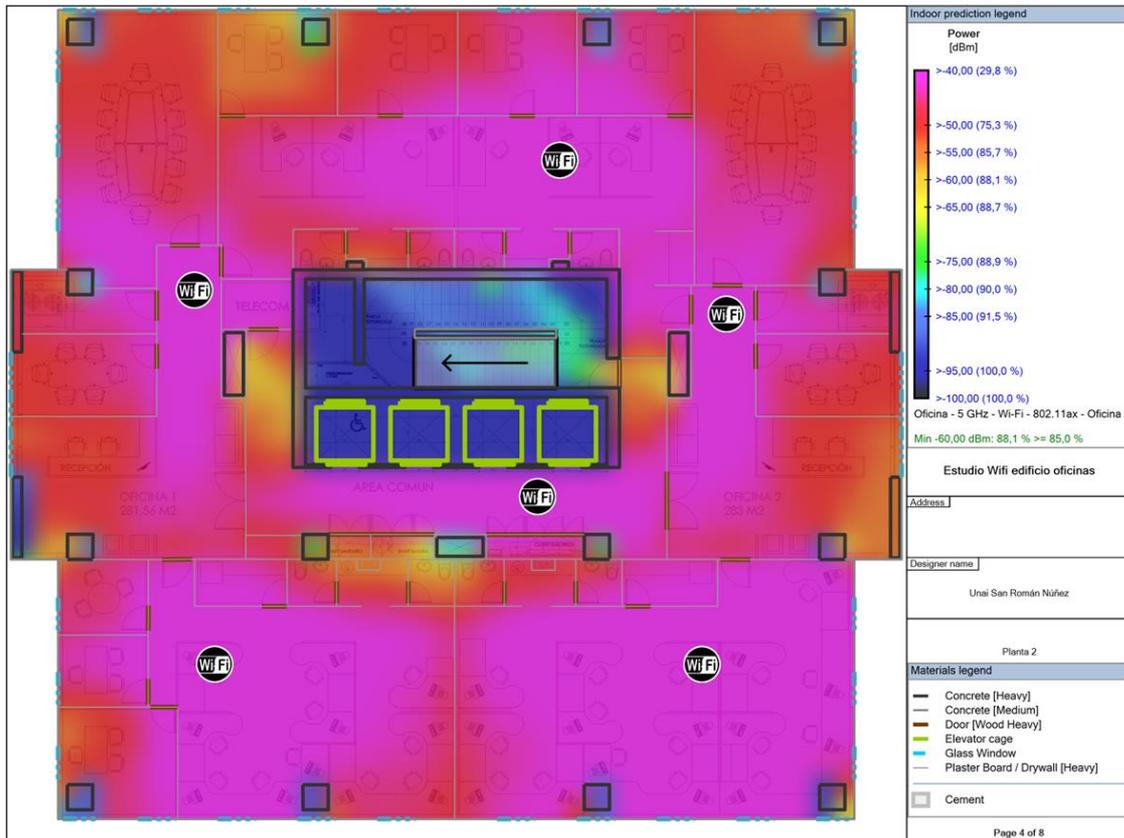


Figura 4-16. Nivel Fuerza de Señal 5Ghz. Planta 2.

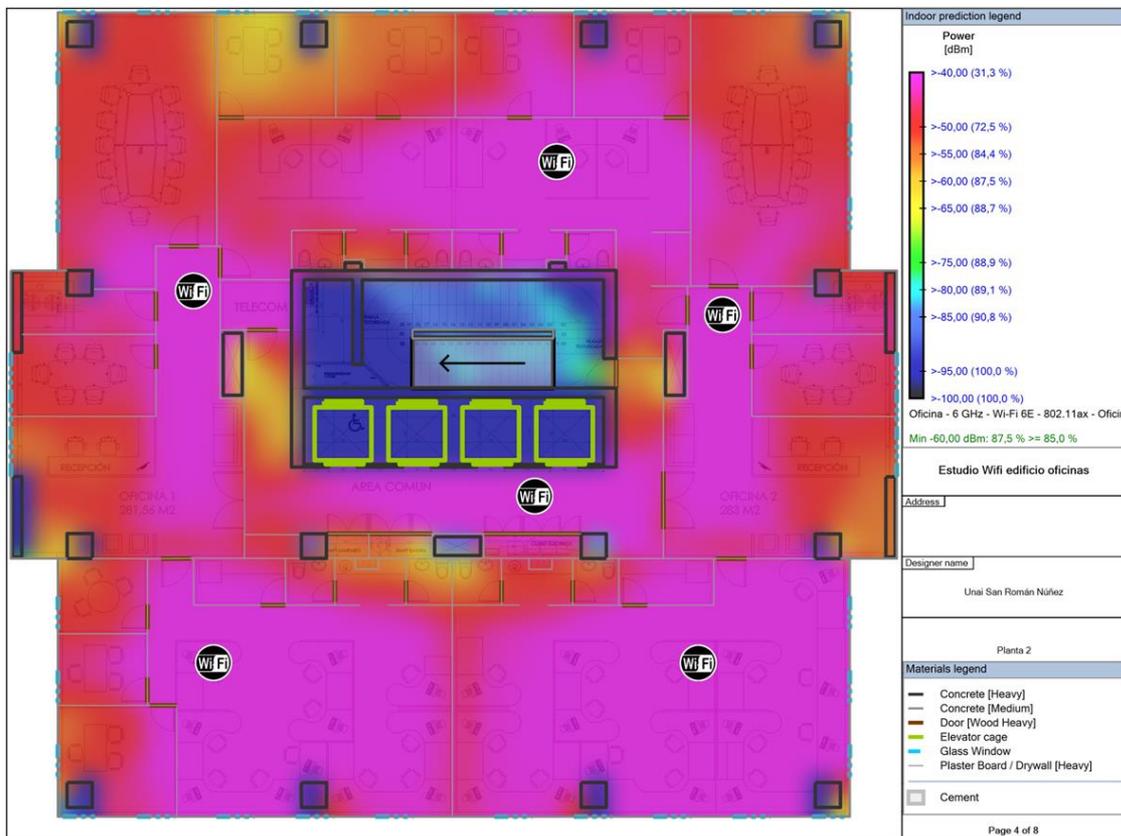


Figura 4-17. Nivel Fuerza de Señal 6Ghz. Planta 2.

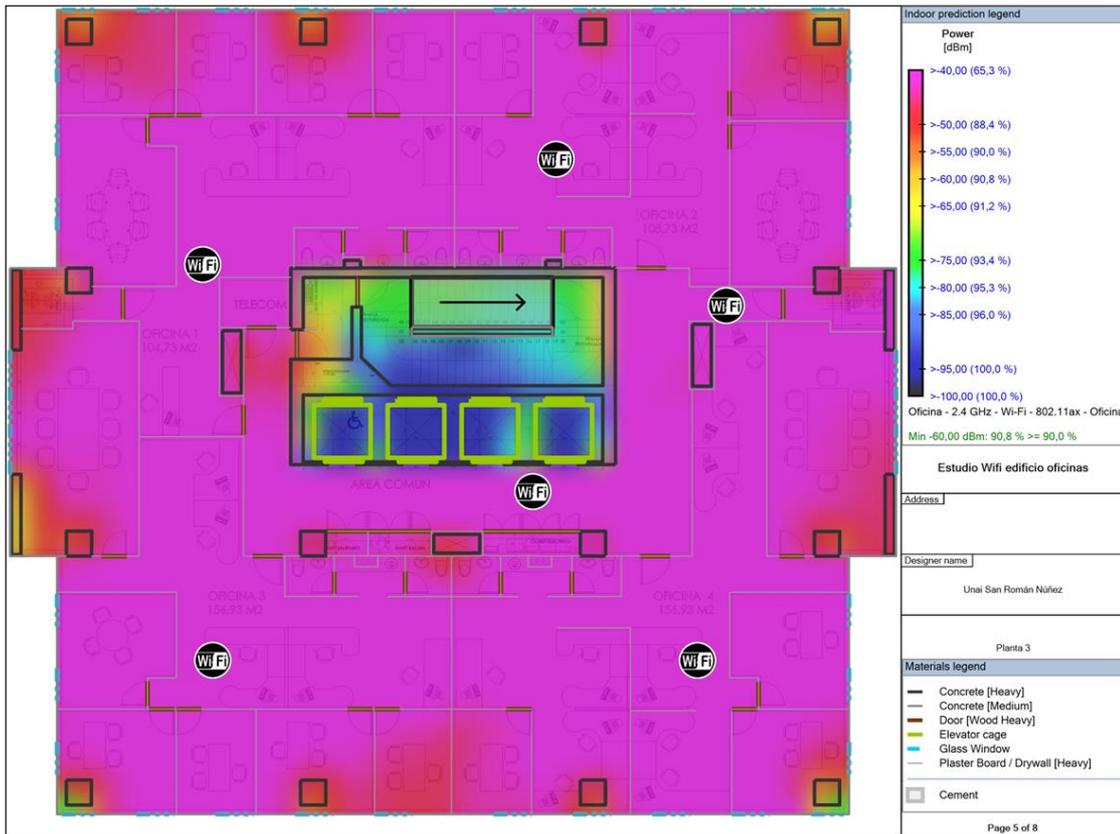


Figura 4-18. Nivel Fuerza de Señal 2.4Ghz. Planta 3.

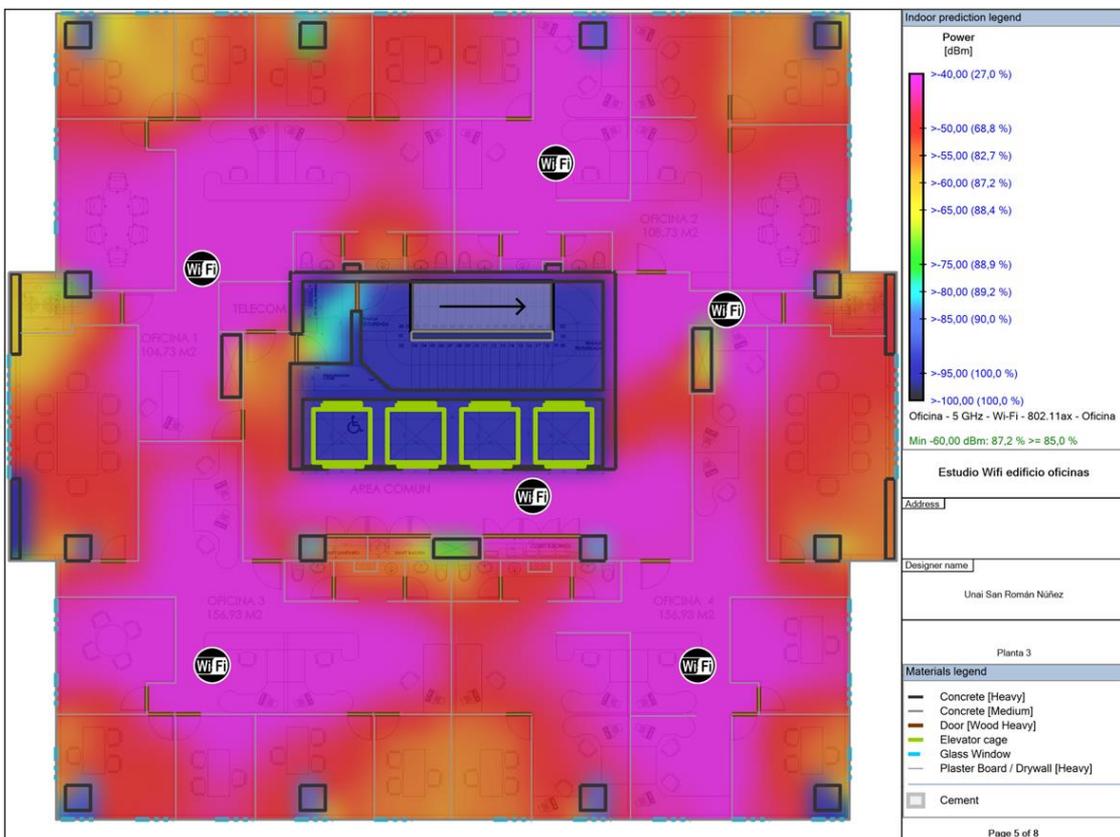


Figura 4-19. Nivel Fuerza de Señal 5Ghz. Planta 3.

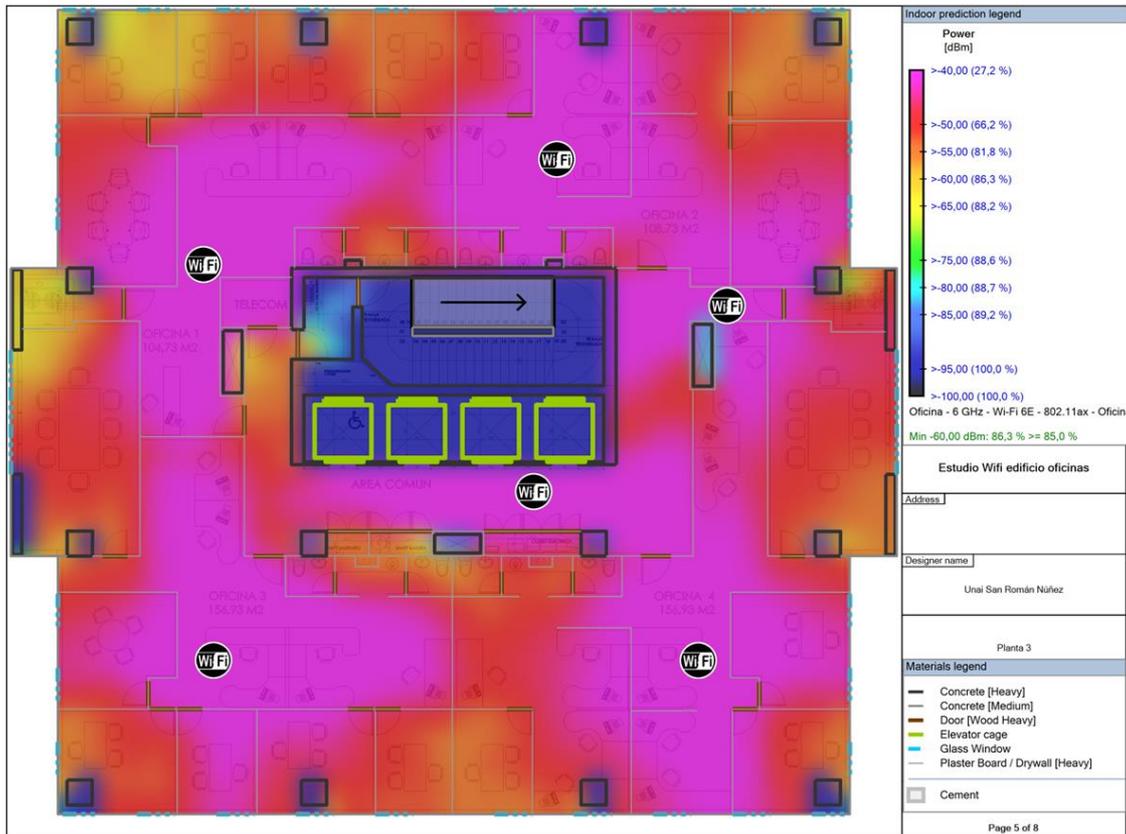


Figura 4-20. Nivel Fuerza de Señal 6Ghz. Planta 3.

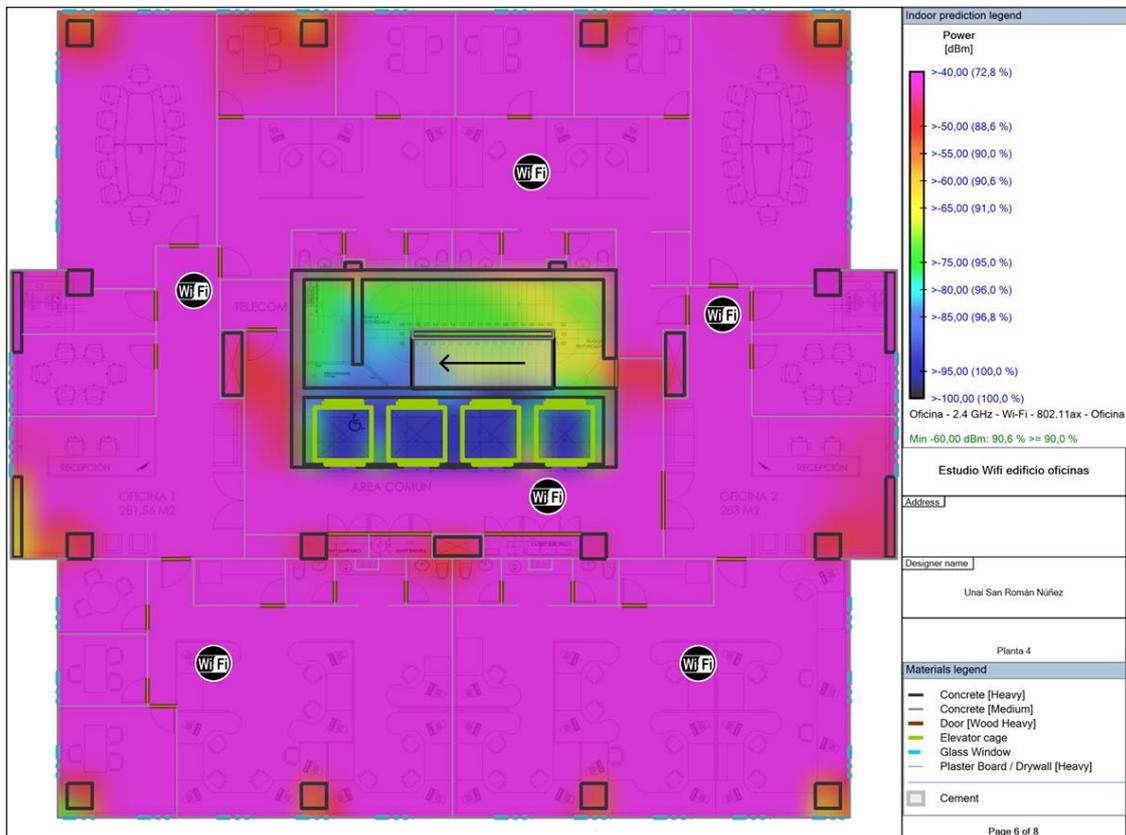


Figura 4-21. Nivel Fuerza de Señal 2.4Ghz. Planta 4.

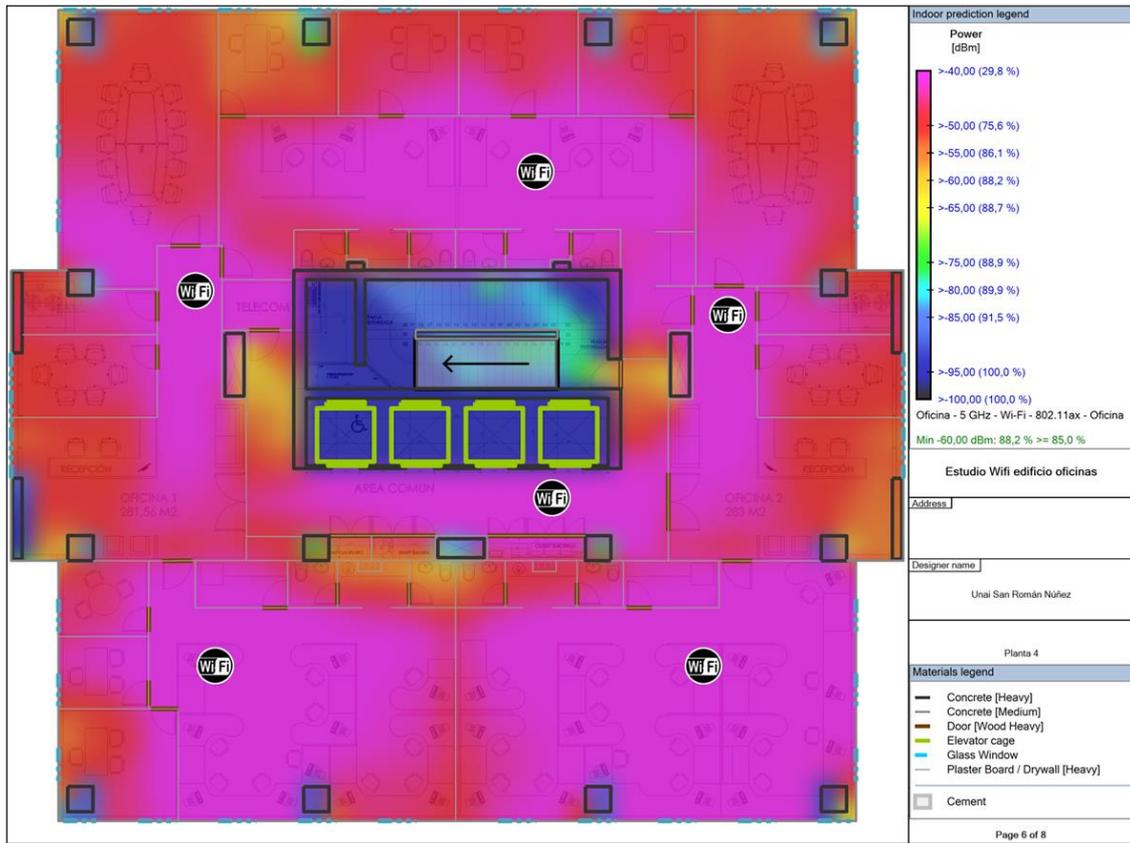


Figura 4-22. Nivel Fuerza de Señal 5Ghz. Planta 4.

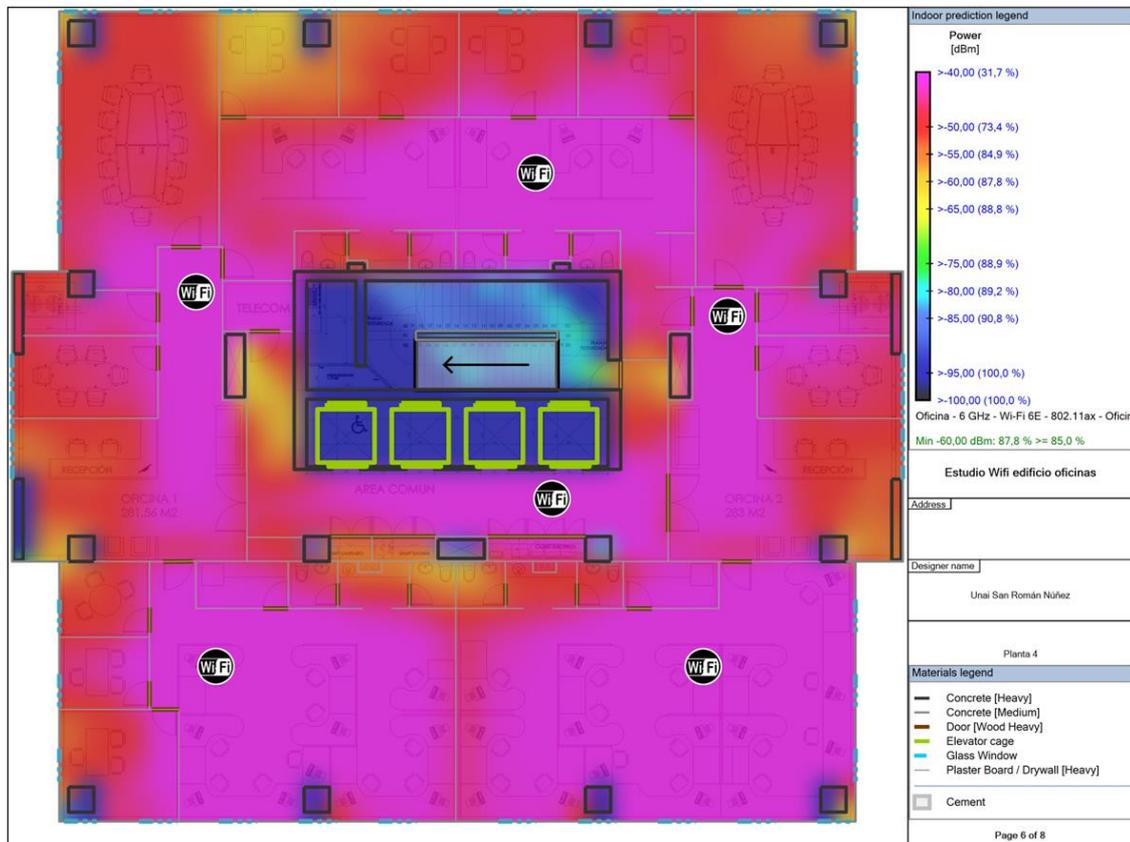


Figura 4-23. Nivel Fuerza de Señal 6Ghz. Planta 4.

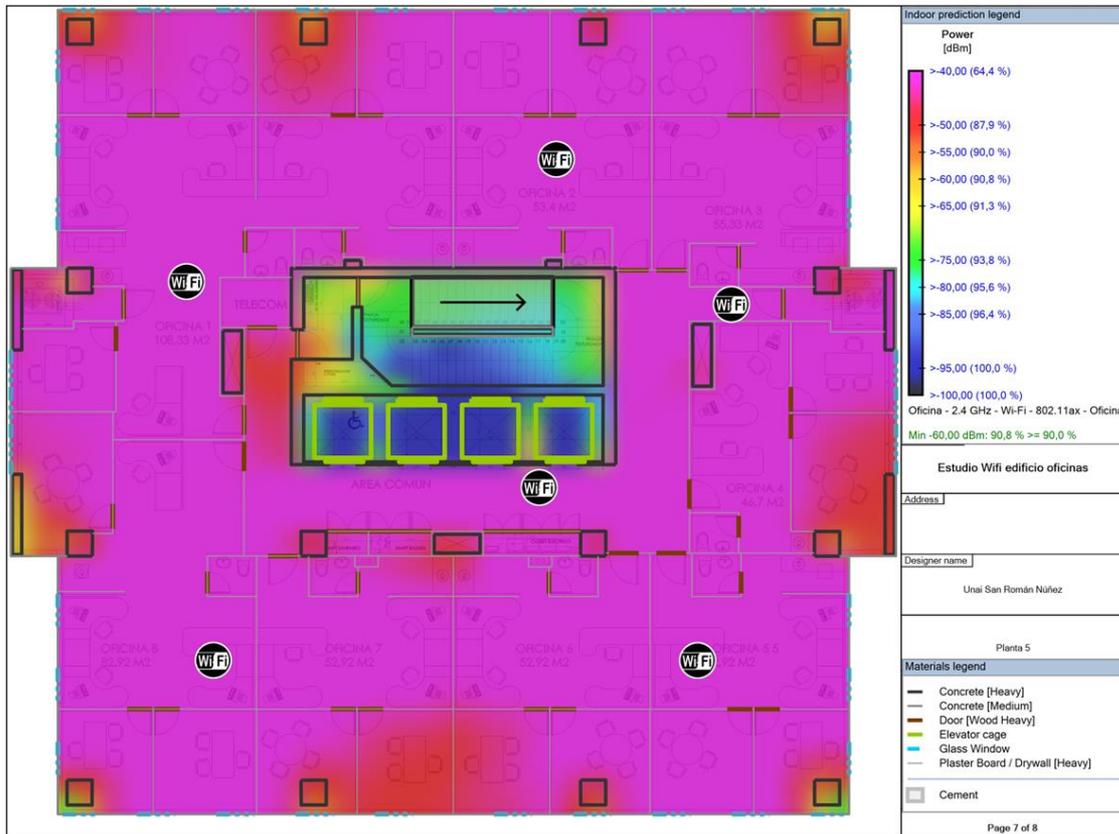


Figura 4-24. Nivel Fuerza de Señal 2.4Ghz. Planta 5.

