



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

**DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA DE ÁREA LOCAL PARA EL CAMPUS SUR
DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA EN LOS BLOQUES C Y D,
UTILIZANDO EL ESTÁNDAR 802.11AX**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Telecomunicaciones**

**AUTORES: BYRON GEOVANNY JARAMILLO NAMICELA
DIEGO ARMANDO BARAHONA BETANCOURT
TUTOR: VERÓNICA EMMA SORIA MALDONADO**

Quito – Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Diego Armando Barahona Betancourt con documento de identificación N°1725903007 y Byron Geovanny Jaramillo Namicela con documento de identificación N°1727072959; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

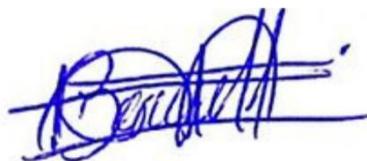
Quito, 03 de agosto del año 2023

Atentamente,



Diego Armando Barahona Betancourt

1725903007



Byron Geovanny Jaramillo Namicela

1727072959

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA**

Nosotros, Diego Armando Barahona Betancourt con documento de identificación No. 1725903007 y Byron Geovanny Jaramillo Namicela con documento de identificación No. 1727072959, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño de la red inalámbrica de área local para el Campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana en los bloques C y D, utilizando el estándar 802.11ax”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero/a en Telecomunicaciones, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

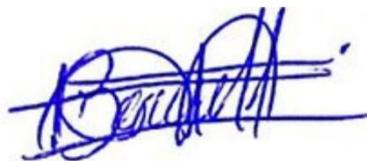
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 03 de agosto del año 2023



Diego Armando Barahona Betancourt

1725903007



Byron Geovanny Jaramillo Namicela

1727072959

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Verónica Emma Soria Maldonado con documento de identificación N° 1715185961, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA DE ÁREA LOCAL PARA EL CAMPUS SUR DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA EN LOS BLOQUES C Y D, UTILIZANDO EL ESTÁNDAR 802.11AX, realizado por Diego Armando Barahona Betancourt con documento de identificación No. 1725903007 y Byron Geovanny Jaramillo Namicela con documento de identificación No. 1727072959, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 03 de agosto del año 2023

Atentamente,



Ing. Verónica Emma Soria Maldonado, Msc

1715185961

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi padre por enseñarme a ser perseverante y disciplinado para cumplir con mis sueños y así llegar a hasta este momento, el cual se lo dedico desde el fondo de mi corazón y con todo mi amor. A mis hermanos Jimmy y Jheyron, por darme su apoyo incondicional desde el inicio de la carrera hasta la culminación de esta, gracias por los consejos de vida en la ausencia de nuestro pilar que aunque ya no nos acompaña en este mundo material, su sabiduría y amor prevalece en nosotros y nos da la fortaleza para alcanzar todo aquello que nos proponemos, son mi vida entera y siempre estaré ahí para ustedes. Agradezco a mi madre por enseñarme los valores necesarios para ser una persona responsable y consciente de las decisiones que he tomado en la vida, mismas decisiones que hoy cumplen con su cometido, convirtiéndome en Ingeniero en Telecomunicaciones y el hombre que soy. De igual forma, agradezco a todos mis compañeros de carrera por los días vividos, risas, futbol y muchos más recuerdos que atesoraré y llevaré siempre conmigo.

Byron Geovanny Jaramillo Namicela

Estoy sinceramente agradecido con mis padres quienes me dieron la oportunidad de estudiar y formarme profesionalmente. Agradezco a mi familia, quienes me brindaron su apoyo emocional y aliento durante toda la vida universitaria. Su motivación fue fundamental para superar los desafíos y perseverar hasta el final. También quiero agradecer a mis amigos, dentro y fuera de la universidad por los consejos, risas y bonitos recuerdos vividos que nos llevamos.

Finalmente el día de hoy cumpla una meta más convirtiéndome en Ingeniero Telecomunicaciones, gracias a los valores que mis padres han inculcado en mí.

Diego Armando Barahona Betancourt

RECONOCIMIENTO

Queremos expresar un especial reconocimiento a nuestra querida tutora, Verónica Emma Soria Maldonado, por su invaluable apoyo y paciencia a lo largo de nuestro recorrido. Su amabilidad y humildad son cualidades que la distinguen y han hecho una gran diferencia en nuestra experiencia de aprendizaje. Siempre ha estado dispuesta a escucharnos, brindarnos orientación y ayudarnos a superar los obstáculos. Su dedicación y compromiso con nuestra formación han sido una fuente de inspiración para nosotros. Estamos sinceramente agradecidos por tenerla como guía.

Agradecemos de todo corazón a nuestros queridos amigos, quienes han sido un apoyo incondicional en nuestro camino hasta este día tan especial. Hemos compartido momentos inolvidables y divertidos que guardaremos en nuestros corazones para siempre. También deseamos expresar nuestro profundo agradecimiento a cada uno de los ingenieros que nos han brindado valiosos conocimientos y habilidades, preparándonos de manera excepcional para enfrentar los desafíos del mundo laboral que nos aguarda.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	15
CAPÍTULO I.....	15
1.1 PROBLEMA DE ESTUDIO	15
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.3 JUSTIFICACIÓN	16
CAPÍTULO II.....	18
2.1 MARCO TEÓRICO	18
2.2 REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA DE LOCAL Y SU IMPORTANCIA EN LA EDUCACIÓN.....	19
2.3 EL ESTÁNDAR IEEE 802.11	19
2.4 EVOLUCIÓN DE 802.11.....	20
2.4.1 LAS VENTAJAS DE 802.11AX.....	21
2.4.2 LAS DESVENTAJAS DE 802.11AX	21
2.5 COMPARACIÓN ENTRE EL ESTÁNDAR 802.11AC Y 802.11AX	21
2.6 ARQUITECTURA WLAN	22
2.7 MODELO JERÁRQUICO	23
2.7.1 CAPA ACCESO	23
2.7.1.1 ETHERNET MULTIGIGABIT Y POE.....	23
2.7.2 CAPA DISTRIBUCIÓN.....	24
2.7.3 CAPA CORE	24
2.8 MODELO DE CAPAS.....	24
2.8.1 CAPA ENLACE DE DATOS	25
2.8.2 CAPA FÍSICA	25
2.9 CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR 802.11AX.....	25
2.9.1 RENDIMIENTO: OFDMA (ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS)	25
2.9.2 MU-MIMO (MÚLTIPLES USUARIOS, MÚLTIPLE ENTRADA Y SALIDA) ..	26
2.9.3 BANDA DE FRECUENCIA DE 802.11AX.....	26
2.9.4 BSS COLORING (CONJUNTO DE SERVICIOS BÁSICOS)	27
2.9.5 TWT (TARGET WAKE TIME).....	27

2.9.6 WPA3.....	28
2.10 SEGURIDAD DE REDES WLAN	28
2.10.1 WPE	28
2.10.2 WPA y WPA2.....	28
2.11 EWC (EMBEDDED WIRELESS CONTROLLER)	29
2.12 EWC EN PUNTOS DE ACCESO	29
2.13 SOFTWARE DE SIMULACIÓN: EKAHAU AI PRO	30
2.14 MODELO DE PROPAGACIÓN DE EKAHAU AI PRO	30
2.15 THROUGHPUT DEL ESTÁNDAR 802.11AX	31
CAPÍTULO III.....	32
3.1 SITUACIÓN ACTUAL	32
3.2 TOPOLOGÍA ACTUAL	36
3.3 TSS (TECHNICAL SITE SURVEY) Y THROUGHPUT DE LOS BLOQUES C Y D	37
3.4 TRÁFICO DE RED.....	47
3.5 PROTOCOLOS DE LA RED	49
3.6 ESTÁNDARES	50
3.7 SEGURIDAD DE LA RED ACTUAL	50
CAPÍTULO IV	52
4.1 CUADRANTE MÁGICO DE GARTNER	52
4.2 SELECCIÓN DE EQUIPOS	53
CAPÍTULO V.....	56
5.1 DISEÑO DE LA RED CON EL ESTÁNDAR 802.11AX.....	56
5.2 DISEÑO DE LA TOPOLOGÍA PARA LOS BLOQUES C Y D.....	56
5.3 PARÁMETROS PARA LA SIMULACIÓN EN EKAHAU AI PRO.....	57
5.4 DISEÑO PARA EL BLOQUE C	60
5.4.1 DISEÑO DE COBERTURA DEL BLOQUE C.....	60
5.5 DISEÑO PARA EL BLOQUE D.....	63
5.5.1 DISEÑO DE COBERTURA DEL BLOQUE D	63
5.6 SEGURIDAD DE LA RED	66
CAPÍTULO VI	67
6.1 RESULTADOS Y ANÁLISIS	67
6.2 ANÁLISIS DE COBERTURA DEL BLOQUE C EN LA PLANTA BAJA	67
6.2.1 THROUGHPUT DEL BLOQUE C EN LA PLANTA BAJA	70
6.3 ANÁLISIS DE COBERTURA DEL BLOQUE C EN LA PLANTA ALTA.....	72

6.3.1 THROUGHPUT DEL BLOQUE C EN LA PLANTA ALTA.....	74
6.4 ANÁLISIS DE COBERTURA DEL BLOQUE D EN LA PLANTA BAJA	75
6.4.1 THROUGHPUT DEL BLOQUE D EN LA PLANTA BAJA	78
6.5 ANÁLISIS DE COBERTURA DEL BLOQUE D EN LA PLANTA ALTA	79
6.5.1 THROUGHPUT DEL BLOQUE D EN LA PLANTA ALTA	81
CAPÍTULO VII.....	83
7.1 CONCLUSIONES.....	83
7.2 RECOMENDACIONES.....	84
REFERENCIAS	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. a) Red Ad-Hoc. b) Red inalámbrica con AP	23
Figura 2.2. Capas de trabajo del estándar 802.11ax	24
Figura 2.3. Canal y unidades de recursos transmitidos en OFDM.....	26
Figura 2.4. Uso del BSS Coloring.....	27
Figura 2.5. Funcionamiento TWT	28
Figura 2.6. Switch Cisco Catalyst y punto de acceso en modo EWC	29
Figura 3.1. Topología de equipos en los bloques C y D.....	36
Figura 3.2. Zona de cobertura actual en la banda 2.4 GHz y números de APs del bloque C Planta Alta.....	37
Figura 3.3. Zona de cobertura actual en la banda 5 GHz del bloque C Planta Alta	38
Figura 3.4. Zona de cobertura actual en la banda 2.4 GHz y número de APs del bloque C Planta Baja.....	39
Figura 3.5. Zona de cobertura actual en la banda 5 GHz del bloque C Planta Baja.....	39
Figura 3.6. Fuerza de la señal actual en 2.4GHz y 5 GHz del bloque C Planta Baja	40
Figura 3.7. Fuerza de la señal actual en 2.4GHz y 5 GHz del bloque C Planta Alta	41
Figura 3.8. Throughput actual en las bandas 2.4GHz y 5GHz de la planta baja.....	41
Figura 3.9. Throughput actual en las bandas 2.4GHz y 5GHz de la planta Alta.....	42
Figura 3.10. Zona de cobertura actual en la banda 2.4 GHz y número de APs del bloque D Planta Alta.....	42
Figura 3.11. Zona de cobertura actual en la banda 5 GHz del bloque D Planta Alta	43
Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona	43
Figura 3.12. Zona de cobertura actual en la banda 2.4 GHz y número de APs del bloque D Planta Baja.....	44
Figura 3.13. Zona de cobertura actual en la banda 5 GHz del bloque D Planta Baja.....	44
Figura 3.14. Fuerza de señal actual en la planta baja del Bloque D en las bandas 2.4GHz y 5Ghz.....	45
Figura 3.15. Fuerza de señal actual en la planta alta del Bloque D en las bandas 2.4GHz y 5Ghz.....	45
Figura 3.16. Throughput actual en las bandas 2.4 y 5 GHz del Bloque D Planta Baja ...	46
Figura 3.17. Throughput actual en las bandas 2.4 y 5 GHz del Bloque D Planta Alta....	46
Figura 3.18. Tráfico de la red.....	47
Figura 3.19. Pico más alto del tráfico	48
Figura 3.20. Segundo pico de transferencia	48
Figura 3.21. Frame de respuesta.....	49

Figura 3.22. Protocolos captados por el software Wireshark	50
Figura 4.1. Gartner compañías tecnológicas de networking.....	53
Figura 5.1. Diseño de topología para los bloques C y D	57
Figura 5.2. Zona de cobertura en la banda 2.4 GHz del bloque C planta baja.....	61
Figura 5.3. Zona de cobertura en la banda 5 GHz del bloque C planta baja.....	61
Figura 5.4 Zona de cobertura en la banda 2.4 GHz del bloque C planta alta	62
Figura 5.5 Zona de cobertura en la banda 5 GHz del bloque C planta alta.....	62
Figura 5.6. Zona de cobertura en la banda 2. 4 GHz del bloque D Planta Baja	64
Figura 5.7. Zona de cobertura en la banda 5 GHz del bloque D Planta Baja	64
Figura 5.8. Zona de cobertura en la banda 2.4 GHz del bloque D Planta Alta.....	65
Figura 5.9. Zona de cobertura en la banda 5 GHz del bloque D Planta Alta.....	65
Figura 6.1. Fuerza de señal en la planta baja del Bloque C en las bandas 2.4GHz y 5Ghz.	69
Figura 6.2. Throughput con ancho de canal de 20MHz en las bandas 2.4GHz y 5GHz planta baja.	70
Figura 6.3. Throughput con ancho de canal de 40MHz en las bandas 2.4GHz y 5GHz planta baja.	71
Figura 6.4. Fuerza de señal en la planta alta del Bloque C en las bandas 2.4GHz y 5Ghz.	73
Figura 6.5. Throughput con ancho de canal de 20MHz en las bandas 2.4GHz y 5GHz planta alta.....	74
Figura 6.6. Throughput con ancho de canal de 40MHz en las bandas 2.4GHz y 5GHz planta alta.....	75
Figura 6.7. Fuerza de señal en la planta baja del Bloque D en las bandas 2.4GHz y 5Ghz.....	77
Figura 6.8. Throughput con ancho de canal de 20MHz en las bandas 2.4GHz y 5GHz..	78
Figura 6.9. Throughput con ancho de canal de 40MHz en las bandas 2.4GHz y 5GHz..	79
Figura 6.10. Fuerza de señal en la planta alta del Bloque D en las bandas 2.4GHz y 5Ghz.....	81
Figura 6.11. Throughput con ancho de canal de 20MHz en las bandas 2.4GHz y 5GHz.	82
Figura 6.12. Throughput con ancho de canal de 40MHz en las bandas 2.4GHz y 5GHz.	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación entre el estándar 802.11ac y 802.11ax	22
Tabla 2. Redes Inalámbricas del Bloque C planta baja.....	32
Tabla 3. Redes Inalámbricas del Bloque C planta alta.....	33
Tabla 4. Redes inalámbricas del Bloque D planta baja	35
Tabla 5. Redes Inalámbricas del Bloque D planta alta.....	35
Tabla 6. Equipos para la red	54
Tabla 7. Datos establecidos para la simulación	57
Tabla 8. Dispositivos de prueba	59
Tabla 9. Resultados de EKAHAU AI PRO bloque C planta baja.....	67
Tabla 10. Resultados de intensidad de señal bloque C planta baja.....	68
Tabla 11. Resultados de EKAHAU AI PRO bloque C planta alta	72
Tabla 12. Resultados de intensidad de señal bloque c en la planta alta	72
Tabla 13. Resultados de EKAHAU AI PRO bloque D planta baja.....	76
Tabla 14. Resultados de intensidad de señal bloque b en la planta baja	76
Tabla 15. Resultados de intensidad de señal bloque b en la planta baja en 5GHZ.....	77
Tabla 16. Resultados de EKAHAU AI PRO bloque D planta alta	79
Tabla 17. Resultados de intensidad de señal bloque b en la planta alta.....	80
Tabla 18. Resultados de intensidad de señal bloque b en la planta alta en 5 GHZ.....	80

RESUMEN

El presente proyecto técnico se centra en investigar y analizar los beneficios y mejoras que ofrece el estándar IEEE 802.11ax, también conocido como Wi-Fi 6. El objetivo principal es beneficiar a la Universidad Politécnica Salesiana a través del diseño de una red inalámbrica con este estándar para dos bloques ubicados en el campus sur.

En este trabajo de titulación, se ha tomado en consideración el avance tecnológico y el crecimiento de la población estudiantil, lo cual ha llevado a una emulación de nuevos puntos de acceso (AP) basados en el estándar IEEE 802.11ax, esta tecnología puede aportar al usuario una mejor experiencia de navegación, ya que la red que actualmente se encuentra implementada en el campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana trabaja con el estándar IEEE 802.11ac, la cual tiene limitaciones en rendimiento, conectividad y velocidad en escenarios de alta afluencia estudiantil, provocando una mala experiencia para el usuario.

Para lograr estos objetivos, se ha llevado a cabo un levantamiento de información sobre la topología y cobertura actual de la red. El diseño se ha basado en la infraestructura existente en el campus sur, con la finalidad de establecer una red estable y escalable que satisfaga las necesidades tanto de los estudiantes como del personal administrativo. Esto ha implicado la reubicación de los puntos de acceso existentes y la incorporación de nuevos equipos con la tecnología Wi-Fi 6 con el propósito de mejorar la cobertura y el acceso a Internet.

Como resultado de este proyecto, se ha logrado alcanzar una simulación con una cobertura mejorada, que brinda una mayor velocidad de transmisión de datos. Estos resultados atribuyen directamente a una mejora experiencia de navegación de los usuarios y les brindan un acceso más eficiente a los recursos en línea. El uso del estándar IEEE 802.11ax ha sido un elemento clave en el logro de estos resultados, ya que permite aprovechar al máximo las capacidades de la red inalámbrica, mejorando significativamente el rendimiento y la calidad de la conexión para los usuarios.

ABSTRACT

This technical project is focused on investigating and analyzing the benefits and improvements offered by the IEEE 802.11ax standard, also known as Wi-Fi 6. The main objective is to benefit the Salesian Polytechnic University through the design of a wireless network with this standard for two blocks located in the south campus.

In this degree work, we have taken into consideration the technological advancement and growth of the student population, which has led to an emulation of new access points (AP) based on the IEEE 802.11ax standard, this technology can provide the user with a better browsing experience, since the network that is currently implemented in the South campus of the Salesian Polytechnic University works with the IEEE 802.11ac standard, which has limitations in performance, connectivity and speed in scenarios of high student influx, causing a bad experience for the user.

To achieve these objectives, a survey of information on the current network topology and coverage has been carried out. The design has been based on the existing infrastructure of the south campus, with the aim of establishing a stable and scalable network that meets the needs of both students and administrative staff. This has involved the relocation of existing access points and the incorporation of new equipment with Wi-Fi technology⁶ to improve coverage and Internet access.

As a result of this project, it has been possible to achieve a simulation with improved coverage that provides a higher data transmission speed. These results directly attribute to an improved browsing experience for users and provide them with more efficient access to online resources. The use of the IEEE 802.11ax standard has been a key element in achieving these results, as it allows taking full advantage of the capabilities of the wireless network, significantly improving the performance and quality of the connection for users.

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

1.1 PROBLEMA DE ESTUDIO

Las redes inalámbricas han adquirido un papel fundamental en el entorno actual de comunicación móvil, permitiendo a las personas navegar por internet y establecer conexiones desde cualquier ubicación sin estar limitados a un punto fijo. En este contexto, el intercambio y recepción de información se ha vuelto una práctica común y esencial en la vida cotidiana de las personas. Por tanto, es cada vez más necesario garantizar conexiones estables y sin interrupciones para asegurar una comunicación óptima y sin frustraciones para los usuarios. Desde sus inicios, las comunicaciones inalámbricas han enfrentado el desafío de gestionar conexiones masivas, lo que ha impulsado el desarrollo de tecnologías cada vez más eficientes para garantizar la resolución de dichos eventos. En la actualidad, diversas empresas como Cisco, Aruba, Unifi, entre otras, compiten en el ámbito de la producción tecnológica de equipos que ofrecen servicios de calidad en este campo. Estas compañías se mantienen en constante innovación para brindar soluciones a las problemáticas actuales relacionadas con el tráfico masivo de datos.

Los lugares donde se produce este tipo de eventos de conexión masiva son variados como estadios, centros comerciales, universidades, colegios, entre otros. Aunque cada uno de estos escenarios puede tener su propia relevancia específica, como el uso de una red inalámbrica en un estadio para entrenamientos deportivos o en una universidad para fines académicos, resulta innegable la importancia de contar con una red óptima y eficiente en ambos casos. Por esta razón, las empresas del sector han desarrollado tecnologías adaptadas a las necesidades cambiantes de las redes a lo largo de los años.

La evolución tecnológica ha impulsado el desarrollo de estándares como el 802.11ax, también conocido como Wi-Fi 6, que han mejorado significativamente el rendimiento y la eficiencia de las redes inalámbricas. Este estándar ha sido diseñado para hacer frente a los desafíos de conectividad mencionados. Su capacidad para manejar múltiples dispositivos simultáneamente y utilizar el ancho de banda de manera más eficiente, brinda una experiencia de conexión más rápida y confiable.

El problema de estudio se centra en la necesidad de mejorar la red inalámbrica implementada en la Universidad Politécnica Salesiana específicamente en los bloques C y D del Campus Sur, con el objetivo de garantizar una conectividad adecuada para los usuarios. Los avances en tecnología de redes inalámbricas no se detienen y se espera que en un futuro cercano se adopte el estándar Wi-Fi 7, que promete una velocidad de hasta 48 GHz. Mientras tanto el estándar Wi-Fi 6 (802.11ax) ya se encuentra implementado y cuenta con una velocidad de hasta 10 GHz y un ancho de canal de 160 MHz lo que permite una mayor eficiencia y capacidad de conectividad [4]. En el Campus Sur de la UPS, sin embargo, aún se utiliza el estándar 802.11ac, el cual opera en el rango de 5GHz y 2.4GHz con una cantidad moderada de canales y ancho de banda [1]; lo que limita su rendimiento y escalabilidad.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar la red inalámbrica de área local para el Campus Sur, bloques C y D de la Universidad Politécnica Salesiana en base al estándar 802.11ax (Wi-Fi 6).