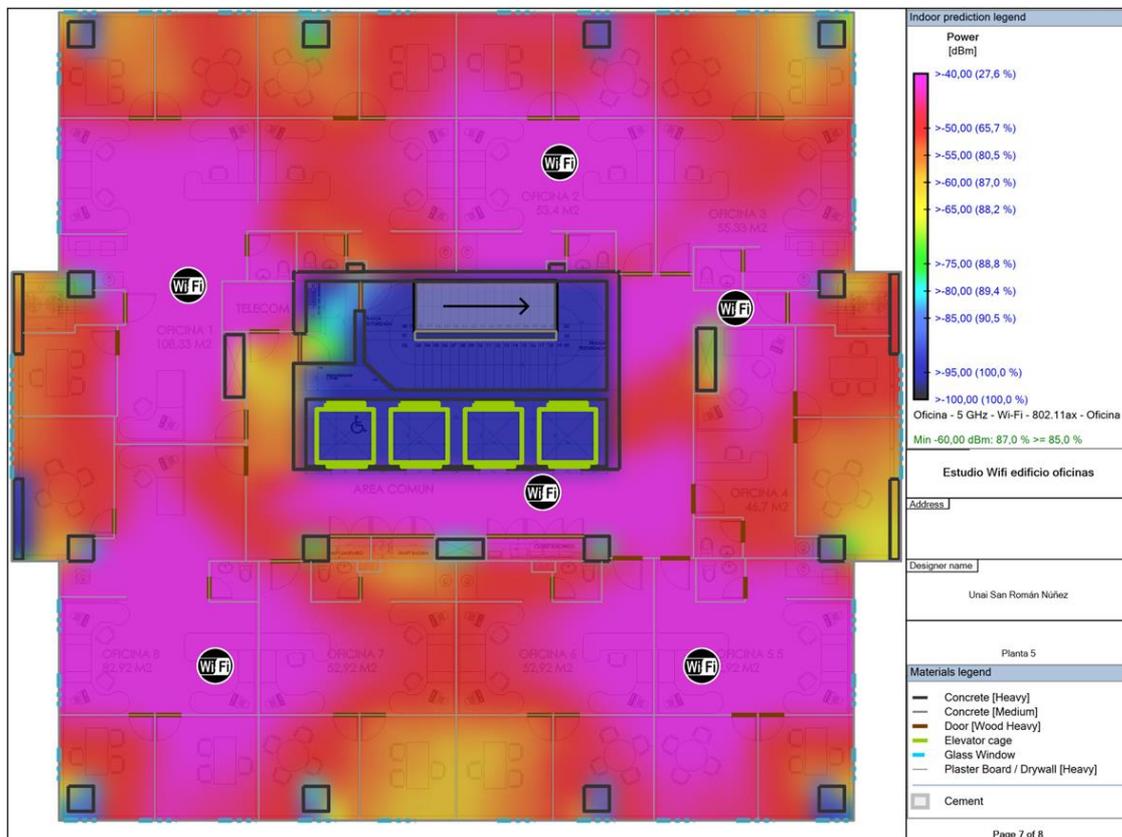


Figura 4-25. Nivel Fuerza de Señal 5Ghz. Planta 5.

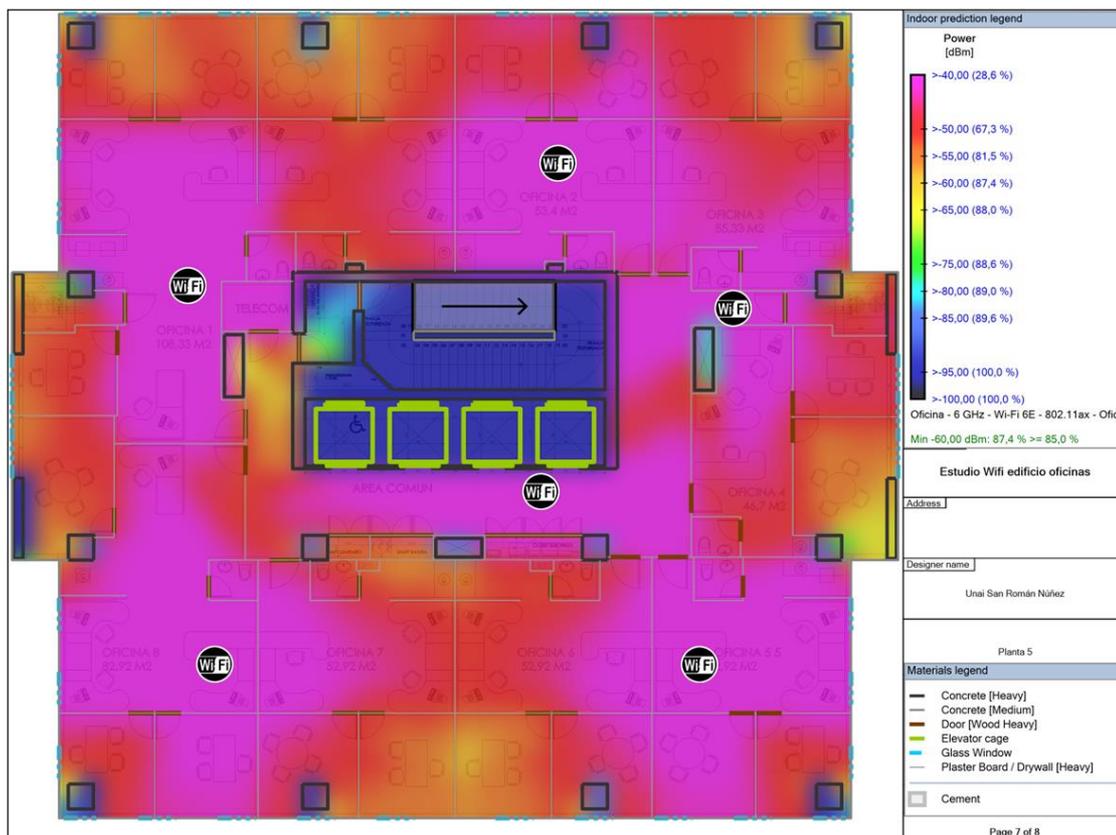


Figura 4-26. Nivel Fuerza de Señal 6Ghz. Planta 5.

Los resultados de la simulación en iBwave sobre el nivel de fuerza de la señal en un edificio han sido altamente favorables. En la leyenda se observa que los resultados oscilan entre 40 y 50 dBm, lo que indica una cobertura sólida y consistente en la mayoría de las áreas. Sin embargo, se ha detectado un decrecimiento en la señal en lugares críticos como los pilares y la zona de los ascensores, lo cual es esperado debido a la interferencia estructural. Se ha agregado un marcador que indica que, si el nivel de señal total es menor que 60 dBm, se considera correcta la simulación, teniendo en cuenta las zonas críticas previamente descritas. Este análisis detallado proporciona una visión completa de la distribución de la señal y permite tomar medidas adecuadas para optimizar la cobertura WiFi en el edificio.

4.1.4.2 Gráficas de Relación Señal-Ruido (SNR)

Se han generado gráficas que muestran la relación señal-ruido en diferentes áreas del edificio. El SNR es un indicador crucial para determinar la calidad de la señal WiFi, ya que una relación alta indica una señal fuerte y una interferencia baja.



Figura 4-27. SNR 2.4Ghz. Planta baja.

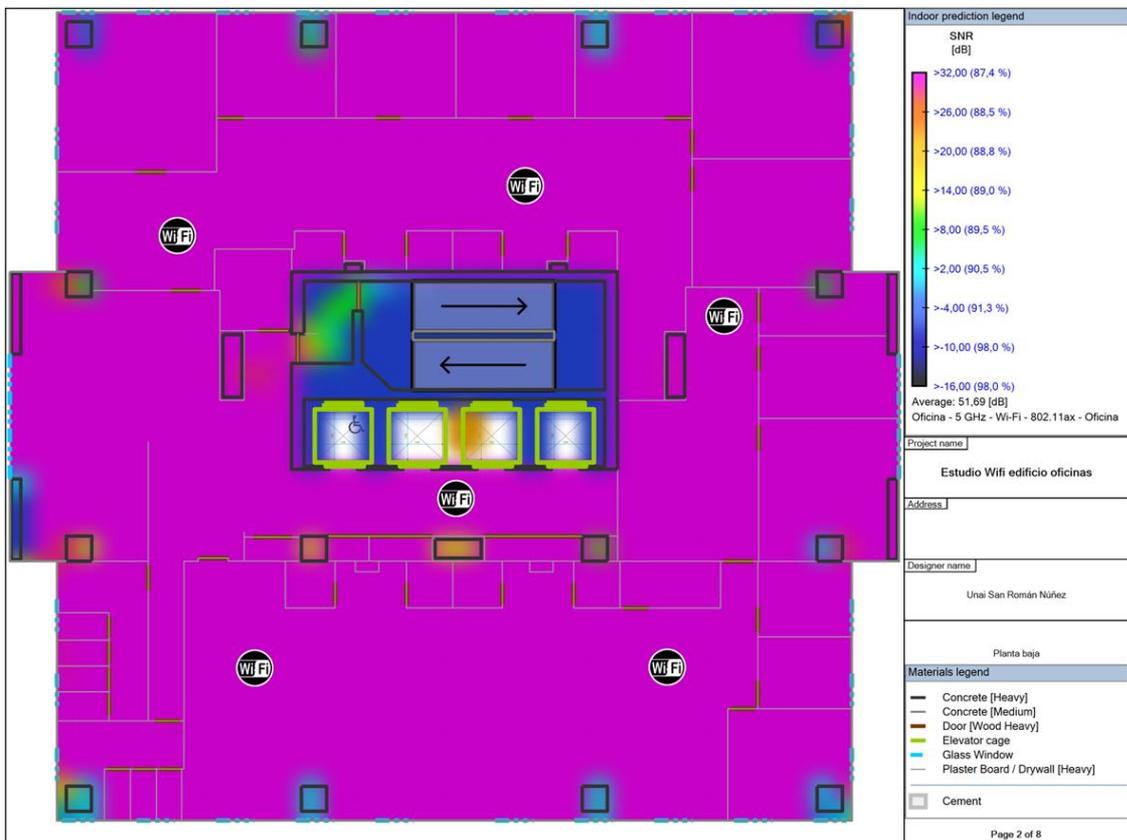


Figura 4-28. SNR 5Ghz. Planta baja.

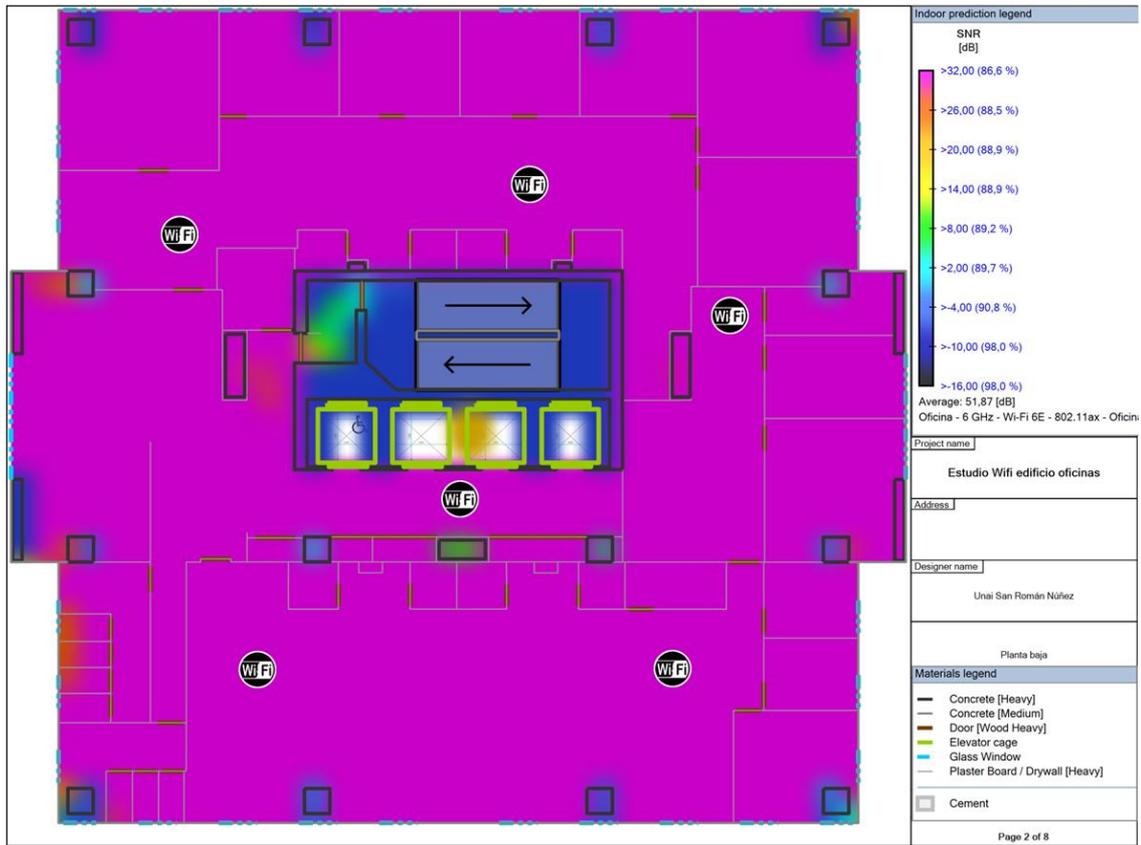


Figura 4-29. SNR 6Ghz. Planta baja.

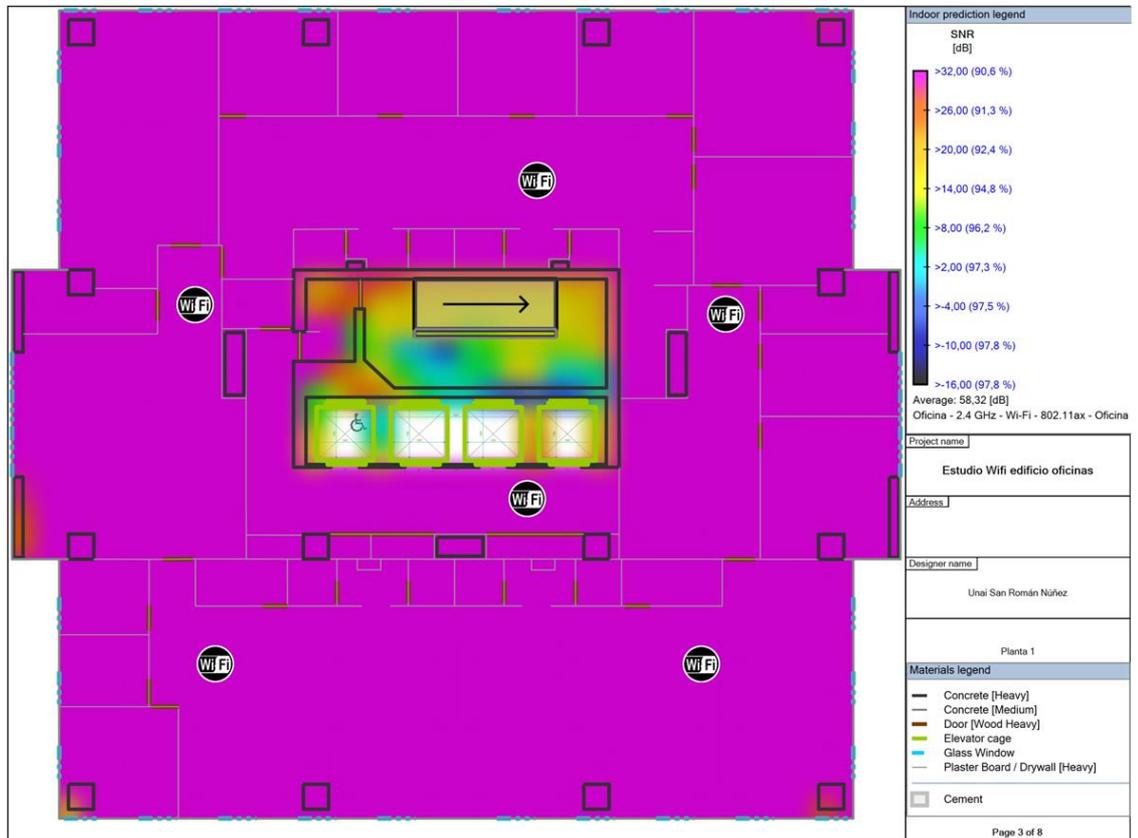


Figura 4-30. SNR 2.4Ghz. Planta 1.

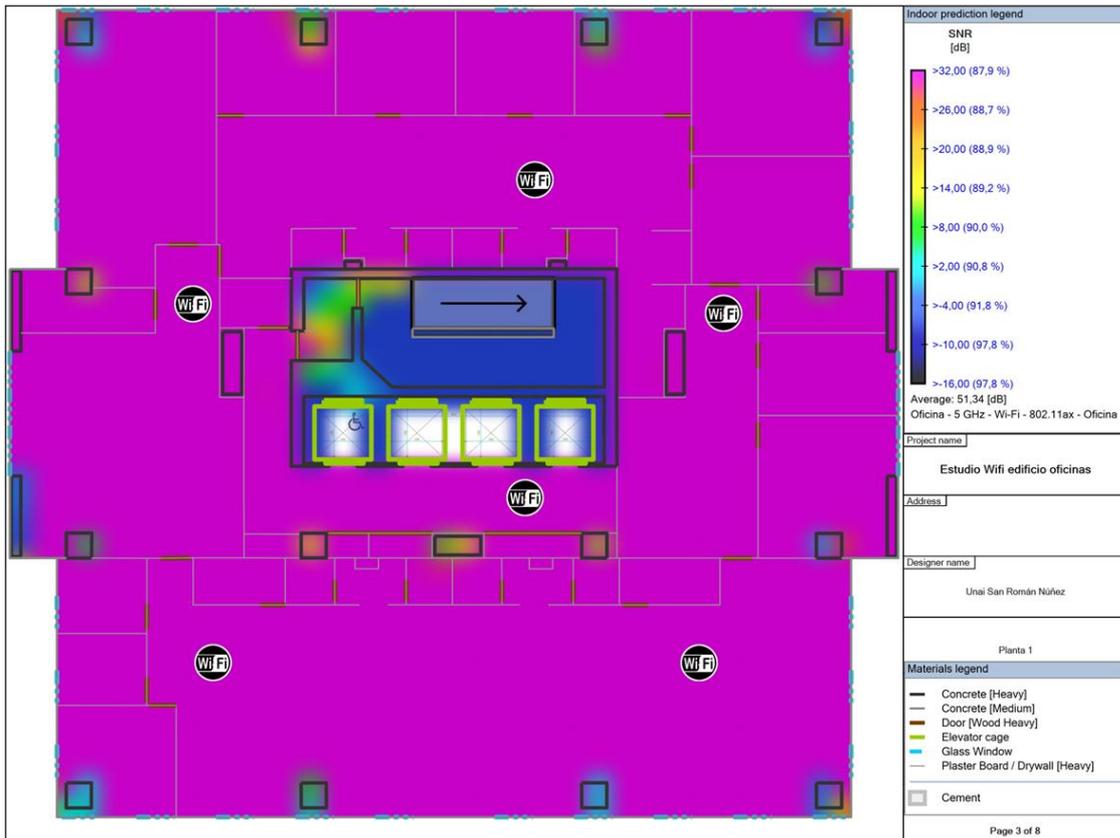


Figura 4-31. SNR 5Ghz. Planta 1.

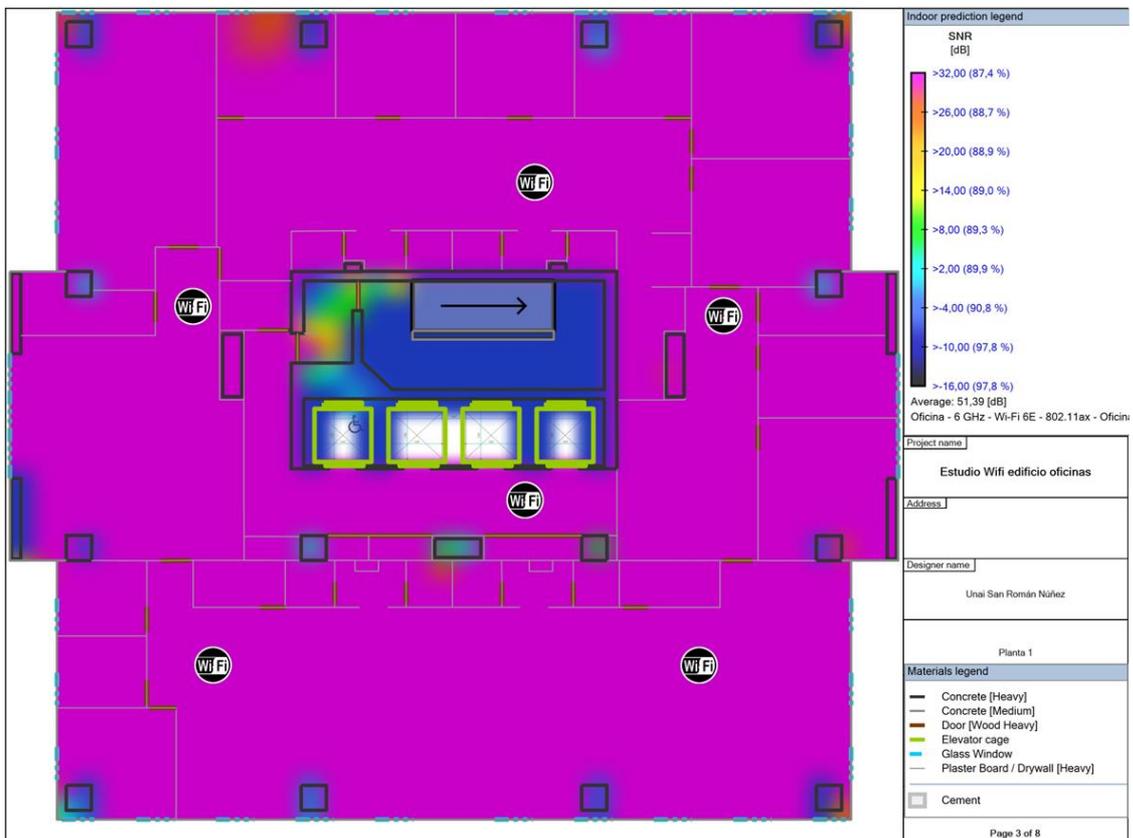


Figura 4-32. SNR 6Ghz. Planta 1.

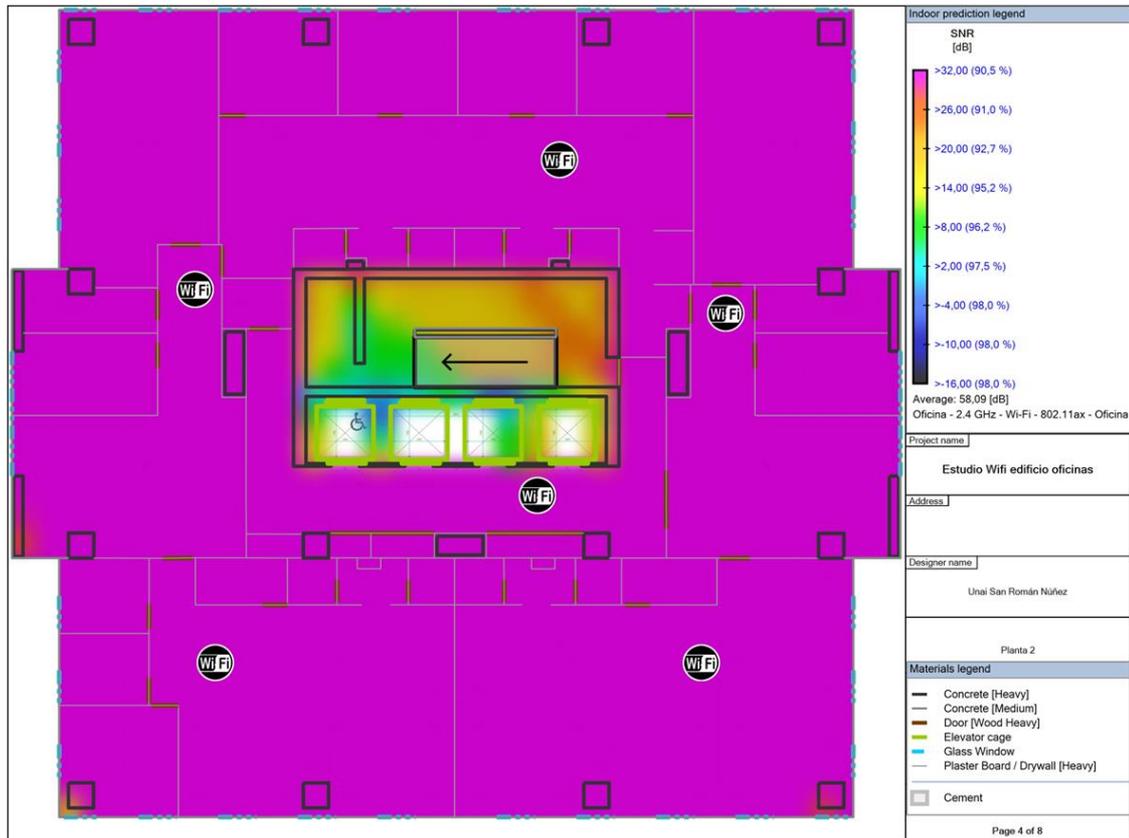


Figura 4-33. SNR 2.4Ghz. Planta 2.

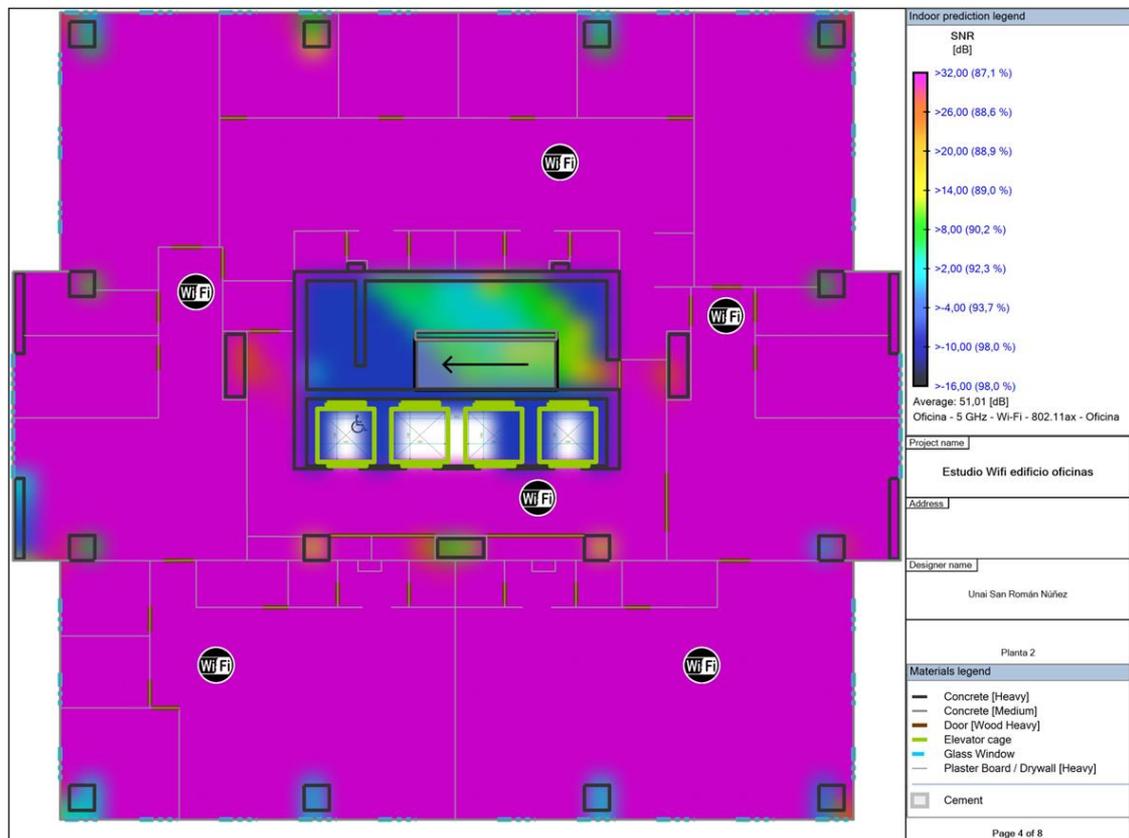


Figura 4-34. SNR 5Ghz. Planta 2.

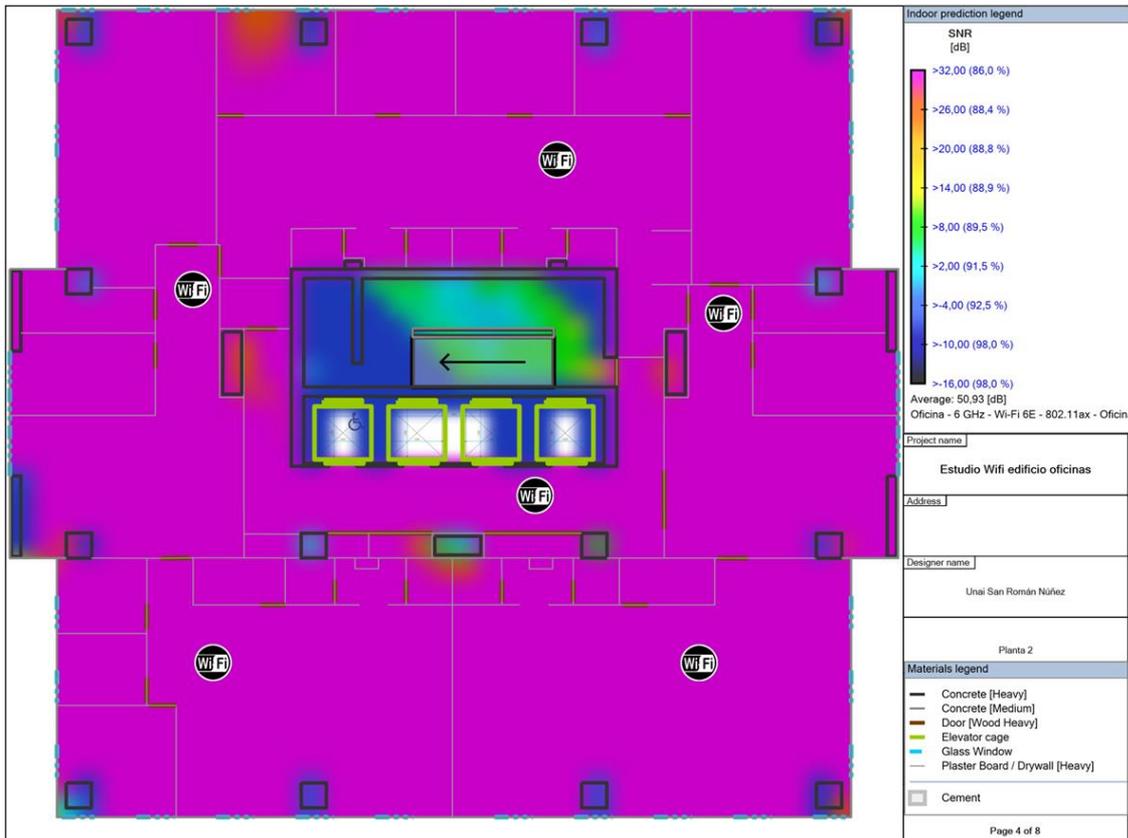


Figura 4-35. SNR 6Ghz. Planta 2.

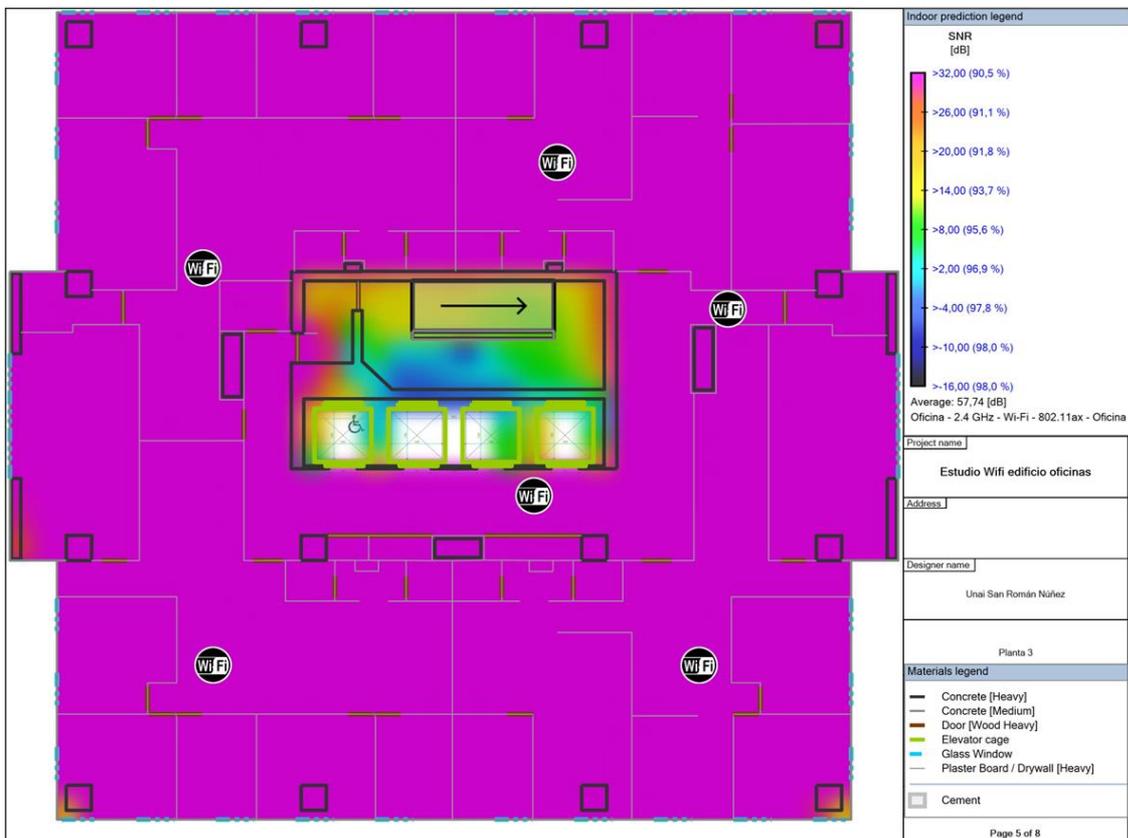


Figura 4-36. SNR 2.4Ghz. Planta 3.



Figura 4-37. SNR 5Ghz. Planta 3.

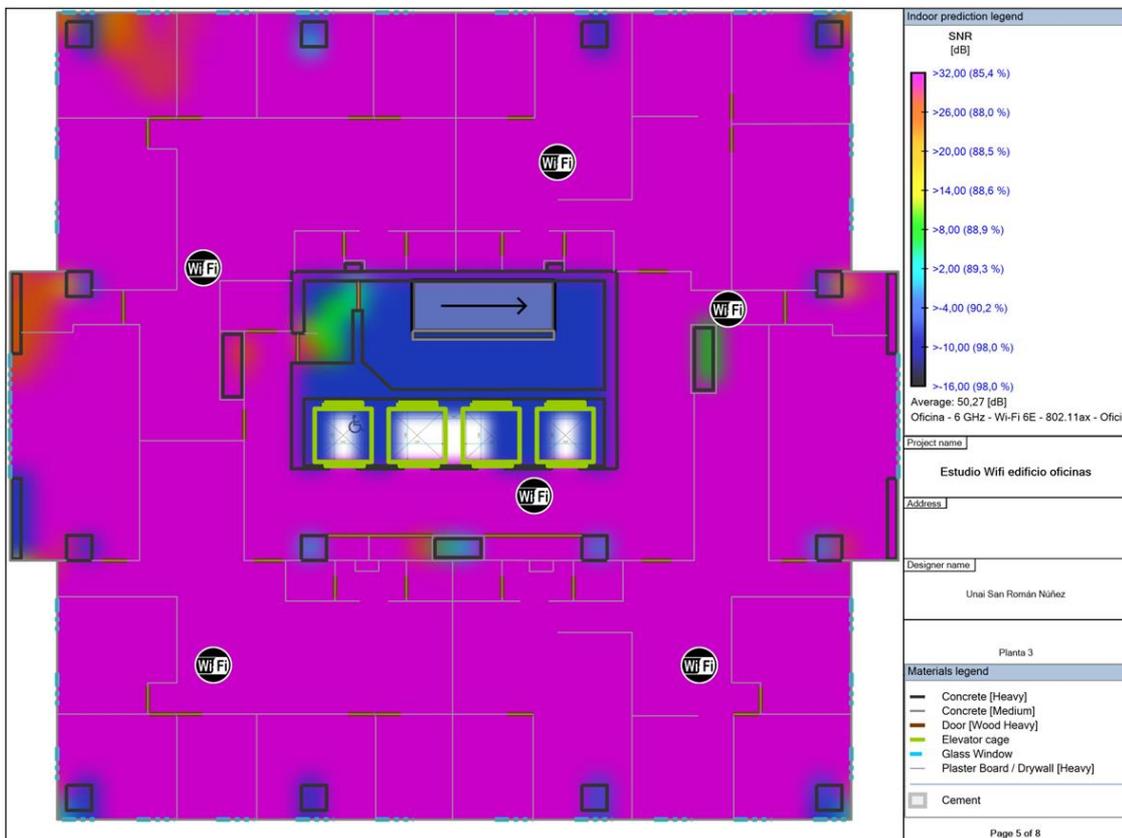


Figura 4-38. SNR 6Ghz. Planta 3.

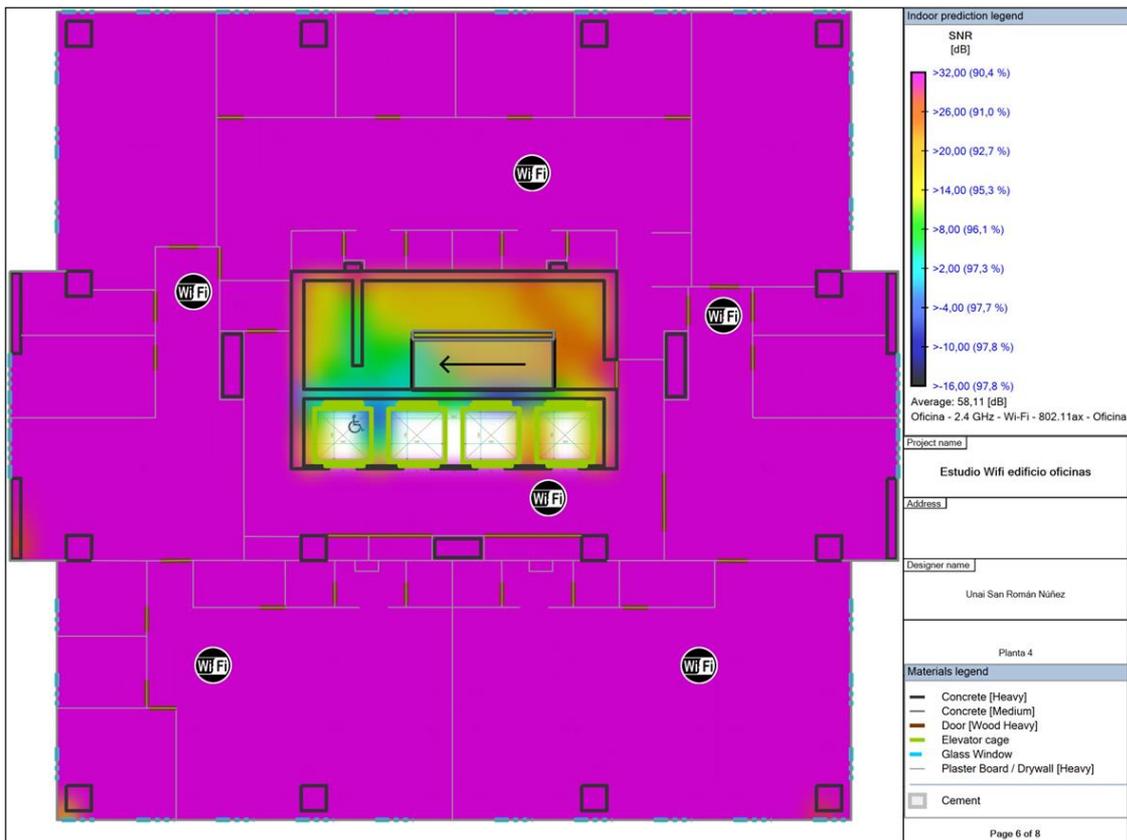


Figura 4-39. SNR 2.4Ghz. Planta 4.

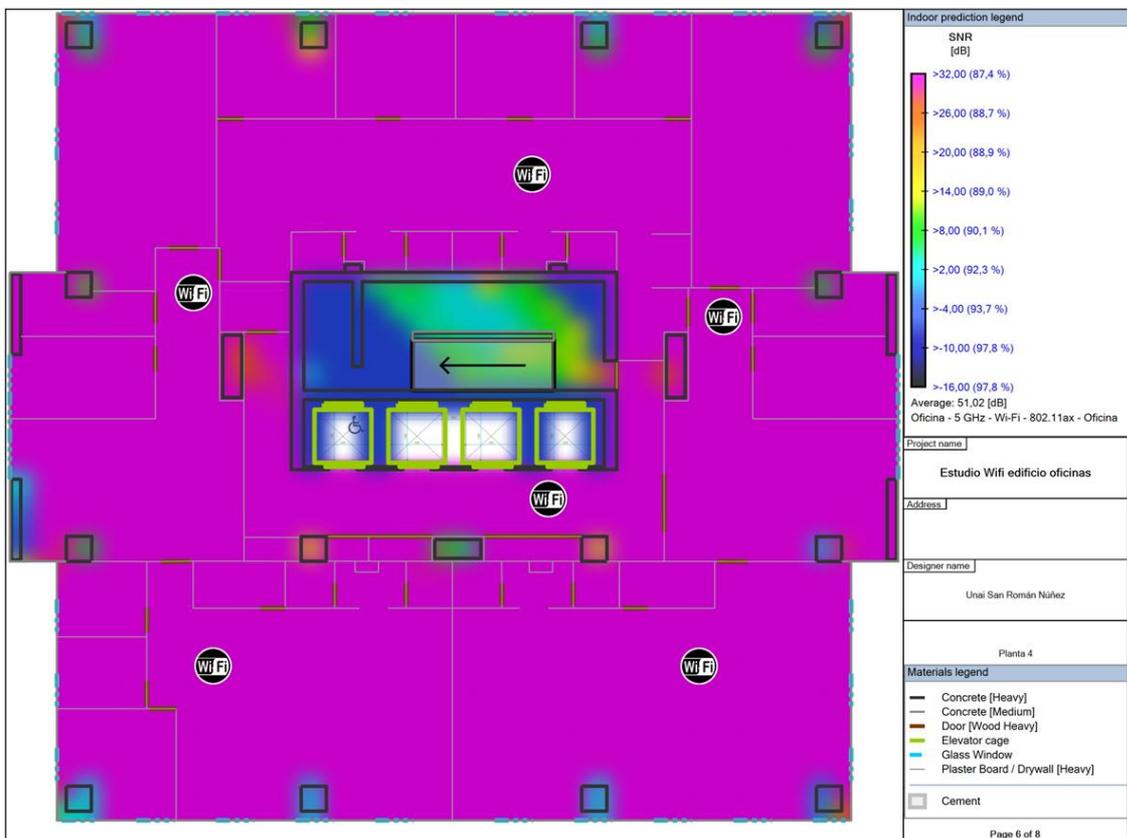


Figura 4-40. SNR 5Ghz. Planta 4.

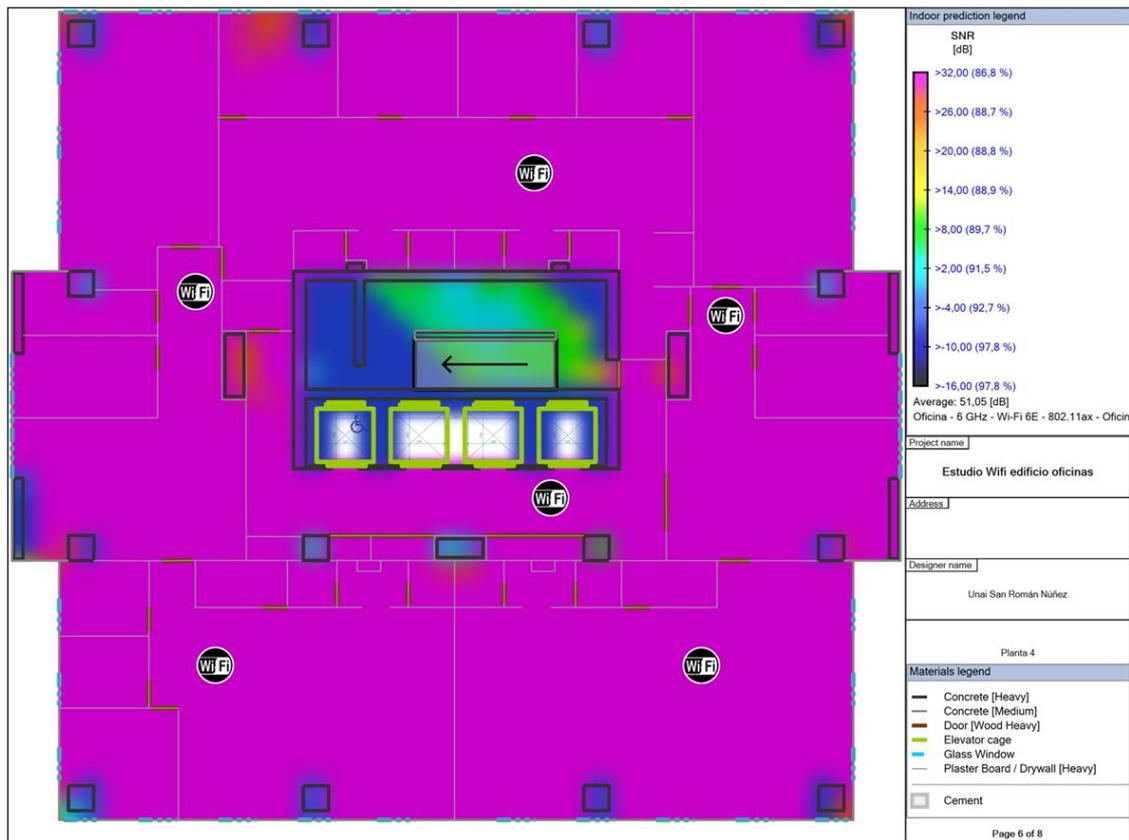


Figura 4-41. SNR 6Ghz. Planta 4.

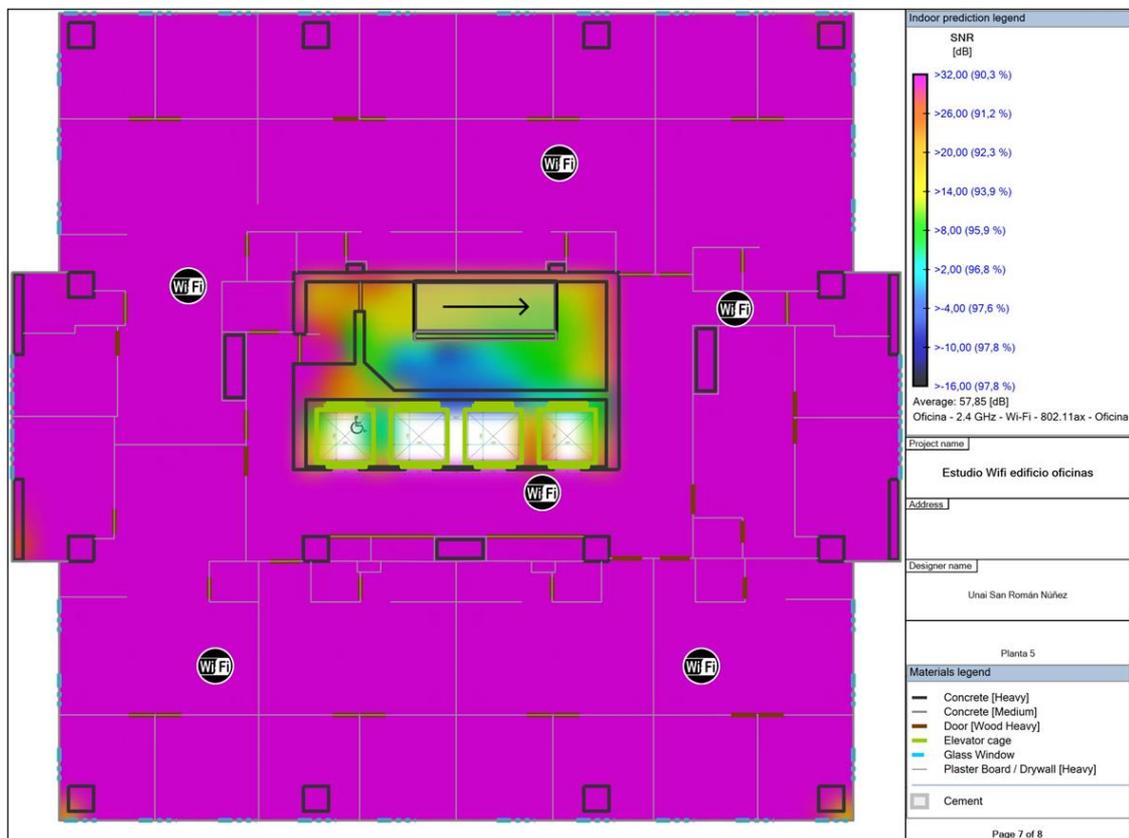


Figura 4-42. SNR 2.4Ghz. Planta 5.

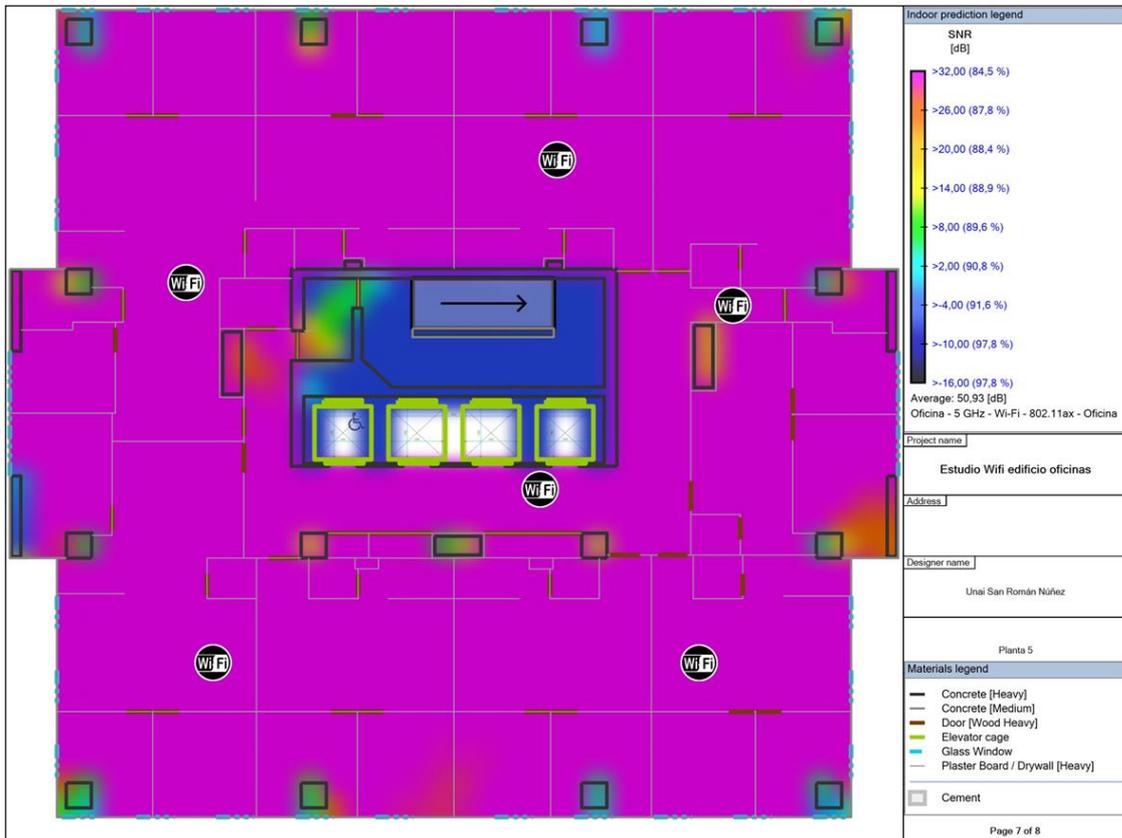


Figura 4-43. SNR 5Ghz. Planta 5.

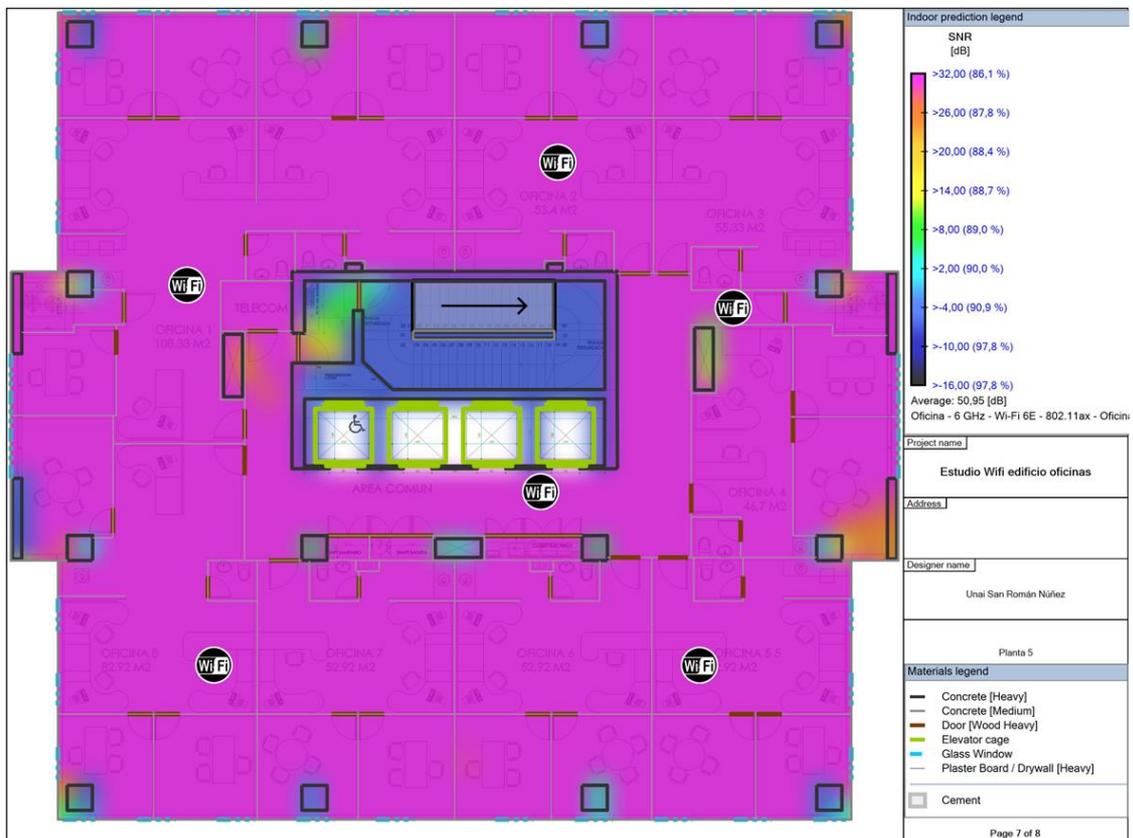


Figura 4-44. SNR 6Ghz. Planta 5.

Los resultados de la simulación en iBwave del nivel de relación señal-ruido (SNR) en un edificio son óptimos. La leyenda revela que los valores de SNR son consistentemente superiores a 32 dBm en casi toda el área, lo que

indica una calidad de señal satisfactoria en la mayoría de los espacios. Sin embargo, se observa una tendencia decreciente en los niveles de SNR en áreas críticas como los pilares y la zona de los ascensores. A pesar de estas disminuciones localizadas, el SNR general se mantiene por encima del umbral aceptable, lo que sugiere una planificación efectiva del diseño de la red inalámbrica para garantizar una calidad de señal adecuada en todo el edificio.

4.1.4.3 Zona de Overlap

Se ha identificado la zona de overlap, donde las señales de múltiples puntos de acceso se superponen. Esta área puede causar interferencias y degradar el rendimiento de la red WiFi. Es importante tener en cuenta esta zona al diseñar la distribución de los puntos de acceso para minimizar las interferencias y optimizar el rendimiento de la red.