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Evaluar el estado actual de la red inalámbrica en los bloques C y D con el fin de obtener un panorama completo y preciso de su funcionamiento, analizando a detalle los componentes de la red para identificar posibles áreas de mejora y detectar cualquier deficiencia existente.
- b. Diseñar la topología de la red inalámbrica de área local en base al estándar 802.11ax planificando cuidadosamente la ubicación estratégica de los puntos de acceso (APs) en los bloques C y D, considerando factores como la densidad de usuarios, el tamaño del área de cobertura y la capacidad de tráfico esperada.
- c. Establecer las medidas de seguridad en el diseño de la red inalámbrica garantizando la protección de la integridad, confidencialidad y disponibilidad de los datos transmitidos a través de la red.
- d. Realizar la simulación de cobertura en el software especializado Ekahau AI PRO obteniendo un modelado preciso de la propagación de la señal inalámbrica en el entorno específico de los bloques C y D.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El estudio se enfocará en diseñar la red inalámbrica de área local para los bloques C y D, empleando el estándar 802.11ax, que ofrece mejoras en velocidad, eficiencia, capacidad y seguridad. La red inalámbrica de la Universidad Politécnica Salesiana desempeña un rol importante en la vida académica de los estudiantes, ya que brinda acceso a una amplia variedad de recursos educativos en línea, como bibliotecas digitales, materiales de investigación o AVAC. Además, permite la colaboración en proyectos o trabajos, lo cual es una práctica común en la educación superior. Una red Wi-Fi confiable y de alta velocidad permitirá a los estudiantes trabajar juntos desde cualquier lugar del campus, compartiendo ideas, recursos y soluciones, fomentando así una experiencia de aprendizaje interactiva e inmersa. Actualmente, la red implementada en el estándar IEEE 802.11ac limita rendimiento y escalabilidad debido a factores, como la interferencia de otras redes cercanas, la distancia entre los dispositivos y los puntos de acceso, el número de dispositivos conectados y el tipo de hardware y software utilizados. Mejorar el rendimiento de la red es esencial para garantizar una experiencia de usuario satisfactoria y una operación efectiva de las aplicaciones y servicios conectados.

Existen varias razones por las que sería beneficioso diseñar la red inalámbrica 802.11ax, en primer lugar, esta ofrece mejoras significativas en términos de velocidad, eficiencia y

capacidad. Esto se debe a que trabaja en ambas bandas de 2,4GHz y 5GHz para así aumentar la transferencia de información [2].

Además, utiliza un ancho de canal de 160MHz y una mayor eficiencia espectral para ofrecer una mayor capacidad de red, lo que permite manejar más dispositivos conectados simultáneamente. El protocolo 802.11ax también ofrece mejoras en términos de seguridad, como WPA3 que proporciona una mayor protección contra ataques externos e incluye características avanzadas como OFDMA, MU-MIMO y BSS Coloring [3], haciéndolo ideal para ambientes públicos y espacios donde hay mucha congestión de tráfico. Por lo tanto, el diseño de una red inalámbrica de área local que utilice el estándar 802.11ax, podría mejorar significativamente la conectividad en el Campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana.

CAPÍTULO II

2.1 MARCO TEÓRICO

El diseño de una red inalámbrica de área local (WLAN) adecuada y eficiente se ha convertido en un desafío técnico importante para las universidades, especialmente para aquellas que tienen campus grandes y diversos. En este contexto, en la Universidad Politécnica Salesiana, se ha considerado la posibilidad de mejorar la infraestructura de conectividad inalámbrica en el Campus Sur, específicamente en los bloques C y D. Con el fin de ofrecer una conectividad de alta calidad y velocidad a estudiantes, profesores y personal, se ha optado por utilizar la tecnología de WLAN estándar 802.11ax, también conocida como Wi-Fi 6. Este estándar ha sido diseñado para satisfacer las necesidades de conectividad actuales y futuras, y ofrece numerosas mejoras en términos de rendimiento, eficiencia y seguridad.

En el ámbito internacional, se han llevado a cabo investigaciones acerca de la mejora del rendimiento de estándares inalámbricos en entornos de alta densidad. Ejemplo de esto, se tiene el análisis comparativo de los estándares IEEE 802.11ax y IEEE 802.11ac [23]. Este trabajo describe las nuevas características técnicas incluidas en la IEEE 802.11ax a nivel de capa física y MAC, evaluando su rendimiento con respecto a su antecesor utilizando software especializado. Los resultados muestran que el nuevo estándar IEEE 802.11ax puede optimizar significativamente el throughput en espacios de tráfico recurrente, gracias al uso de OFDMA, que acepta a múltiples clientes, mejorando el rendimiento global de la red en entornos de alta densidad. Además, se obtiene una visión mejorada sobre el uso global del ancho de banda de la red, optimización de recursos, calidad de uso y tiempo de respuesta reducido, con una eficiencia y rendimiento del 94% y 5.9% respectivamente en comparación con el estándar 802.11ac.

Por otro lado, en relación con el diseño físico de redes inalámbricas, es importante destacar el trabajo [22], una investigación a nivel nacional para diseñar una red inalámbrica de alta velocidad y capacidad para un centro comercial en Guayaquil, utilizando la norma 802.11ac. En este estudio, se entrevistó a profesionales especializados en telecomunicaciones para identificar las óptimas características, prácticas y estándares en el desarrollo de sistemas de comunicación inalámbrica. Se utilizaron programas especializados para obtener con precisión la ubicación de los AP, a través del análisis exhaustivo del entorno y configuraciones específicas. La selección de los dispositivos Cisco se fundamentó en la valoración del cuadrante de Gartner que destaca a las marcas líderes en términos de rendimiento y relación calidad-precio. En conclusión, este estudio ofrece competencias en la realización de evaluaciones técnicas, el uso de recursos, la ejecución práctica y la aplicación de equipos inalámbricos, lo que resulta esencial para garantizar una conectividad adecuada en centros comerciales y otros lugares de alta densidad de usuarios.

El estándar 802.11ax trae consigo una serie de mejoras y características notables que lo hacen superior a su predecesor, entre ellas destaca el uso de OFDMA. Según el estudio [24], esta tecnología permite la conexión de varios clientes a la vez y un mejor aprovechamiento del rango de frecuencias. Los datos obtenidos de la simulación indican mejoras significativas en la recepción de segmentos de datos, retrasos y capacidad de manejar entornos densos de usuarios. Esta información es esencial para diseñar redes inalámbricas eficientes y óptimas,

especialmente para la implementación de redes 802.11ax en entornos de alta densidad de usuarios, como el campus sur de la Universidad Politécnica Salesiana.

2.2 REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA DE LOCAL Y SU IMPORTANCIA EN LA EDUCACIÓN

Las WLAN, conocidas como redes locales inalámbricas, tienen como objetivo proporcionar conectividad sin cables con un radio de eficacia usual de 100 metros. Estas redes son ampliamente utilizadas en entornos como residencias, centros educativos, salas de computadoras y espacios de trabajo [5].

La utilización de Internet la educación alcanzada una importancia fundamental. En la actualidad, las clases han adoptado un enfoque digital y requieren una comunicación interrumpida a internet durante varias horas, permitiendo a los estudiantes interactuar mediante videollamadas, navegación, entre otras actividades. Debido a la relevancia que tiene el uso de Internet los centros educativos, es imprescindible contar con una enlaces rápidos, flexibles y seguros. En caso contrario, es decir, si la conectividad se interrumpe con frecuencia, puede afectar negativamente el desarrollo normal de las clases y perjudicar el funcionamiento de la institución educativa.

Implementar conexiones Wi-Fi en un establecimiento educativo brinda la posibilidad de ofrecer un acceso seguro en distintas aulas, restringido únicamente a colaboradores y estudiantes. Es fundamental que los centros educativos cuenten con todos los instrumentos esenciales para favorecer el aprendizaje los estudiantes, puesto que una conexión confiable esencial para una educación de calidad. El acceso a Internet ha desplegado varias alternativas a disposición en términos de relación a la información, los conocimientos y los elementos de enseñanza, lo que ha potenciado las oportunidades de aprendizaje tanto dentro como fuera del entorno escolar. Los docentes utilizan recursos en línea para planificar sus clases y los estudiantes los aprovechan para ampliar enriquecer su experiencia de aprendizaje. El enfoque interactivo de la enseñanza apoyado de Internet faculta a los educadores atender mejor las insuficiencias individuales de cada estudiante y promueve el aprendizaje [6].

2.3 EL ESTÁNDAR IEEE 802.11

Estándar 802.11 fue introducido en 1997 y contiene características a nivel físicas y MAC que deben considerarse al efectuar una red WLAN. A lo largo de los años, el estándar 802.11 ha experimentado diversas adaptaciones y actualizaciones. Sus versiones, como 802.11a, 802.11b y 802.11g, ofrecían una transmisión de 54 Mbps hasta el año 2009. Sin embargo, a partir de octubre de 2009, con la llegada del estándar 802.11n la velocidad sobrepasó los límites anteriores. Cabe recalcar que la evolución de estas variantes es llevada a cabo por una entidad IEEE [7].

El estándar 802.11 permite a los dispositivos establecer una conexión inalámbrica segura y estable entre sí en una red WLAN (red local inalámbrica). Este estándar facilita la comunicación sin cables y garantiza una conexión confiable entre los dispositivos.

Algunos de los criterios empleados por el estándar son:

- Señales de radiofrecuencia (RF).
- Proceso de modulación.

- Cifrado.
- Rangos de frecuencia.
- Tasa de transferencia de datos [8].

2.4 EVOLUCIÓN DE 802.11

El estándar 802.11 ha generado una revolución en las redes inalámbricas que sigue en marcha. Su implementación en edificios y hogares, ahora se está extendiendo a vehículos, accediendo a la navegación por Internet en cualquier momento y en cualquier lugar [9].

Actualmente, existen varias modificaciones:

Ajuste para la calidad de servicio (QoS)

Ajuste para la protección y seguridad.

Ajuste para lograr una movilidad más eficiente.

Ajuste para aumentar la capacidad de transferencia de datos [10].

En el año 1999, varias empresas se unieron para fundar WECA (Alianza de Compatibilidad de Ethernet Inalámbrica, por sus siglas en inglés). El objetivo principal de esta alianza era facilitar la impulso de la conectividad sin cables y garantizar la interoperabilidad entre los diferentes dispositivos. Con esta acción, pretendía fomentar eficaz la adopción y avance sin cables en el mercado [9].

En el año 2000, WECA (actualmente conocida como Wi-Fi Alliance) emitió certificaciones de interoperabilidad para dispositivos bajo la marca Wi-Fi, basados en el estándar 802.11b. Como consecuencia de esto, Wi-Fi se convirtió en el término más ampliamente utilizado en la industria informática para referirse a un estándar de redes inalámbricas.

Junio de 2003, se presentó y se ratificó un nuevo estándar de modulación denominado 802.11g, el cual representa una evolución del estándar 802.11b. Se dedicó un gran esfuerzo en el desarrollo de este nuevo estándar para garantizar su compatibilidad con el estándar 802.11b.

En el año 2000, WECA (ahora Wi-Fi Alliance) comenzó a otorgar certificaciones de interoperabilidad a dispositivos que cumplieran con el estándar 802.11b, y fue en este momento que el término "Wi-Fi" se popularizó como la forma más común de referirse a las redes inalámbricas en la industria informática [29].

En el 2003, se presentó un nuevo estándar de modulación denominado 802.11g, el cual representa un progreso del estándar 802.11b. Se invirtió considerable esfuerzo en el desarrollo de este nuevo estándar con el fin de asegurar su compatibilidad con el 802.11b [25].

Enero de 2004, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) anunció la creación de un grupo de trabajo 802.11 con el propósito de desenvolver una versión mejorada del estándar 802.11. Después de varios años de trabajo, en septiembre de 2009, se ratificó el estándar 802.11n, tenía una restricción de velocidad 600 Mbps.

En diciembre de 2012. Se introdujo el estándar IEEE 802.11ac, como un ofrecimiento de actualización del estándar actual 802.11n actualmente proceso, que se encuentra ampliamente utilizado en la actualidad [9].

El estándar 802.11 (que incluye variantes como 802.11a, 802.11b, 802.11g y 802.11n) abarca la capa física (capa 1) y capa de acceso al medio (MAC) dentro de la capa de enlace del modelo OSI [25].

El IEEE 802.11ax, conocido como Wi-Fi 6, se considera la sexta generación de Wi-Fi. Este nuevo estándar presenta una mejora progresiva de las características tecnológicas de los actuales, IEEE 802.11n y ac, ofrece soporte para compatibilidad con las frecuencias de 2,4 GHz y 5 GHz. De igual forma, permite que los puntos de acceso sean capaces de manejar un mayor número de usuarios en entornos densos, mejora la eficiencia espectral y proporciona un rendimiento más confiable para diversas aplicaciones, garantizando una experiencia mejorada. Dicha mejora se centra en la transmisión dúplex, a diferencia de su predecesor, que se enfocaba principalmente en el enlace descendente. Además, el estándar 802.11ax aporta escalabilidad, eficiencia y flexibilidad a las redes, permitiendo un aumento en la velocidad y capacidad. Esto se traduce en un aumento del rendimiento puro en un 40% gracias a la implementación de la modulación QAM. [26] [10].

El enfoque del estándar IEEE 802.11ax se dirige hacia las siguientes características y capacidades tecnológicas:

1. El acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDMA) se utiliza para establecer enlaces ascendentes y descendentes (UL/DL) en comunicaciones inalámbricas.
2. Arreglo de antenas multiusuarios de entradas y salidas múltiples (MUMIMO) de 8x8
3. Coloración BSS o reutilización espacial
4. Target Wake Time (TWT). Modulación de muy alta densidad 1024-QAM
5. Seguridad WPA3

2.4.1 LAS VENTAJAS DE 802.11AX: [27][28]

- Las comunicaciones inalámbricas presentan una velocidad mejorada y una cobertura extendida.
- Se consigue una reducción en las interferencias.
- Simplifica la configuración de los puntos de acceso.
- Ofrece un rendimiento cuádruple en comparación con la tecnología 802.11ac.
- Eficiencia de consumo mejorado.

2.4.2 LAS DESVENTAJAS DE 802.11AX:[27]

- Divergencia
- Precio

2.5 COMPARACIÓN ENTRE EL ESTÁNDAR 802.11AC Y 802.11AX

A finales de 2019, se lanzó el estándar 802.11ax con el propósito de sustituir simultáneamente a los estándares anteriores, el 802.11n de 2009 y el 802.11ac de 2013. Esta versión representa una mejora en las redes WLAN de alto rendimiento, ofreciendo velocidades de hasta 10 Gbps y optimizando el rendimiento con demanda de dispositivos. Este estudio explorará los escenarios futuros de las WLAN de próxima generación, justificando la necesidad de introducir

nuevos cambios en la serie. Mientras que el estándar 802.11ac trabaja exclusivamente en la banda de 5 GHz, el 802.11ax funciona en las bandas de 2,4 GHz, 5 GHz y 6GHz, lo que proporciona más canales disponibles para su uso. Además, el 802.11ax admite hasta ocho flujos espaciales, en contraste con su predecesor, el 802.11n, que solo permite cuatro flujos.

El intervalo de guarda desempeña un papel crucial en redes inalámbricas como 802.11ax al mitigar las interferencias y gestionar el tráfico en entornos densos. Se refiere a un periodo de tiempo de separación entre los paquetes de datos transmitidos en un canal de comunicación. En el caso de 802.11ax, se ha aumentado el intervalo de guarda a 3,2 μ s, en comparación con los 1,6 μ s de 802.11ac y la especificación original de 0,8 μ s. Este incremento en el intervalo de guarda mejora la capacidad de gestionar el tráfico y aumenta la eficiencia del punto de acceso (AP), especialmente en situaciones con múltiples usuarios activos y paquetes pequeños, como voz, video o paquetes de control TCP ACK [26].

A diferencia de 802.11ac, en 802.11ax los puntos de acceso tienen control sobre la asignación de recursos en el enlace ascendente y descendente según la PPDU. Además, este estándar está trazado para admitir hasta 8 antenas de transmisión (Tx) y 8 antenas de recepción (Rx), lo que permite una formación de haces de transmisión más avanzada y una mayor relación de ganancia máxima. En otras palabras, se optimiza la señal transmitida y se mejora la calidad de la señal recibida. Esto tiene como resultado una mejora en la eficiencia de la comunicación y en la capacidad de transmisión de datos en entornos de red [25].

El estándar 802.11ax presenta actualizaciones en relación con el 802.11ac, incluyendo la implementación de la multiplexación OFDMA, que es una ampliación de la tecnología en entornos multiusuario. 802.11ax permite una mayor cobertura a través de modos de baja velocidad y potencia, al mismo tiempo que ofrece flexibilidad en el uso del tiempo en la capa física [29]. A continuación, se presenta la tabla 1 con la comparativa entre los estándares 802.11ax y 802.11ac.

Tabla 1. Comparación entre el estándar 802.11ac y 802.11ax

Fuente: [9]

Características	802.11ac	802.11ax
Frecuencia	5GHz	2,4GHz, 5GHz y 6GHz
Multiplexación	OFDM	OFDMA
Intervalo de guarda	1,6 μ s o hasta 3,2 μ s	0,8 μ s
Compatibilidad	802.11a/n	802.11a/b/g/n/ac
Codificación máxima	256-QAM	1024-QAM
Tasa de transmisión máxima	6,933 Gbps	9,607 Gbps

2.6 ARQUITECTURA WLAN

La arquitectura WLAN se refiere a la estructura y diseño de una red inalámbrica que permite la conexión de dispositivos a través de ondas de radio. Esta arquitectura consta de componentes físicos y lógicos, incluyendo puntos de acceso (AP), dispositivos clientes, controladores WLAN y el software de gestión de la red. En las redes WLAN, se puede utilizar una topología punto a

punto conocida como Ad-Hoc para instalaciones pequeñas, pero para obtener un mejor rendimiento se pueden incluir puntos de acceso (AP) como se observa en la figura 2.1 [21]. La implementación de una arquitectura WLAN implica la planificación, diseño, implementación y mantenimiento de la red inalámbrica, teniendo en cuenta factores como la cobertura, la capacidad, la seguridad, la calidad del servicio y la interoperabilidad con otros sistemas.

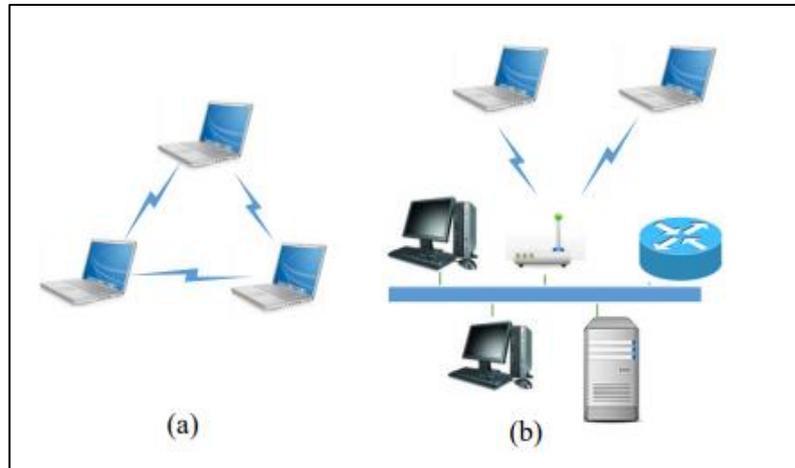


Figura 2.1. a) Red Ad-Hoc. b) Red inalámbrica con AP

Fuente: [21]

2.7 MODELO JERÁRQUICO

El modelo jerárquico de Cisco es una metodología ampliamente utilizada para diseñar redes empresariales escalables y eficientes. Este enfoque se basa en dividir la red en capas funcionales distintas, lo que simplifica la aplicación, el mantenimiento y la solución de inconvenientes [33]. En el modelo jerárquico, se definen tres capas: acceso, distribución y núcleo. Cada una de estas capas se enfoca en funciones específicas, lo que permite al diseñador de redes elegir los sistemas y características adecuados para cada una de ellas.

2.7.1 CAPA ACCESO

La capa de acceso desempeña un papel fundamental al brindar a los usuarios, servidores y dispositivos periféricos la capacidad de acceder a la red. En el marco jerárquico de Cisco, esta capa juega un papel crucial al permitir la conexión de dispositivos finales a la red y facilitar la comunicación entre diferentes dispositivos y servidores. [33]. Es desde esta capa donde se pueden implementar funciones como el control de acceso y los filtros para limitar el acceso no autorizado a la red.

2.7.1.1 ETHERNET MULTIGIGABIT Y POE

Con la adopción creciente de la norma 802.11ax, los switches de la capa de acceso a los que se conectan los AP también pueden necesitar una actualización. Los puntos de acceso que soportan tasas de datos más altas que 1 Gbps, basados en el estándar 802.11ax, requieren celeridad en puertos mGig (2.5 Gbps y 5 Gbps). Además, debido a factores como MIMO y la IoT, se genera la necesidad de mayores requisitos de PoE en los puertos de los switches de la capa de acceso [35]. Este cambio tecnológico tiene implicaciones importantes para los diseñadores de redes que deben planificar y actualizar las redes existentes para garantizar el rendimiento y la capacidad adecuados. La capacidad de Ethernet multigigabit para soportar altas velocidades de

transmisión de datos permite a los usuarios disfrutar de una experiencia de red más rápida y sin interrupciones.

2.7.2 CAPA DISTRIBUCIÓN

La capa de distribución en redes de computadoras es una capa intermedia que actúa como enlace entre la capa de acceso y la capa de núcleo. Su principal función es agrupar y consolidar el tráfico de la capa de acceso, así como también proporcionar una conexión segura y confiable a redes externas.

En esta etapa se emplean switches que posibilitan la subdivisión de equipos de trabajo y el aislamiento de dificultades de red en un ambiente de campus. Además, la capa de distribución incorpora enlaces de área extensa en el límite del campus para garantizar una conexión segura y confiable hacia redes externas, funcionando como un punto de control y servicio entre las capas subyacentes [33].

2.7.3 CAPA CORE

En el caso específico de los bloques C y D del campus sur, es importante analizar la capa core ya que está directamente relacionada con la red Wi-Fi 6 que se desea diseñar. El core es esencial para establecer enlaces con otros dispositivos de conmutación y por tanto, se necesita una velocidad mínima de 10 GbE para garantizar un flujo de datos rápido y constante. Además, la capa central debe ser altamente disponible y adaptable para acoplarse rápidamente a cualquier cambio en la red. Una buena configuración en esta capa también permitirá una rápida convergencia y capacidad de adaptación, lo que es crucial para el correcto funcionamiento de la red. Teniéndolo en cuenta, para aprovechar al máximo los beneficios del estándar 802.11ax, es fundamental establecer una infraestructura que permita aprovechar al máximo esta nueva tecnología [33].

2.8 MODELO DE CAPAS

El estándar 802.11ax trabaja en las capas física y de enlace de datos del modelo OSI. En la capa física utiliza las frecuencias de 2.4 GHz y 5 GHz para transmitir y recibir datos y en la capa enlace de datos, utiliza el protocolo de control de acceso al medio (MAC) para coordinar el acceso de los dispositivos a la red y reducir las colisiones de datos.