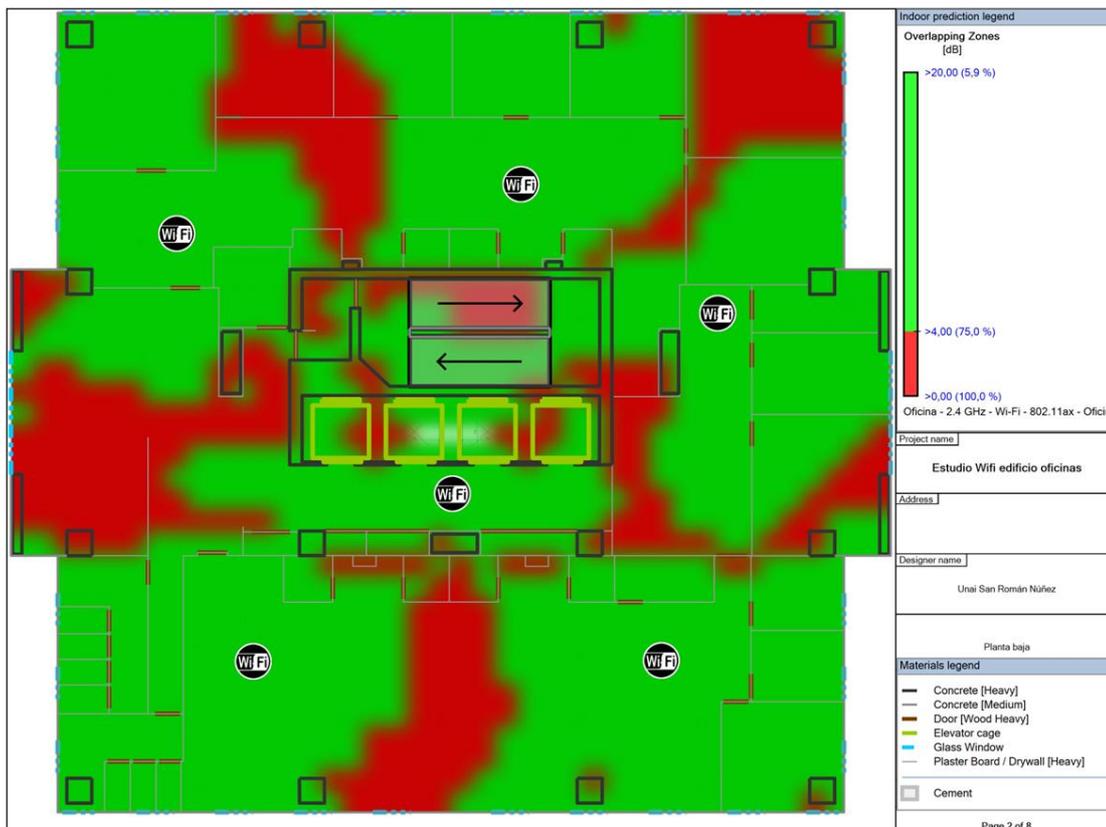


Figura 4-45. Zona de Overlap 2.4Ghz. Planta baja.

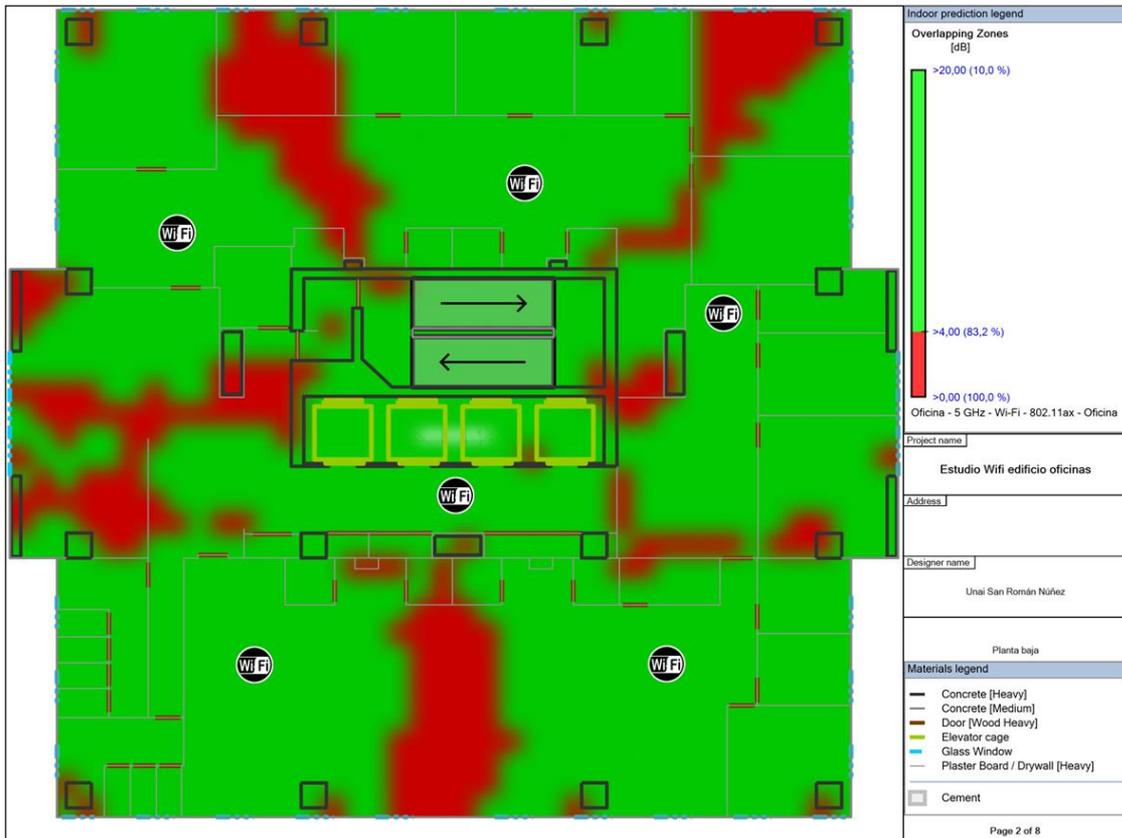


Figura 4-46. Zona de Overlap 5Ghz. Planta baja.

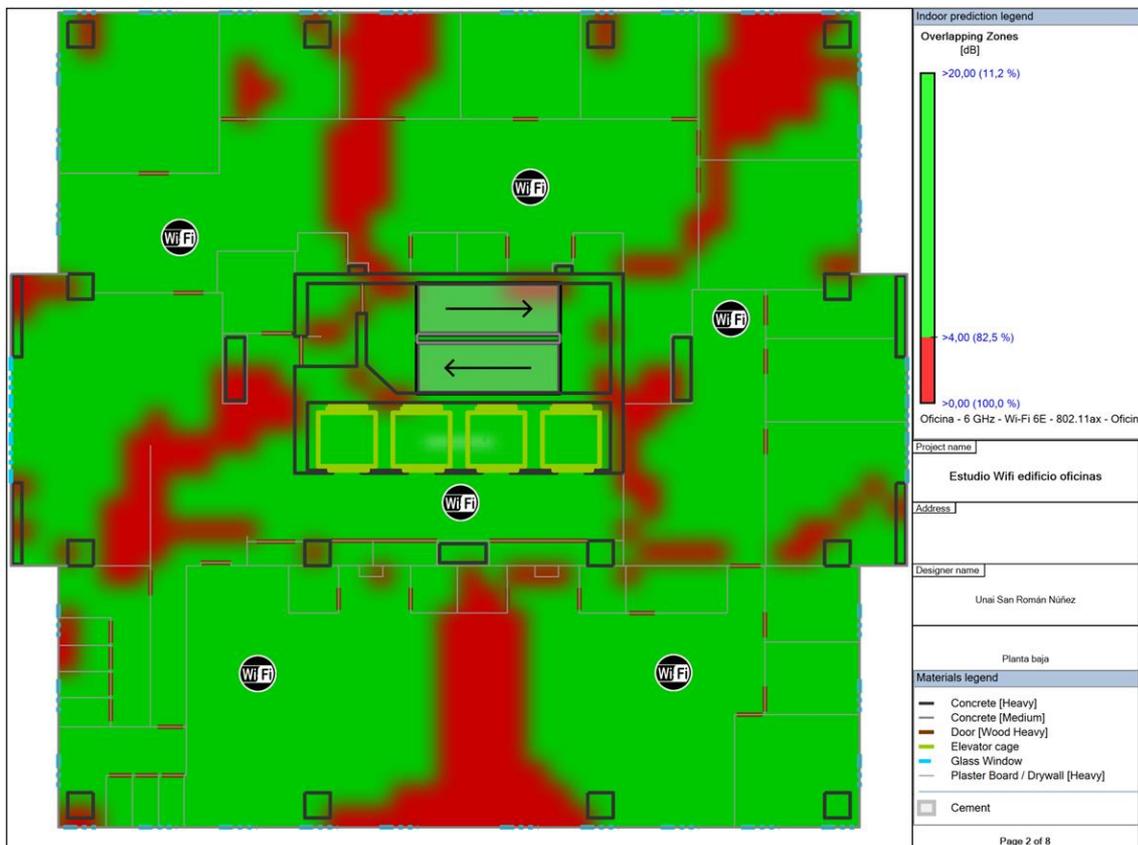


Figura 4-47. Zona de Overlap 6Ghz. Planta baja.

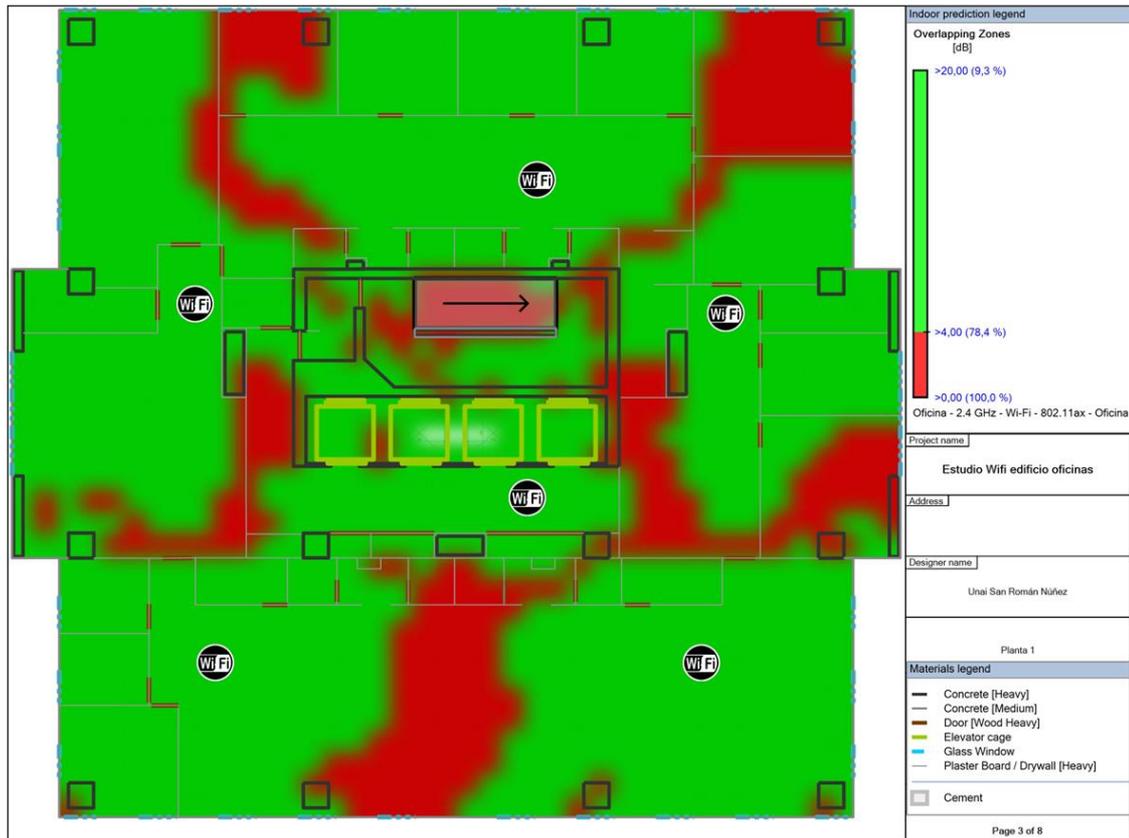


Figura 4-48. Zona de Overlap 2.4Ghz. Planta 1.

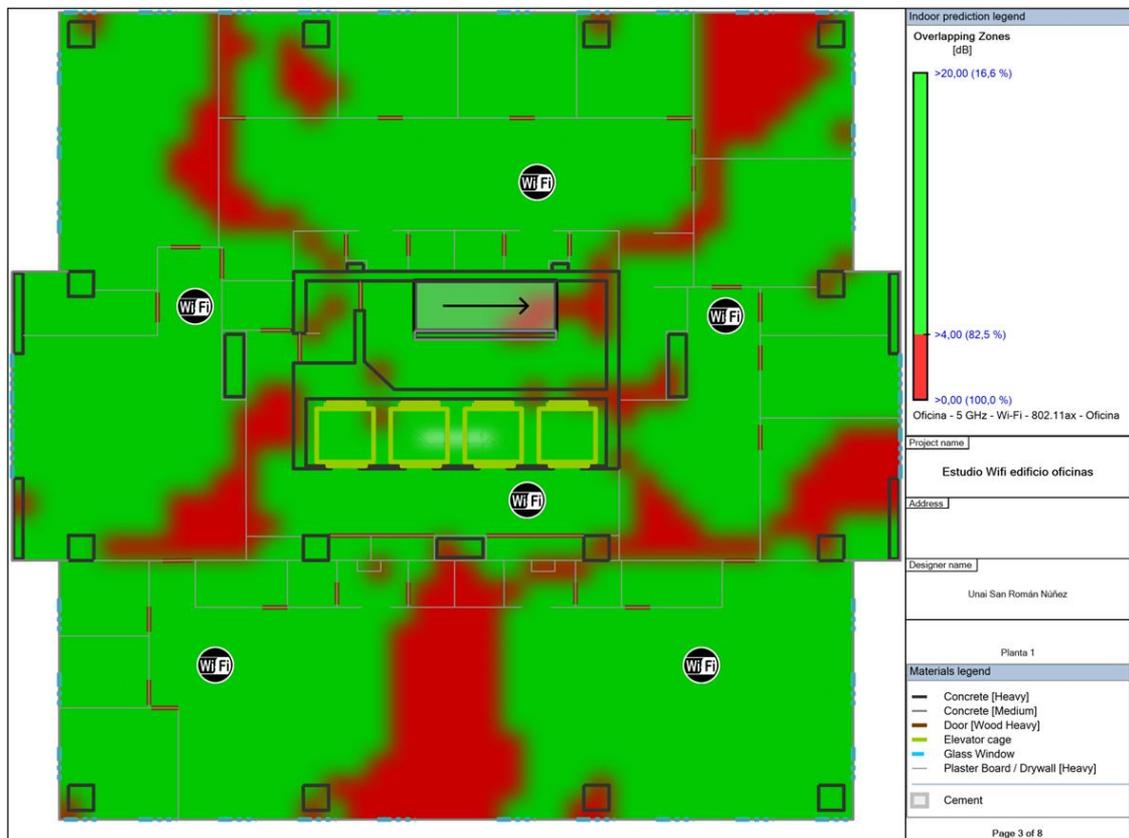


Figura 4-49. Zona de Overlap 5Ghz. Planta 1.

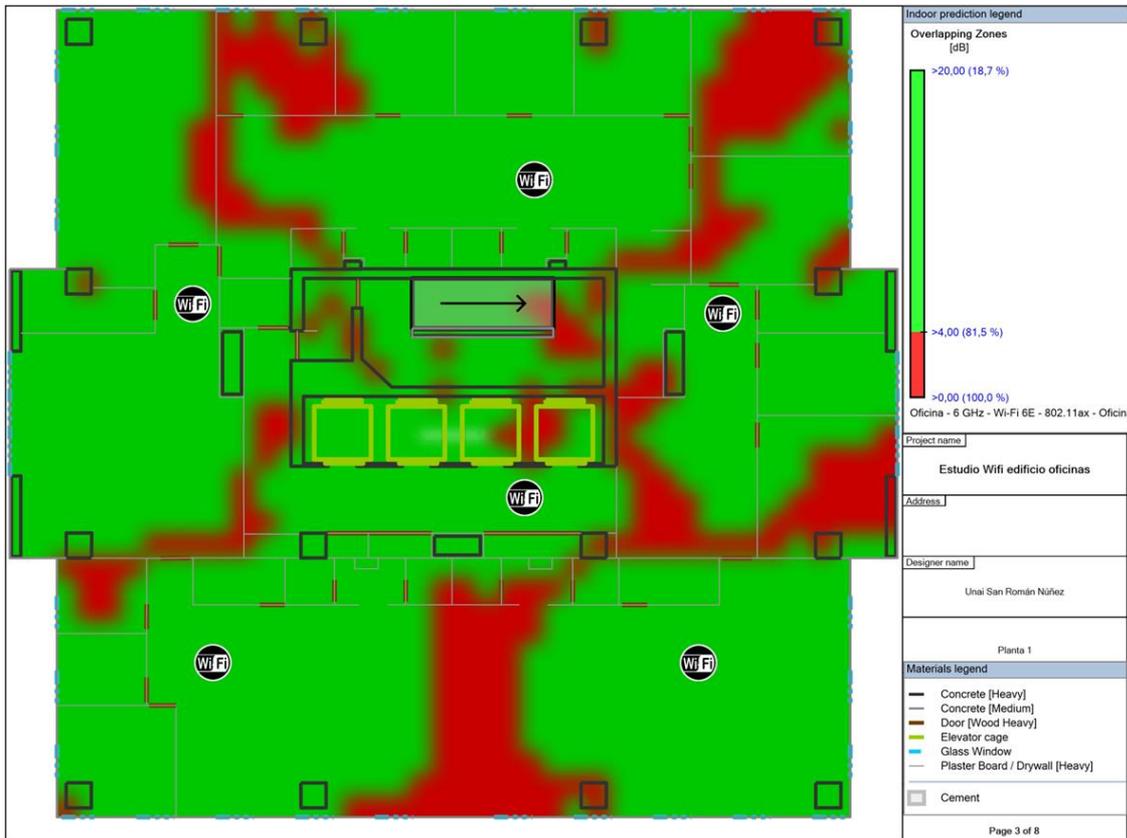


Figura 4-50. Zona de Overlap 6Ghz. Planta 1.

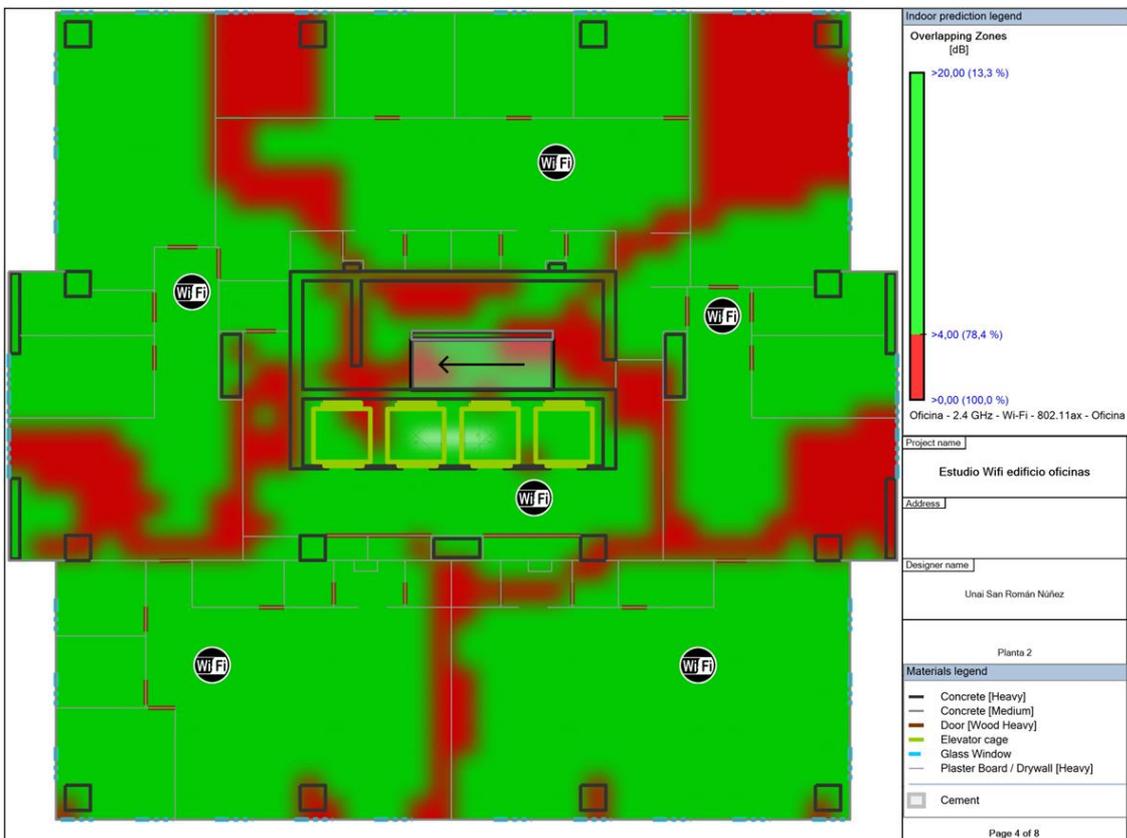


Figura 4-51 Zona de Overlap 2.4Ghz. Planta 2.

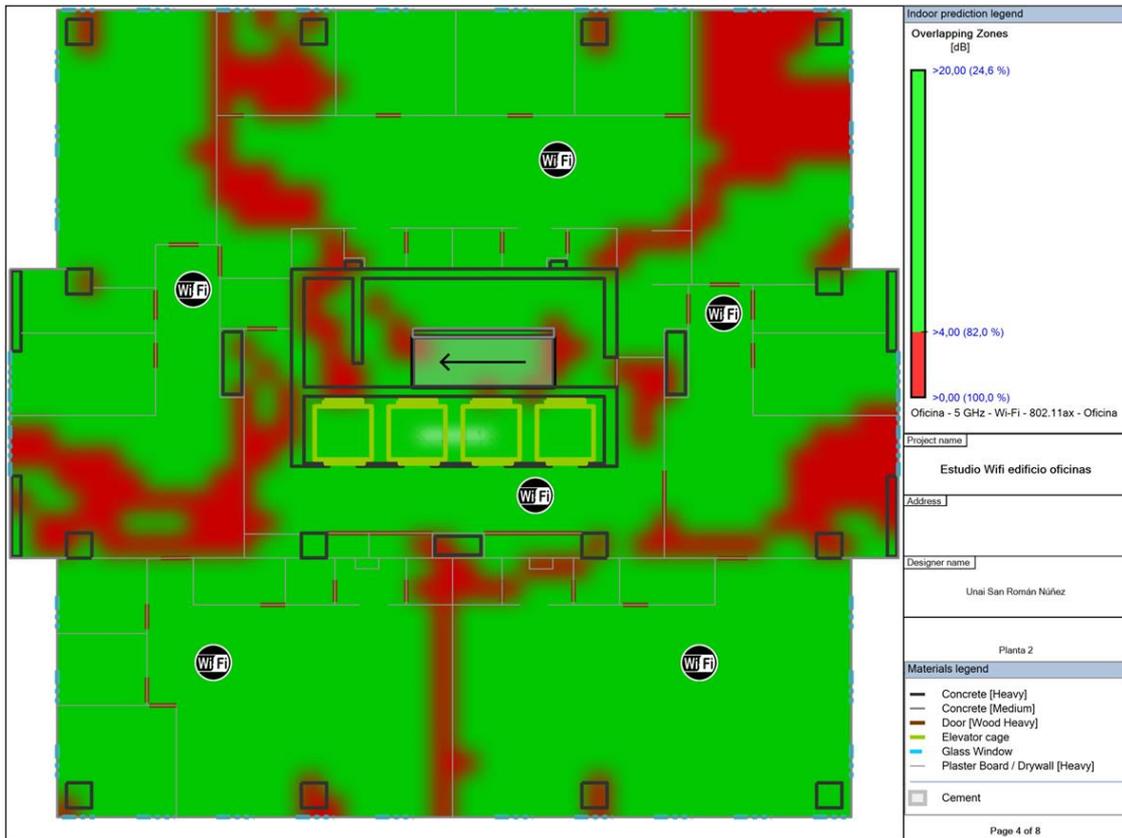


Figura 4-52. Zona de Overlap 5Ghz. Planta 2.

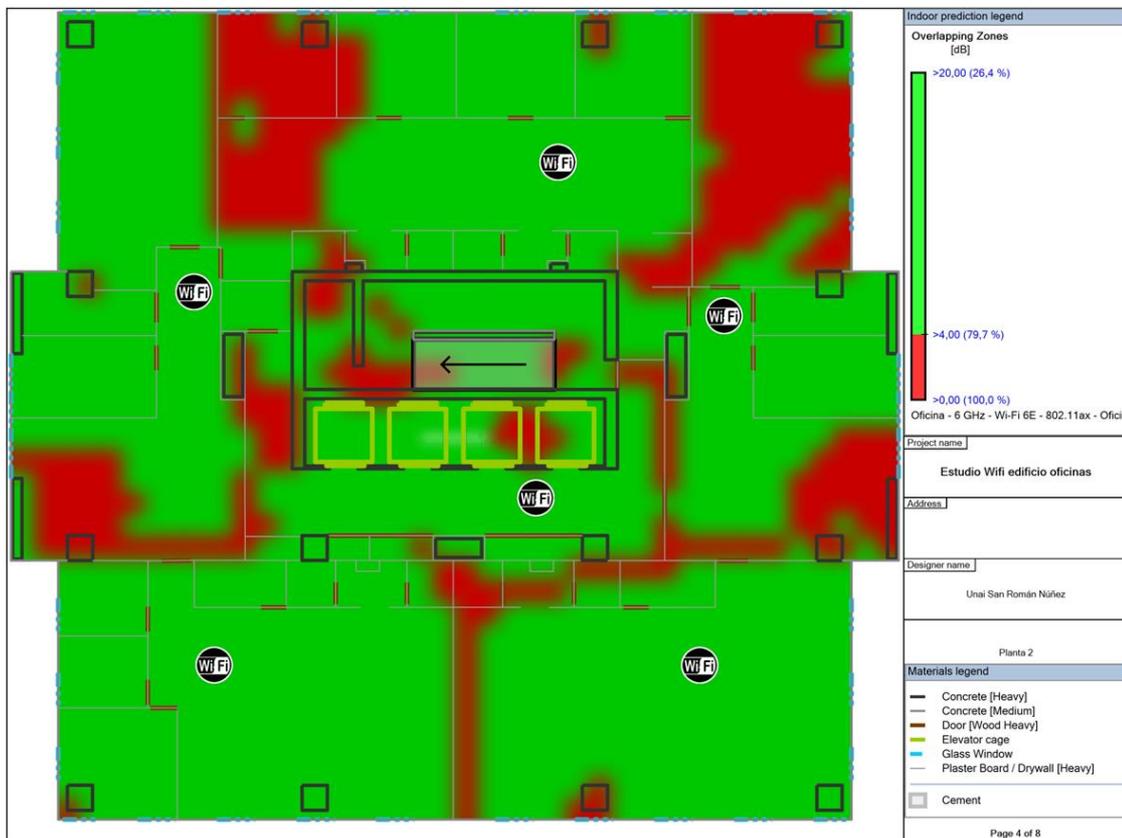


Figura 4-53. Zona de Overlap 6Ghz. Planta 2.

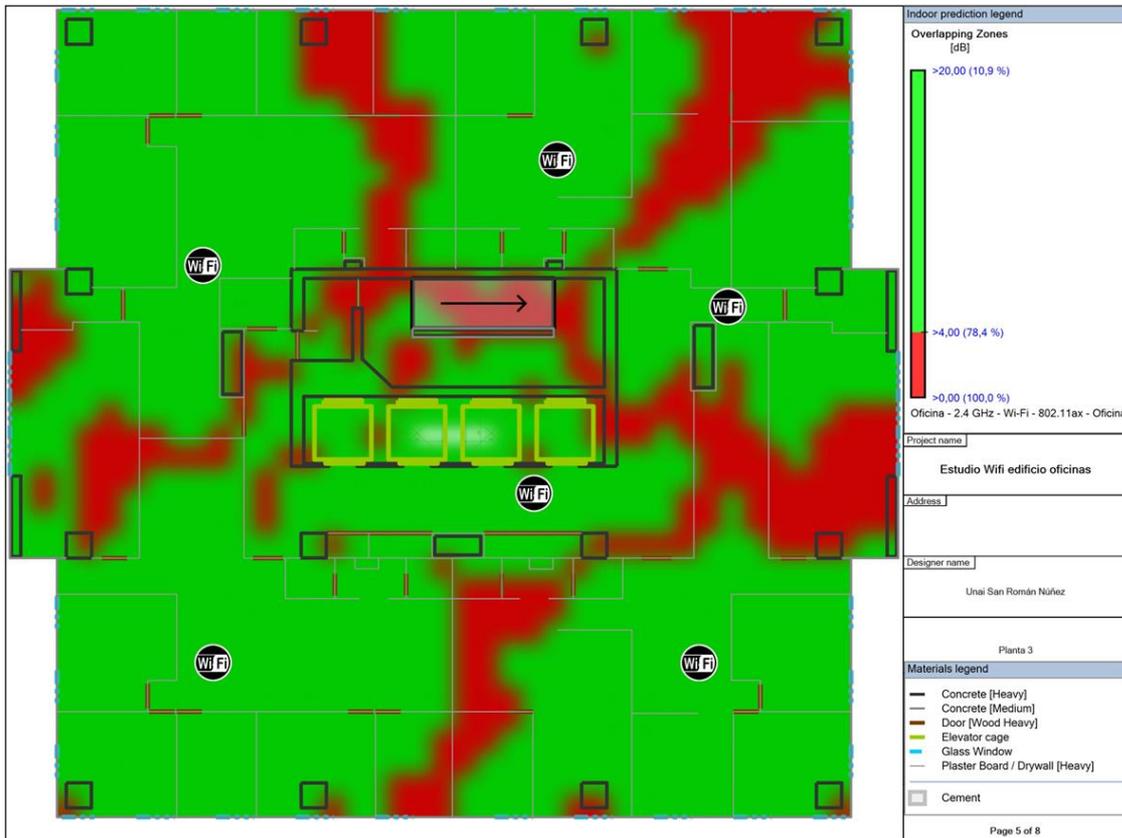


Figura 4-54. Zona de Overlap 2.4Ghz. Planta 3.

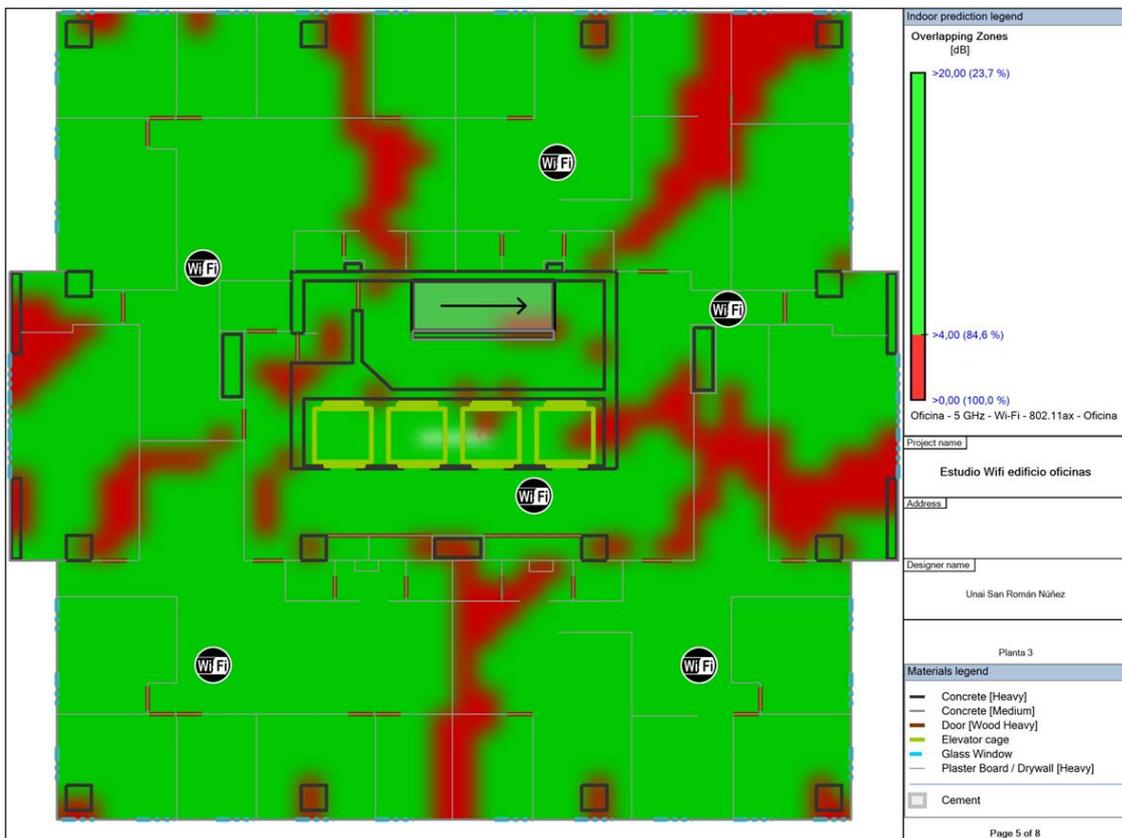


Figura 4-55. Zona de Overlap 5Ghz. Planta 3.

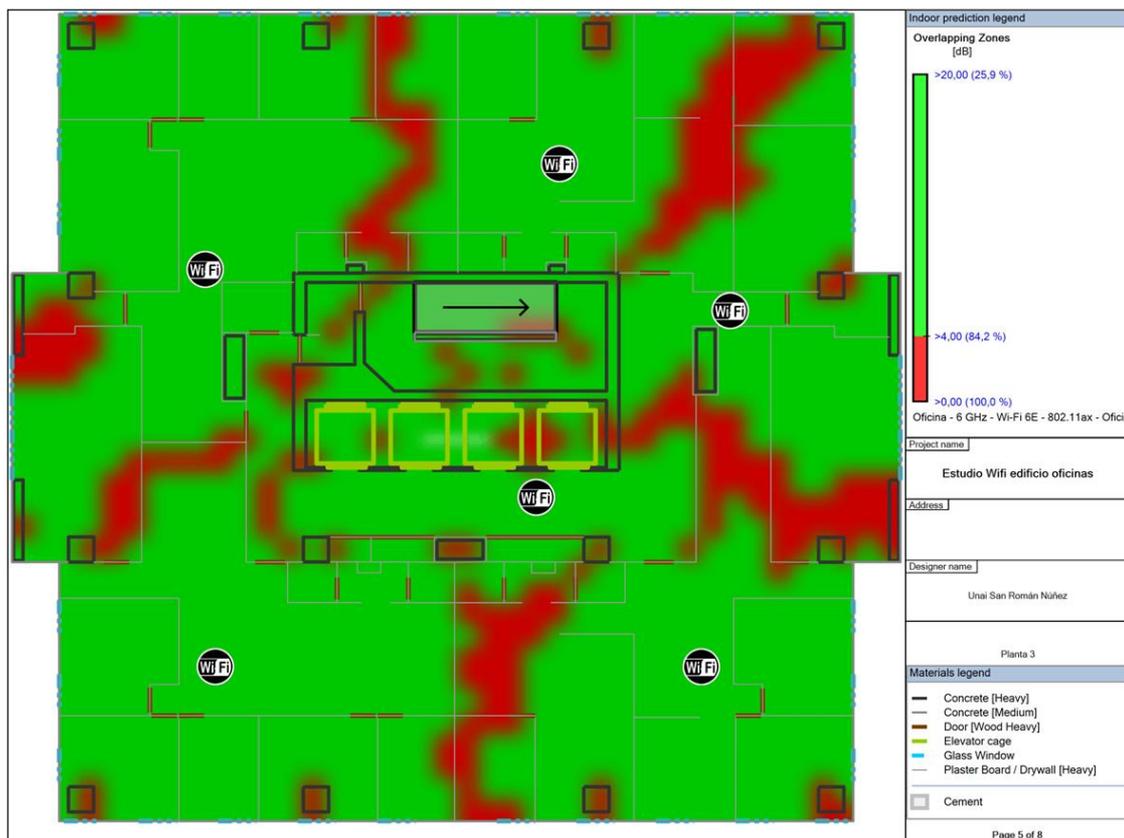


Figura 4-56. Zona de Overlap 6Ghz. Planta 3.



Figura 4-57. Zona de Overlap 2.4Ghz. Planta 4.



Figura 4-58. Zona de Overlap 5Ghz. Planta 4.



Figura 4-59. Zona de Overlap 6Ghz. Planta 4.

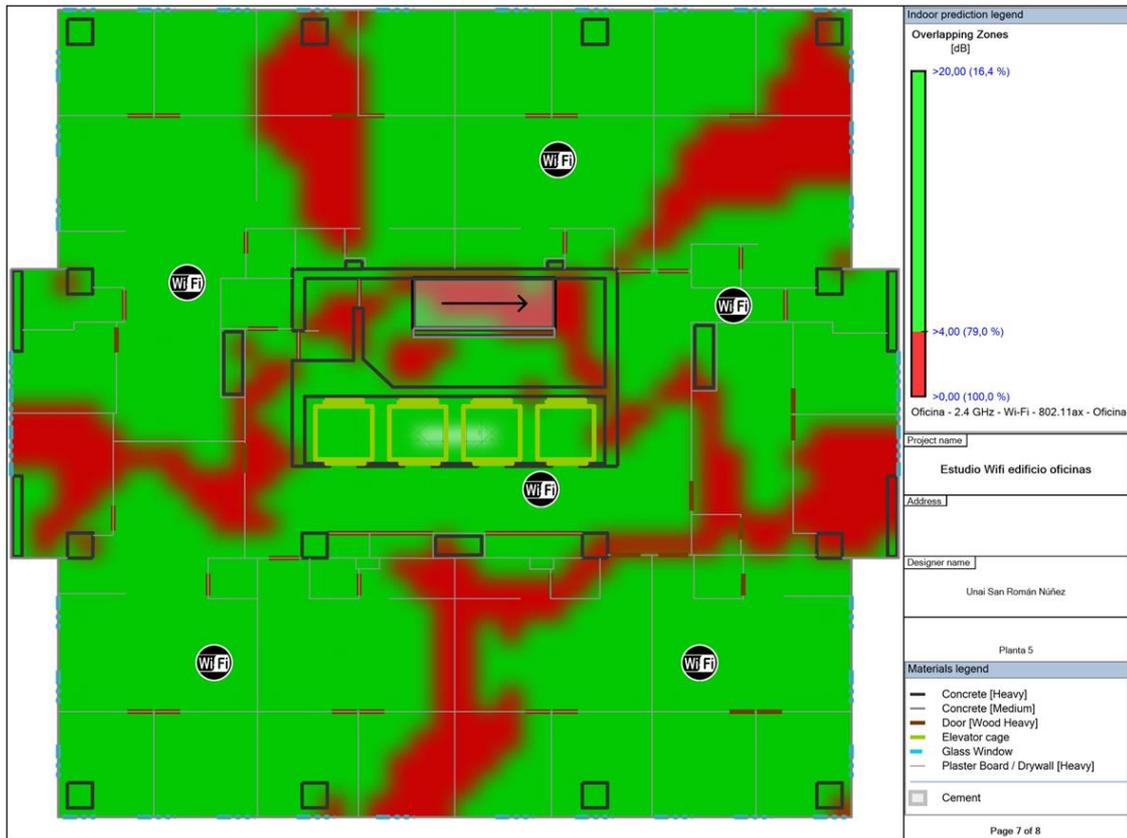


Figura 4-60. Zona de Overlap 2.4Ghz. Planta 5.

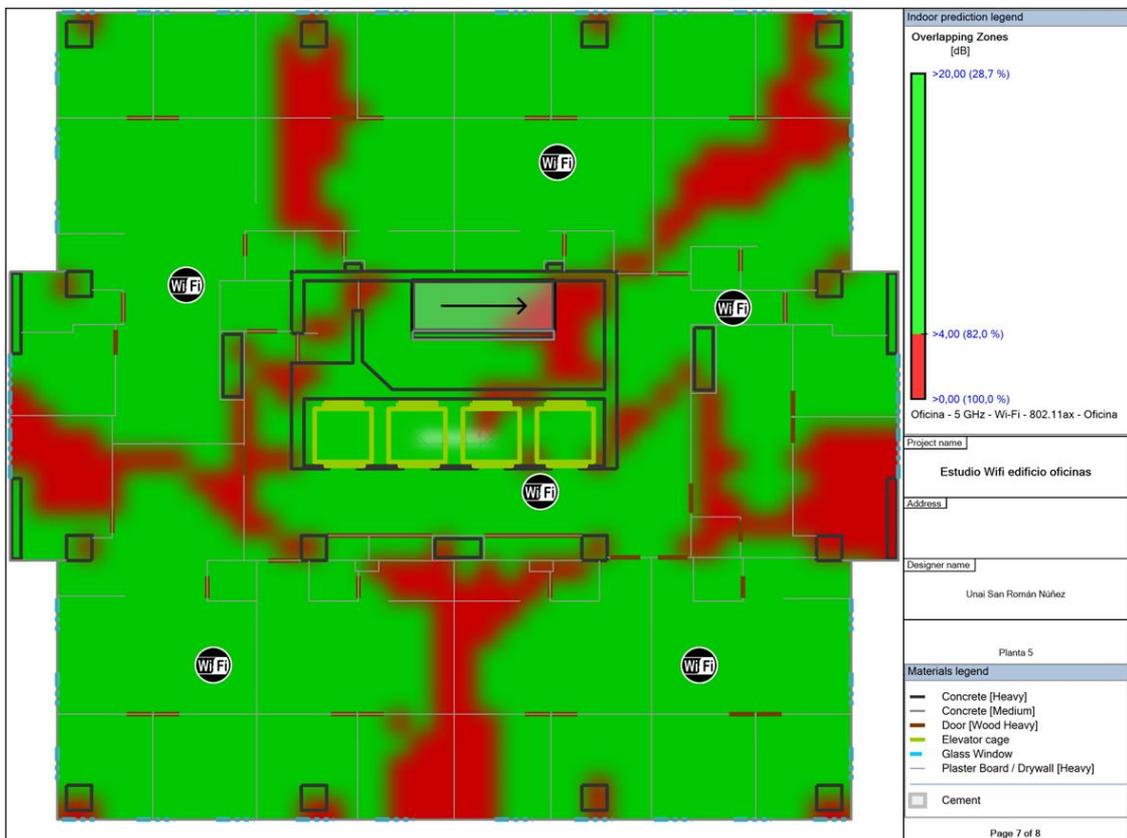


Figura 4-61. Zona de Overlap 5Ghz. Planta 5.

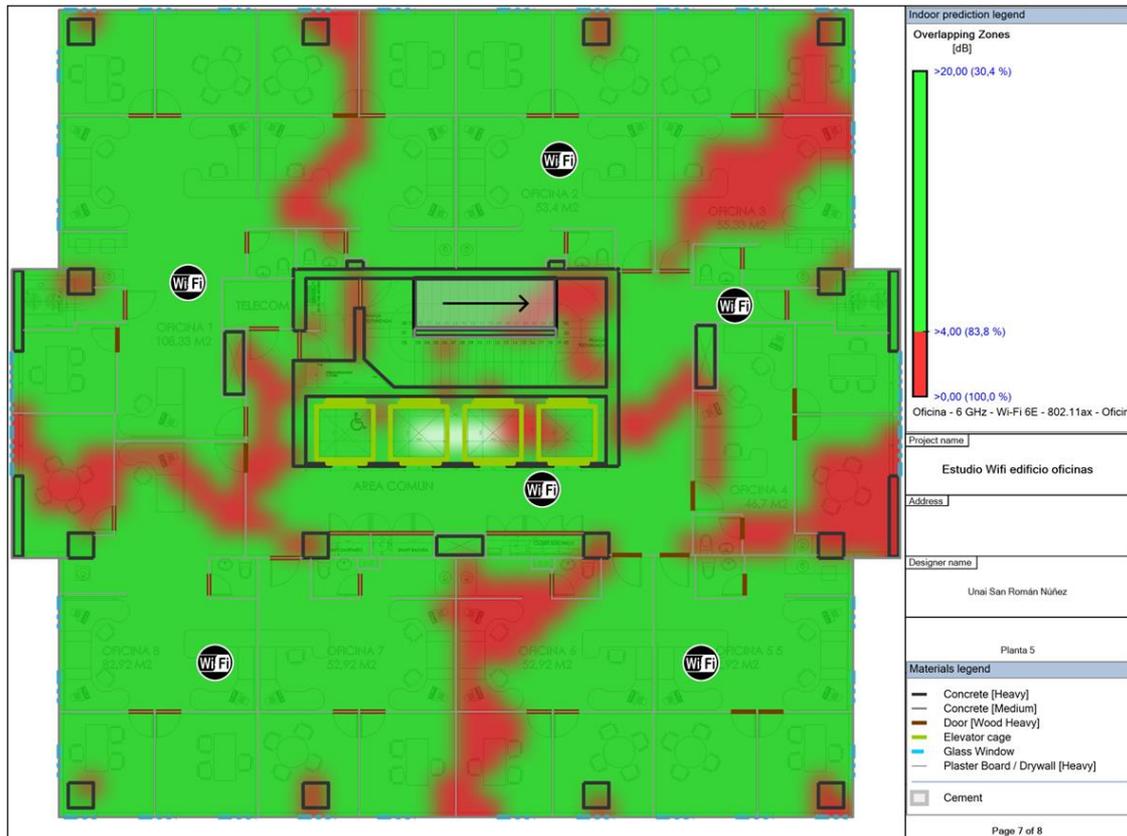


Figura 4-62. Zona de Overlap 6Ghz. Planta 5.

Se observa que el solape ocurre principalmente en las zonas limítrofes de los puntos de acceso (APs) continuos. Este patrón sugiere una distribución eficiente de la cobertura inalámbrica, donde los APs adyacentes se superponen lo suficiente para garantizar una transición fluida entre las áreas de cobertura, pero sin generar interferencias significativas. En conjunto, estos resultados indican una planificación efectiva de la red Wi-Fi para proporcionar una cobertura uniforme y una experiencia de usuario óptima en todo el edificio.

4.1.4.4 Mejor Servidor de Punto de Acceso (AP)

Utilizando los datos recopilados durante el estudio, se ha identificado el mejor servidor de punto de acceso para cada área del edificio. Esto se basa en varios factores, como la intensidad de la señal, la relación señal-ruido y la capacidad del punto de acceso. Asignar adecuadamente los clientes al mejor servidor puede mejorar significativamente el rendimiento y la estabilidad de la red WiFi.

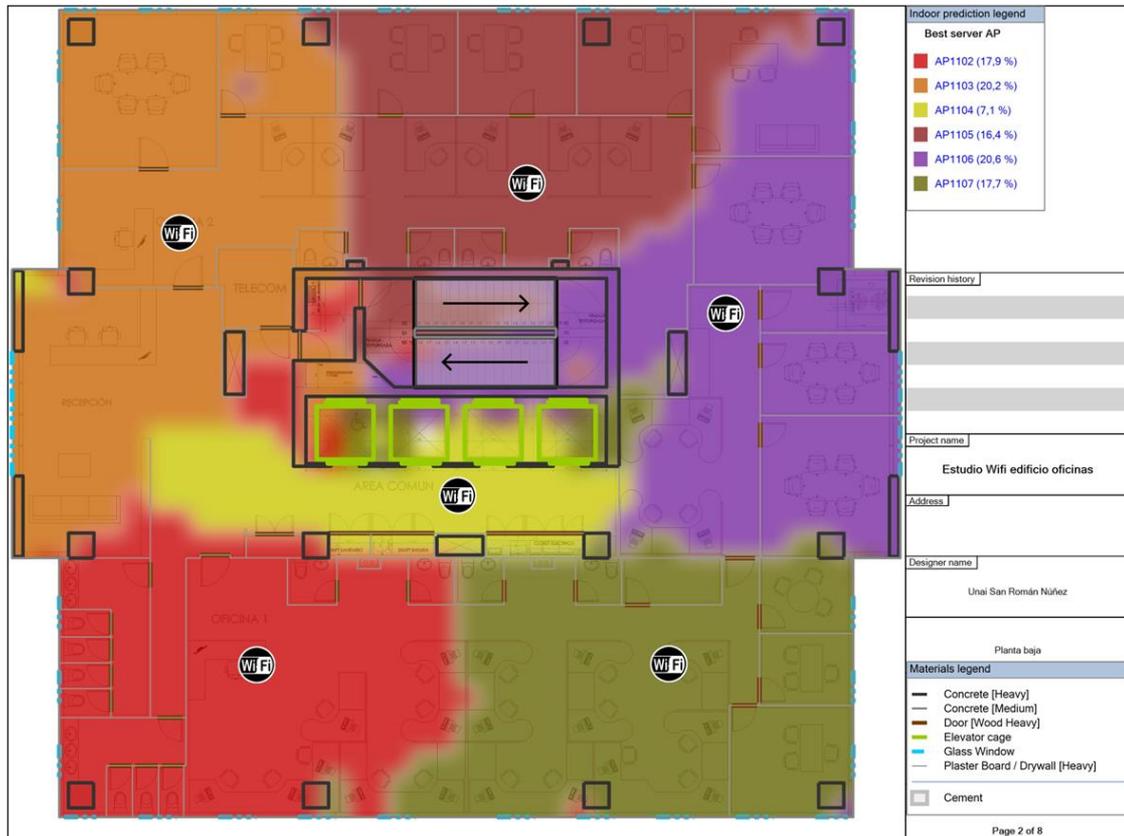


Figura 4-63. Mejor Servidor de AP 2.4Ghz. Planta baja.

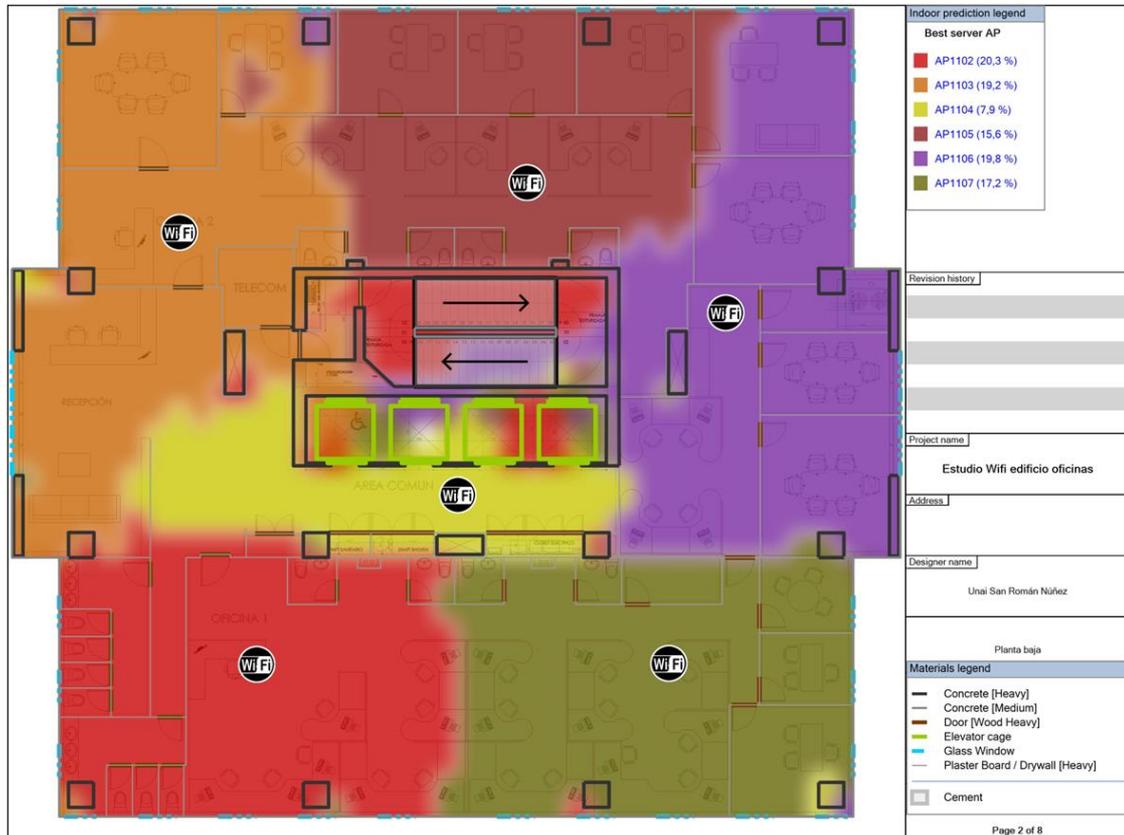


Figura 4-64. Mejor Servidor de AP 5Ghz. Planta baja.

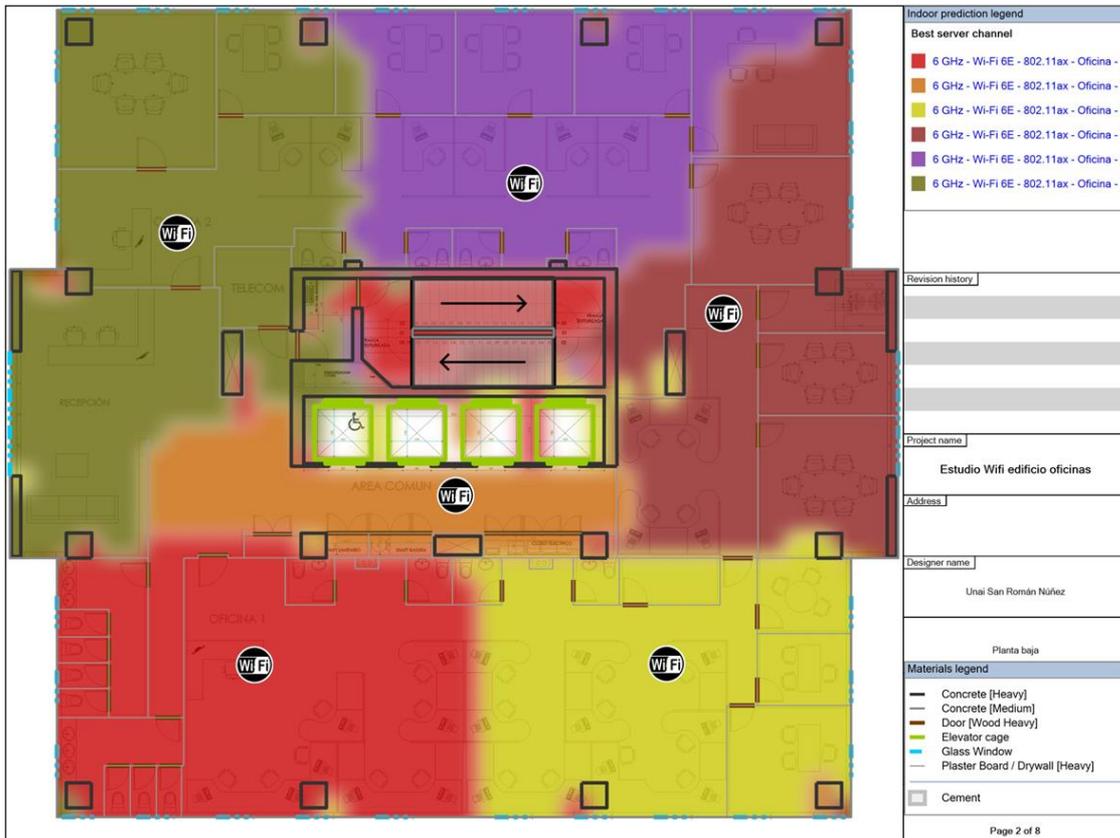


Figura 4-65. Mejor Servidor de AP 6Ghz. Planta baja.

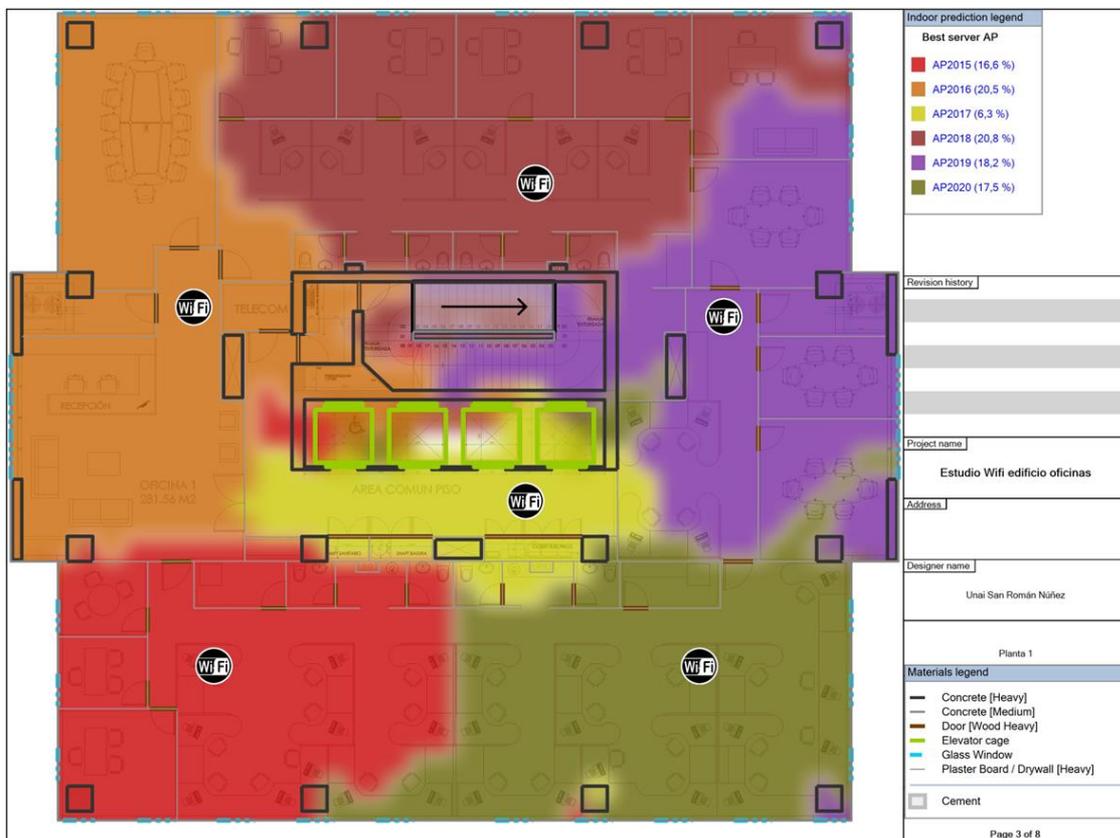


Figura 4-66. Mejor Servidor de AP 2.4Ghz. Planta 1.