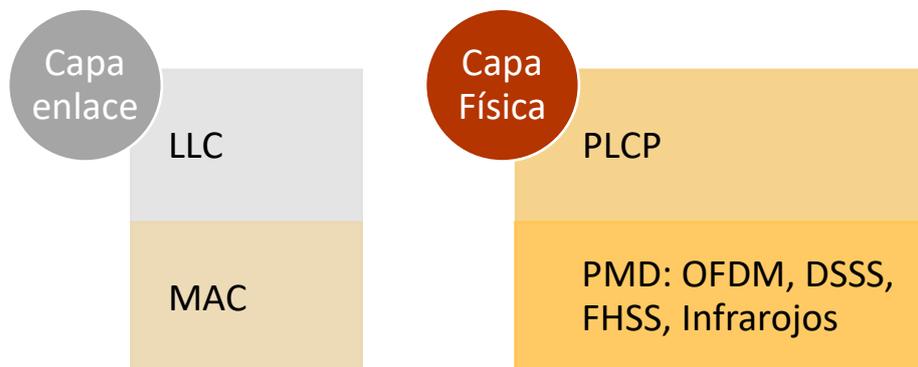


Figura 2.2. Capas de trabajo del estándar 802.11ax

Fuente: Esquema propio basado en [11]

2.8.1 CAPA ENLACE DE DATOS

Como se aprecia en la figura 2.2, la capa enlace de datos se divide en dos subcapas: la subcapa MAC (Media Access Control) y la subcapa LLC (Logical Link Control). La subcapa MAC controla el acceso al medio y encapsula los datos para su transmisión. Además, se encuentra incorporada con diversas tecnologías de nivel físico y brinda funcionalidades de direccionamiento a nivel de enlace de datos. Por otro lado, la subcapa LLC actúa como una interfaz entre la capa de enlace de datos y las capas superiores del modelo OSI [11].

2.8.2 CAPA FÍSICA

En la capa física se tiene 2 subcapas: **PLCP** (Protocolo de convergencia de capa física) y **PMD** (Dependiente del medio físico), cada una con funciones específicas. La PMD gestiona las bandas de frecuencia de trabajo y las modulaciones como: OFDM, DSS, Infrarrojos y FHSS. Por otro lado, PLCP es la encargada de añadir preámbulo en los paquetes mediante la inspección de la capa MAC y la PMD [12].

Cabe destacar que en la capa física, el estándar 802.11ax utiliza una versión mejorada de la tecnología de modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). **OFDM** es ampliamente utilizada en comunicaciones inalámbricas y otros sistemas digitales de comunicación. En esta técnica, el ancho de banda total se divide en múltiples subportadoras ortogonales en frecuencia, que se transmiten en paralelo. Al utilizar subportadoras ortogonales; esta minimiza la interferencia entre señales en las frecuencias utilizadas, lo que mejora la calidad de la señal y reduce las tasas de error de bits. No obstante, en esta modulación solo un usuario transmite en todo el ancho de banda, lo que limita la capacidad de transmisión en ambientes con múltiples usuarios. Por ello 802.11ax, implementa la modulación OFDMA la cual permite compartir el espectro entre múltiples usuarios tanto para enlaces ascendentes como descendentes.

2.9 CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR 802.11AX

El estándar 802.11ax, ha introducido importantes mejoras para impulsar el rendimiento y la eficiencia de las redes inalámbricas. Estas características clave, como OFDMA, MU-MIMO, BSS Coloring, y TWT, permiten una asignación más eficiente del ancho de banda, atender a múltiples dispositivos simultáneamente, mitigar interferencias y reducir el consumo de energía. A continuación, se profundiza cada una de estas características del estándar 802.11ax, destacando sus beneficios y su impacto en la conectividad inalámbrica moderna.

2.9.1 RENDIMIENTO: OFDMA (ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS)

Acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales, es la versión mejorada de OFDM utilizado regularmente, esta permite asignar subportadoras a múltiples usuarios recibiendo así información de forma sincrónica [13]. Gracias a esta técnica, los usuarios tienen una porción del espectro disponible asignada a través de conjuntos consecutivos de subportadoras, las cuales se denominan unidades de recursos (RU). Cada RU puede tener una anchura espectral y un tipo de modulación diferente para ajustarse a las solicitudes de transmisión de datos individuales de cada usuario como se observa en la figura 2.3. Para evitar interferencias, las tramas de información de todas las RU tiene la misma longitud y se envían de forma coordinada en el eje temporal. Si la cantidad de datos que posee un usuario es menor que la extensión del paquete es necesario que complete el paquete con bits de relleno [14].

OFDMA es un sistema que combina FDMA/TDMA. La técnica de acceso múltiple por división de frecuencia implica segmentar el espectro disponible en múltiples bandas de frecuencia, y cada usuario utiliza simultáneamente dos vías para intercambio de información; un canal para enviar datos desde el dispositivo a la red y otro canal para recibir datos desde la red hacia el dispositivo. La distribución es única, lo que significa que ningún canal puede ser compartido por más de un usuario al mismo tiempo. Además, cada canal está separado por reducidos rangos de frecuencia para evitar interferencias entre canales [15].

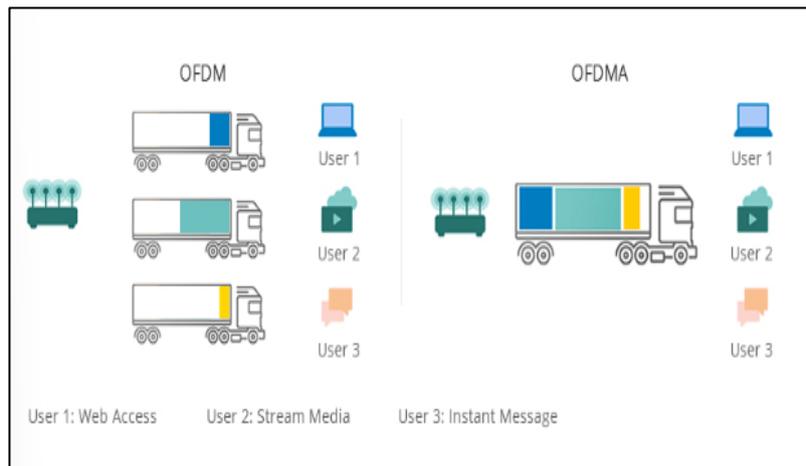


Figura 2.3. Canal y unidades de recursos transmitidos en OFDM

Fuente: [16]

2.9.2 MU-MIMO (MÚLTIPLES USUARIOS, MÚLTIPLE ENTRADA Y SALIDA)

En el estándar 802.11ax, se utiliza la técnica de MU-MIMO para enviar múltiples conjuntos de datos a receptores distintos al mismo tiempo y en diferentes canales, lo que aumenta la eficiencia tanto en el enlace ascendente como en el descendente. Esta técnica aprovecha los flujos espaciales para lograr transmisión simultánea, permitiendo que un máximo de 8 usuarios se comuniquen al mismo tiempo con una unidad de recursos mínima que consta de 106 subportadoras en los dos casos (ascendente y descendente) [17]. La tecnología MU-MIMO es especialmente útil en entornos de alta densidad de dispositivos, como estadios, universidades, aeropuertos y oficinas, donde la capacidad de red es a menudo un cuello de botella. Con MU-MIMO, múltiples usuarios pueden acceder a la red de forma más eficiente y con menos congestión, mejorando así la experiencia del usuario final.

2.9.3 BANDA DE FRECUENCIA DE 802.11AX

El protocolo 802.11ax puede operar en diversas bandas de frecuencia, incluyendo 5 GHz, 2.4 GHz y 6 GHz; lo que aumenta la cantidad de canales disponibles para mejorar la eficiencia en la transmisión de datos. Esta funcionalidad amplía la capacidad de transmisión utilizando la tecnología MU-MIMO dúplex, permitiendo que un AP envíe información a múltiples receptores simultáneamente, mejorando el ancho de banda y la capacidad [2]. La capacidad de operar en ambas bandas de frecuencia proporciona una conexión más estable, eficiente y confiable en entornos con una alta densidad de dispositivos, permitiendo un mejor aprovechamiento del espectro y una distribución equitativa de los recursos de red. Esto se

traduce en una experiencia de usuario mejorada, con un ancho de banda y capacidad suficientes para satisfacer las necesidades de conectividad en entornos exigentes.

2.9.4 BSS COLORING (CONJUNTO DE SERVICIOS BÁSICOS)

Esta se refiere a una red compuesta por un AP y las estaciones conectadas a él. Puede haber múltiples redes BSS en una misma área, lo que puede causar interferencias y colisiones de paquetes como se observa en la figura 2.4 en el edificio a. En 802.11ax se implementa el "BSS Coloring", que asigna un color a cada punto de acceso para mejorar la reutilización de frecuencias y evitar la interferencia entre redes BSS [14]. De esta manera, las estaciones pueden distinguir los paquetes de su propia red BSS de los paquetes de otras redes, lo que mejora la velocidad y eficiencia de la transmisión de datos.

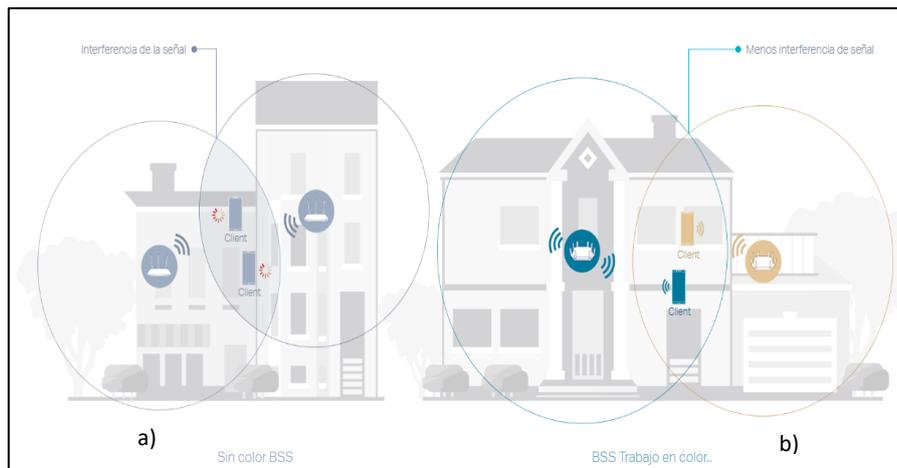


Figura 2.4. Uso del BSS Coloring

Fuente: [19]

2.9.5 TWT (TARGET WAKE TIME)

En la figura 2.5 se representa TWT (Target Wake Time) el cual es una función que permite al punto de acceso gestionar actividades en la red inalámbrica para mitigar la saturación en las STA y disminuir el lapso en el cual una estación en PSM requiere estar en funcionamiento. La función asigna lapsos y/o ciclos específicos para que las STA trabajen y se comuniquen entre sí en intervalos de tiempo predeterminados de actividad, lo que puede ser acordado individualmente entre la STA y el AP. Además, las tramas transmitidas durante un período de servicio TWT se pueden llevar en diferentes configuraciones PPDU compatible con ambas STA que hayan acordado TWT apropiado a ese período de servicio [18]. TWT es una característica de ahorro de energía en el Wi-Fi que permite a los dispositivos programar su tiempo de vigilia y sueño, lo que resulta en una mejora en la eficiencia energética y una prolongación de la vida útil de la batería.

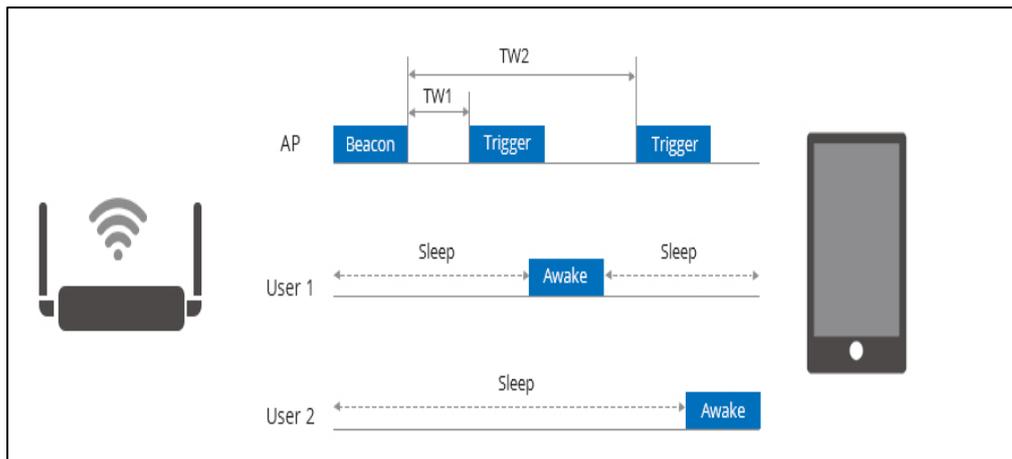


Figura 2.5. Funcionamiento TWT

Fuente: [20]

2.9.6 WPA3

WPA3, introducido principalmente en el estándar 802.11ax, representa una evolución en la seguridad Wi-Fi al reemplazar a su predecesor, WPA2, que ha demostrado no ser completamente seguro. Para garantizar una transición suave y sin interrupciones, WPA3 establece de manera temporal la comunicación de equipos que emplean la versión anterior (WPA2). Esta flexibilidad facilita la adopción del nuevo estándar de seguridad sin dejar de garantizar la conectividad con dispositivos más antiguos. Otra mejora adicional de WPA3 radica en la implementación de una clave de cifrado más sólida, utilizando 192 bits en contraste con los 128 bits de WPA2. Esta actualización substancial fortalece considerablemente la seguridad de las redes inalámbricas, proporcionando una mayor protección contra ataques de fuerza bruta. Además, WPA3 ha abordado de manera efectiva las vulnerabilidades conocidas presentes en su predecesor, brindando un nivel de seguridad más robusto y confiable. [11]. WPA3 establece un nuevo estándar de seguridad en las redes Wi-Fi, brindando mayor confidencialidad, integridad y protección para los usuarios y dispositivos conectados.

2.10 SEGURIDAD DE REDES WLAN

Existen muchos protocolos de seguridad para una WLAN, no obstante, los utilizados regularmente en estándares anteriores a 802.11ax, son:

2.10.1 WPE

Establece verificación de identidad y codificación de información. No obstante, este método, conocido como *Privacidad equivalente a una red cableada*, tiene varias vulnerabilidades las cuales no la hacen recomendable. Esta implementa dos métodos de verificación de identidad: la autenticación de Sistema Abierto, que verifica la identidad de cualquier estación que solicite acceso sin necesidad de una contraseña WEP válida, y la autenticación de clave compartida, que utiliza una contraseña común entre la estación y el AP para negar el acceso a usuarios no autorizados [11].

2.10.2 WPA y WPA2

WPA y WPA2 son estándares propuestos para la seguridad de las WLANs, evolucionando desde el protocolo WEP. WPA ofrece dos métodos de verificación: Red Empresarial y Red

Doméstica, además de aplicar cifrado TKIP. Por otro lado, WPA2 es muy similar a WPA, utiliza el cifrado AES y un mecanismo confiable IBSS para redes autónomas. Ambos estándares ofrecen mejoras significativas en comparación con WEP, que incluyen una autenticación más fuerte y un cifrado más seguro para proteger la red [11].

2.11 EWC (EMBEDDED WIRELESS CONTROLLER)

El controlador inalámbrico integrado de Cisco (EWC, por sus siglas en inglés) es una solución que permite gestionar de manera centralizada redes inalámbricas a través de APs Catalyst. Esta solución altamente escalable y adaptable, puede manejar desde 100 APs con 2000 usuarios. Además, ofrece características de seguridad y robustez incorporadas de nivel empresarial, para proteger y garantizar la confiabilidad de la red inalámbrica.

Una de las principales ventajas de EWC es su capacidad de migrar de manera eficiente hacia una implementación de administrador que aprovecha los recursos de la nube, lo que permite una mayor flexibilidad y adaptación a las necesidades del cliente [32]. Esta migración se realiza de forma sencilla, gracias a la arquitectura común de hardware y software en la que se basa la solución como se observa en la figura 2.6. Con la llegada de la tecnología Wi-Fi 6, EWC se vuelve aún más relevante ya que permite una gestión eficiente de las redes inalámbricas de última generación, lo que garantiza una experiencia inalámbrica fluida y sin interrupciones.

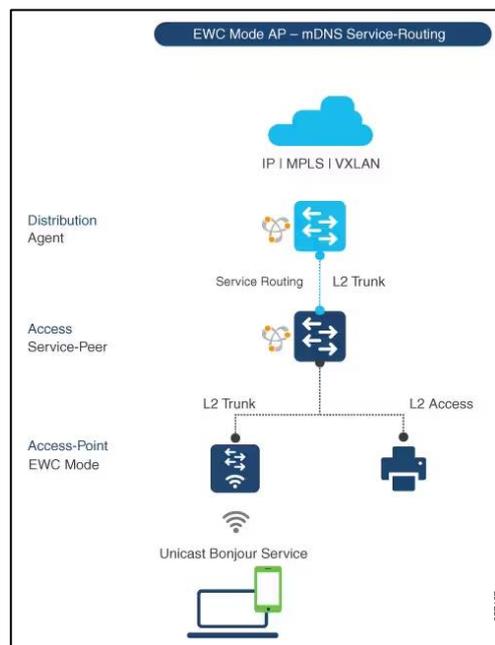


Figura 2.6. Switch Cisco Catalyst y punto de acceso en modo EWC

Fuente: [36]

2.12 EWC EN PUNTOS DE ACCESO

En los puntos de acceso, Cisco ofrece una solución para el estándar 802.11ax la cual es sencilla de gestionar. Esta característica se encuentra incorporada en el punto de acceso, lo que evita la necesidad de utilizar equipos secundarios.

Con esta opción, las funciones y características propias de las empresas, que cuentan con protección sólida, eficiencia y la fiabilidad de Cisco, están disponibles a partir de la integración

de este servicio. Además, la gestión y configuración de la red inalámbrica no necesita aptitudes avanzadas en redes, por lo cual es adecuada para corporaciones con recursos limitados [34]. Lo interesante de esta funcionalidad es que hace a los puntos de acceso embebidos para poder gestionar a otros sin tener una controladora física como tal.

2.13 SOFTWARE DE SIMULACIÓN: EKAHAU AI PRO

EKAHAU AI PRO es una herramienta de software de diseño especializada en realizar evaluaciones de cobertura de red Wi-Fi utilizando inteligencia artificial, además de ofrecer diversas funcionalidades adicionales. Esta herramienta permite crear mapas de cobertura precisos y medir el rendimiento de las comunicaciones inalámbricas en infraestructuras. Los mapas de calor que genera EKAHAU AI PRO proporcionan una visualización detallada de la fuerza de la señal y los niveles de cobertura, lo que facilita a los administradores de red la identificación de áreas problemáticas y la toma de medidas para solucionarlos. EKAHAU AI PRO es una herramienta esencial en la planificación y diseño de redes Wi-Fi de alta calidad en una variedad de entornos, incluyendo oficinas, hospitales, universidades y centros comerciales [37]. Algunas de sus beneficios son:

- Evaluación de cobertura de red Wi-Fi en diversos entornos.
- Creación de mapas de calor precisos y detallados de la cobertura de la red.
- Medición del rendimiento de la red y su capacidad.
- Optimización de la ubicación y configuración de los puntos de acceso para lograr una conectividad óptima.
- Identificación de áreas problemáticas y solución de problemas de cobertura.

2.14 MODELO DE PROPAGACIÓN DE EKAHAU AI PRO

El software Ekahau realiza el cálculo de las pérdidas del entorno y genera sus resultados considerando la atenuación de un obstáculo y empleando las siguientes fórmulas:

La pérdida de trayectoria en el espacio libre:

$$FSPL(dB) = 20\log_{10}(d \text{ km}) + 20\log_{10}(f \text{ MHz}) + 92.4 \quad (1)$$

Ley del cuadrado inverso:

$$I = \frac{I_0}{r^2} \quad (2)$$

Donde:

- d km es la distancia entre el transmisor y el receptor, expresada en kilómetros.
- f MHz es la frecuencia de la señal transmitida, expresada en mega Hertz (MHz).
- I es la intensidad de la magnitud en el punto de observación.
- I_0 es la intensidad de la magnitud en el punto de origen o fuente.
- r es la distancia desde la fuente a la posición de observación.

La pérdida de trayectoria en el espacio libre se determina mediante la fórmula (1) que considera factores como la distancia, frecuencia y propiedades del entorno para obtener la cantidad de energía perdida. Esto permite obtener una estimación precisa de la pérdida de trayectoria en

base a las atenuaciones que generan los obstáculos. Por otro lado, la fórmula (2) correspondiente a la ley del cuadrado inverso establece que la intensidad de una señal disminuye proporcionalmente al cuadrado de la distancia entre la fuente y el receptor. Ekahau utiliza esta ley para calcular la atenuación de la señal a medida que se propaga en el entorno inalámbrico [39]. Estos dos procesos, combinados con su inteligencia artificial integrada, permite generar resultados los más cercanos a la realidad en la evaluación de pérdidas y la planificación de redes inalámbricas.

2.15 THROUGHPUT DEL ESTÁNDAR 802.11AX

El estándar 802.11ax ofrece un rendimiento teórico máximo de 9.6 Gbps, lo cual representa una mejora significativa en velocidad y conectividad en comparación con estándares anteriores. Sin embargo, es importante tener en cuenta que, en la vida práctica, este rendimiento puede verse afectado por diversos factores

El rendimiento real de la red puede calcularse considerando el rendimiento individual de cada usuario y multiplicándolo por el número total de dispositivos conectados. Esta evaluación brinda una estimación más precisa del rendimiento que se puede esperar en un entorno real. Es importante tener en cuenta que el rendimiento de la red puede variar dependiendo de la cantidad de usuarios activos y de la demanda de ancho de banda en un momento dado [38].

$$thr = \text{rendimiento por usuario} * \text{total de dispositivos conectados} \quad (3)$$

CAPÍTULO III

3.1 SITUACIÓN ACTUAL

El presente estudio proyecta una visión general de la situación actual de la red inalámbrica en los bloques C y D del Campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana, sentando las bases para el diseño e implementación de una infraestructura inalámbrica moderna y robusta que satisfaga las necesidades de conectividad de la comunidad educativa. Para lograrlo, se realiza un análisis detallado de la propagación de la señal, considerando las características físicas de los edificios, con el fin de optimizar la distribución de los puntos de acceso y garantizar una cobertura homogénea y eficiente. Este enfoque se complementa con la evaluación de la topología actual de la red, incluyendo sus componentes y su conexión al núcleo de la infraestructura, la revisión de los protocolos, estándares y medidas de seguridad asociados con la tecnología Wi-Fi 6. Así, se establecerán las bases necesarias para desarrollar un diseño sólido que cumpla con los requerimientos de conectividad y asegure la integridad y confidencialidad de la red.