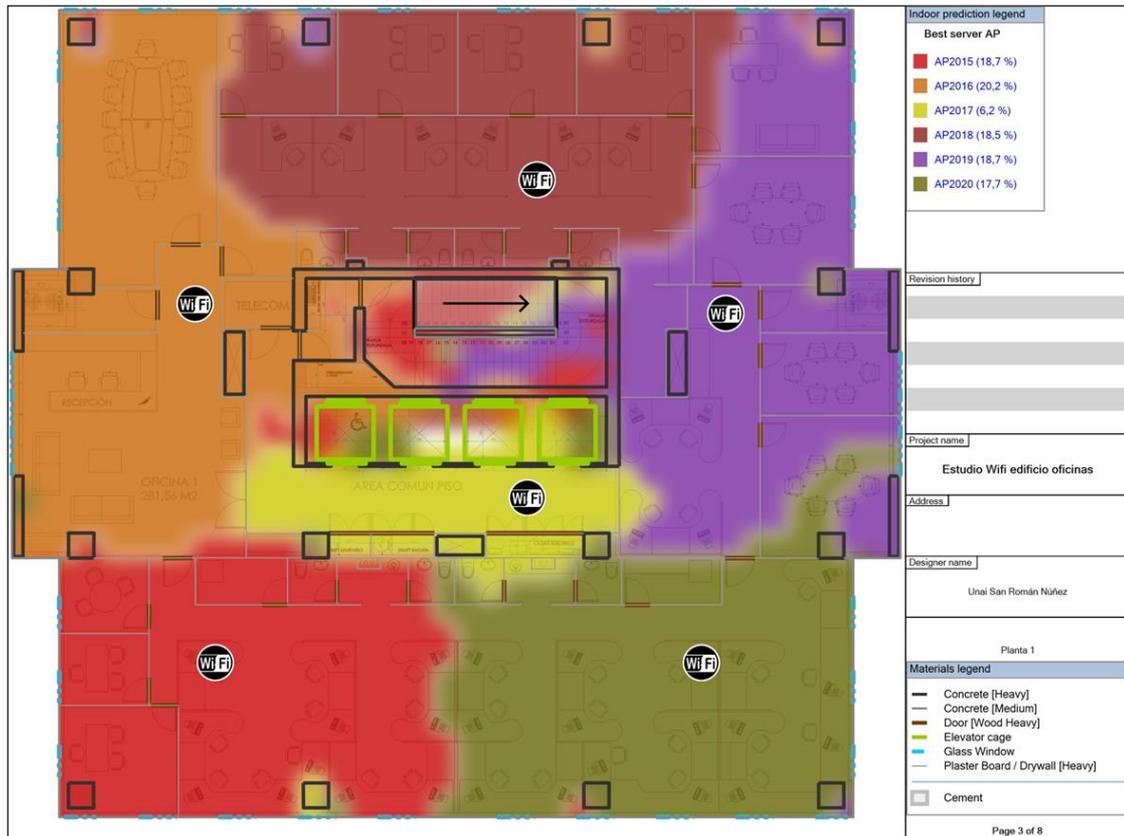


Figura 4-67. Mejor Servidor de AP 5Ghz. Planta 1.

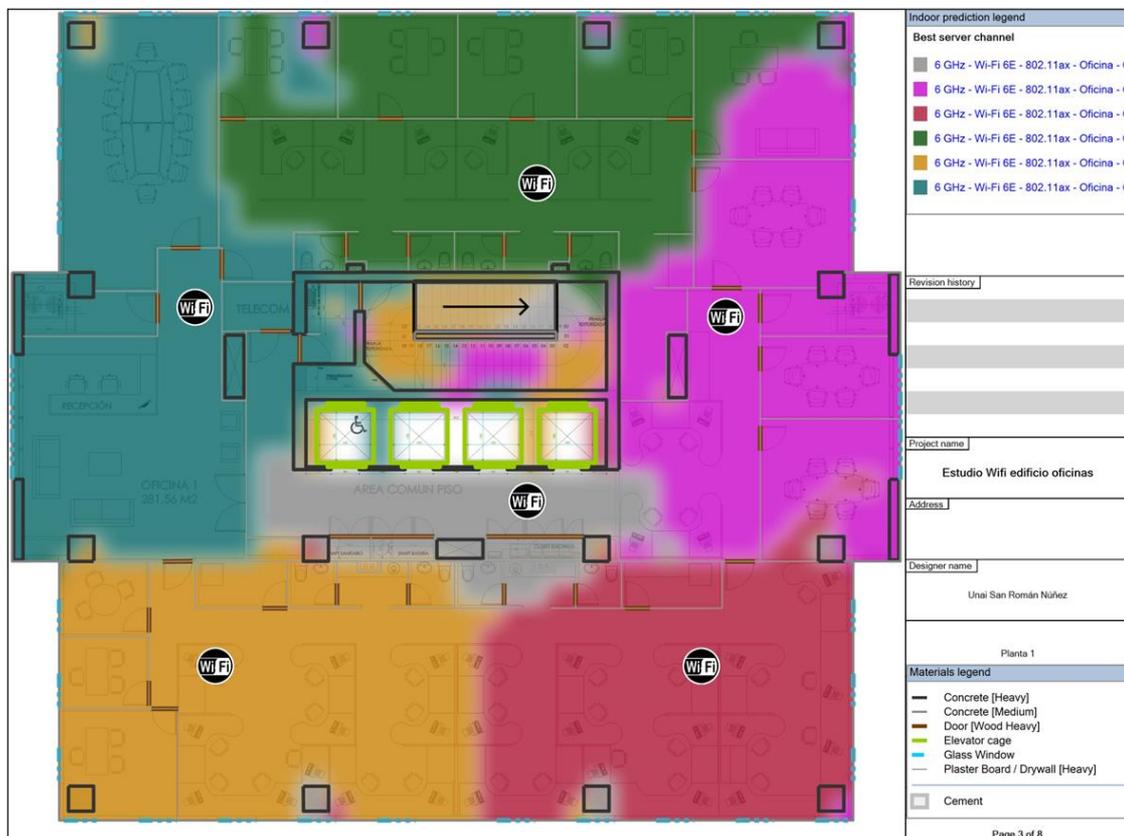


Figura 4-68. Mejor Servidor de AP 6Ghz. Planta 1.

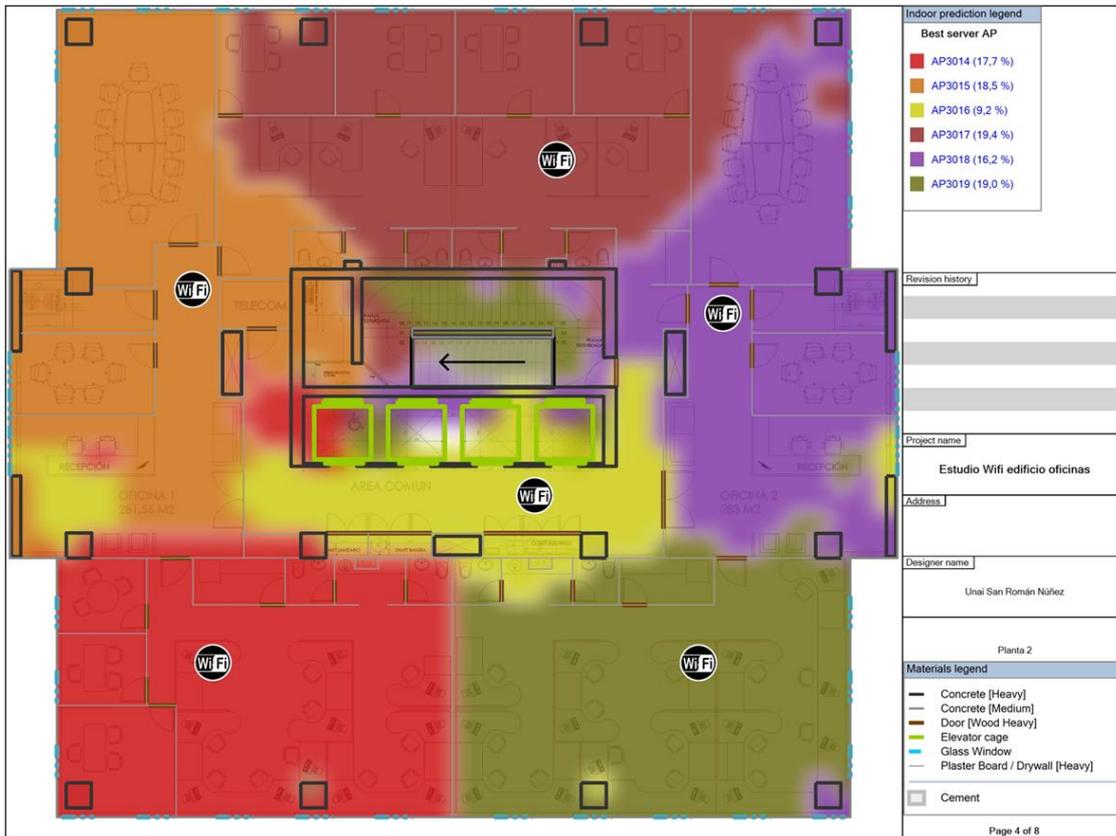


Figura 4-69. Mejor Servidor de AP 2.4Ghz. Planta 2.

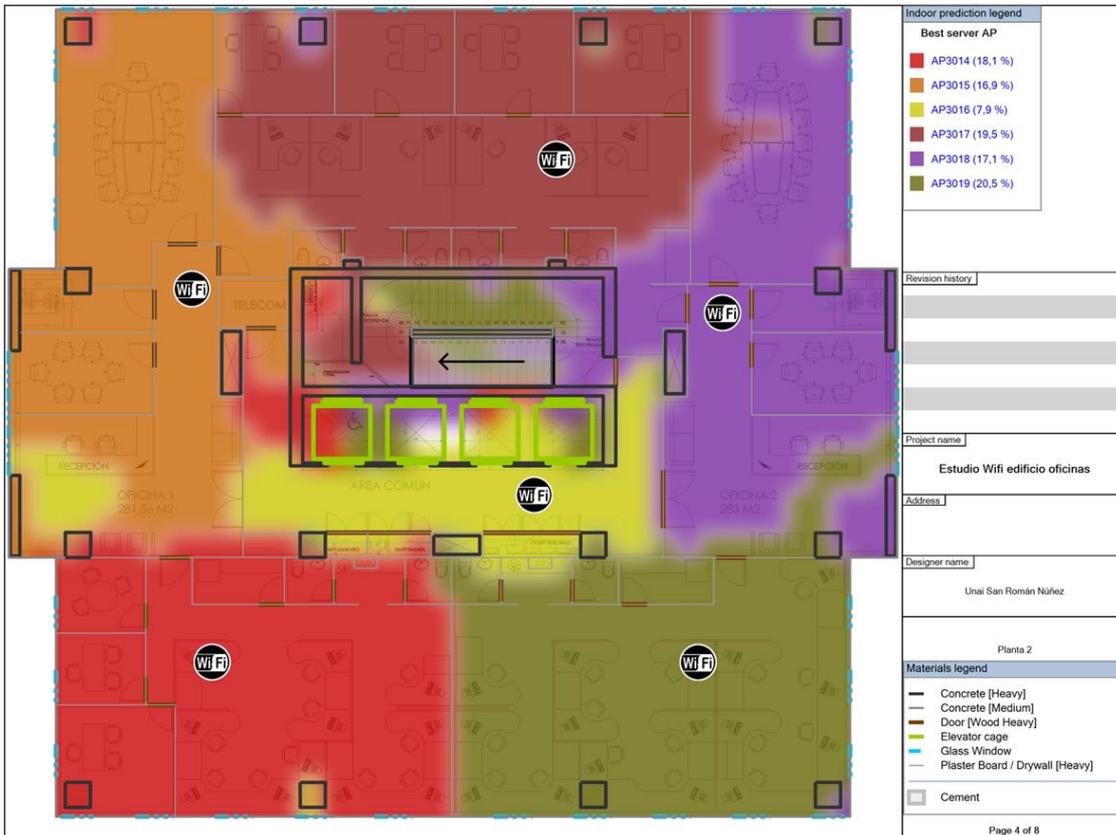


Figura 4-70. Mejor Servidor de AP 5Ghz. Planta 2.

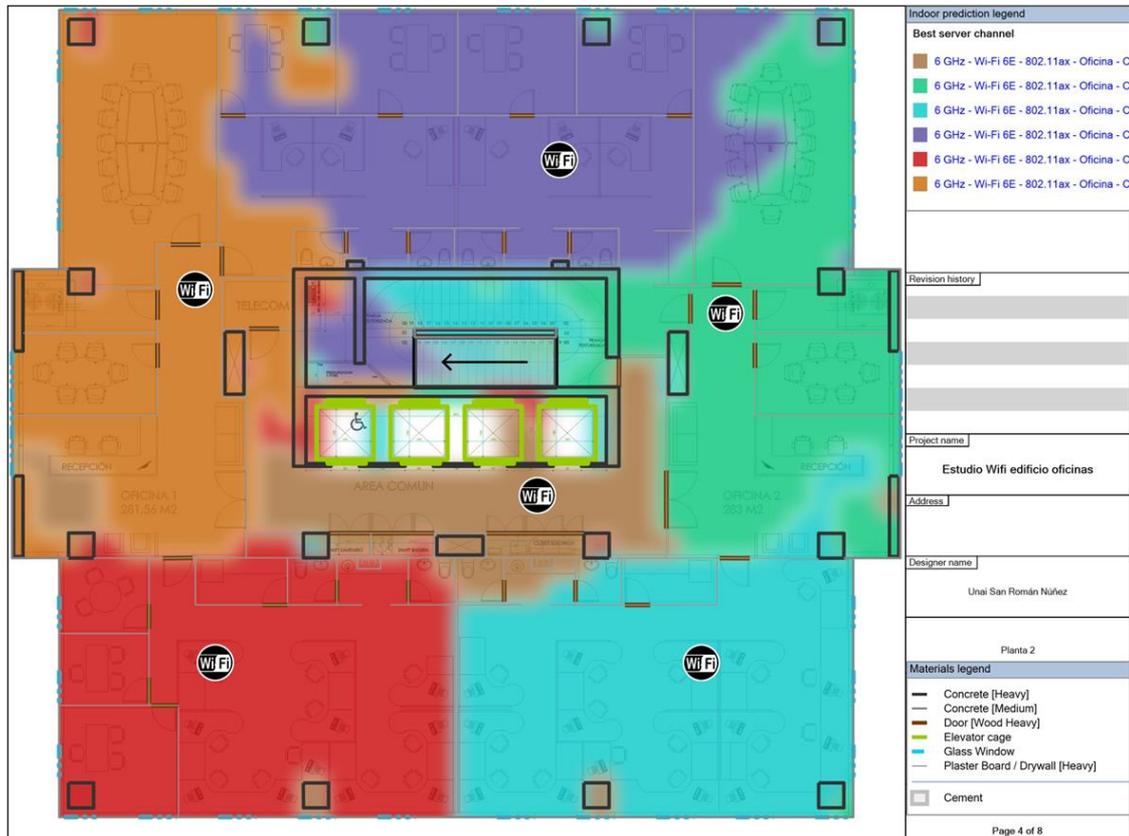


Figura 4-71. Mejor Servidor de AP 6Ghz. Planta 2.

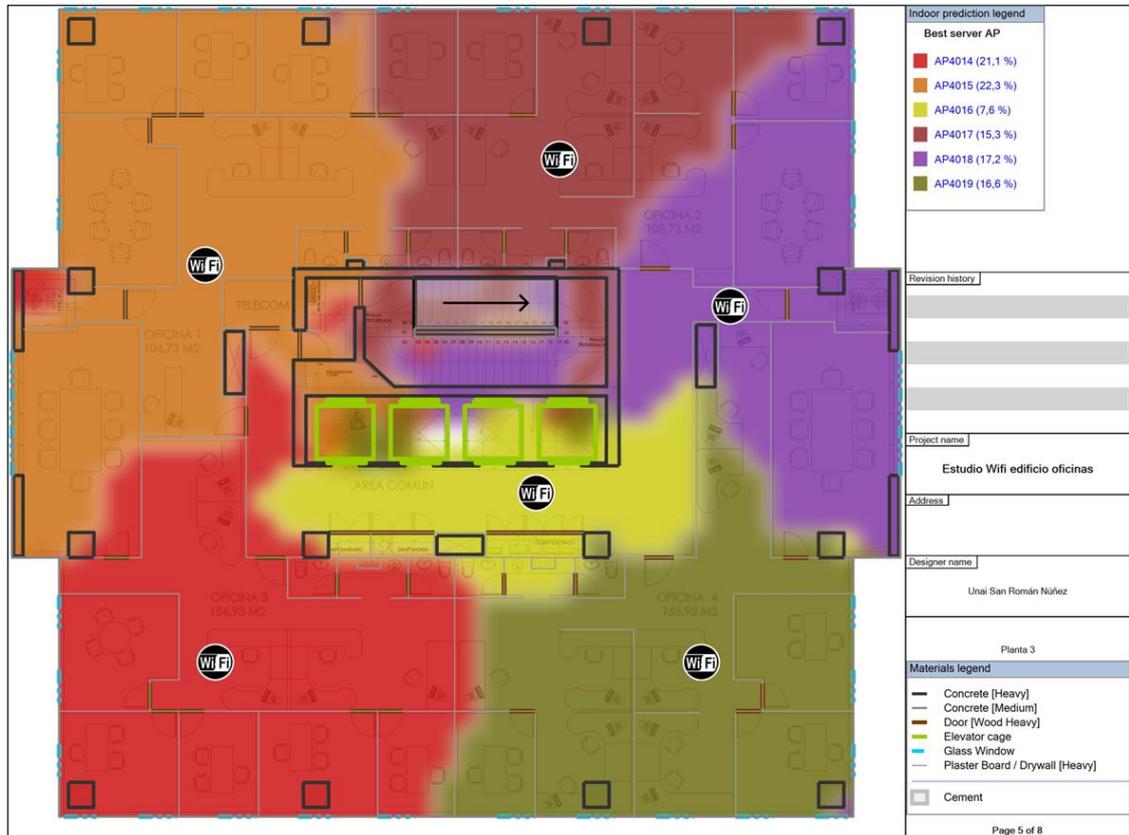


Figura 4-72. Mejor Servidor de AP 2.4Ghz. Planta 3.

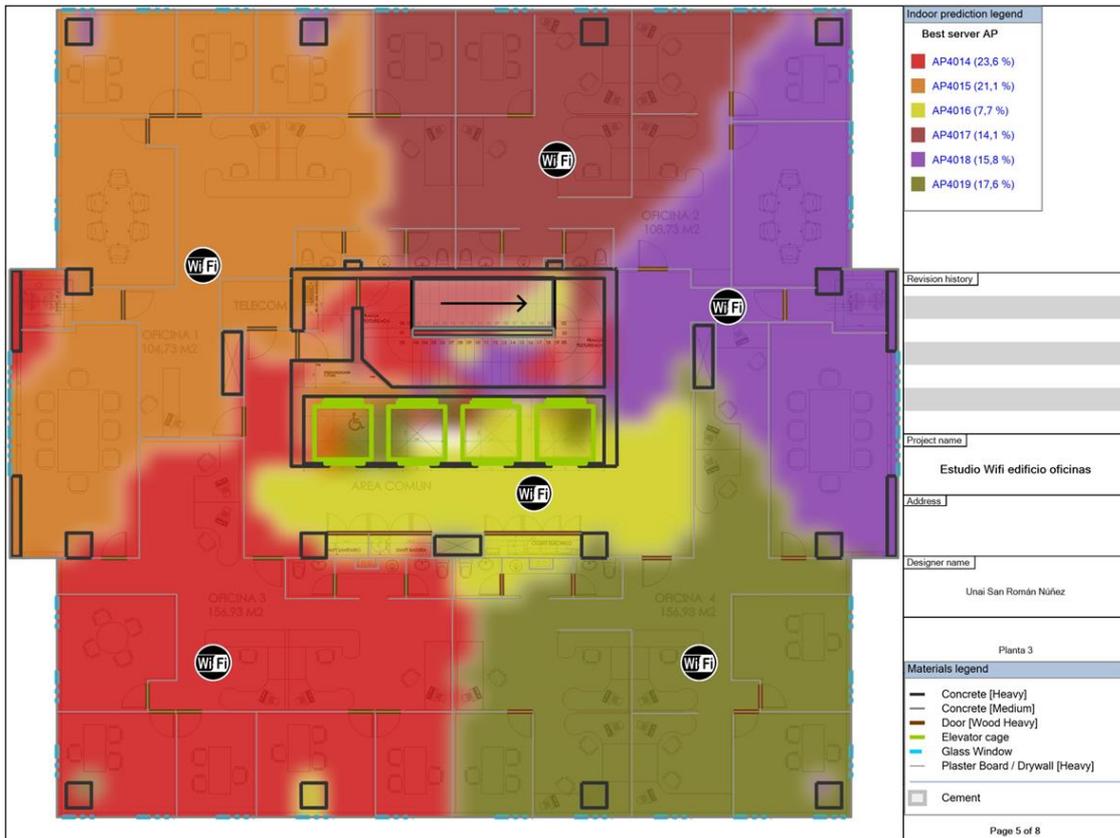


Figura 4-73. Mejor Servidor de AP 5Ghz. Planta 3.

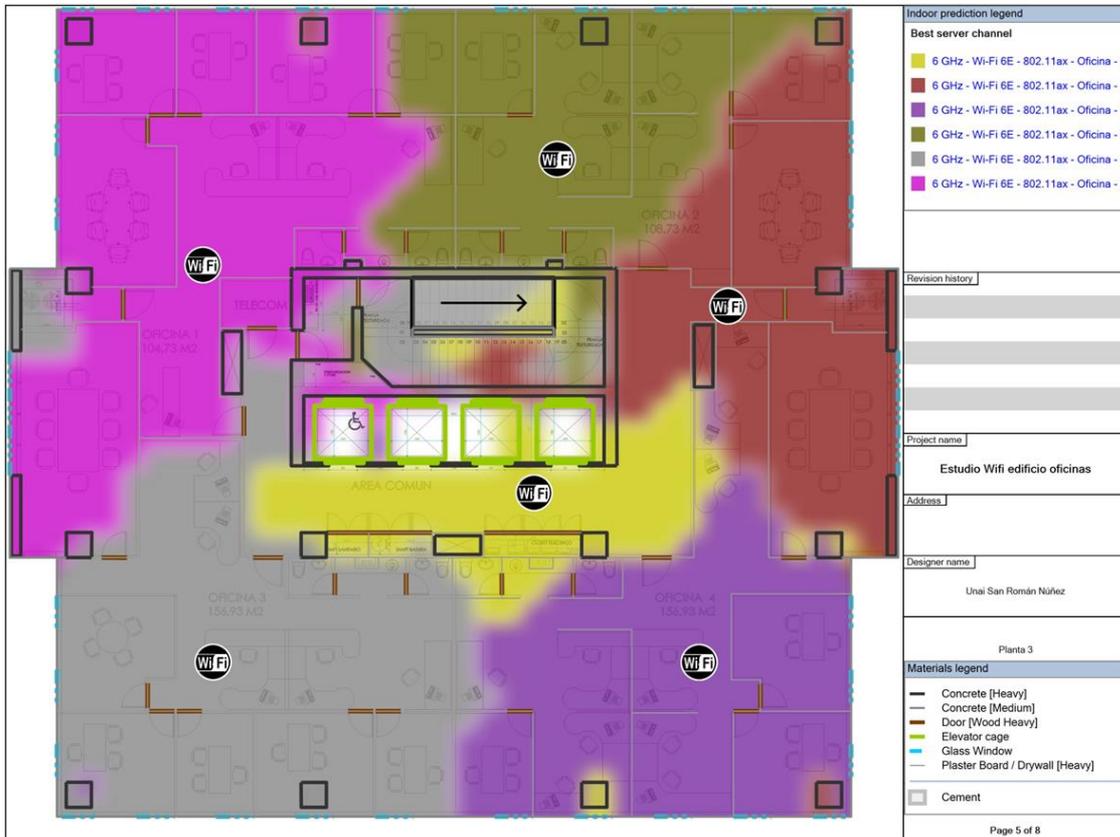


Figura 4-74. Mejor Servidor de AP 6Ghz. Planta 3.

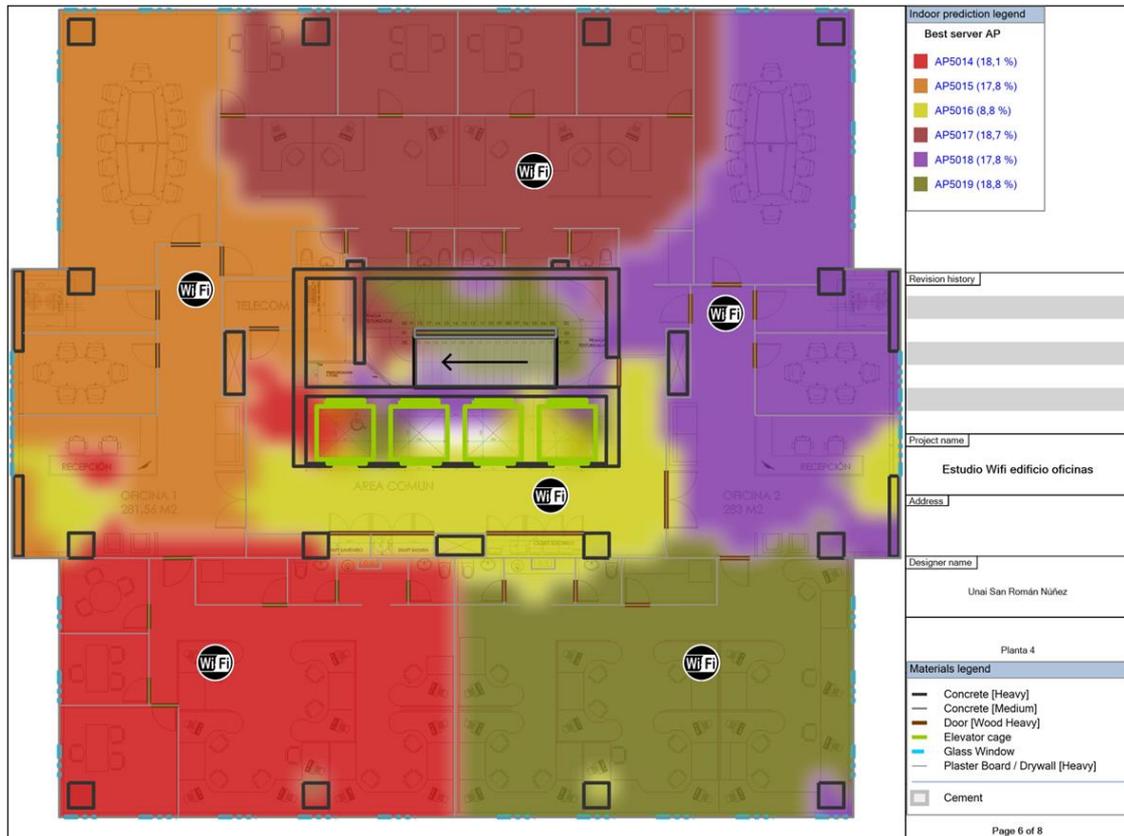


Figura 4-75. Mejor Servidor de AP 2.4Ghz. Planta 4.

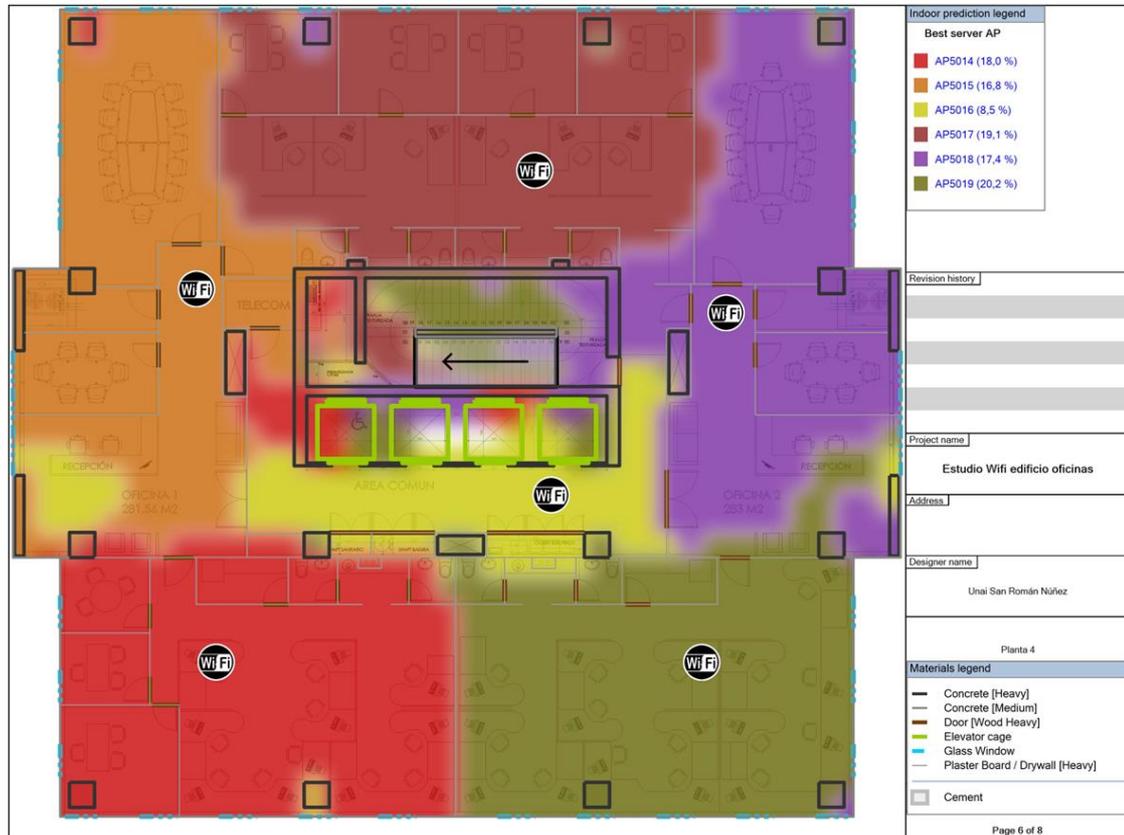


Figura 4-76. Mejor Servidor de AP 5Ghz. Planta 4.

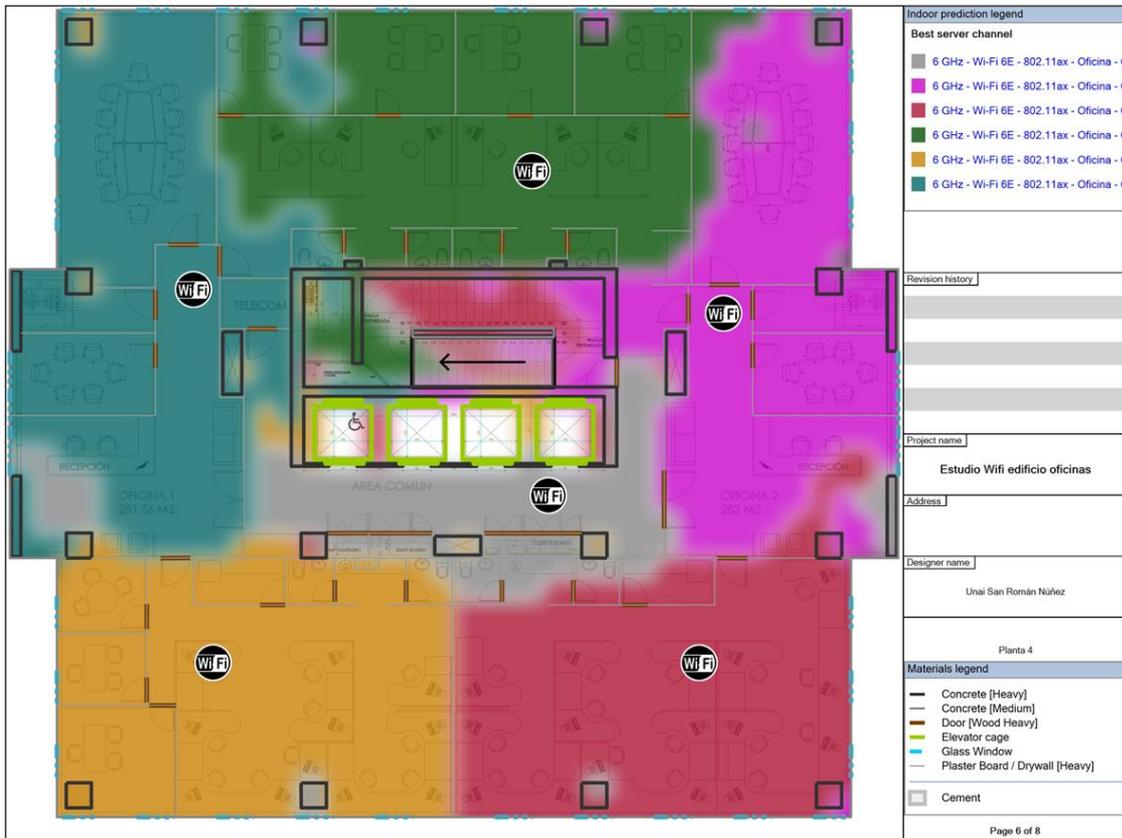


Figura 4-77. Mejor Servidor de AP 6Ghz. Planta 4.

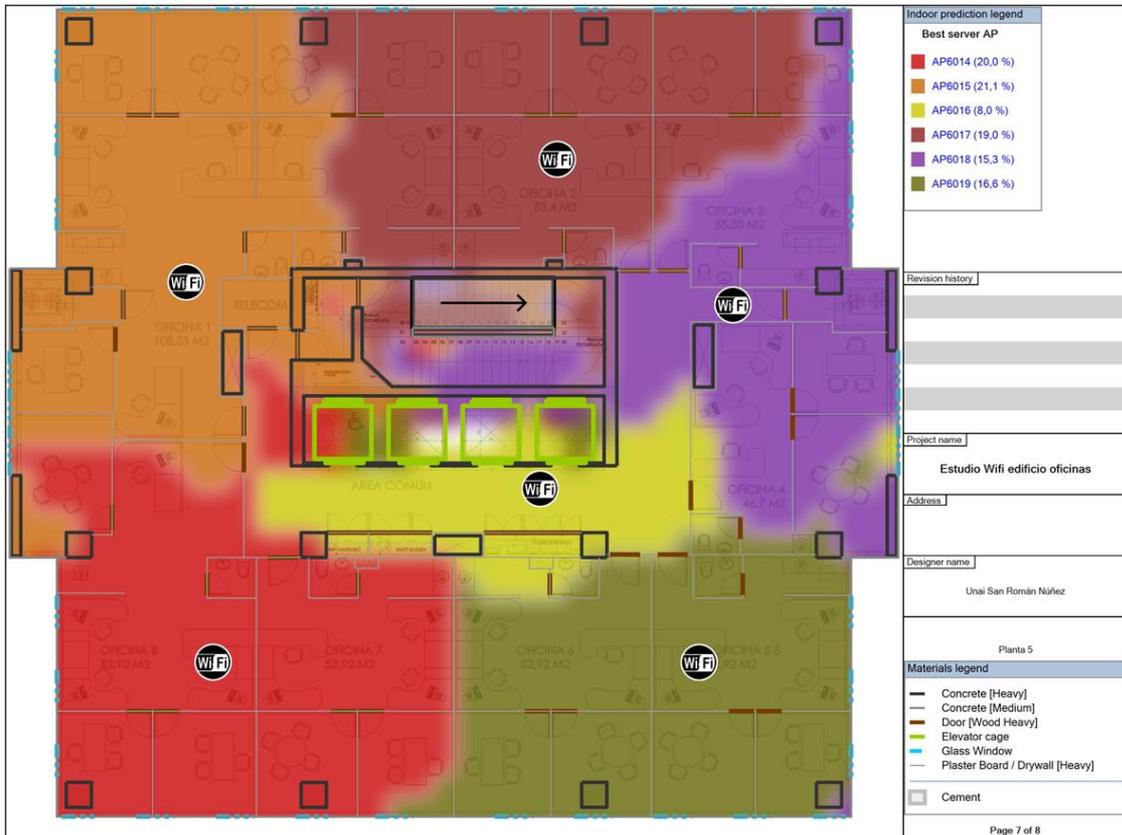


Figura 4-78. Mejor Servidor de AP 2.4Ghz. Planta 5.

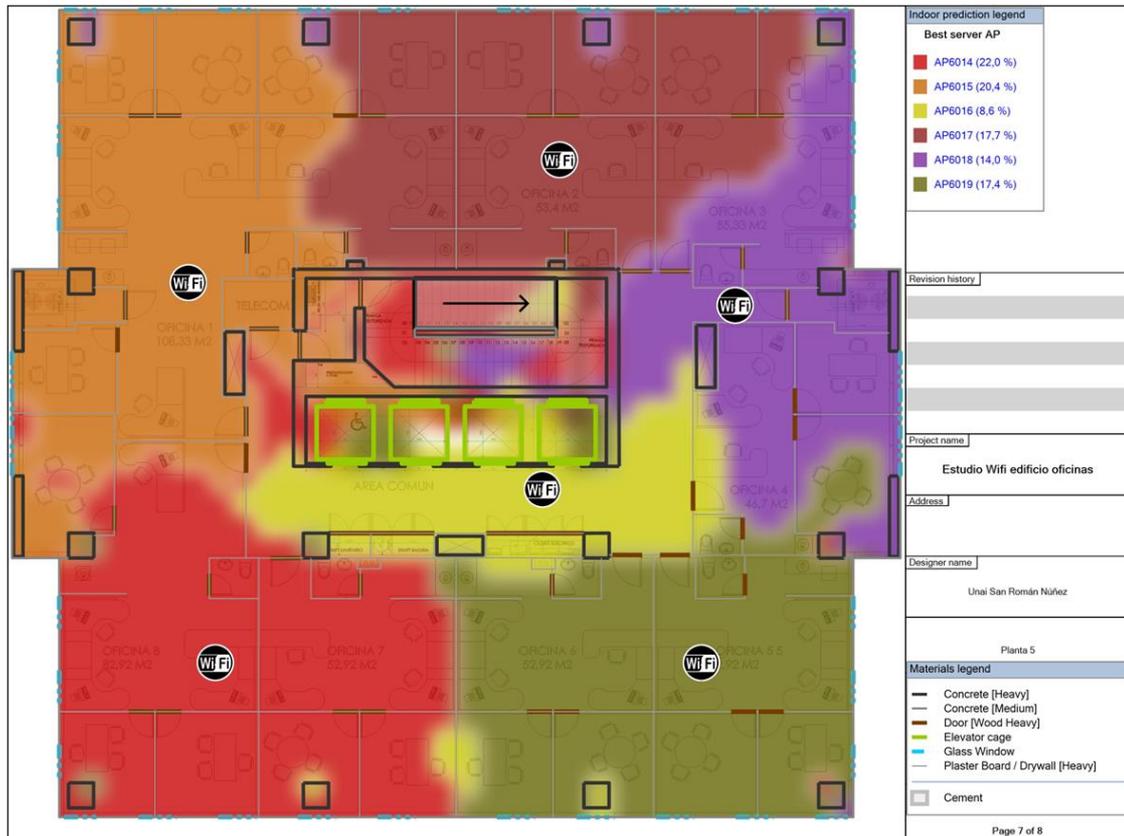


Figura 4-79. Mejor Servidor de AP 5Ghz. Planta 5.

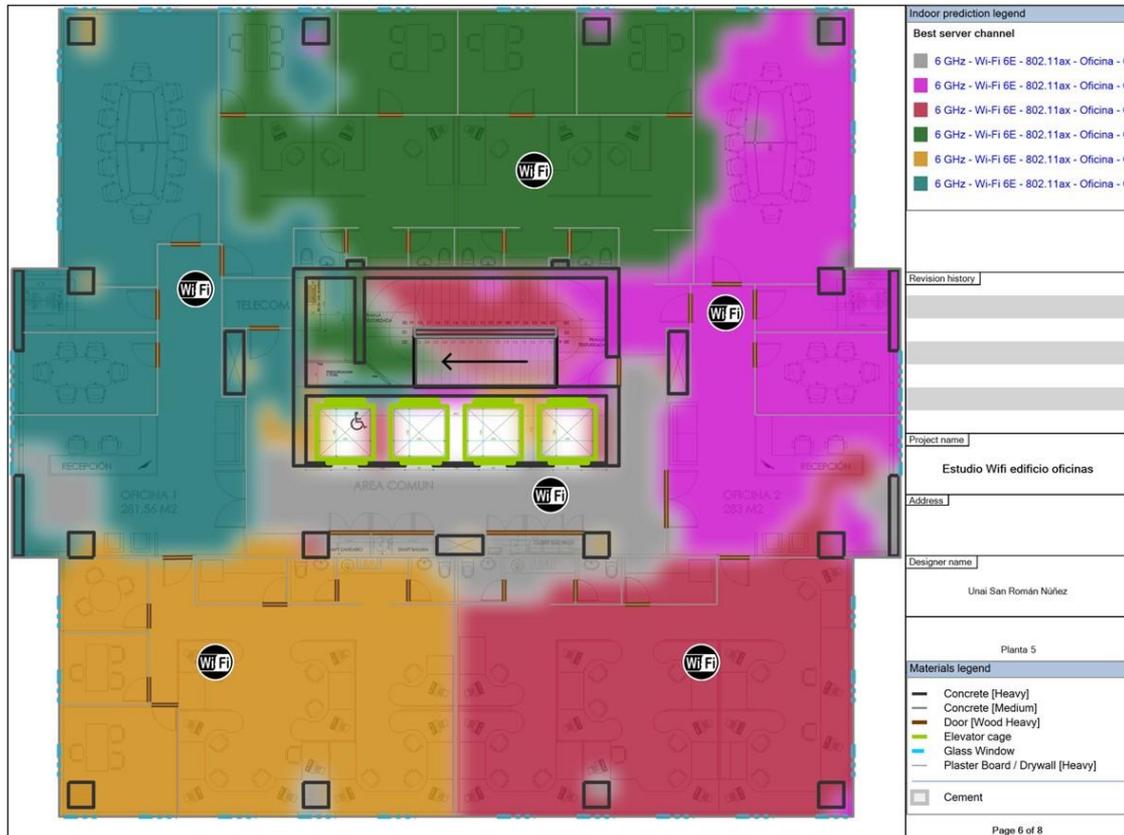


Figura 4-80. Mejor Servidor de AP 6Ghz. Planta 5.

La gráfica muestra las conexiones que realizarían los dispositivos, optando por el punto de acceso (AP) con el mejor nivel de señal disponible en su zona. Esta visualización es especialmente interesante debido a la presencia de obstáculos como pilares y puertas, donde los dispositivos pueden conectarse a un AP que, aunque no sea el más cercano físicamente, ofrece la mejor cobertura en términos de señal. Esto subraya la importancia de una planificación minuciosa de la distribución de los APs para garantizar una conectividad sólida y uniforme en todo el edificio, incluso en áreas con desafíos estructurales.

5 CONCLUSIONES

En el presente Trabajo de Fin de Grado se ha llevado a cabo un exhaustivo estudio del despliegue de redes Wi-Fi en un edificio de 5 plantas destinado a oficinas. A través de simulaciones realizadas con la herramienta iBwave, se ha evaluado la cobertura, la calidad de la señal y la selección de servidores Wi-Fi en diferentes áreas del edificio. Los resultados obtenidos son alentadores, mostrando una cobertura satisfactoria en la mayoría de las zonas, a pesar de la presencia de obstáculos como pilares y puertas, donde se observa una disminución en los niveles de señal y SNR. La selección del mejor servidor Wi-Fi por parte de los dispositivos también ha sido analizada, destacando la importancia de la calidad de la señal sobre la proximidad física al punto de acceso.

Sin embargo, este estudio también revela áreas de posible mejora en la infraestructura de red inalámbrica del edificio. Entre las posibles mejoras que podrían implementarse se incluyen:

1. Optimización de la ubicación de los puntos de acceso: Considerar reajustes en la ubicación de los APs para mejorar la cobertura en áreas críticas y minimizar las zonas de solapamiento.
2. Implementación de tecnologías de mitigación de interferencias: Evaluar la introducción de tecnologías como la selección dinámica de canales (DCA) o la asignación dinámica de potencia (DAP) para minimizar las interferencias y mejorar la calidad de la señal.
3. Instalación de equipos complementarios: Valorar la instalación de repetidores o extensores Wi-Fi en áreas con cobertura deficiente para ampliar la señal y mejorar la conectividad.
4. Actualización de equipos y estándares: Mantenerse al día con las últimas tecnologías y estándares Wi-Fi para garantizar un rendimiento óptimo de la red, considerando la implementación de equipos compatibles con Wi-Fi 6 o futuras tecnologías emergentes.

En cuanto a líneas futuras de investigación, se sugiere explorar:

1. Optimización de algoritmos de selección de servidores Wi-Fi: Desarrollar algoritmos más avanzados que tengan en cuenta factores adicionales como la carga de los APs y el rendimiento de la red para mejorar la experiencia del usuario.
2. Integración de tecnologías emergentes: Investigar el potencial de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático para optimizar la gestión y el desempeño de las redes Wi-Fi en entornos de oficina.

En resumen, este estudio proporciona una visión integral del despliegue de redes Wi-Fi en un entorno de oficina de múltiples plantas, identificando áreas de mejora y proponiendo líneas futuras de investigación para seguir avanzando en la optimización de la conectividad inalámbrica en entornos similares.

6 ANEXOS

Como documentación complementaria vamos a insertar el siguiente documento:

- A. Ficha de datos del Access Point utilizado.

HPE Aruba Networking 630 Series Campus Access Points

Fast, resilient, and secure Wi-Fi 6E connectivity



Key features

- Unlocks the 6 GHz band to more than double the available capacity
- Comprehensive tri-band coverage across 2.4 GHz, 5 GHz, and 6 GHz to deliver 3.9 Gbps maximum aggregate data rate
- Up to seven 160 MHz channels in 6 GHz support low-latency, bandwidth-hungry applications like high-definition video and augmented reality/virtual reality applications
- Unique Ultra Tri-Band (UTB) filtering enables 5 GHz and 6 GHz to operate without restrictions or interference¹
- High availability with 2.5 Gbps dual ethernets port for hitless failover of Ethernet and power
- Built in GPS receivers and intelligent software enable APs to self-locate and act as reference points for accurate indoor location measurements

¹ The UTB feature was not supported on the initial HPE Aruba Networking AP-635 hardware, but was introduced in a hardware revision. See HPE Aruba Networking Field Bulletin AP2205-1 on the HPE Aruba Networking Support portal for more details.

For enterprises who need more wireless capacity and wider channels, HPE Aruba Networking 630 Series Campus APs are designed to take advantage of the 6 GHz band via three dedicated radios. By using the 6 GHz band, capacity is more than doubled—so you can meet growing demand due to bandwidth-hungry video, increasing numbers of client and IoT devices and growth in cloud. Unique to HPE Aruba Networking, the 630 Series includes ultra tri-band filtering and dual 2.5 Gbps ethernet ports to eliminate coverage gaps, provide greater resiliency, and deliver fast, secure connectivity.

Table 1. Channel bandwidth and peak data rate

Band	Channel bandwidth	Peak data rate
6 GHz	160 MHz	2.4 Gbps
5 GHz	80 MHz	1.2 Gbps
2.4 GHz	20 MHz	287 Mbps
Total		3.9 Gbps

More capacity and wider channels

The HPE Aruba Networking 630 Series APs are designed to take advantage of the 6 GHz band, which translates into far greater speeds, wider channels for multi-gigabit traffic, and less interference. It delivers 3.9 Gbps maximum aggregate data rates Tri-radio, 2x2:2 MIMO in all three bands (3.9 Gbps aggregate peak).

Advantages of 6 GHz

Wi-Fi 6E provides up to 1200 MHz in the 6 GHz band for higher throughput and improved application performance. With up to seven 160 MHz channels, Wi-Fi 6E can better support low-latency, bandwidth hungry applications like high-definition video and artificial reality/virtual reality applications. Only Wi-Fi 6E capable devices can use the 6 GHz band so there is no interference or slowdowns due to legacy devices.

Device class support

HPE Aruba Networking 630 Series APs are part of the low power indoor (LPI) device class. This fixed indoor-only class uses lower power levels and does not require an Automated Frequency Coordination service (AFC) to manage incumbent outdoor services which is required for standard class APs. The connectorized models will typically operate as Standard Power access points, but may also be allowed to operate as Low Power Indoor devices in some countries.

Less interference

HPE Aruba Networking 630 Series Access Points include HPE Aruba Networking's ultra tri-band filtering, which enables enterprises to take advantage of the high end of 5 GHz with the lower end of 6 GHz without experiencing interference. Since there is only 50 MHz between 5 GHz and the 6 GHz, without advanced filtering, enterprises would likely experience problems between the bands and would therefore be limited in the number of channels available. By applying advanced filtering capabilities, enterprises can take full use of available spectrum without creating coverage gaps or islands.

Business continuity

The HPE Aruba Networking 630 Series APs provide high availability with two HPE Smart Rate ethernet ports for hitless failover for both data and power. Configurable to 1 or 2.5 Gbps, these dual ports provide business continuity for mission critical applications.

Global readiness

While the need for more Wi-Fi capacity is recognized across the globe, countries are approaching 6 GHz differently. The HPE Aruba Networking 630 Series APs are set up to automatically update regulatory rules once 6E regulations have been approved and certified.

Extend the benefits of Wi-Fi 6

The HPE Aruba Networking 630 Series APs are based on the 802.11ax standard, which means that all its efficiency and security enhancements are also available on the 6 GHz band. Wi-Fi 6 features such as Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA), BSS coloring etc. are fully supported on HPE Aruba Networking Wi-Fi 6E access points as well.

Advantages of OFDMA

This capability allows HPE Aruba Networking APs to handle multiple 802.11ax capable clients on each channel simultaneously, regardless of device or traffic type. Channel utilization is optimized by handling each transaction via smaller sub-carriers or resource units (RUs), which means that clients are sharing a channel and not competing for airtime and bandwidth.

Wi-Fi optimization**Client optimization**

HPE Aruba Networking's patented AI-powered ClientMatch technology eliminates sticky client issues by steering a client to the AP where it receives the best radio signal. Client Match steers traffic from the noisy 2.4 GHz band to the preferred 5 GHz or 6 GHz band depending on client capabilities. ClientMatch also dynamically steers traffic to load balance APs to improve the user experience.

Automated Wi-Fi radio frequency management

To optimize the user experience and provide greater stability, HPE Aruba Networking AirMatch allows organization to automate network optimization using machine learning. AirMatch provides dynamic bandwidth adjustments to support changing device density, enhanced roaming using an even distribution of Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) to radios, and real-time channel assignments to mitigate co-channel interference.

Application assurance

With HPE Aruba Networking Air Slice, organizations can provide application assurance to their users that goes beyond the traditional capabilities of airtime fairness. After the SLAs are configured, Air Slice monitors network usage, automatically allocates radio resources, and dynamically adjusts radio resources as new users connect and applications sessions begin or end.



HPE Aruba Networking Advanced Cellular Coexistence (ACC)

Unique Advanced Cellular Coexistence uses built-in filtering to automatically minimize the impact of interference from cellular networks, distributed antenna systems (DAS), and commercial small cell or femtocell equipment.

Intelligent Power Monitoring (IPM)

For better insights into energy consumption, HPE Aruba Networking APs continuously monitor and report hardware energy usage. Unlike other vendor's access points, HPE Aruba Networking APs can also be configured to enable or disable capabilities based on available PoE power—ideal when wired switches have exhausted their power budget. Enterprises can deploy Wi-Fi 6E APs and update switching and power at a later if needed based on their actual usage.

Self-locating access points

Indoor location shouldn't require guesswork or costly or complex overlay technologies. HPE Aruba Networking's Wi-Fi 6 and 6E APs help organizations leverage their wireless investment to deliver indoor location—everywhere.

The HPE Aruba Networking 630 Series Campus APs include built-in GPS receivers and intelligent software to allow them to automatically locate themselves accurately within the universal framework of latitude and longitude.

As part of HPE Aruba Networking's indoor location solutions, they serve as reference points for client devices and other technologies using fine time measurement.

Open Locate, an emerging standard that allows APs to share their location over the air and through cloud-based APIs, enables mobile devices to locate themselves and applications to support network analytics.

Access points as an IoT platform

The HPE Aruba Networking 630 Series includes an integrated Bluetooth 5 and 802.15.4 radio for Zigbee support to simplify deploying and managing IoT-based location services, asset tracking services, security solutions and IoT sensors. There is also a USB-port extension to provide IoT connectivity to a wider range of devices. These IoT capabilities allows organizations to leverage the APs as an IoT platform, which eliminates the need for an overlay infrastructure and additional IT resources and can accelerate IoT initiatives.

In addition, Target Wake Time (TWT) establishes a schedule for when clients need to communicate with an AP. This helps improve client power savings and reduces airtime contention with other clients, which is ideal for IoT.

HPE Aruba Networking secure infrastructure

The 630 Series includes build-security capabilities such as:

WPA3 and Enhanced Open

Support for stronger encryption and authentication is provided via the latest version of WPA for enterprise-protected networks. Enhanced Open offers seamless new protection for users connecting to open networks where each session is automatically encrypted to protect user passwords and data on guest networks.

WPA2-MPSK

MPSK enables simpler passkey management for WPA2 devices—should the Wi-Fi password on one device or device type change, no additional changes are needed for other devices. This capability requires HPE Aruba Networking ClearPass Policy Manager.

Simple and secure access

To improve security and ease of management, IT can centrally configure and automatically enforce role-based policies that define proper access privileges for employees, guests, contractors, and other user groups – no matter where users connect on wired and WLANs. Dynamic Segmentation eliminates the time consuming and error-prone task of managing complex and static VLANs, ACLs, and subnets by dynamically assigning policies and keeping traffic secure and separated.

Seamless handoffs to cellular

Built on the technical foundations of Passpoint® and Wi-Fi Calling, HPE Aruba Networking Air Pass creates a roaming network across the HPE Aruba Networking enterprise customer footprint, extending cellular coverage and enhancing the visitor and subscriber experience to deliver a great experience for your guests while reducing costs and management overhead for DAS.



Flexible operation and management

Our unified APs can operate as standalone access points or with a gateway for greater scalability, security, and manageability. APs can be deployed using zero touch provisioning—without on-site technical expertise—for ease of implementation in branch offices and for remote work.

HPE Aruba Networking APs can be managed using cloud-based or on premises solutions for any campus, branch, or remote work environment. As the management and orchestration console for HPE Aruba Networking ESP (Edge Services Platform), HPE Aruba Networking Central provides a single pane of glass for overseeing every aspect of wired and wireless LANs, WANs, and VPNs. AI-powered analytics, end-to-end orchestration and automation, and advanced security features are built natively into the solution.

Summary

HPE Aruba Networking 630 Series Access Points are designed to take advantage of the 6 GHz band using three radios for comprehensive tri-band coverage to meet the growing demands of Wi-Fi due to increased use of video, growth in client and IoT devices, and expanded use of cloud. With a maximum aggregate 3.9 Gbps data rate for higher throughput and faster speeds, the 630 Series delivers added capacity, wider channels, hitless failover, and less interference between the 5 GHz and 6 GHz bands.