A continuación, en la tabla 2 se presentan los detalles de las redes inalámbricas en la planta baja y alta del bloque C y D, con el objetivo de analizar sus características y obtener una visión más precisa de la situación actual.

Tabla 2. Redes Inalámbricas del Bloque C planta baja.

REDES BLOQUE C – PLANTA BAJA			
AP-BC-INDUSTRIA			
Tecnología	Canal	Cisco (MAC)	SSID
Wi-Fi 4	11	58:0a:20:91:ee:b2	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 4	11	58:0a:20:91:ee:b1	UPS_ESTUDIANTES
Wi-Fi 4	11	58:0a:20:91:ee:b0	UPS_TESIS
Wi-Fi 5	44	58:0a:20:91:ee:bf	UPS_TESIS
Wi-Fi 5	44	58:0a:20:91:ee:bd	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 5	44	58:0a:20:91:ee:be	UPS_ESTUDIANTES
AP-BC-LAB_ANALO			
Tecnología	Canal	Cisco (MAC)	SSID
Wi-Fi 4	1	38:90:a5:b9:56:a0	UPS_TESIS
Wi-Fi 4	1	38:90:a5:b9:56:a1	UPS_ESTUDIANTES
Wi-Fi 4	1	38:90:a5:b9:56:a2	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 5	161	38:90:a5:b9:56:ae	UPS_ESTUDIANTES
Wi-Fi 5	161	38:90:a5:b9:56:af	UPS_TESIS
Wi-Fi 5	161	38:90:a5:b9:56:ad	UPS_COLABORADORES
AP-BC-LAB_MPS2			
Tecnología	Canal	Cisco (MAC)	SSID
Wi-Fi 4	11	70:70:8b:6a:f2:82	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 4	11	70:70:8b:6a:f2:81	UPS_ESTUDIANTES
Wi-Fi 4	11	70:70:8b:6a:f2:80	UPS_TESIS
Wi-Fi 5	56	70:70:8b:6a:f2:8d	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 5	56	70:70:8b:6a:f2:8e	UPS_ESTUDIANTES
Wi-Fi 5	56	70:70:8b:6a:f2:8f	UPS_TESIS

AP3890.A5B9.796			
Tecnología	Canal	Cisco (MAC)	SSID
Wi-Fi 4	6	70:7d:b9:13:a5:02	UPS_IDIOMAS
Wi-Fi 4	6	70:7d:b9:13:a5:03	Redes_Sensores
Wi-Fi 4	6	70:7d:b9:13:a5:00	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 4	6	70:7d:b9:13:a5:01	UPS_ESTUDIANTES
Wi-Fi 5	64	70:7d:b9:13:a5:0d	UPS_IDIOMAS
Wi-Fi 5	64	70:7d:b9:13:a5:0e	UPS_ESTUDIANTES
Wi-Fi 5	64	70:7d:b9:13:a5:0c	Redes_Sensores
Wi-Fi 5	64	70:7d:b9:13:a5:0f	UPS_COLABORADORES
AP500F.8059.319			
Tecnología	Canal	Cisco (MAC)	SSID
Wi-Fi 4	1	70:70:8b:68:cd:02	UPS_IDIOMAS
Wi-Fi 4	1	70:70:8b:68:cd:00	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 4	1	70:70:8b:68:cd:03	Redes_Sensores
Wi-Fi 4	1	70:70:8b:68:cd:01	UPS_ESTUDIANTES
Wi-Fi 5	161	70:70:8b:68:cd:0c	Redes_Sensores
Wi-Fi 5	161	70:70:8b:68:cd:0e	UPS_ESTUDIANTES
Wi-Fi 5	161	70:70:8b:68:cd:0f	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 5	161	70:70:8b:68:cd:0d	UPS_IDIOMAS

Tabla 3. Redes Inalámbricas del Bloque C planta alta.

REDES BLOQUE C – PLANTA ALTA			
AP-BC-LAB-C11			
Tecnología	Canal	Cisco (MAC)	SSID
Wi-Fi 4	1	70:b3:17:93:82:42	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 4	1	70:b3:17:93:82:40	UPS_TESIS
Wi-Fi 4	1	70:b3:17:93:82:41	UPS_ESTUDIANTES
Wi-Fi 5	56	70:b3:17:93:82:4f	UPS_TESIS
Wi-Fi 5	56	70:b3:17:93:82:4e	UPS_ESTUDIANTES
Wi-Fi 5	56	70:b3:17:93:82:4d	UPS_COLABORADORES
AP-BC-LAB-COM-A			
Tecnología	Canal	Cisco (MAC)	SSID
Wi-Fi 4	11	70:70:8b:6a:f2:a1	UPS_ESTUDIANTES
Wi-Fi 4	11	70:70:8b:6a:f2:a2	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 4	6	70:70:8b:6a:f2:a0	UPS_TESIS
Wi-Fi 4	11	70:70:8b:6a:f2:a0	UPS_TESIS
Wi-Fi 4	6	70:70:8b:6a:f2:a1	UPS_ESTUDIANTES
Wi-Fi 4	6	70:70:8b:6a:f2:a2	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 5	161	70:70:8b:6a:f2:af	UPS_TESIS
Wi-Fi 5	161	70:70:8b:6a:f2:ad	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 5	161	70:70:8b:6a:f2:ae	UPS_ESTUDIANTES
AP-BC-LAB_FUND_			
Tecnología	Canal	Cisco (MAC)	SSID

Wi-Fi 4	11	70:7d:b9:21:1b:c2	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 4	11	70:7d:b9:21:1b:c0	UPS_TESIS
Wi-Fi 4	11	70:7d:b9:21:1b:c1	UPS_ESTUDIANTES
Wi-Fi 5	60	70:7d:b9:21:1b:cf	UPS_TESIS
Wi-Fi 5	60	70:7d:b9:21:1b:cd	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 5	60	70:7d:b9:21:1b:ce	UPS_ESTUDIANTES
AP-BC-SALA-PROF			
Tecnología	Canal	Cisco (MAC)	SSID
Wi-Fi 4	1	70:70:8b:85:54:e1	UPS_ESTUDIANTES
Wi-Fi 4	1	70:70:8b:85:54:e2	UPS_IDIOMAS
Wi-Fi 4	1	70:70:8b:85:54:e3	Redes_Sensores
Wi-Fi 4	1	70:70:8b:85:54:e0	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 5	52	70:70:8b:85:54:ef	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 5	52	70:70:8b:85:54:ec	Redes_Sensores
Wi-Fi 5	52	70:70:8b:85:54:ed	UPS_IDIOMAS
Wi-Fi 5	52	70:70:8b:85:54:ee	UPS_ESTUDIANTES
AP500F.80F5.D93			
Tecnología	Canal	Cisco (MAC)	SSID
Wi-Fi 4	6	70:7d:b9:21:1e:a3	Redes_Sensores
Wi-Fi 4	6	70:7d:b9:21:1e:a0	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 4	6	70:7d:b9:21:1e:a1	UPS_ESTUDIANTES
Wi-Fi 4	6	70:7d:b9:21:1e:a2	UPS_IDIOMAS
Wi-Fi 5	149	70:7d:b9:21:1e:af	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 5	149	70:7d:b9:21:1e:ae	UPS_ESTUDIANTES
Wi-Fi 5	149	70:7d:b9:21:1e:ad	UPS_IDIOMAS
Wi-Fi 5	149	70:7d:b9:21:1e:ac	Redes_Sensores

Al analizar las tablas 2 y 3, se aprecia que la tecnología predominante utilizada es Wi-Fi 4 (802.11n). La mayoría de los puntos de acceso (AP) ejecutan este estándar, lo cual indica una fuerte dependencia de esta tecnología más antigua en la infraestructura inalámbrica; también se observa un uso regular de los canales 1, 6 y 11. Esta elección de canales se debe, muy probablemente, a que maximiza el aprovechamiento del espectro disponible en la banda de 2.4GHz, evitando así la interferencia mutua entre redes vecinas, no obstante, al utilizarlos de manera frecuente, es posible que se produzcan interferencias con otros dispositivos que operan en la misma frecuencia, como microondas, teléfonos inalámbricos, dispositivos Bluetooth, y otros.

Respecto a Wi-Fi 5(802.11ac), la cual está presente en ambos pisos, se observa que los dispositivos no se conectan prioritariamente a esta red, lo que impide aprovechar plenamente los beneficios de esta tecnología. Esta situación puede atribuirse a diversos factores, como la compatibilidad limitada de algunos dispositivos con el punto de acceso (AP), la congestión en el espectro de frecuencias, intensidad de señal y consumo de energía, sin embargo, pueden ser superados en gran medida por el estándar 802.11ax, que ofrece velocidades más rápidas, un alcance mejorado, una menor interferencia y una mayor eficiencia en el consumo de batería.

Tabla 4. Redes inalámbricas del Bloque D plata baja

REDES BLOQUES D – PLANTA BAJA			
AP PLANTA_BAJA			
Tecnología	Canal	Cisco (MAC)	SSID
Wi-Fi 4	5	e0:0e:da:2a:f4:00	ICC_MOVILES
Wi-Fi 5	44	e0:0e:da:2c:cd:d0	ICC_MOVILES

Tabla 5. Redes Inalámbricas del Bloque D planta alta.

REDES BLOQUES D – PLANTA ALTA			
AP-PADRE-CAROLL			
Tecnología	Canal	Cisco (MAC)	SSID
Wi-Fi 4	1	58:0a:20:b8:fe:a1	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 4	1	58:0a:20:b8:fe:a5	UPS_IDIOMAS
Wi-Fi 4	1	58:0a:20:b8:fe:a4	UPS_ESTUDIANTES
Wi-Fi 5	36	58:0a:20:b8:fe:ae	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 5	36	58:0a:20:b8:fe:aa	UPS_IDIOMAS
Wi-Fi 5	36	58:0a:20:b8:fe:ab	UPS_ESTUDIANTES
AP-PADRE-CAROLL			
Tecnología	Canal	Cisco (MAC)	SSID
Wi-Fi 4	6	58:0a:20:b9:87:74	UPS_ESTUDIANTESI
Wi-Fi 4	6	58:0a:20:b9:87:71	UPS_COLABORADORES
Wi-Fi 4	6	58:0a:20:b9:87:75	UPS_IDIOMAS
Wi-Fi 5	149	58:0a:20:b9:87:7b	UPS_ESTUDIANTES
Wi-Fi 5	149	58:0a:20:b9:87:7a	UPS_IDIOMAS
Wi-Fi 5	149	58:0a:20:b9:87:7e	UPS_COLABORADORES
AP IHM			
Tecnología	Canal	Cisco (MAC)	SSID
Wi-Fi 4	4	64:e9:50:9d:99:d0	ICC

Las tablas 4 y 5 presentan información relevante sobre el número total de puntos de acceso (AP) ubicados en el bloque D, así como datos detallados sobre las redes que se propagan a través de dicho bloque. Cada punto de acceso en este bloque proporciona tres identificadores de conjunto

de servicios (SSID) que utilizan una variedad de canales y tecnologías. En particular, la red Wi-Fi 4 utiliza los canales 1, 4, 5 y 6, mientras que la red Wi-Fi 5 emplea los canales 36, 44 y 149. Estos datos son fundamentales para comprender la configuración y distribución de las redes inalámbricas en el entorno del bloque D.

3.2 TOPOLOGÍA ACTUAL

La figura 3.1 muestra la estructura integral de la red, desde la conexión con el proveedor de internet ISP CEDIA WAN hasta la universidad. En esta configuración, el firewall CISCO FTD se encuentra adaptado al router de frontera para proporcionar una capa adicional de seguridad a la red universitaria. El router de frontera se conecta al Core, que opera en la capa 3 y permite establecer enlaces con los switches de acceso, situados estratégicamente en cada bloque. Estos switches, que operan en la capa 2, se encargan de distribuir las VLANs y se conectan a los puntos de acceso (APs) para garantizar una conectividad inalámbrica confiable en todo el campus.

Es importante mencionar que cada bloque de la universidad tiene asignadas diferentes VLANs para las conexiones de red. Sin embargo, en el caso de los APs, se configuran en la misma VLAN para facilitar la gestión centralizada a través de la controladora WLC serie 5500. Esta controladora es responsable de administrar las redes, los permisos y los grupos de forma eficiente. Asimismo, para acceder a las distintas redes, como la de estudiantes, colaboradores, idiomas y redes de sensores, se utilizan VLANs específicas configuradas en la controladora. Además, cada VLAN está asociada a listas de control de acceso (ACL) que definen los permisos y restricciones de acceso correspondientes. Por ejemplo, las restricciones pueden ser más estrictas para los estudiantes en comparación con los colaboradores, garantizando así una experiencia segura y personalizada en la red.

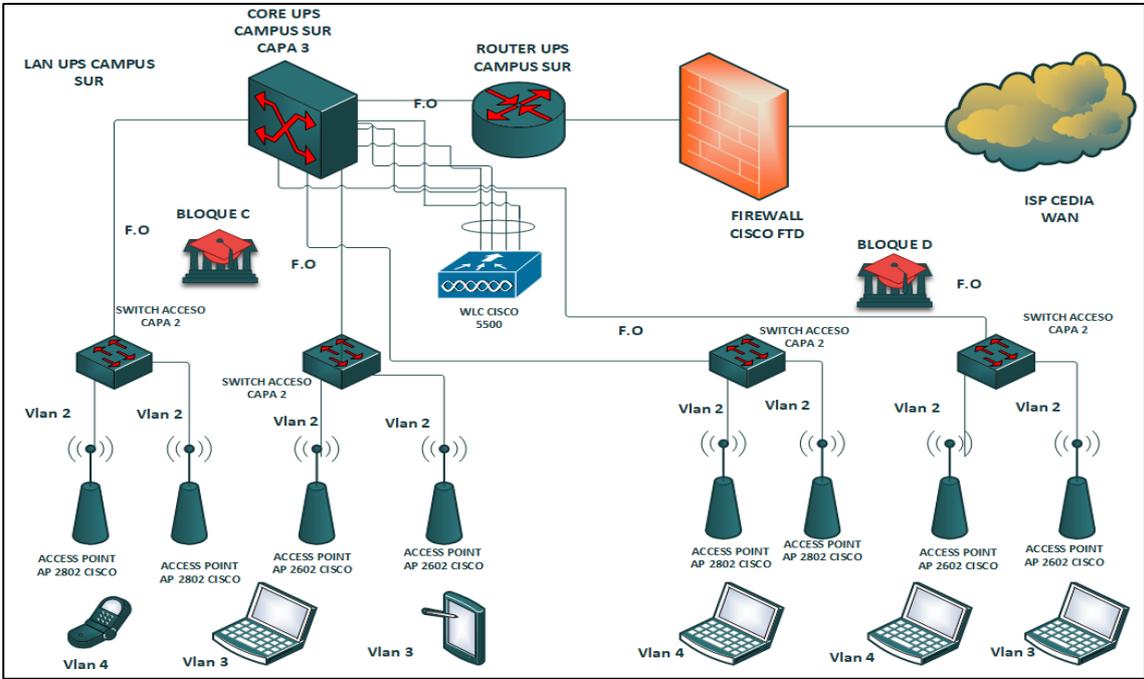


Figura 3.1. Topología de equipos en los bloques C y D

Fuente: Esquema otorgado por Ing. Jonathan Salas

3.3 TSS (TECHNICAL SITE SURVEY) Y THROUGHPUT DE LOS BLOQUES C Y D

Considerando la topología anterior, se llevó a cabo una exhaustiva evaluación utilizando la herramienta de software Ekahau AI PRO para analizar el desempeño de los puntos de acceso (APs) actualmente desplegados en los bloques C y D. Mediante este software, se recopilaron datos relevantes para comparar la situación actual con la futura implementación del estándar 802.11ax. Los datos obtenidos abarcaron diversos aspectos, como la cobertura en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz, los protocolos y estándares utilizados, los canales de operación, el ancho de banda disponible, las interferencias presentes y la distribución de APs en cada edificio. Esta evaluación proporcionó una visión integral de la infraestructura inalámbrica, sentando las bases para el diseño y mejoras que optimicen la conectividad y el rendimiento en los mencionados bloques.

En la infraestructura actual, se utilizan los modelos CISCO 2602 y 2802 como puntos de acceso (APs). En las siguientes figuras, estos dispositivos se representan como círculos, y los canales que emplean se indican mediante los números adyacentes a ellos.

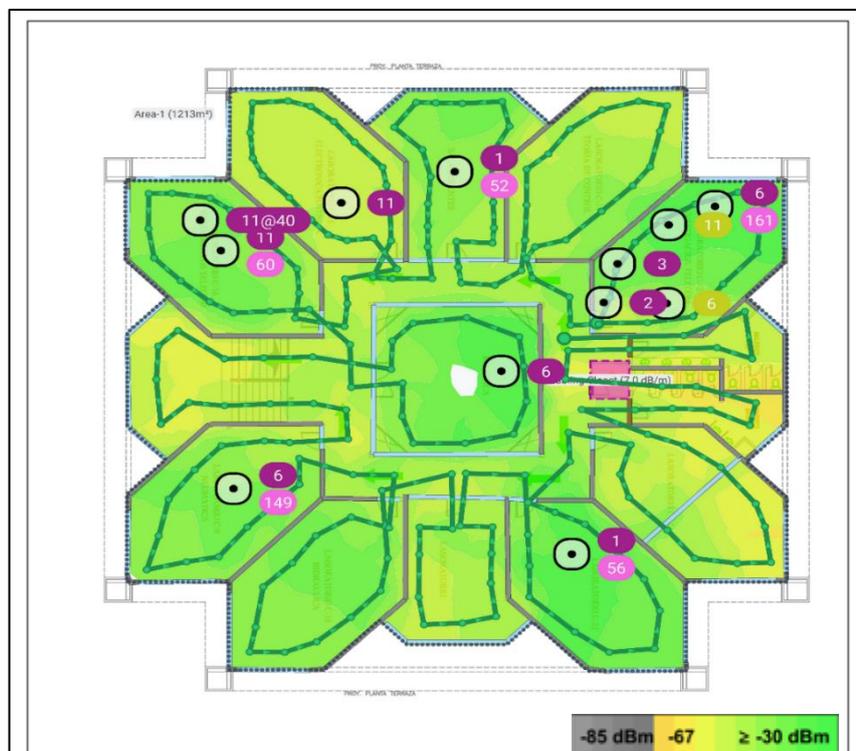


Figura 3.2. Zona de cobertura actual en la banda 2.4 GHz y números de APs del bloque C Planta Alta

Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

La figura 3.2 revela que la banda de 2.4 GHz proporciona la mejor calidad de señal en general. Sin embargo, algunos laboratorios, como los de Electrónica de Potencia, Hidráulica, Mecatrónica, Fabricación y Teoría de Control, no disfrutaban plenamente de esta señal. Esta situación se debe a la ubicación de los puntos de acceso (APs) y a la falta de algunos de ellos en áreas estratégicas y de alta afluencia estudiantil. Además, la tecnología utilizada en estos APs también puede influir en la calidad de la señal.

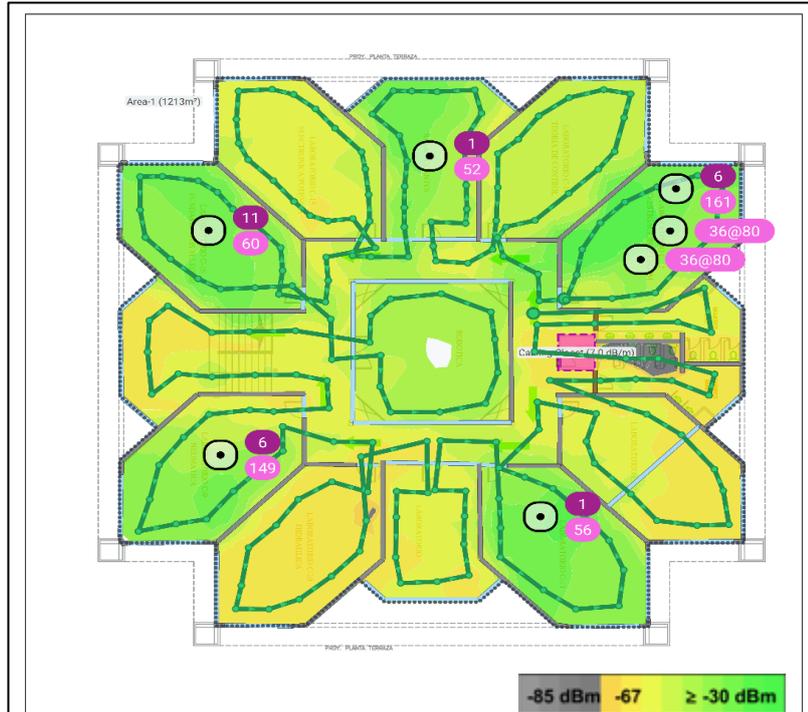


Figura 3.3. Zona de cobertura actual en la banda 5 GHz del bloque C Planta Alta

Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

En relación con la banda de 5GHz figura 3.3, se ha observado que la señal óptima se limita a las áreas donde se encuentran los puntos de acceso (APs). Esta característica se debe a que en esta banda, la cobertura abarca una área menor pero ofrece una mayor capacidad y velocidades de transferencia de datos más rápidas en comparación con la banda de 2.4 GHz. Sin embargo, es importante destacar que esto no satisface completamente los requisitos de señal en todos los laboratorios de la planta alta.