Technical specifications

Hardware variants

- HPE Aruba Networking AP-634: External antenna models
- HPE Aruba Networking AP-635: Internal antenna models

Wi-Fi radio specifications

- AP type: Indoor, tri radio, 2.4GHz, 5GHz and 6GHz (concurrent) 802.11ax 2x2 MIMO
- 2.4 GHz radio: Two spatial stream Single User (SU) MIMO for up to 574 Mbps wireless data rate with 2SS HE40 802.11ax client devices
- 5 GHz radio: Two spatial stream Single User (SU) MIMO for up to 1.2 Gbps wireless data rate with 2SS HE80 802.11ax client devices

- 6 GHz radio: Two spatial stream Single User (SU) MIMO for up to 2.4 Gbps wireless data rate with 2SS HE160 802.11ax client devices
- Up to 512 associated client devices per radio, and up to 16 BSSIDs per radio (limited to 8 for the 6GHz radio)
- Supported frequency bands (country-specific restrictions apply):
 - 2.400 to 2.4835 GHz ISM
 - 5.150 to 5.250 GHz U-NII-1
 - 5.250 to 5.350 GHz U-NII-2
 - 5.470 to 5.725 GHz U-NII-2E
 - 5.725 to 5.850 GHz U-NII-3/ISM
 - 5.850 to 5.895 GHz U-NII-4
 - 5.925 to 6.425 GHz U-NII-5
 - 6.425 to 6.525 GHz U-NII-6
 - 6.525 to 6.875 GHz U-NII-7
 - 6.875 to 7.125 GHz U-NII-8
- Available bands and channels: Dependent on configured regulatory domain (country)
- Dynamic frequency selection (DFS) optimizes the use of available RF spectrum in the 5 GHz band
- Supported radio technologies:
 - 802.11b: Direct-sequence spread-spectrum (DSSS)
 - 802.11a/g/n/ac: Orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM)
 - 802.11ax: Orthogonal frequency-division multiple access (OFDMA) with up to 8 resource units (37 for the 6GHz radio)
- Supported modulation types:
 - 802.11b: BPSK, QPSK, CCK
 - 802.11a/g/n: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM and 256-QAM (proprietary extension)
 - 802.11ac: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM and 1024-QAM (proprietary extension)
 - 802.11ax: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, and 1024-QAM

² The UTB feature was not supported on the initial HPE Aruba Networking AP-635 hardware, but was introduced in a hardware revision. See HPE Aruba Networking Field Bulletin AP2205-1 on the HPE Aruba Networking Support Portal for more details



- 802.11n high-throughput (HT) support: HT20/40
- 802.11ac very high throughput (VHT) support: VHT20/40/80
- 802.11ax high efficiency (HE) support: HE20/40/80/160
- Supported data rates (Mbps):
 - 802.11b: 1, 2, 5.5, 11
 - 802.11a/g: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
 - 802.11n: 6.5 to 300 (MCS0 to MCS15, HT20 to HT40), 400 with 256-QAM (proprietary extension)
 - 802.11ac: 6.5 to 867 (MCS0 to MCS9, NSS = 1 to 2, VHT20 to VHT80); 1,083 with 1024-QAM (MCS10 and MCS11, proprietary extension)
 - 802.11ax (2.4GHz): 3.6 to 574 (MCS0 to MCS11, NSS = 1 to 2, HE20 to HE40)
 - 802.11ax (5GHz): 3.6 to 1,201 (MCS0 to MCS11, NSS = 1 to 2, HE20 to HE80)
 - 802.11ax (6GHz): 3.6 to 2,402 (MCS0 to MCS11, NSS = 1 to 2, HE20 to HE160)
- 802.11n/ac packet aggregation: A-MPDU, A-MSDU
- Transmit power: Configurable in increments of 0.5 dBm
- Maximum (aggregate, conducted total) transmit power (limited by local regulatory requirements)
 - Per radio/band (2.4 GHz/5 GHz/6 GHz): +21 dBm (18 dBm per chain)
 - Note: conducted transmit power levels exclude antenna gain. For total (EIRP) transmit power, add antenna gain.
- Advanced Cellular Coexistence (ACC) minimizes the impact of interference from cellular networks
- Ultra Tri-Band (UTB) enables ultimate flexibility in 5 GHz and 6 GHz channel selection without performance degradation*
- Maximum ratio combining (MRC) for improved receiver performance
- Cyclic delay/shift diversity (CDD/CSD) for improved downlink RF performance
- Space-time block coding (STBC) for increased range and improved reception
- Low-density parity check (LDPC) for high-efficiency error correction and increased throughput

- Transmit beam-forming (TxBF) for increased signal reliability and range
- 802.11ax Target Wait Time (TWT) to support low-power client devices
- 802.11mc Fine Timing Measurement (FTM) for precision distance ranging

Wi-Fi antennas

- HPE Aruba Networking AP-634: Two sets of two (female) RP-SMA connectors for external antennas (A0 & A1 corresponding with radio chains 0 and 1 for the 2.4GHz and 5GHz radios, and B0 & B1 corresponding with radio chains 0 and 1 for the 6GHz radio). Worst-case internal loss between radio interface and external antenna connectors: 1.0dB in 2.4GHz, 1.0dB in 5GHz and 1.0dB in 6GHz.
- HPE Aruba Networking AP-635: Integrated downtilt omni-directional antennas for 2x2 MIMO with peak antenna gain of 4.6 dBi in 2.4 GHz, 7.0 dBi in 5 GHz and 6.3 dBi in 6 GHz. Built-in antennas are optimized for horizontal ceiling mounted orientation of the AP. The downtilt angle for maximum gain is roughly 30 to 40 degrees.
 - Combining the patterns of each of the antennas of the MIMO radios, the peak gain of the combined, average pattern is 2.9 dBi in 2.4 GHz, 4.9 dBi in 5 GHz and 4.3 dBi in 6 GHz.

Other interfaces and features

- E0, E1: Two Ethernet wired network ports (RJ-45)
 - Auto-sensing link speed (100/1000/2500BASE-T) and MDI/MDX
 - 2.5 Gbps speed complies with NBase-T and 802.3bz specifications
 - PoE-PD: 48Vdc (nominal) 802.3at/bt PoE (class 4 or higher)
 - 802.3az Energy Efficient Ethernet (EEE)
 - Link aggregation (LACP) support between both network ports for redundancy and increased capacity
- DC power interface: 12Vdc (nominal, +/- 5%), accepts 2.1mm/5.5mm center-positive circular plug with 9.5mm length
- USB 2.0 host interface (Type A connector)
 - Capable of sourcing up to 1A/5W to an attached device



- Bluetooth Low Energy (BLE5.0) and Zigbee (802.15.4) radio
 - BLE: up to 5 dBm transmit power (class 1) and -100 dBm receive sensitivity (125 kbps)
 - Zigbee: up to 5 dBm transmit power and -97 dBm receive sensitivity (250 kbps)
 - Integrated omnidirectional antenna with roughly 30 to 40 degrees downtilt and peak gain of 3.0 dBi
- GNSS L1 (1575.42 MHz) receiver supporting GPS, Galileo, GLONASS, and BeiDou signal
 - Receive sensitivity: -160dBm (tracking)
 - Integrated omnidirectional antenna with roughly 30 to 40 degrees downtilt and peak gain of 3.6dBi
- Advanced IoT Coexistence (AIC) allows concurrent operation of multiple radios in the 2.4 GHz band
- Built-in Trusted Platform Module (TPM) for enhanced security and anti-counterfeiting
- Visual indicators (four multi-color LEDs): for System (1x) and Radio (3x) status
- Reset button: factory reset, LED mode control (normal/off)
- Serial console interface (proprietary, micro-B USB physical jack)
- Kensington security slot
- Automatic thermal shutdown and recovery function

Power sources and power consumption

- The AP supports direct DC power and Power over Ethernet (PoE) on port E0 and/or E1
- When both DC and PoE power sources are available,
 - DC power takes priority over PoE
 - When PoE power is supplied to both Ethernet ports, either port can be configured as the active power source
 - Inactive/standby PoE power sources can be used to deliver hitless failover
- Power sources are sold separately; see the HPE Aruba Networking 630 Series Ordering Guide for details
- When powered by DC or 802.3bt (class 5) PoE, the AP will operate without restrictions.
- When powered by 802.3at (class 4) PoE with the IPM feature disabled, the AP will disable the USB port. No other restrictions will be applied.
- Operating the AP with an 802.3af (class 3 or lower) POE source is not supported (except for AP staging).

Table 2. Default POE power modes (IPM disabled)

Single PoE source	Class 5 (802.3bt)	Class 4 (802.3at)	Class 3 (802.3af)
Power budget	40 W	25.5 W	13.9W
Power mode	Unrestricted	Restricted	Staging support only, no radios will be enabled
USB port	Enabled	Disabled	Staging support only, no radios will be enabled
Ethernet	Both ports enabled	Both ports enabled	Staging support only, no radios will be enabled
MIMO	2x2	2x2	Staging support only, no radios will be enabled
Max RF power reduction	0 dB	0dB	Staging support only, no radios will be enabled



- With IPM enabled, the AP will start up in unrestricted mode but may dynamically apply restrictions depending on the available power budget and actual consumption. The feature restrictions and order in which these get applied are configurable.
- Maximum (worst-case) power consumption (without/with a USB device attached):
- DC powered: 20.7W/26.4W.
- PoE powered: 23.8W/29.4W.
- This assumes that up to 5W is supplied to the attached USB device.
- Maximum (worst-case) power consumption in idle mode: 8.7W/14.2W (DC) or 11.7W/17.2W (PoE).
- Maximum (worst-case) power consumption in deep-sleep mode: 1.1W (DC) or 1.9W (PoE).

Mounting details

A mounting bracket has been pre-installed on the back of the AP. This bracket is used to secure the AP to any of the mount kits (sold separately); see the HPE Aruba Networking 630 Series Ordering Guide for details.

Mechanical specifications

- Dimensions/weight (HPE Aruba Networking AP-635; unit without mount bracket):
- 220mm (W) x 220mm (D) x 51mm (H)
- 1300g
- Dimensions/weight (AP-635; shipping):
- 250mm (W) x 240mm (D) x 85mm (H)
- 1650g

Environmental specifications

- Operating conditions
- Temperature: 0C to +50C/+32F to +122F
- Relative humidity: 5% to 95%
- ETS 300 019 class 3.2 environments
- AP is plenum rated for use in air-handling spaces
- Storage conditions
- Temperature: -25C to +55C / -13F to +131F
- Relative humidity: 10% to 100%
- ETS 300 019 class 1.2 environments

- Transportation conditions
- Temperature: -40C to +70C/-40F to +158F
- Relative humidity: up to 95%
- ETS 300 019 class 2.3 environments

Regulatory compliance

- FCC/ISED
- CE Marked
- RED Directive 2014/53/EU
- EMC Directive 2014/30/EU
- Low Voltage Directive 2014/35/EU
- UL/IEC/EN 62368-1
- EN 60601-1-1, EN60601-1-2

For more country-specific regulatory information and approvals, please see your HPE Aruba Networking representative.

Reliability

- Mean Time Between Failure (MTBF): 520 khrs (59 yrs) at +25C operating temperature

Regulatory model numbers

- HPE Aruba Networking AP-634 (all models): APIN0634
- HPE Aruba Networking AP-635 (all models): APIN0635

Regulatory Considerations for AP-634

The HPE Aruba Networking AP-634 will be offered in countries where there is an existing or clear and defined path to allow operation of 6 GHz radios with external connectorized antennas, either as a Low-Power Indoor (LPI) or Standard Power (SP) product. Please contact your HPE Aruba Networking representative to confirm (existing or planned) availability for the country where the AP will be deployed.

Standard Power product class operation of the HPE Aruba Networking AP-634 (i.e. most countries where the platform is supported) is only supported on HPE Aruba Networking OS 10.7.0.0 and later deployments and HPE Aruba Networking OS 8.12.0.0 and later deployments that include a Mobility Conductor. Standard Power operation is not supported on Instant OS deployments or 8.x HPE Aruba Networking OS deployments without a Mobility Conductor.



Certifications

- UL2043 plenum rating
- Wi-Fi Alliance (WFA):
 - Wi-Fi CERTIFIED a, b, g, n, ac
 - Wi-Fi CERTIFIED 6E (ax, 6GHz)
 - WPA, WPA2 and WPA3 – Enterprise with CNSA option, Personal (SAE), Enhanced Open (OWE)
 - WMM, WMM-PS, W-Fi Agile Multiband
 - Passpoint (release 2)
- Bluetooth SIG
- Ethernet Alliance (PoE, PD device, class 5)

Warranty

HPE Aruba Networking's hardware [limited lifetime warranty](#).

Minimum operating system software versions

- AP-634 (excluding 6GHz support):
 - HPE Aruba Networking OS and HPE Aruba Networking InstantOS 8.11.2.0, HPE Aruba Networking OS 10.6.0.0
- HPE Aruba Networking AP-634 (including 6GHz support):
 - HPE Aruba Networking OS and HPE Aruba Networking InstantOS 8.12.0.0, HPE Aruba Networking OS 10.7.0.0³
- HPE Aruba Networking AP-635:
 - HPE Aruba Networking OS and HPE Aruba Networking InstantOS 8.9.0.0, HPE Aruba Networking OS 10.4.0.0

³ Standard Power product class operation of the AP-634 (i.e. most countries where the platform is supported) is only supported on HPE Aruba Networking OS 10.7.0.0 and later deployments and HPE Aruba Networking OS 8.12.0.0 and later deployments that include a Mobility Conductor. Standard Power operation is not supported on Instant OS deployments or 8.x HPE Aruba Networking OS deployments without a Mobility Conductor.



RF performance table

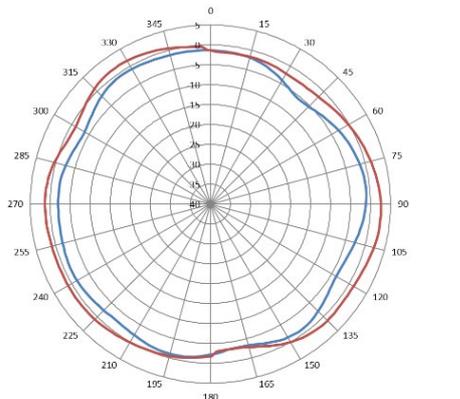
Band, rate	Maximum transmit power (dBm) per transmit chain	Receiver sensitivity (dBm) per receive chain
2.4 GHz, 802.11b		
1Mbps	18.0	-96.0
11Mbps	18.0	-88.0
2.4 GHz, 802.11g		
6Mbps	18.0	-92.0
54Mbps	16.0	-74.0
2.4 GHz, 802.11n HT20		
MCS0	18.0	-91.0
MCS7	16.0	-73.5
2.4 GHz, 802.11ax HE20		
MCS0	18.0	-91.0
MCS11	14.0	-61.0
5 GHz, 802.11a		
6Mbps	18.0	-88.0
54Mbps	16.0	-71.5
5 GHz, 802.11n HT20/HT40		
MCS0	18.0/18.0	-88.0/-85.0
MCS7	15.0/15.0	-70.0/-67.0
5 GHz, 802.11ac VHT20/VHT40/VHT80		
MCS0	18.0/18.0/18.0	-88.5/-85.5/-82.5
MCS9	14.0/14.0/14.0	-64.5/-61.5/-58.5
5 GHz, 802.11ax HE20/HE40/HE80		
MCS0	18.0/18.0/18.0	-88.5/-85.5/-82.5
MCS11	14.0/14.0/14.0	-59.0/ 56.0/-53.0
6 GHz, 802.11ax HE20/HE40/HE80/HE160		
MCS0	18.0/18.0/18.0/18.0	-90.0/-87.0/-84.0/-81.0
MCS11	14.0/14.0/14.0/14.0	-63.5/-60.5/-57.5/-54.5



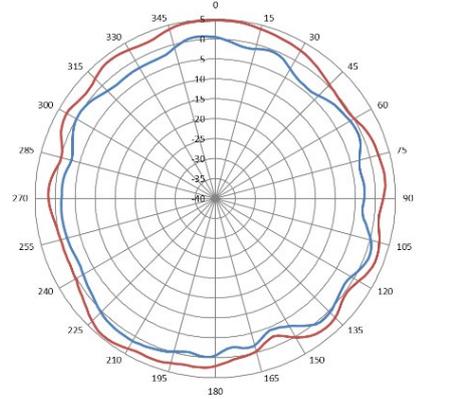
Antenna patterns AP-635

Horizontal planes (top view)

Showing both azimuth (0 degrees) and 30 degrees downtilt patterns (averaged patterns for all applicable antennas)



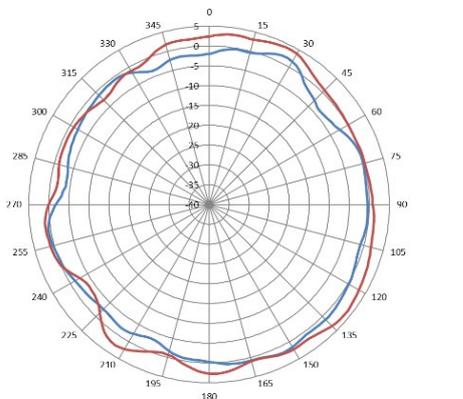
—2.45GHz WiFi (R1) Average Azimuth —2.45GHz WiFi (R1) Average Downtilt



—5.5GHz WiFi (R0) Average Azimuth —5.5GHz WiFi (R0) Average Downtilt

2.45GHz Wi-Fi antenna patterns (horizontal)

2.45GHz Wi-Fi antenna patterns (horizontal)



—6.5GHz WiFi (R2) Average Azimuth —6.5GHz WiFi (R2) Average Downtilt

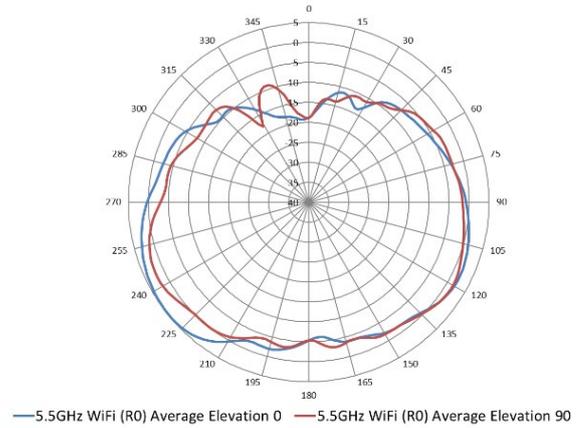
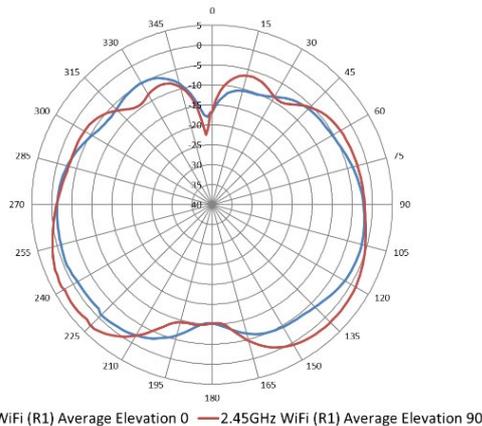
6.5GHz Wi-Fi antenna patterns (horizontal)



Antenna patterns AP-635

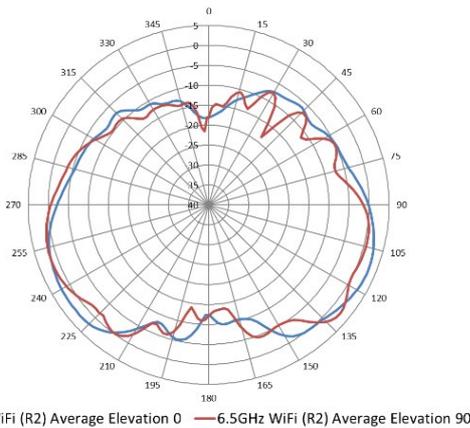
Vertical (elevation) planes (side view, AP facing down)

Showing side view with AP rotated 0 and 90 degrees (averaged patterns for all applicable antennas)



2.45GHz Wi-Fi antennas patterns (vertical)

5.5GHz Wi-Fi antenna patterns (vertical)



6.5GHz Wi-Fi antennas patterns (vertical)



Ordering information

Part number	Description
Internal antenna access points	
R7J24A	HPE Aruba Networking AP-635 (EG) Tri-radio 2x2:2 802.11ax Wi-Fi 6E Internal Antennas Campus AP
R7J25A	HPE Aruba Networking AP-635 (IL) Tri-radio 2x2:2 802.11ax Wi-Fi 6E Internal Antennas Campus AP
R7J26A	HPE Aruba Networking AP-635 (JP) Tri-radio 2x2:2 802.11ax Wi-Fi 6E Internal Antennas Campus AP
R7J27A	HPE Aruba Networking AP-635 (RW) Tri-radio 2x2:2 802.11ax Wi-Fi 6E Internal Antennas Campus AP
R7J28A	HPE Aruba Networking AP-635 (US) Tri-radio 2x2:2 802.11ax Wi-Fi 6E Internal Antennas Campus AP
External antenna access points	
S1G49A	HPE Aruba Networking AP-634-RW Tri-radio 2x2:2 Wi-Fi 6E External Antennas Campus AP
S1G50A	HPE Aruba Networking AP-634-US Tri-radio 2x2:2 Wi-Fi 6E External Antennas Campus AP
Internal antenna access points—TAA models	
R7J29A	HPE Aruba Networking AP-635 (EG) TAA Tri-radio 2x2:2 802.11ax Wi-Fi 6E Internal Antennas Campus AP
R7J30A	HPE Aruba Networking AP-635 (IL) TAA Tri-radio 2x2:2 802.11ax Wi-Fi 6E Internal Antennas Campus AP
R7J31A	HPE Aruba Networking AP-635 (JP) TAA Tri-radio 2x2:2 802.11ax Wi-Fi 6E Internal Antennas Campus AP
R7J32A	HPE Aruba Networking AP-635 (RW) TAA Tri-radio 2x2:2 802.11ax Wi-Fi 6E Internal Antennas Campus AP
R7J33A	HPE Aruba Networking AP-635 (US) TAA Tri-radio 2x2:2 802.11ax Wi-Fi 6E Internal Antennas Campus AP
External antenna access points—TAA models	
S1G51A	HPE Aruba Networking AP-634-RWF1 TAA Tri-radio 2x2:2 Wi-Fi 6E External Antennas Campus AP
S1G52A	HPE Aruba Networking AP-634-USF1 TAA Tri-radio 2x2:2 Wi-Fi 6E External Antennas Campus AP

Note: All hardware SKUs can be managed by HPE Aruba Networking Central. Central Managed (CM) SKUs are used for simplified ordering within US and Canada only.

For more ordering information and compatible accessories, please refer to the [ordering guide](#).

**Make the right purchase decision.
Contact our presales specialists.**



REFERENCIAS

- [1] Aguilar, L. J. (s.f.). INTRODUCCIÓN. ESTADO DEL ARTE DE LA CIBERSEGURIDAD. *Cuadernos de estrategia*, 11-46.
- [2] Bernardo, M. P. (junio de 2023). Recursos digitales para la sostenibilidad.
- [3] Camara Valencia. (2024). *Realidad virtual vs Realidad aumentada*. Obtenido de <https://ticnegocios.camaravalencia.com/servicios/tendencias/realidad-virtual-vs-realidad-aumentada-los-conceptos-clave/>
- [4] Coleman, D., Correll, P., & Gates, A. (2018). " (2018). 802.11ax". *High Efficiency Wireless*, 1-7.
- [5] Fernández, D., & Martínez, G. (2018). Ciberseguridad, ciberespacio y ciberdelincuencia.
- [6] Figueroa-Nazuno, J., Renteria-Agualimpia, W., & Bustillo-Hernández, C. (2008). Arquitecturas computacionales cuánticas. Instituto Politécnico Nacional.
- [7] Gamón, V. (2017). Internet, la nueva era del delito: ciberdelito, ciberterrorismo, legislación y ciberseguridad. *Revista Latinoamericana de Estudios de Seguridad*, 80-93.
- [8] Hinojo, J., Barrero, F., Sergio, L., Marín, T., & Cortes, F. (2011). Plataforma para el Aprendizaje de Tecnologías Inalámbricas y Redes de Sensores Basada en el Sistema Open Hardware Denominado Openmoko. *Iberoam. de Tecnol. del Aprendiz*, 49-57.
- [9] Hinostroza, V., & Garcés, H. (2019). "WI-FI 6: Características y aspectos particulares del estándar IEEE 802.11ax". 41(134), 307-321.
- [10] Iconos. (2021). ¿Qué es una red de ordenadores? Definición, explicación y ejemplos. Obtenido de <https://www.ionos.mx/digitalguide/servidores/know-how/que-es-una-red-de-ordenadores/>
- [11] Iconos. (2023). Capa física: todo acerca de la primera capa del modelo OSI. Obtenido de <https://www.ionos.mx/digitalguide/servidores/know-how/capa-fisica/>
- [12] Iberdrola. (2024). Inclusión digital, clave para un futuro en igualdad. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/compromiso-social/inclusion-digital>
- [13] Iberdrola. (2024). Qué es la ética digital. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/compromiso-social/etica-en-internet>
- [14] IBM. (2023). ¿Qué es la ciberseguridad? Obtenido de <https://www.ibm.com/mx-es/topics/cybersecurity>
- [15] Infante, J. (2008). "Análisis de la dinámica y viabilidad del despliegue de redes públicas inalámbricas basadas en el espectro de uso libre". UOC.

doi:<https://www.tdx.cat/handle/10803/687865?show=full&locale-attribute=es>

- [16] Iñiguez, P. (2002). "Redes Inalámbricas: IEEE 802.11, seguridad y otros aspectos". doi:<http://www.redes.upv.es/irc/trabajos/PabloI.pdf>
- [17] Itop. (2023). La relación entre el Internet de las Cosas y la Inteligencia Artificial. Obtenido de <https://www.itop.es/blog/item/la-relacion-entre-internet-de-las-cosas-y-la-inteligencia-artificial.html>
- [18] Jasso, G. M. (2017). Diagnóstico de la cobertura de la red WiFi en la Universidad de Holguín. REVISTA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMÁTICA Y LAS COMUNICACIONES, vol.1.
- [19] Khorov, E., Kiryanov, A., Lyakhov, A., & Bianchi, G. (2019). "A tutorial on IEEE 802.11ax high efficiency WLANs". IEEE Communications Surveys and Tutorials, 21(1), 197-216. doi:<https://doi.org/10.1109/COMST.2018.2871099>
- [20] Llorente, A. (29 de junio de 2022). Cómo será el WiFi del futuro. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-61971594>
- [21] Mora, A., Macía, R., Rodríguez, J., & Sacón, H. (2021). "Estudio de la tecnología de comunicación inalámbrica en el estándar IEEE 802.11ax orientada al despliegue en Ecuador para el desarrollo del internet de las cosas". Dom Ciencias, 7(4), 729-762. doi: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i4.2447>
- [22] Mosquera, Á. (2019). "Estudio y análisis de las nuevas tecnologías 802.11ax y 5G para el desarrollo del internet de las cosas". <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/13364>.
- [23] Nganga, P. (30 de Septiembre de 2021). "Explicación de los estándares inalámbricos 802.11". Obtenido de FS: <https://community.fs.com/es/article/802-11-standards-explained.html>
- [24] Pachon, A. (2015). "La asignación de recursos en OFDMA derivados de la formulación y la solución de un modelo de optimización con variables continuas y variables booleanas".
- [25] Pahlavan, K. (2020). Evolution and impact of Wi-Fi Technology and Applications: A Historical Perspective. Wireless Information Networks, 3-19.
- [26] PANDUIT. (2021). "Implementando Wi-Fi 5, 6, y 7 en Instalaciones Educativas".
- [27] Pérez, J. L. (2019). Impacto de las tecnologías disruptivas en la percepción remota: big data, internet de las cosas e inteligencia artificial. UD y la geomática, N.14.
- [28] Rajasekaran, A., Azees, M., & Al-Turjman, F. (2022). A comprehensive survey on blockchain technology. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 52.
- [29] Rodríguez, A. (2 de octubre de 2022). Descubre todo los componentes de red Wi-Fi.
- [30] Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (2015). "La internet de las cosas - una breve reseña". Methodologies and Techniques for Advanced Maintenance. doi:https://doi.org/10.1007/978-0-85729-103-5_5
- [31] El Universal, E. (3 de junio de 2022). El WiFi. Obtenido de <https://www.eluniversal.com.mx/techbit/como-sera-el-WiFi-del-futuro/>

- [32] Vásconez, D. (2014). "RED INALÁMBRICA TIPO MALLA (WNM) ESTANDAR 802.11 DE TRANSMISIÓN Y LA OPTIMIZACIÓN DE COBERTURA EN LOS COLEGIOS DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA". FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL.
https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6989/1/Tesis_t873mrt.pdf
- [33] Yunquera, J. (2005). "EL ESTÁNDAR IEEE 802.11". En "Diseño de una red Wi-Fi para la E.S.I. ". 36-51.

GLOSARIO

IEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers)	3
IoT: Internet de las Cosas	3
WLAN: Redes inalámbricas locales	4
OFDM: Multiplexación por división de frecuencia ortogonal	4
QoS: Calidad de servicio	4
PHY: Capas físicas	5
OFDMA: Orthogonal Frequency-Division Multiple Access	5
TWT: Target Wake Time	7
EHT: Extremely High Throughput	8
IT: Tecnologías de la Información	8
IA: Inteligencia Artificial	9
APT: Amenazas persistentes avanzadas	9
SIEM: Gestión de eventos e información de seguridad	9
RV: Realidad Virtual	9
RA: Realidad Aumentada	9
DeFi: Finanzas descentralizadas	11
TIC: Tecnologías de la Información y la Comunicación	11
LAN: Redes de área local	14
OSI: Open System Interconnection	15
SNR: Relación señal-ruido	20
AP: Punto de Acceso	20
DAS: Distributed Antenna System	20
MIMO: Multiple-Input Multiple-Output	22
MU-MIMO: Multi User MIMO	22