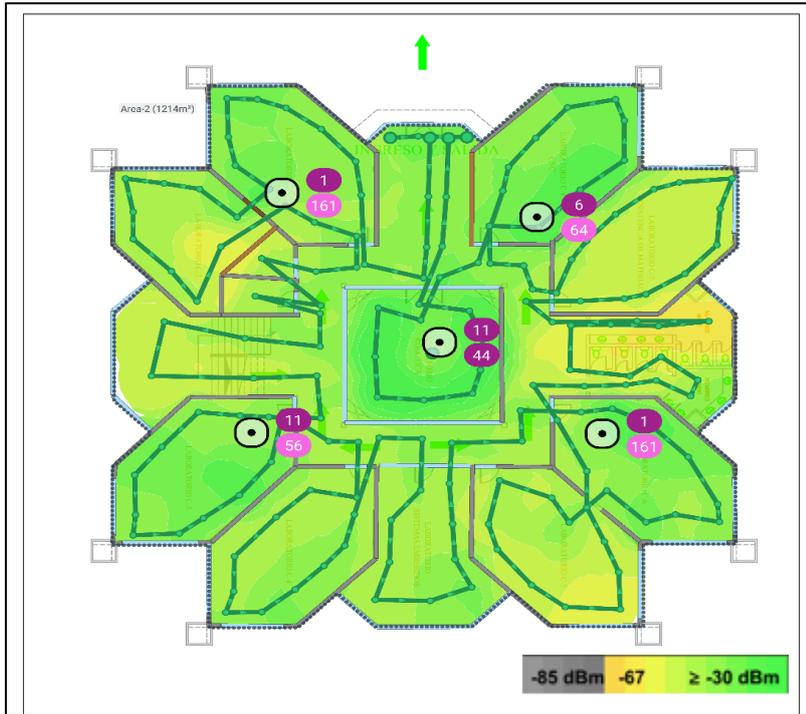


Figura 3.4. Zona de cobertura actual en la banda 2.4 GHz y número de APs del bloque C Planta Baja

Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

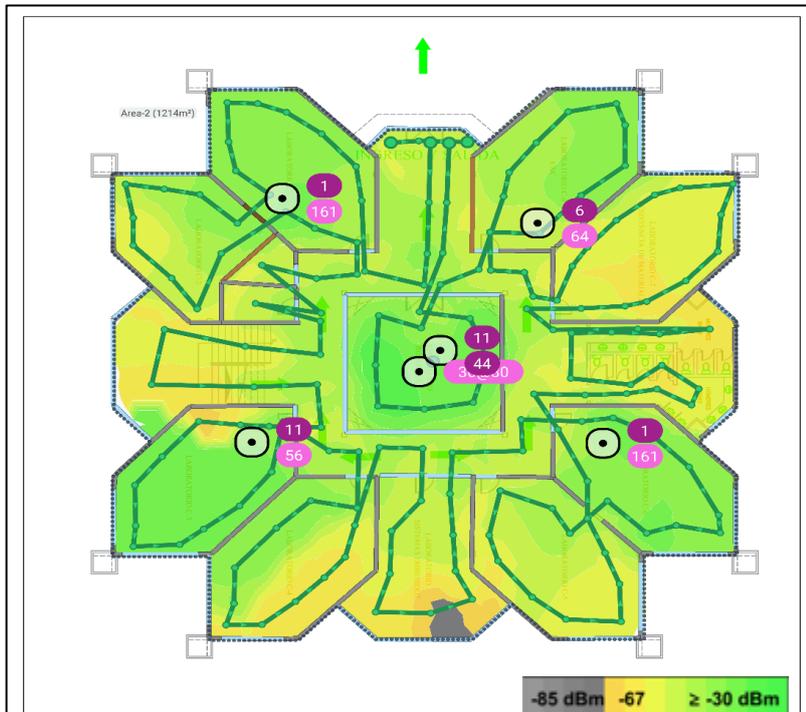


Figura 3.5. Zona de cobertura actual en la banda 5 GHz del bloque C Planta Baja

Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

En relación a la planta baja del bloque C figuras 3.4 y 3.5, se observa una situación similar a la planta superior, donde la calidad de la señal varía en diferentes laboratorios. En algunos puntos, la señal llega con buena calidad, mientras que en otros la calidad se ve afectada. Esta situación se agrava especialmente en la banda de 5GHz debido a las características de propagación propias de esta banda. Además, se suma el hecho de que el punto de acceso (AP) ubicado en el laboratorio de industria 4.0 es responsable de cubrir cierta área de señal tanto en el piso de arriba como en la planta baja, enfrentando así la demanda de estudiantes en ambas ubicaciones.

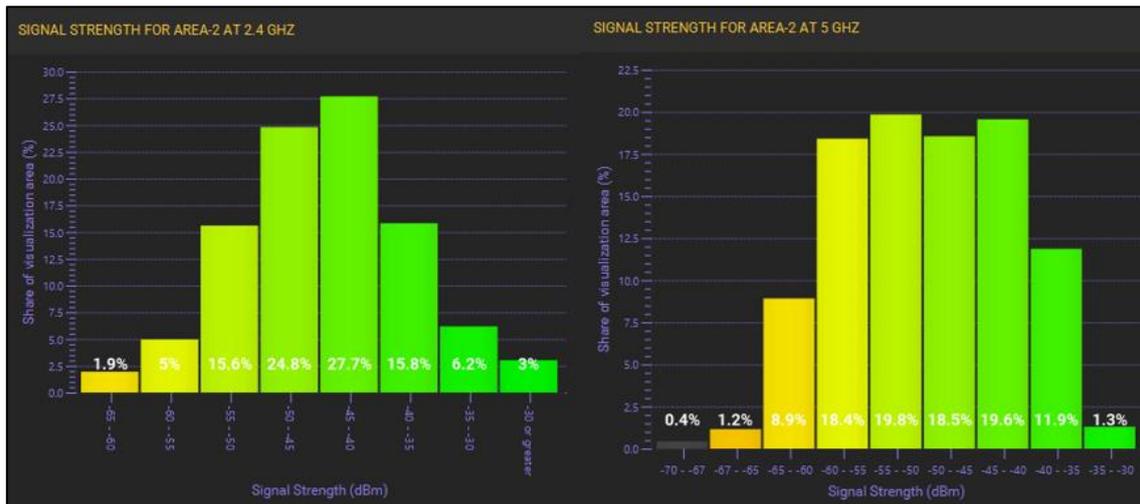


Figura 3.6. Fuerza de la señal actual en 2.4GHz y 5 GHz del bloque C Planta Baja

Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

En la planta baja, se destaca una señal predominante en la banda de 2.4GHz con una intensidad de 45-40 dBm figura 3.6, abarcando aproximadamente el 27.7% del área y mostrando una mejora significativa en esta banda frente a la banda vecina. Por otro lado, en la banda de 5GHz se observa una variación en las coberturas, con un promedio del 48.7% de cobertura no óptima y un 51.3% de cobertura óptima. Esto significa que alrededor de la mitad del área tiene una cobertura que no es ideal. Posteriormente se realizará una categorización de intensidad de señal para comprender las mejoras con el estándar 802.11ax.

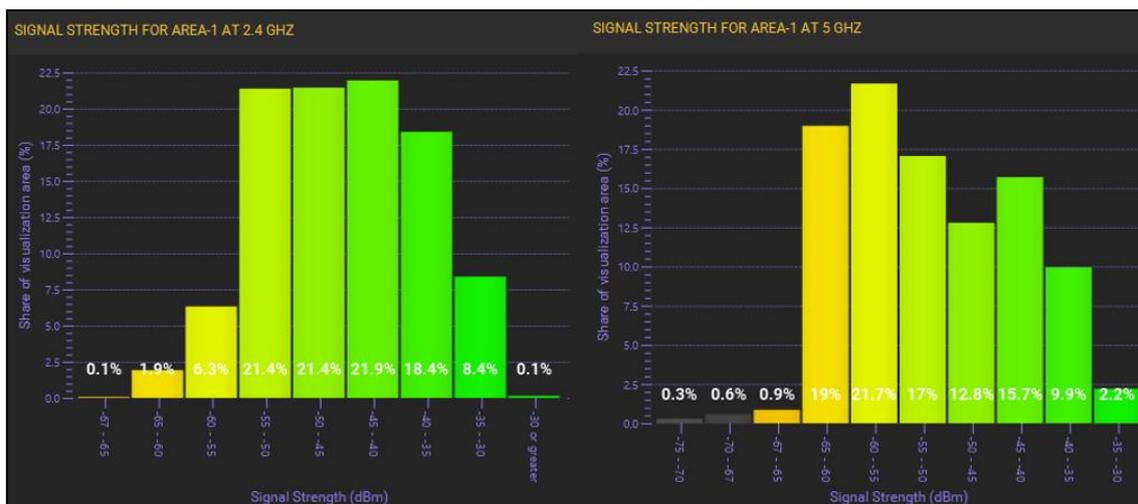


Figura 3.7. Fuerza de la señal actual en 2.4GHz y 5 GHz del bloque C Planta Alta

Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

En relación a la planta alta figura 3.7, se observa una similitud con la planta baja en cuanto a la distribución de la señal. En la banda de 2.4GHz, aproximadamente el 70.2% del área cuenta con una señal ideal, superando a la señal no ideal por mucho. Por otro lado, en la banda de 5GHz, se registra un porcentaje del 59.5% de señal no ideal indicando predominancia de esta cobertura sobre la ideal.

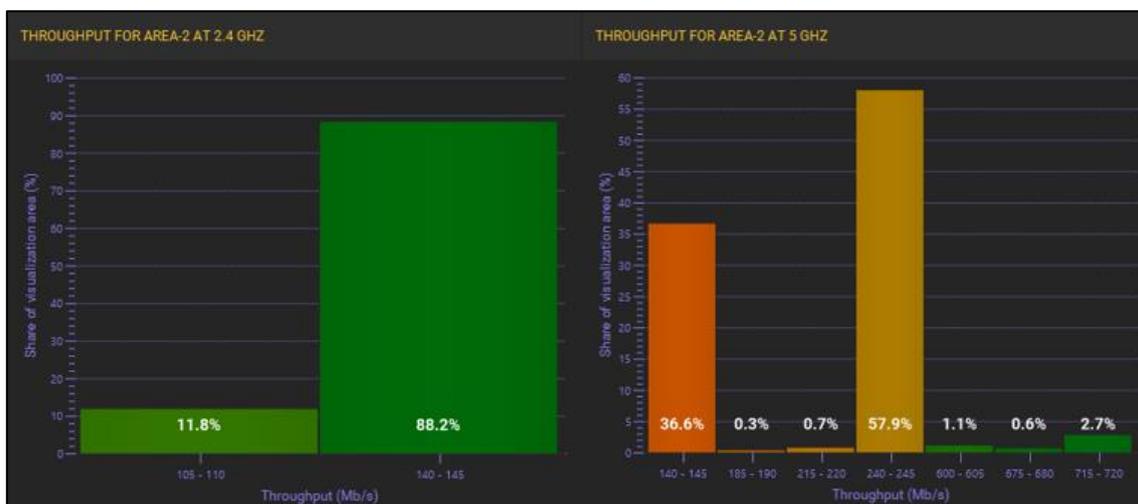


Figura 3.8. Throughput actual en las bandas 2.4GHz y 5GHz de la planta baja

Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

En la figura 3.8 se refleja el throughput de toda la planta baja, revelando variaciones en diferentes áreas debido a la ubicación estratégica o falta de puntos de acceso. Sin embargo, en general, se mantiene un rango de 140-145 Mbps en la banda 2.4GHz y 240-245 Mbps en 5GHz.

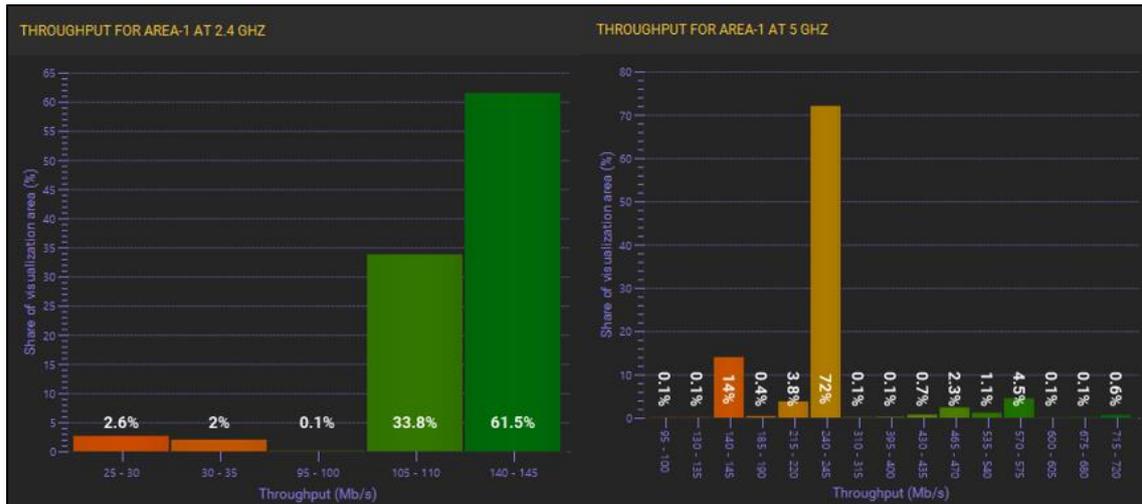


Figura 3.9. Throughput actual en las bandas 2.4GHz y 5GHz de la planta Alta

Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

La figura 3.9 muestra el throughput en la planta alta, observando una notable similitud respecto a la planta baja. Los intensidades de señal predominates son de 140 – 145 Mbps, seguida de un 33.8% de 105 – 110 Mbps en la banda 2.4GHz, y de 240 – 245 Mbps en 5GHz con un porcentaje de 72% sobre toda el área.



Figura 3.10. Zona de cobertura actual en la banda 2.4 GHz y número de APs del bloque D Planta Alta

Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona



Figura 3.11. Zona de cobertura actual en la banda 5 GHz del bloque D Planta Alta

Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

En el bloque D, se ha identificado una deficiencia en la calidad de la señal tanto en las bandas de 2.4 GHz como en 5 GHz, particularmente en ciertas áreas de las plantas baja y alta.

Como se puede apreciar en las figuras 3.10 y 3.11, existen dos puntos de acceso (APs) encargados de distribuir la señal en la planta alta. Uno de ellos se encuentra ubicado en el auditorio Padre Carollo, y su función principal es brindar cobertura no solo al auditorio, sino también al lobby y las escaleras adyacentes. El segundo AP se encuentra en IHM y su objetivo es proporcionar señal al área del centro de datos, la sala de monitoreo y las instalaciones de IHM en sí. Es importante destacar que este AP es exclusivo del Bloque D y está destinado exclusivamente a cubrir las necesidades de IHM.

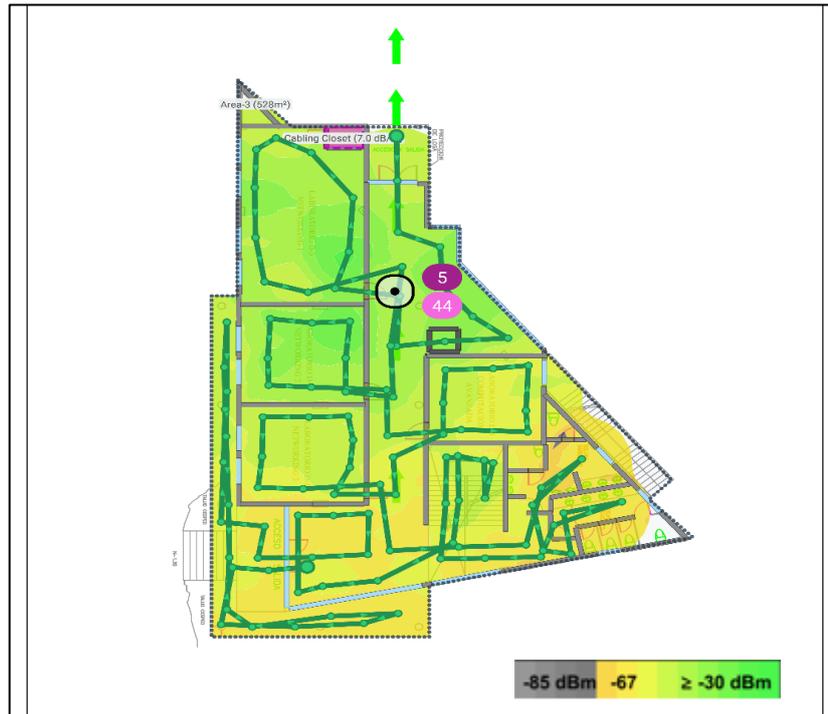


Figura 3.12. Zona de cobertura actual en la banda 2.4 GHz y número de APs del bloque D Planta Baja

Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

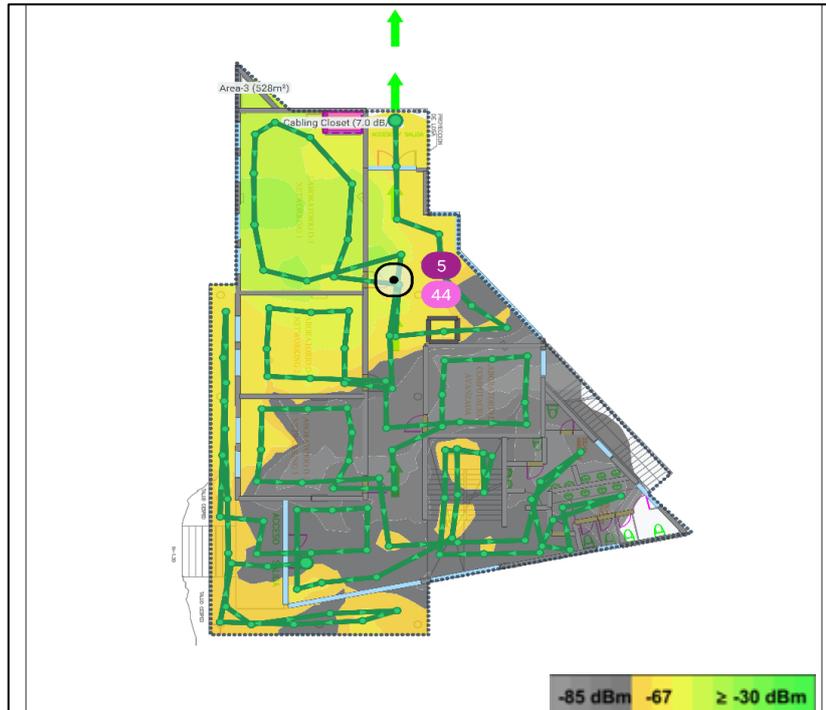


Figura 3.13. Zona de cobertura actual en la banda 5 GHz del bloque D Planta Baja

Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

En cuanto a la planta baja las figuras 3.12 y 3.13 muestran que la calidad de la señal no es óptima debido a que el mismo AP de IHM, que originalmente brinda cobertura en la primera planta, también se encarga de proporcionar señal en la planta baja, especialmente en los laboratorios cercanos. No obstante, es importante destacar que la calidad de la señal se considera "aceptable" en un rango de aproximadamente -55 dBm a -50 dBm, pero esta calidad disminuye a medida que los dispositivos se alejan del punto de acceso. En otras palabras, a medida que los dispositivos se alejan del AP, la calidad de la señal se degrada al punto de recibir menos de -55dBm y obteniendo una señal pésima.

La figura 3.14 información sobre la intensidad de la señal en la planta baja del Bloque D, y revela que la calidad de la señal en esa área no es óptima.

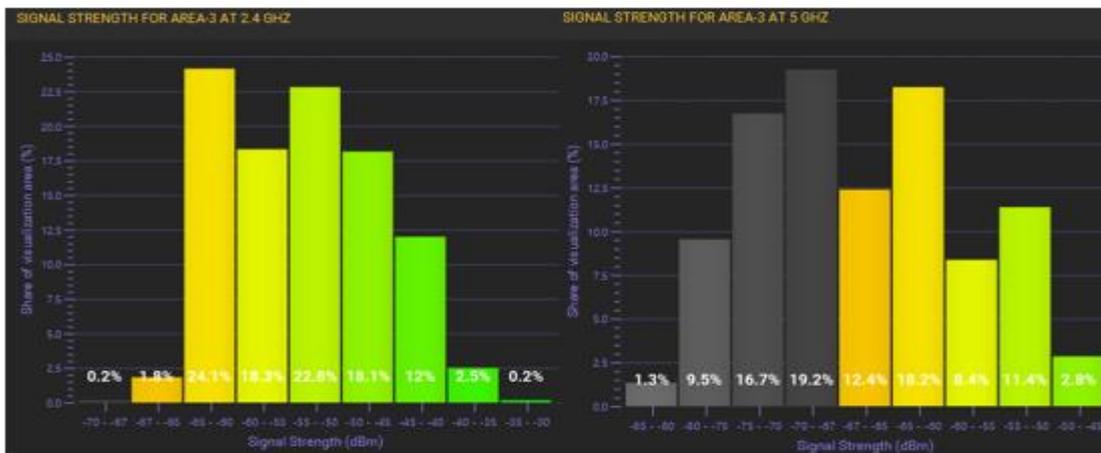


Figura 3.14. Fuerza de señal actual en la planta baja del Bloque D en las bandas 2.4GHz y 5Ghz.

Elaborado por: Diego Barahona y Geovanny Jaramillo

La figura 3.15, ofrece datos sobre la intensidad de la señal en la planta alta del Bloque D. Sin embargo, se puede observar que la calidad de la señal en esa área no es óptima, especialmente en la banda de 5 GHz, donde el punto de acceso (AP) IHM no está operando.

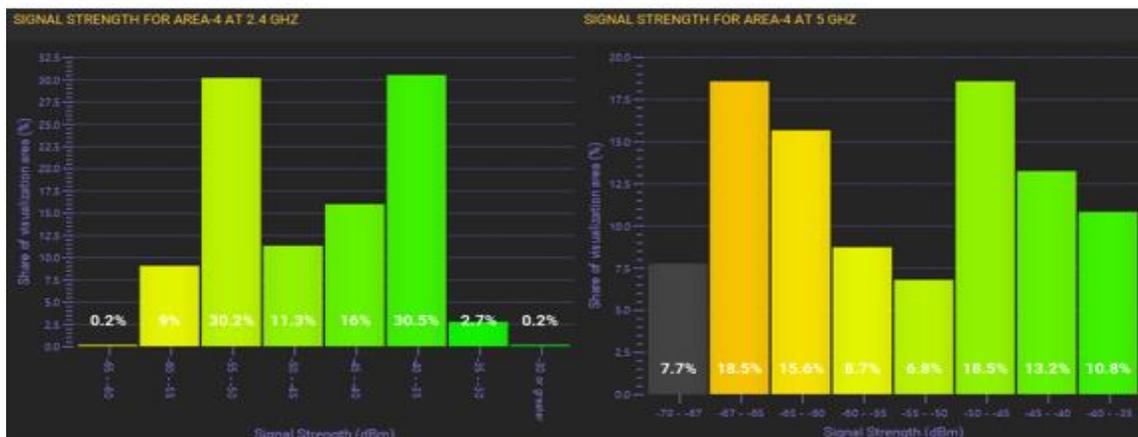


Figura 3.15. Fuerza de señal actual en la planta alta del Bloque D en las bandas 2.4GHz y 5Ghz.

Elaborado por: Diego Barahona y Geovanny Jaramillo

En la figura 3.16, se aprecia el rendimiento del Througput en la planta alta del bloque D, revelando que solamente el 46.4% en 2.4 GHz entre 100 – 110 Mbps y en 5 GHz el 45.4% en el rango de 150 – 155 Mbps, del área total de la planta cuenta con una velocidad de transferencia aceptable. Esta situación se atribuye a la presencia de un único punto de acceso (AP), lo que provoca que una gran parte del área carezca de un rendimiento de transferencia óptimo

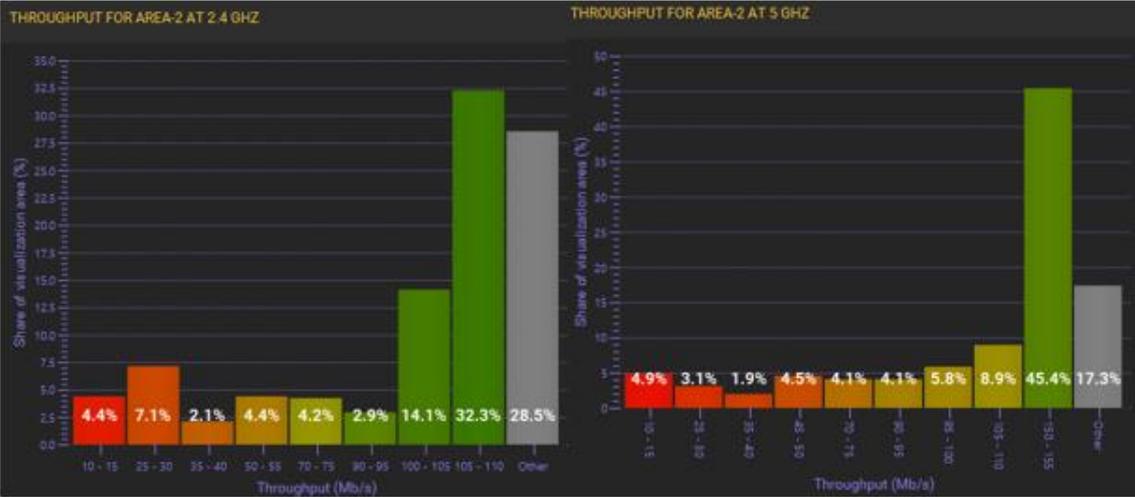


Figura 3.16. Throughput actual en las bandas 2.4 y 5 GHz del Bloque D Planta Baja
Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

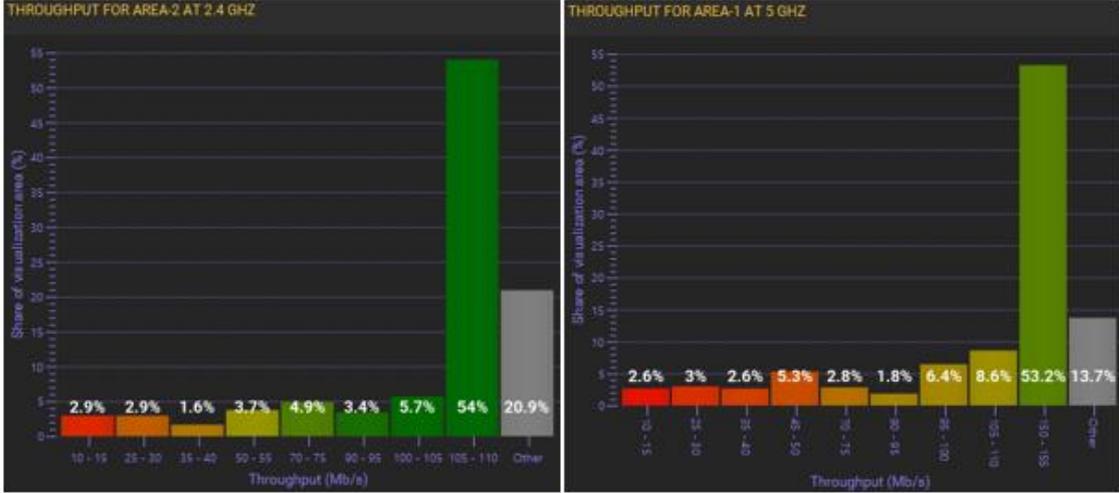


Figura 3.17. Throughput actual en las bandas 2.4 y 5 GHz del Bloque D Planta Alta
Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona.

En la figura 3.17 se presenta el análisis del rendimiento del Througput en la planta alta del bloque D, revelando que únicamente el 59% en la frecuencia de 2.4 GHz entre 100 – 110 Mbps y el 53.2 % en la frecuencia de 5 GHz entre 150 – 155 Mbps, del área total de la planta cumplen con los estándares de velocidad de transferencia aceptables. Se atribuye a la escasez de puntos de acceso (AP), lo cual se traduce en un rendimiento de transferencia deficiente en una extensa parte del área.

3.4 TRÁFICO DE RED

Se ha llevado a cabo un monitoreo exhaustivo del tráfico utilizando el software Wireshark, aprovechando la opción de captura a través de la conexión Wi-Fi y visualizando los datos en tiempo real mediante el gráfico de carga. Esta herramienta brinda la capacidad de evaluar la intensidad del tráfico de paquetes en relación con las distintas horas del día, lo que permite identificar de manera precisa el momento de mayor consumo de tráfico generado por los usuarios. A través de este análisis, se adquiere una visión detallada y minuciosa del rendimiento de la red, lo que resulta esencial para evaluar su capacidad, detectar posibles cuellos de botella y tomar decisiones informadas con el fin de mejorar la eficiencia y la calidad del servicio brindado. La utilización de herramientas de monitoreo como Wireshark proporciona valiosa información en tiempo real que permite mejorar continuamente la infraestructura de red y garantizar una experiencia fluida y confiable para los usuarios.

Figura 3.18, durante un período de 4 días, se llevó a cabo una recopilación de datos en un intervalo de tiempo específico que se extendió desde las 11:00 a.m. hasta las 4:00 p.m., con una frecuencia de muestreo de 05:00 horas por día. Durante este lapso temporal, se logró registrar un total de 1,595,945 paquetes de datos transmitidos, lo cual representa una cantidad considerable de información recopilada y analizada. Además, se realizó un análisis exhaustivo de los bytes transmitidos, los cuales alcanzaron un total de 1,392,872,215. Esta cifra refleja la magnitud de la transferencia de datos que tuvo lugar durante este período de tiempo en particular. En términos de rendimiento, se obtuvo un promedio de bits por segundo de aproximadamente 30k.

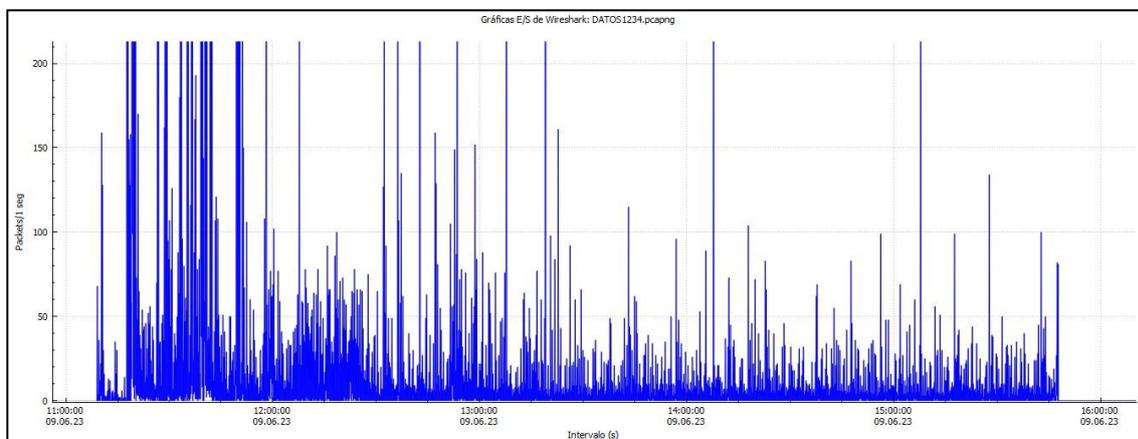


Figura 3.18. Tráfico de la red

Elaborado por: Diego Barahona, Geovanny Jaramillo

En la figura 3.19 se identificó que el pico más alto de consumo de datos se produjo a las 12:42:40, representando el momento de mayor demanda en términos de transmisión de datos. Durante este momento específico, se registró un total de 2754 paquetes de datos por segundo. Este dato revela la intensidad y la carga máxima experimentada por el sistema en ese momento particular.

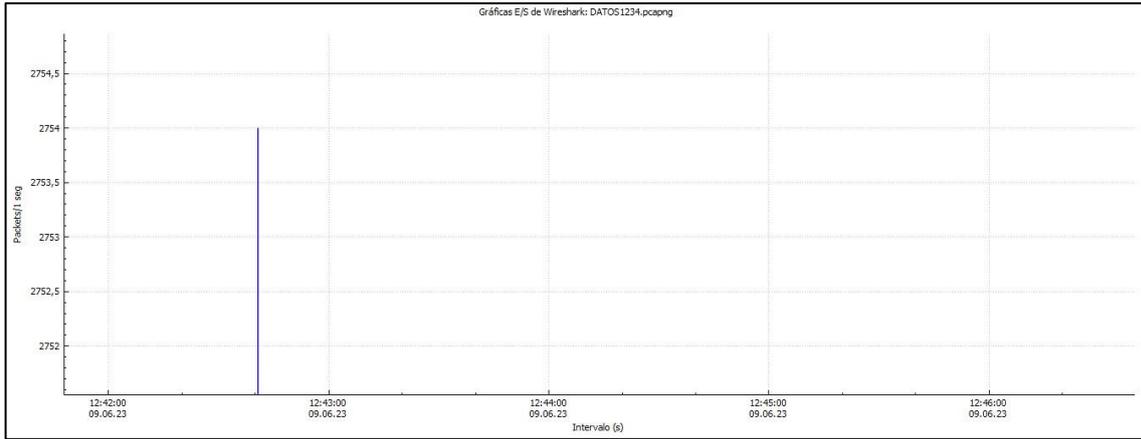


Figura 3.19. Pico más alto del tráfico

Elaborado por: Diego Barahona, Geovanny Jaramillo

En la figura 3.20 se observa la segunda cumbre más alta de consumo de datos. esta se registró a las 13:19:00, representando otro momento destacado en términos de transmisión de datos. En este instante específico, se contabilizaron un total de 1940 paquetes de datos por segundo, lo que indica una demanda considerable en ese momento. Es importante resaltar que esta cifra muestra una diferencia de 840 paquetes con respecto al punto más alto de consumo registrado. Esta disparidad revela fluctuaciones en la carga de transmisión de datos a lo largo del periodo de muestreo, lo que puede deberse a variaciones en la demanda del sistema.

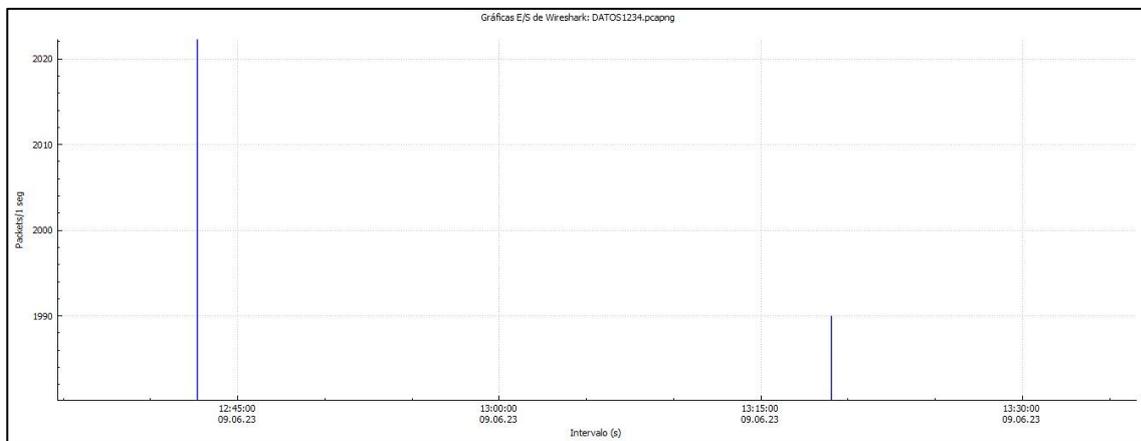


Figura 3.20. Segundo pico de transferencia

Elaborado por: Diego Barahona, Geovanny Jaramillo

Es importante destacar en la figura 3.21, los paquetes enviados cuentan con una técnica conocida como ACK (Acknowledgment). Este método consiste en utilizar un frame especial que es enviado por el receptor para indicar que ha recibido correctamente el paquete. Este frame de respuesta se denomina "OK" y su función es confirmar al emisor que el paquete ha sido recibido de manera adecuada. Esta estrategia de retroalimentación es fundamental para garantizar la integridad y la fiabilidad de la comunicación, ya que permite al emisor tener la certeza de que los paquetes enviados han sido recibidos correctamente. La inclusión de este tipo de confirmación en cada paquete enviado brinda una mayor confianza en la transmisión de

datos, lo que resulta esencial en aplicaciones que requieren una alta precisión y calidad en la entrega de la información.

```
> Frame 1: 54 bytes on wire (432 bits), 54 bytes captured (432 bits) on interface \Device\NPF_{517421F6-8E0C-4053-A36B-B3}
> Ethernet II, Src: LiteonTe_a3:c2:be (28:e3:47:a3:c2:be), Dst: Cisco_15:ae:00 (ac:f2:c5:15:ae:00)
> Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.1.67, Dst: 192.168.1.138
> Transmission Control Protocol, Src Port: 62921, Dst Port: 443, Seq: 1, Ack: 1, Len: 0
```

Figura 3.21. Frame de respuesta

Elaborado por: Diego Barahona, Geovanny Jaramillo.

3.5 PROTOCOLOS DE LA RED

En la figura 3.22, en base a los datos obtenidos se visualiza que utilizan 4 protocolos de IPv4 en el tráfico de la red. Existen diversos protocolos utilizados para garantizar una comunicación efectiva y confiable entre dispositivos.

El Protocolo de Control de Transmisión (TCP) establece conexiones punto a punto para garantizar la entrega ordenada y confiable de los datos. Dentro de este protocolo, se implementa el mecanismo de acuse de recibo. Se utiliza para establecer conexiones confiables y ordenadas entre dispositivos en una red. Proporciona un flujo controlado y seguro de datos a través de segmentos, garantizando la entrega y la integridad de la información transmitida, se encarga del control de flujo y control de congestión para optimizar el rendimiento de la red

Por otro lado, el Protocolo de Datagramas de Usuario (UDP) se destaca por su menor sobrecarga, lo que lo hace ideal para aplicaciones que requieren una transmisión rápida, aunque no necesariamente confiable. Este se utiliza para enviar datos sin conexión y de manera no confiable. UDP no proporciona garantía de entrega o control de flujo, su simplicidad lo hacen adecuado para aplicaciones que requieren una transmisión rápida y eficiente de datos, incluso si algunos de los datagramas se pierden o llegan fuera de orden.

Protocolo de Resolución de Direcciones (ARP), se utiliza para asociar direcciones IP con las direcciones físicas de los dispositivos en la red. Se utiliza para encontrar la dirección MAC asociada a una dirección IP en una red local. Facilita la comunicación directa entre dispositivos dentro de la misma red, permitiendo la entrega de datos correctamente encapsulados en tramas Ethernet.

ICMP (Internet Control Message Protocol) es un protocolo de red perteneciente a la capa de red del modelo TCP/IP. se utiliza para enviar mensajes de control y error en redes de Internet. Facilita la detección de errores, el ping para verificar la conectividad, la redirección de ruta, la información de ruta y otros mensajes de control necesarios para el correcto funcionamiento de las comunicaciones en la red.

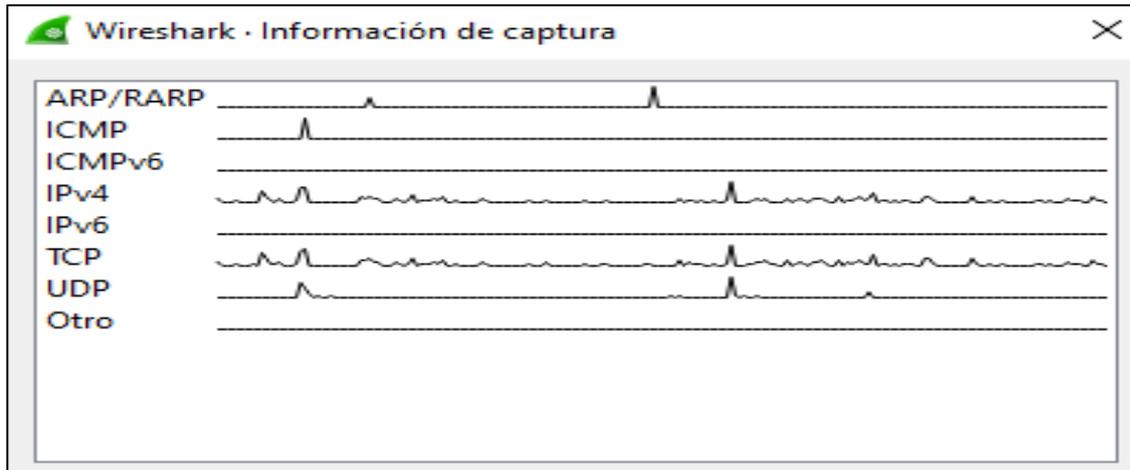


Figura 3.22. Protocolos captados por el software Wireshark
Elaborado por: Diego Barahona, Geovanny Jaramillo

3.6 ESTÁNDARES

Los bloques C y D utilizan una variedad de estándares de conectividad para satisfacer las necesidades de sus usuarios. Los puntos de acceso (APs) desplegados en estos bloques operan en los estándares 802.11a, 802.11b, 802.11ac, 802.11g y 802.11n.

Estos estándares son comúnmente utilizados por los dispositivos inalámbricos actuales, no obstante, si bien estas tecnologías ofrecen un rendimiento satisfactorio, es importante tener en cuenta que pueden presentar limitaciones en términos de cobertura, capacidad y velocidad de transferencia de datos en ciertas áreas de los bloques. Para garantizar un desempeño óptimo, se está considerando la introducción de nuevas tecnologías y soluciones que puedan mejorar aún más la conectividad inalámbrica en los bloques C y D, brindando una experiencia más fluida y eficiente para todos los usuarios.

3.7 SEGURIDAD DE LA RED ACTUAL

Al realizar un análisis detallado de las redes inalámbricas presentes en el entorno, se destaca no solo la presencia predominante de las redes UPS_TESIS, UPS_COLABORADORES y UPS_ESTUDIANTES, sino también la implementación de políticas de acceso específicas para cada una de ellas. Estas redes utilizan los protocolos de seguridad **WPA/WPA2-Enterprise**. La razón por la que existen dos se debe al uso del punto de acceso (AP) que emplea la tecnología 802.11ac, también conocido como Wi-Fi 5. Aunque ambos protocolos ofrecen niveles de seguridad sólidos, WPA2 es considerado más seguro y recomendable debido a que utiliza autenticación basada en un servidor central, lo que implica que los usuarios deben ingresar sus credenciales para acceder a la red.

La red inalámbrica actual está respaldada por un servidor RADIUS, que desempeña un papel fundamental en la autenticación de las credenciales de los usuarios. Como usuarios locales, nuestras credenciales son validadas a través de este y se integran con un servidor de dominio CAST.

Para establecer una conexión segura, se debe seguir los protocolos de seguridad requeridos. Esto implica una configuración en la controladora de acceso para apuntar al servidor RADIUS a través de una dirección IP específica. Una vez que se establece esta conexión, se otorgan los

permisos debidos a través de rutas entre los núcleos de red, así como entre los router de las sedes de Quito y Cuenca. Es importante destacar que la comunicación y validación de usuarios se realizan en todas las sedes de la Universidad Salesiana, lo que permite a los usuarios conectarse de manera segura y confiable en cualquier ubicación.

CAPÍTULO IV

Es fundamental comprender las razones detrás de la elección de determinadas marcas y equipos. En este sentido, resulta imprescindible analizar detalladamente las opciones disponibles en el mercado, evaluando criterios como costos, funcionalidades y compatibilidad. Además, es necesario tener en cuenta factores como la reputación de la marca, su trayectoria en el mercado, la calidad de sus productos y servicios, lo cual ha sido respaldado por la consulta de fuentes confiables como Gartner.

La utilización de Gartner como referencia para la selección de marcas y equipos se basa en su reconocimiento internacional como una de las principales firmas de investigación y consultoría en tecnología. Sus informes y análisis proporcionan una visión objetiva y actualizada del panorama tecnológico, que permitirá tomar decisiones fundamentadas y respaldadas por datos concretos.

4.1 CUADRANTE MÁGICO DE GARTNER

Gartner, es una empresa líder en investigación de mercados, brinda una perspectiva sobre los lugares de los participantes y, a través de sus gráficos, evalúa la ejecución de ideas y el desempeño empresarial.

El cuadrante ayuda a tener una visión de donde se encuentran las empresas de soluciones de TI, y desempeña un papel crucial en la elección del proveedor más adecuado, este se divide en 4 zonas de clasificación:

Aspirantes: A pesar de que las empresas en la actualidad están logrando una ejecución empresarial destacada, todavía no han alcanzado su máximo rendimiento.

Líderes: Tienen una visión clara de las necesidades de los clientes

Jugadores de Niche: Las empresas enfrentan dificultades para generar innovaciones que les permitan superar a su competencia.

Visionarios: Aunque las empresas tienen una buena comprensión de las necesidades, enfrentan dificultades para concretar sus innovaciones [30].

En la figura 4.1. Se empleará el cuadrante de Gartner como una guía para la selección de los dispositivos, considerando a las empresas líderes en infraestructuras inalámbricas como Juniper, Aruba y Cisco. Al mismo tiempo, se gestionará el componente económico de manera rigurosa para garantizar una elección óptima y viable dentro de las limitaciones establecidas.



Figura 4.1. Gartner compañías tecnológicas de networking

Fuente: [31].

4.2 SELECCIÓN DE EQUIPOS

Durante el proceso de selección de los equipos mencionados en la Tabla 6, se han tenido en cuenta diversas características clave como MU-MIMO, OFDMA, garantía, compatibilidad y EWC. Estas tecnologías se han elegido debido a su posición de vanguardia en el ámbito de las redes inalámbricas. Es relevante destacar que el estándar 802.11ax abarca más allá de la banda de 6 GHz, lo que permite un mayor rendimiento y capacidad en las redes. No obstante, a la hora de tomar la decisión final, el factor económico se vuelve fundamental. Es importante equilibrar las características avanzadas con el costo asociado a la adquisición y mantenimiento de los equipos. Las tres marcas seleccionadas representan a los líderes indiscutibles en el mercado actual de soluciones de networking. Han demostrado su excelencia en términos de calidad, innovación y confiabilidad.

Se han seleccionado específicamente los siguientes equipos: el Cisco Catalyst, el HPE Aruba (550 Series) y el Juniper AP43. Estos dispositivos pertenecen a la gama de acceso empresarial de nivel superior y se han elegido debido a su idoneidad para satisfacer diversas necesidades empresariales. Cada uno de estos modelos está diseñado con el objetivo de ofrecer un rendimiento inalámbrico superior, priorizando la escalabilidad, confiabilidad y estabilidad. Además, cuentan con funcionalidades avanzadas y características de seguridad, garantizando la protección de los datos y la integridad de la red. Estos dispositivos brindan un rendimiento sólido, capaz de manejar altos volúmenes de tráfico, y ofrecen velocidades de transferencia rápidas para garantizar una conectividad inalámbrica confiable.

La elección de los dispositivos Cisco Catalyst, HPE Aruba (550 Series) y Juniper AP43 se basa en su capacidad para proporcionar un rendimiento inalámbrico superior, escalabilidad,

confiabilidad y seguridad avanzada. Estos equipos son ideales para manejar grandes volúmenes de tráfico y ofrecen una conectividad inalámbrica confiable para satisfacer las necesidades empresariales más exigentes.

Tabla 6. Equipos para la red

Elaborado por: Diego Barahona, Geovanny Jaramillo.

	CISCO CATALYST 9120 	HPE ARUBA 555 (550 Series) 	JUNIPER AP43 SERIES 
COMPATIBILIDAD ETHERNET MULTIGIGABIT	SI	NO	NO
MU MIMO	SI	SI	SI
OFDMA	SI	SI	SI
GARANTIA EXTENDIDA	SI	SI	SI
EWC	SI	NO	NO
COSTO	1,164,00	1,330,00	1,665,99

Tras analizar la Tabla 6, se ha tomado la decisión de seleccionar el equipo CISCO CATALYST 9120 debido a diversas razones fundamentales. En primer lugar, destaca su precio, ya que entre las tres opciones consideradas, este dispositivo es el más accesible económicamente. Además, es el único equipo que cuenta con la función de EWC (Embedded Wireless Controller), lo cual representa una ventaja significativa.

CISCO es una empresa reconocida y consolidada en el ámbito del desarrollo de soluciones de red. Su reputación sólida y su dedicado servicio de soporte técnico brindan confianza y respaldo a los usuarios. Asimismo, la disponibilidad de actualizaciones de firmware y parches de seguridad asegura el funcionamiento continuo y seguro de la red.

El equipo CISCO CATALYST 9120 ofrece características avanzadas y emplea tecnología de vanguardia en el campo de las redes inalámbricas. Esta combinación de innovación y rendimiento sobresaliente lo coloca en una posición destacada. Además, su capacidad para escalar la red y adaptarse a las necesidades cambiantes de los usuarios proporciona flexibilidad y versatilidad.

La elección del CISCO CATALYST 9120 se basa en su atractivo precio, su funcionalidad de EWC, la solidez de la marca Cisco, su servicio de soporte técnico, la disponibilidad de actualizaciones y su rendimiento avanzado. Estas características lo convierten en una opción óptima para satisfacer las necesidades de conectividad y escalabilidad.

CAPÍTULO V

5.1 DISEÑO DE LA RED CON EL ESTÁNDAR 802.11AX

Para el diseño futuro de la red inalámbrica con el estándar 802.11ax se considera varios factores que garanticen una red óptima para el caso específico de cada bloque y sus necesidades. El primer paso consiste en determinar la cantidad de puntos de acceso (AP) que se utilizará en cada piso, evitando inversiones innecesarias. Para lograr esto, se emplea una fórmula teórica que tiene en cuenta diversos factores, como el ancho de banda requerido, el número de usuarios, el uso promedio de la red y la velocidad estimada para la conexión.

$$\frac{\text{Ancho de banda} * \text{Número de usuarios} * \text{Uso promedio de la red}}{\text{Velocidad estimada}} \quad (4)$$

Después de estimar el número de puntos de acceso, será necesario determinar si la calidad de la señal es buena o mala en cada bloque, para ello se ha creado un estándar (basado en [40]) que identifique y categorice la intensidad de señal:

Excelente: Por encima de -30 dBm.

Muy bueno: Entre -30 dBm y -50 dBm.

Bueno: Entre -50 dBm y -60 dBm.

Moderado: Entre -60 dBm y -70 dBm.

Débil: Entre -70 dBm y -80 dBm.

Muy débil: Por debajo de -80 dBm.

Esto permite tomar decisiones informadas para garantizar una conectividad confiable y de alta calidad en los bloques.

5.2 DISEÑO DE LA TOPOLOGÍA PARA LOS BLOQUES C Y D

Considerando la topología actual de los bloques C y D, resulta altamente viable preservar dicha infraestructura, ya que esto permite aprovechar las funcionalidades ya existentes. La única modificación consistirá en reemplazar los puntos de acceso actuales, CISCO 2802 y 2602, por aquellos que cumplan con los requisitos de afluencia estudiantil y mejoren la infraestructura en general.

Después de un análisis exhaustivo, se seleccionaron los dispositivos CISCO 9120 como los más adecuados. Cabe señalar que, dado que solo se dispone de una controladora 5500, se recomienda adquirir una nueva que admita la implementación y gestión de APs con el estándar 802.11ax. Sin embargo, si se prefiere utilizar la controladora actual, el procedimiento consiste en designar un grupo específico de APs 9120 como APs MASTER y, posteriormente, llevar a cabo el proceso de EWC. Teniendo en cuenta estas consideraciones, el diseño de la topología se establecería de la siguiente manera:

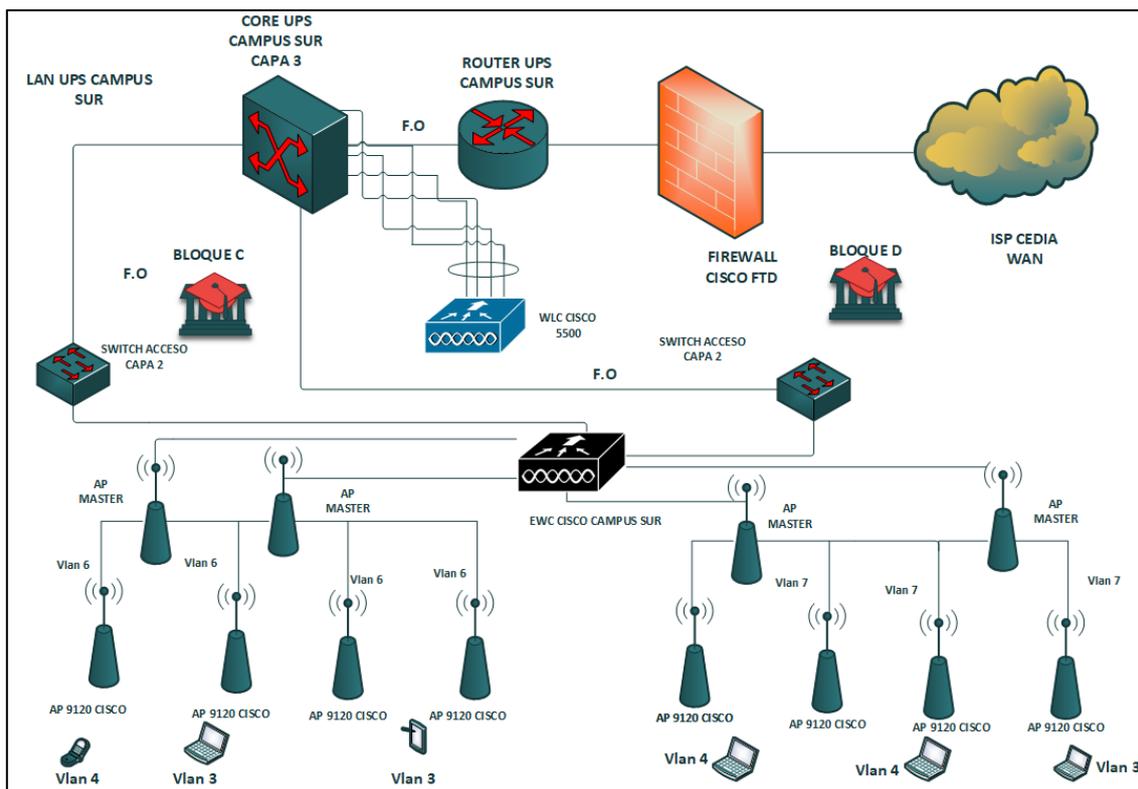


Figura 5.1. Diseño de topología para los bloques C y D

Fuente: Esquema propio basado en esquema de Ing. Jonathan Salas

La implementación de un AP MASTER resulta fundamental para lograr un control centralizado de múltiples APs del estándar 802.11ax, en este caso se realiza para obtener una gestión eficiente en entornos de mayor envergadura y complejidad garantizando un adecuado manejo de la red. El objetivo de seleccionar un grupo de ellos es para establecer redundancia, de modo que si uno falla, otro asuma sus funciones sin interrupciones.

El proceso de EWC (Controlador Embebido Virtual) se lleva a cabo en los APs MASTER con el fin de crear una controladora virtual que permita la incorporación de los nuevos APs 9120. La transición a EWC se realiza a través de la interfaz de línea de comandos (CLI). Es importante tener en cuenta que los APs que están directamente conectados a la controladora física (5500) no se pueden conectar a la controladora virtual debido a incompatibilidades, lo que podría ocasionar problemas de lazos en la red.

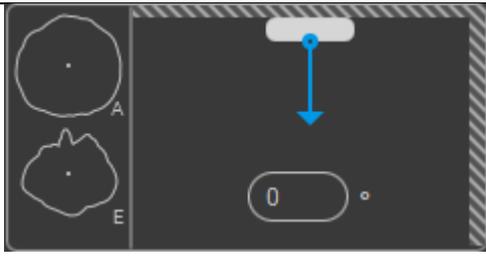
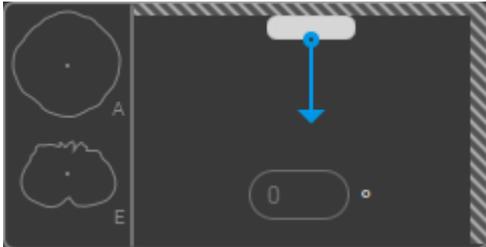
Para resolver esta problemática, se requerirá asignar una VLAN dedicada a la controladora virtual y otra a la controladora física, esta configuración de VLANs proporcionará la solución necesaria para prevenir conflictos y asegurar una operación sin interrupciones en la red.

5.3 PARÁMETROS PARA LA SIMULACIÓN EN EKAHAU AI PRO

A continuación se presenta los parámetros establecidos para realizar la simulación en EKAHAU AI PRO.

Tabla 7. Datos establecidos para la simulación

PARÁMETRO	VALOR	EXPLICACIÓN
Potencia de Transmisión	Automático	El AP ajusta automáticamente la potencia de transmisión para garantizar una cobertura y un rendimiento óptimos dependiendo el entorno y necesidades.
Canales	Automático	Los canales son seleccionados automáticamente por el AP para evitar interferencias de otras redes.
Ancho de canal	20 MHz y 40MHz	El AP puede usar canales de 20 MHz, 40 MHz, 80MHz y 160MHz. No obstante, los canales de 20 MHz son más compatibles con los dispositivos más antiguos, mientras que los canales de 40 MHz pueden proporcionar un mejor rendimiento para los dispositivos que los admiten.
Tasa de datos mínimos	12Mbps	La velocidad de datos mínima es de 12 Mbps. Se eligió este valor porque es la tasa de datos mínima requerida para las aplicaciones más comunes, como la navegación web, el correo electrónico y las redes sociales.
Número de SSID	3 redes por radio	Hay 3 SSID por radio. Esto permite redes separadas para estudiantes, colaboradores y tesistas.
Max Clientes Asociados	200 por radio	El número máximo de clientes asociados es de 200 por radio. Esto asegura que el AP pueda manejar el tráfico de una gran cantidad de dispositivos.
BSS para colorear	activado	La coloración BSS está habilitada. Esto ayuda a evitar interferencias entre diferentes redes que utilizan el mismo canal.
Altura del AP	2,4 metros	El AP se encuentra a una altura de 2,4 m. Esto asegura que la señal pueda llegar a un área amplia.
Banda dual	Si	El AP admite bandas de 2,4 GHz y 5 GHz. Esto permite un mejor rendimiento y alcance para los dispositivos que admiten 5 GHz.
Corrientes espaciales	4	El AP admite 4 flujos espaciales. Esto significa que puede transmitir y recibir datos de 4 dispositivos al mismo tiempo.
Patrón de antena 2.4GHz	Azimutal	

		
Patrón de antena 5GHz	Elevación	

La Tabla 7 presenta los parámetros seleccionados y sus respectivos valores, así como las justificaciones detrás de su elección como datos iniciales para la simulación. Con ello se busca lograr una situación que se asemeje lo más posible a la realidad, esperando precisión en los resultados obtenidos.

Tabla 8. Dispositivos de prueba

DISPOSITIVO	CANTIDAD	EXPLICACIÓN
Celulares Wi-Fi 6	BC Planta baja= 90	Estos dispositivos pueden conectarse al AP a una velocidad más rápida y con un mejor alcance que los dispositivos con versiones anteriores de Wi-Fi.
	BC Planta alta= 80	
	BD Planta baja= 50	
	BD Planta alta= 30	
Portátil Wi-Fi 5	BC Planta baja=10	Estos dispositivos tienen una capacidad de conexión al AP incluso superior a la del celular Wi-Fi 5, sin embargo, es posible que no puedan aprovechar al máximo ciertas características presentes en los dispositivos con Wi-Fi 6.
	BC Planta alta=10	
	BD Planta baja= 9	
	BD Planta alta= 7	
Celulares Wi-Fi 5	BC Planta baja= 60	Estos dispositivos aún pueden conectarse al AP, pero es posible que no puedan alcanzar las mismas velocidades o alcance que los dispositivos con Wi-Fi 6.
	BC Planta alta= 30	
	BD Planta baja= 30	
	BD Planta alta= 20	
Celulares Wi-Fi 4	BC Planta baja= 30	Estos dispositivos son los más antiguos y no podrán alcanzar las mismas velocidades o alcance que los dispositivos con versiones más nuevas de Wi-Fi.
	BC Planta alta=10	
	BD Planta baja= 50	
	BD Planta alta= 50	

La Tabla 8 presenta una lista detallada de los dispositivos utilizados como componentes de prueba en la simulación. Con ello se representa las tecnologías Wi-Fi más comunes utilizadas

por los usuarios; esta diversidad permite obtener una visión más realista del rendimiento de la red en condiciones de alta demanda.

5.4 DISEÑO PARA EL BLOQUE C

Ancho de banda requerido: 80 Mbps (Debido a la distribución actual en el CORE)

Número de usuarios: 342

Uso promedio de la red: 50%

Velocidad estimada: 500 Mbps

$$\frac{80Mbps * 342 * 0.5}{500Mbps} = 27 AP$$

Aunque la cantidad teórica de puntos de acceso (AP) proporciona una base inicial, es necesario utilizar herramientas como el software Ekahau para determinar el número de AP's en cada bloque. Estas evaluaciones permitirán ajustar y adaptar la distribución de los AP de acuerdo con las necesidades particulares de cada entorno.

Considerando la capacidad de usuarios en la planta baja del bloque C, que alcanza un estimado de 194 usuarios, y en la planta alta, con 148 usuarios, se llevará a cabo el diseño de la red inalámbrica planteando un escenario de máxima ocupación. Para ello se estableció un número total de 20 AP para todo el bloque.

5.4.1 DISEÑO DE COBERTURA DEL BLOQUE C

A continuación, se muestra el diseño de la fuerza de señal en la planta baja del bloque C, realizado mediante simulación en EKAHAU AI PRO, teniendo en cuenta una capacidad máxima de usuarios. El objetivo principal de este diseño es garantizar una cobertura adecuada y una señal fuerte en todo el espacio, para proporcionar una experiencia de conectividad óptima.



Figura 5.2. Zona de cobertura en la banda 2.4 GHz del bloque C planta baja

Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

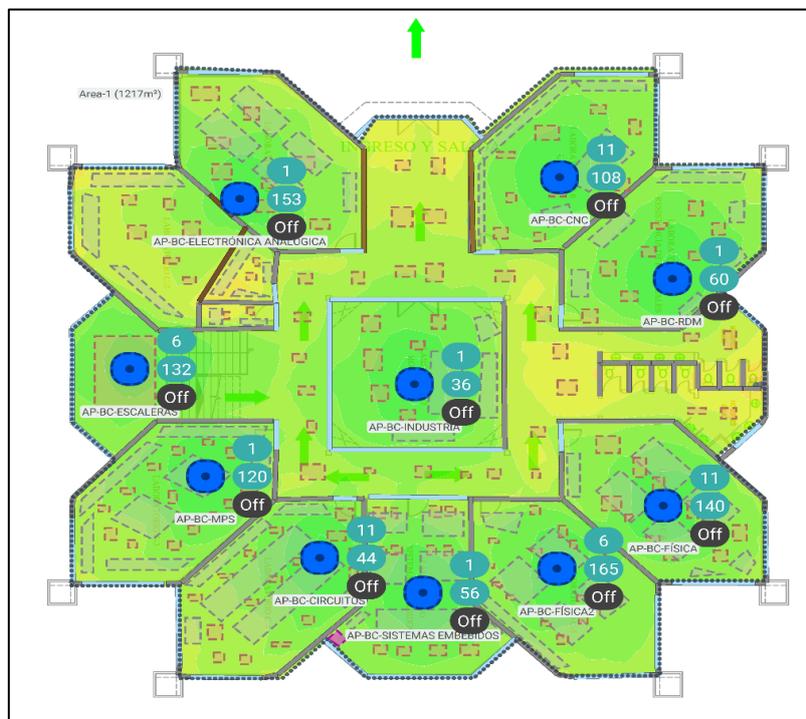


Figura 5.3. Zona de cobertura en la banda 5 GHz del bloque C planta baja

Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

Para lograr una cobertura integral en todas las áreas sin dejar espacios con señal inferior a -50 dBm, se colocó los AP en puntos estrategicos como se observa en las figuras 5.2 y 5.3, utilizando la herramienta de “Inspect” de ekahau la cual selecciona puntos individuales en el mapa para el análisis de características de la señal, se examinó en cada laboratorio la cobertura y throughput teniendo en cuenta los anchos de canal de 20MHz y 40MHz, que son las configuraciones más comunes para la conexión de dispositivos.

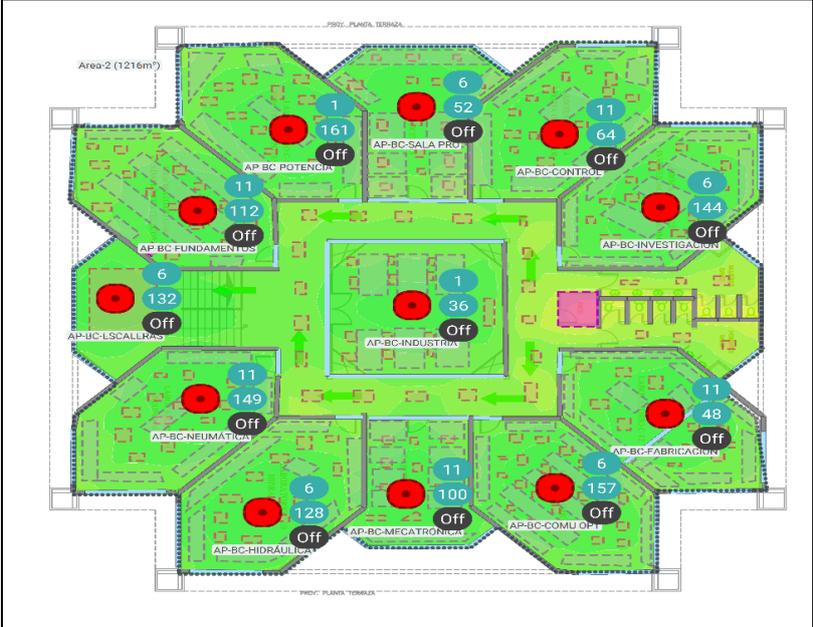


Figura 5.4 Zona de cobertura en la banda 2.4 GHz del bloque C planta alta
Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

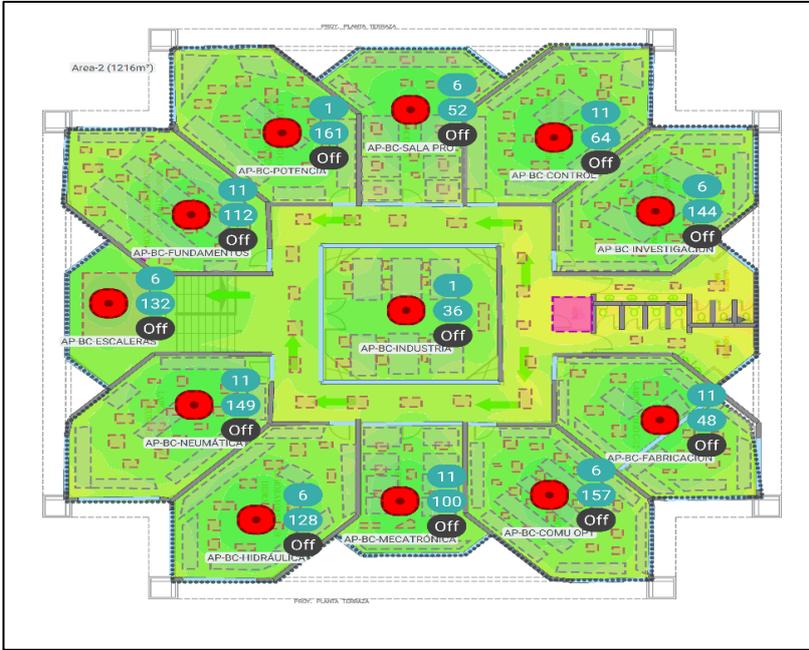


Figura 5.5 Zona de cobertura en la banda 5 GHz del bloque C planta alta
Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

La planta superior del bloque C se diseñó siguiendo el mismo proceso que la planta baja, con la excepción de que se reutilizó el punto de acceso ubicado en el laboratorio de industria 4.0 para brindar cobertura al laboratorio de robótica.

La reutilización del AP, fue una decisión estratégica para minimizar el impacto en el diseño del piso superior. Mediante una evaluación de los requisitos de cobertura, se determinó que el AP existente cumpliría con las necesidades del área. Esta decisión evitó modificaciones significativas en el diseño y permitió avanzar de manera eficiente.

5.5 DISEÑO PARA EL BLOQUE D

Considerando la capacidad máxima de usuarios en el bloque D, que alcanza un total estimado 231 personas, 110 usuarios en la planta baja, y en la planta alta 131 usuarios, de igual forma se llevará a cabo el diseño de la red inalámbrica planteando un escenario de máxima ocupación.

La fórmula 2, permitirá realizar una estimación de la cantidad de puntos de acceso (AP) necesarios en el bloque D con el objetivo de garantizar una navegación óptima para los usuarios.

Ancho de banda para los usuarios = 80Mbps

Número de usuarios = 231 personas

Utilización de la red = 50%

Velocidad programada = 500 Mbps por el estándar 802.11ax

$$\frac{80Mbps * 231 personas * 0.5 utilización}{500Mbps} = 18.49 = 19 AP$$

5.5.1 DISEÑO DE COBERTURA DEL BLOQUE D

Aunque la fórmula teórica recomienda la instalación de 19 puntos de acceso (AP) en el bloque D, se ha considerado que con un total de 11 AP's, se logra una cobertura adecuada, un rendimiento de transferencia de datos superior, en todas las áreas del bloque, especialmente en las aulas y pasillos donde los usuarios requieren una mejor conectividad y velocidad. Esta optimización permite cumplir con los requisitos de conectividad de manera eficiente, considerando las necesidades específicas de los usuarios en cada ubicación.

Es relevante resaltar que la ubicación de cada punto de acceso en el diseño se determina en función de las limitaciones y características del área de interés. Utilizando el software Ekahau AI Pro y la herramienta AI Auto-Planner, se realizan estratégicamente las ubicaciones de los puntos de acceso para mejorar la cobertura y la velocidad de transferencia de datos. Esto permite optimizar la eficiencia y el rendimiento de la red inalámbrica.

En las figuras 5.6 y 5.7 se muestra el diseño de la red Wi-Fi 6, el cual demuestra una cobertura adecuada tanto en las bandas de 2.4 GHz como en 5 GHz en la planta baja. Este diseño permite abarcar un mayor número de áreas con una excelente cobertura, lo que resulta en una conectividad mejorada en dicho nivel del edificio. Esto garantiza una experiencia de usuario fluida y confiable en términos de conexión a la red inalámbrica en esa área específica.



Figura 5.6. Zona de cobertura en la banda 2.4 GHz del bloque D Planta Baja
Elaborado por: Diego Barahona y Geovanny Jaramillo



Figura 5.7. Zona de cobertura en la banda 5 GHz del bloque D Planta Baja
Elaborado por: Diego Barahona y Geovanny Jaramillo

Las figuras 5.8 y 5.9, ofrecen una representación visual clara de las mejoras alcanzadas con el diseño de Wi-Fi 6 en la planta alta. Se puede observar de manera evidente que en la banda de 5 GHz, se ha logrado una cobertura considerablemente mayor en este piso en particular.



Figura 5.8. Zona de cobertura en la banda 2.4 GHz del bloque D Planta Alta
Elaborado por: Diego Barahona y Geovanny Jaramillo



Figura 5.9. Zona de cobertura en la banda 5 GHz del bloque D Planta Alta
Elaborado por: Diego Barahona y Geovanny Jaramillo

5.6 SEGURIDAD DE LA RED

El estándar 802.11ax es compatible con los protocolos de seguridad WPA2 y WPA3. En la Universidad Politécnica Salsesiana Campus sur, la mayoría de los dispositivos que se conectan regularmente a la red utilizan WPA2, y como se vio en el capítulo 3, apartado 3.7, este tipo de protección ofrece un cifrado y autenticación sólidos, garantizando un nivel de seguridad adecuado para la red inalámbrica.

Por otro lado, WPA3 es exclusivo del estándar 802.11ax y ofrece mejoras adicionales como una mayor protección contra ataques y una seguridad mejorada para dispositivos IoT, pero tiene la desventaja de no ser ampliamente compatible con dispositivos que no posean la misma tecnología. Por lo tanto, considerando la gran cantidad de dispositivos compatibles con WPA2 en los bloques C y D de la universidad, resulta más práctico y económico mantener WPA2 en el diseño de la red 802.11ax. De igual forma se mantiene el mismo proceso de autenticación para garantizar que no se afecte la experiencia de los usuarios de forma innecesaria.

CAPÍTULO VI

6.1 RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se presenta el análisis y los resultados del diseño de la red Wi-Fi 802.11ax de los bloques C y D. En esta sección, se examinarán detalladamente los diferentes aspectos del diseño, evaluando su rendimiento, cobertura y capacidad en función de los requerimientos establecidos. Además, se analizarán los datos recopilados durante la simulación utilizando la herramienta Ekahau AI Pro, permitiendo una visión más precisa de cómo la red inalámbrica se desempeña en el entorno considerado.

6.2 ANÁLISIS DE COBERTURA DEL BLOQUE C EN LA PLANTA BAJA

En el caso de los laboratorios de Resistencia de materiales, Circuitos eléctricos, Sistemas embebidos, y aulas secundarias de Electrónica Analógica y Física; que anteriormente tenían intensidades de señal superiores a -50 dBm como se se observó en las figuras 3.4 y 3.5, se logró una mejora de cobertura en la banda de 5GHz como se visualiza en las figuras 5.2 y 5.3, no obstante, la banda 2.4GHz no tiene el mejor de los desempeños. Los resultados con ancho de canal de 20MHz y 40MHz para la planta baja son:

Tabla 9. Resultados de EKAHAU AI PRO bloque C planta baja

RESULTADOS DE SIMULACIONES CON DIFERENTE ANCHO CANAL			
20MHz		40MHz	
Name (MAC) AP-BC-RDM	Name (MAC) AP-BC-RDM	Name (MAC) AP-BC-RDM	Name (MAC) AP-BC-RDM
Adapter CELULARES WIFI 4	Adapter Generic Laptop	Adapter CELULARES WIFI 4	Adapter Generic Laptop
Channel 124	Channel 124	Channel 44 48	Channel 44 48
RSSI (dBm) -35	RSSI (dBm) -38	RSSI (dBm) -34	RSSI (dBm) -37
SNR 60	SNR 57	SNR 58	SNR 55
Nss 2	Nss 2	Nss 2	Nss 2
Modul. (MCS) QAM64 (15)	Modul. (MCS) QAM256 (8)	Modul. (MCS) QAM64 (15)	Modul. (MCS) QAM256 (9)
GI (ns) 400	GI (ns) 400	GI (ns) 400	GI (ns) 400
DR (b/s) 144 M	DR (b/s) 173 M	DR (b/s) 300 M	DR (b/s) 400 M
Max TP (b/s) 107 M	Max TP (b/s) 154 M	Max TP (b/s) 179 M	Max TP (b/s) 320 M
Floor BLOQUE C Planta Baja	Floor BLOQUE C Planta Baja	Floor BLOQUE C Planta Baja	Floor BLOQUE C Planta Baja
Name (MAC) AP-BC-RDM	Name (MAC) AP-BC-RDM	Name (MAC) AP-BC-RDM	Name (MAC) AP-BC-RDM
Adapter CELULARES WIFI 5	Adapter CELULARES WIFI 6	Adapter CELULARES WIFI 5	Adapter CELULARES WIFI 6
Channel 124	Channel 124	Channel 44 48	Channel 44 48
RSSI (dBm) -35	RSSI (dBm) -35	RSSI (dBm) -34	RSSI (dBm) -34
SNR 60	SNR 60	SNR 58	SNR 58
Nss 2	Nss 4	Nss 2	Nss 4
Modul. (MCS) QAM256 (8)	Modul. (MCS) QAM1024 (11)	Modul. (MCS) QAM256 (9)	Modul. (MCS) QAM1024 (11)
GI (ns) 400	GI (ns) 800	GI (ns) 400	GI (ns) 800
DR (b/s) 173 M	DR (b/s) 574 M	DR (b/s) 400 M	DR (b/s) 1.1 G
Max TP (b/s) 154 M	Max TP (b/s) 418 M	Max TP (b/s) 320 M	Max TP (b/s) 672 M
Floor BLOQUE C Planta Baja	Floor BLOQUE C Planta Baja	Floor BLOQUE C Planta Baja	Floor BLOQUE C Planta Baja

En la tabla 9 se presentan los datos recopilados utilizando la herramienta "inspect" de Ekahau a 5m de la posición del AP para el laboratorio de Resistencia de Materiales, este mismo procedimiento se siguió para todos los laboratorios del bloque C. Los datos revelan las características de los dispositivos de prueba Wi-Fi 4, Wi-Fi 5 y Wi-Fi 6 frente a la tecnología 802.11ax, destacando una mejora significativa en la cobertura y throughput de la planta baja, especialmente en la banda de 5GHz con la tecnología Wi-Fi 6. A continuación, se presentan una tabla con los resultados de la intensidad de señal en cada laboratorio desde la perspectiva de esta banda con dicha tecnología permitiendo observar las mejoras obtenidas en cada caso.

Tabla 10. Resultados de intensidad de señal bloque C planta baja

Comparación intensidad de la señal				
Laboratorio	Intensidad actual	Categorización	Intensidad diseñada	Nueva Categorización
Resistencia de materiales	-58dBm	Bueno	-33 dBm.	Muy Bueno
CNC	-47 dBm	Muy bueno	-36 dBm	Muy bueno
Escaleras	-60 dBm	Moderado	-39 dBm	Muy bueno
Sistema de producción modular	-49 dBm	Muy Bueno	-36 dBm	Muy Bueno
Circuitos eléctricos	-59 dBm	Bueno	-35 dBm	Muy Bueno
Sistemas embebidos	-62 dBm	Moderado	-38 dBm	Muy bueno
Electrónica Analógica	-43 dBm	Muy bueno	-38 dBm	Muy bueno
Aulas secundarias de Electrónica Analógica	-52 dBm	Bueno	-48 dBm	Muy bueno
Física	-42 dBm	Muy bueno	-39 dBm	Muy Bueno
Aulas secundarias de Física	-53 dBm	Bueno	-37 dBm	Muy bueno
Industria 4.0:	-37 dBm	Muy bueno	-34 dBm	Muy bueno

Sin embargo, es importante destacar que los dispositivos de gama inferior no logran aprovechar al máximo las mejoras proporcionadas por el estándar 802.11ax. Como resultado, se observa un rendimiento negativo en las pruebas con ancho de canal de 20MHz y 40MHz, tanto en date rate como en throughput. En el caso de la tecnología Wi-Fi 4, se ha obtenido una tasa de transferencia efectiva de 107 Mbps, con un Data rate de 144 Mbps. Por otro lado, para la tecnología Wi-Fi 5, la tasa de transferencia efectiva alcanza los 154 Mbps, con Data rate de 173 Mbps. Es evidente que estos valores difieren considerablemente de los resultados obtenidos con dispositivos Wi-Fi 6, los cuales pueden alcanzar un throughput de hasta 672 Mbps y Date rate de 1.1 Gbps con capacidad máxima de la planta, confirmando que, si bien el estándar es retrocompatible, se pueden disfrutar de mayores beneficios al utilizar dispositivos de la misma tecnología.

Adicionalmente, cabe recalcar que la elección de los anchos de canal de 20MHz y 40MHz para realizar las pruebas, se basa en la consideración de la compatibilidad y capacidades de los dispositivos móviles, especialmente los celulares. La mayoría de equipos móviles como, smartphones y tablets, están diseñados para trabajar de manera óptima con anchos de canal de 20MHz y 40MHz. Por ende, al tomar como referencia estos anchos de canal comunes, se

garantiza una mayor compatibilidad y una experiencia de usuario más consistente para los dispositivos móviles en los laboratorios.

Otro factor a considerar es la intensidad de señal más predominante en la planta baja, para ello Ekahau entrega una gráfica con dicha información.

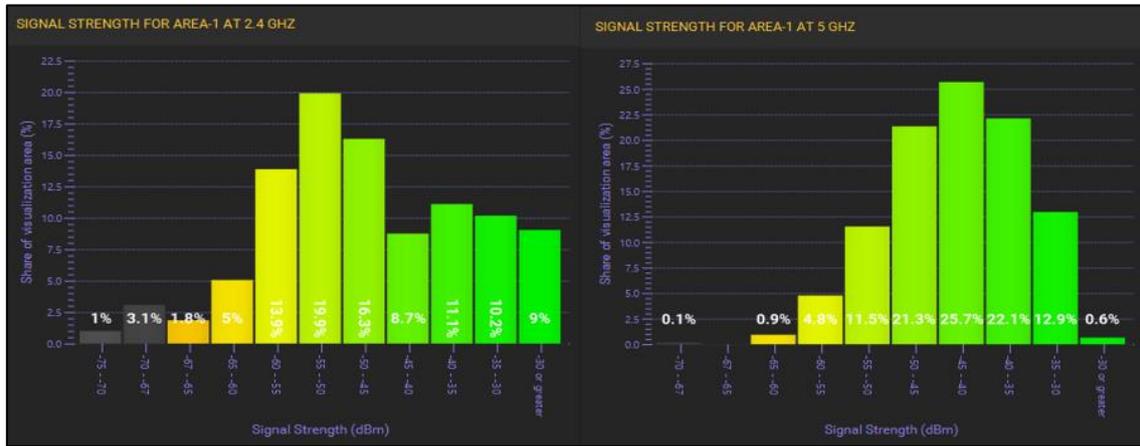


Figura 6.1. Fuerza de señal en la planta baja del Bloque C en las bandas 2.4GHz y 5Ghz.
Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

La figura 6.1 destaca una señal predominante en la banda de 5GHz con un rango de intensidad de 45-40 dBm, lo cual abarca un 25.7% de cobertura. Esta mejora significativa en comparación con la intensidad de señal actual en la banda de 5GHz (observada en la figura 3.6) demuestra un progreso notable en la optimización de la red inalámbrica. Por otro lado, es importante mencionar que en la banda de 2.4GHz se registra una degradación considerable en la calidad de la señal, alcanzando un porcentaje del 19% de cobertura no ideal. Existe una mayor predominancia de señales en el rango de 55-50 dBm, con una cobertura general que abarca aproximadamente el 44.7% de toda el área, es decir, casi la mitad. Esta diferencia se debe a que el estándar 802.11ax enfoca sus mejoras principalmente en la banda de 5 GHz, lo cual lleva al software a priorizar el uso de esta banda sobre la de 2.4 GHz. Como resultado, se observa una disminución en la calidad de la señal en la banda de 2.4 GHz.

En resumen, los resultados recopilados confirman el éxito del diseño realizado para el posicionamiento estratégico y la configuración de los AP Cisco 9120ax. Esto ha permitido establecer una red inalámbrica con una señal óptima en la banda de 5GHz, incluso en escenarios de alta ocupación. Sin embargo, en la banda de 2.4GHz se redujo la intensidad de señal convirtiéndola en la opción menos viable de conexión.

6.2.1 THROUGHPUT DEL BLOQUE C EN LA PLANTA BAJA

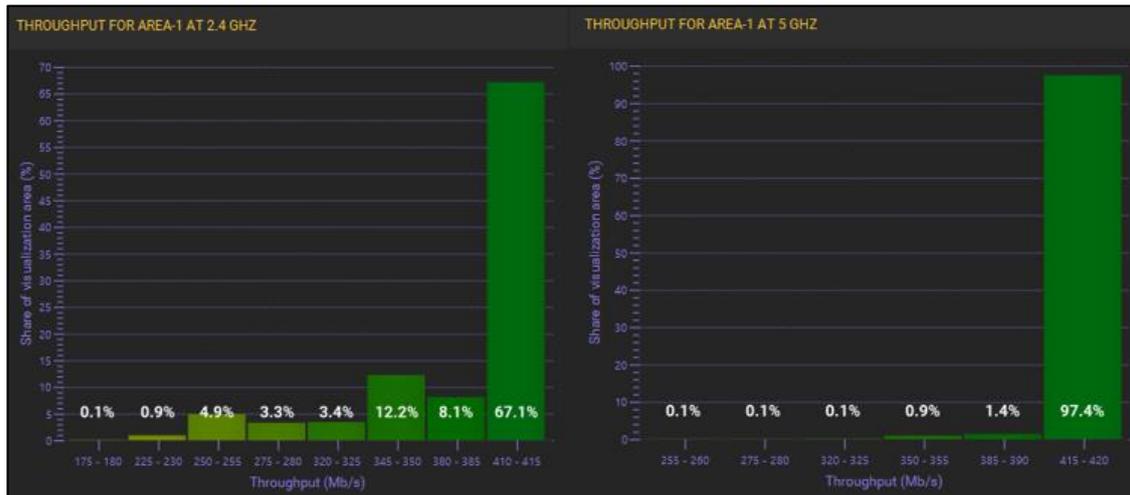


Figura 6.2. Throughput con ancho de canal de 20MHz en las bandas 2.4GHz y 5GHz planta baja.

Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

La figura 6.2 muestra los resultados obtenidos respecto al throughput de la red con un ancho de canal de 20MHz. Con el diseño se obtuvo una mejora significativa en comparación con la situación actual.

- En la banda de 2.4GHz, el throughput es del 67.1%, con 410-415 Mbps sobre toda el área.
- En la banda de 5GHz, se alcanzó un rendimiento del 97.4%, con 415-420 Mbps sobre toda el área.

Estos resultados demuestran un aumento notable en la optimización de la red en comparación con los valores anteriores de la figura 3.8, donde se obtenían throughput de 140-145 Mbps en la banda de 2.4GHz (88.2%) y 240-245 Mbps en la banda de 5GHz (57.9%). La mejora se debe a la mayor cantidad de puntos de acceso (AP) en áreas estratégicas y la tecnología que utilizan, con la ayuda de la herramienta inspect, se verificó que los espacios con mayor beneficios fueron:

- Resistencia de materiales
- Circuitos eléctricos
- Sistemas embebidos
- Aula secundaria de física
- Escaleras

Es importante señalar que, como en los demás casos, los dispositivos deben cumplir con el estándar 802.11ax para garantizar una buena experiencia de usuario.

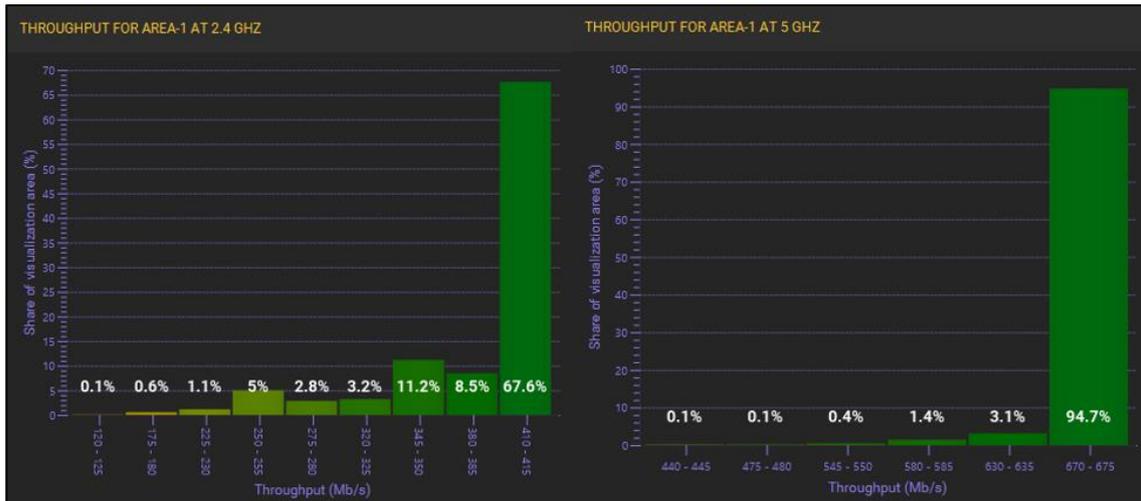


Figura 6.3. Throughput con ancho de canal de 40MHz en las bandas 2.4GHz y 5GHz planta baja.

Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

La figura 6.3 muestra los resultados obtenidos del throughput de la red con un ancho de canal de 40MHz. Con el diseño se obtuvo mejoras en:

- La banda de 2.4GHz, el throughput es del 67.6%, con 410-415 Mbps sobre toda el área.
- La banda de 5GHz, se alcanzó un throughput del 94.7%, con 670-675 Mbps sobre toda el área.

Como se puede observar, se revela un notable incremento en la tasa de transferencia efectiva al utilizar un ancho de canal de 40MHz en la banda de 5GHz. Esta mejora se evidencia al comparar los datos de la figura 6.2 con la figura 6.3, donde se genera un aumento de 410-420 Mbps a 670-675 Mbps en toda el área de cobertura.

Estos hallazgos resaltan la relevancia y el rendimiento destacado de la banda de 5GHz en el estándar 802.11ax. La utilización de un ancho de canal más amplio en esta banda ha permitido optimizar la tasa de transferencia y mejorar la capacidad de la red para enviar y recibir datos de manera más eficiente.

6.3 ANÁLISIS DE COBERTURA DEL BLOQUE C EN LA PLANTA ALTA

A continuación, se presenta los resultados obtenidos para la planta alta:

Tabla 11. Resultados de EKAHAU AI PRO bloque C planta alta

RESULTADOS DE SIMULACIONES CON DIFERENTE ANCHO CANAL			
20MHz		40MHz	
Name (MAC)	AP-BC-FABRICACIÓN	Name (MAC)	AP-BC-FABRICACIÓN
Adapter	CELULARES WIFI 4	Adapter	Generic Laptop
Channel	44	Channel	44
RSSI (dBm)	-33	RSSI (dBm)	-36
SNR	62	SNR	59
Nss	2	Nss	2
Modul. (MCS)	QAM64 (15)	Modul. (MCS)	QAM256 (8)
GI (ns)	400	GI (ns)	400
DR (b/s)	144 M	DR (b/s)	173 M
Max TP (b/s)	107 M	Max TP (b/s)	154 M
Floor	BLOQUE C Planta Alta	Floor	BLOQUE C Planta Alta
Name (MAC)	AP-BC-FABRICACIÓN	Name (MAC)	AP-BC-FABRICACIÓN
Adapter	CELULARES WIFI 5	Adapter	CELULARES WIFI 6
Channel	44	Channel	44
RSSI (dBm)	-33	RSSI (dBm)	-33
SNR	62	SNR	62
Nss	2	Nss	4
Modul. (MCS)	QAM256 (8)	Modul. (MCS)	QAM1024 (11)
GI (ns)	400	GI (ns)	800
DR (b/s)	173 M	DR (b/s)	574 M
Max TP (b/s)	154 M	Max TP (b/s)	418 M
Floor	BLOQUE C Planta Alta	Floor	BLOQUE C Planta Alta
Name (MAC)	Simulated AP-012	Name (MAC)	Simulated AP-012
Adapter	CELULARES WIFI 4	Adapter	Generic Laptop
Channel	116 120	Channel	116 120
RSSI (dBm)	-33	RSSI (dBm)	-36
SNR	59	SNR	56
Nss	2	Nss	2
Modul. (MCS)	QAM64 (15)	Modul. (MCS)	QAM256 (9)
GI (ns)	400	GI (ns)	400
DR (b/s)	300 M	DR (b/s)	400 M
Max TP (b/s)	179 M	Max TP (b/s)	320 M
Floor	BLOQUE C Planta Alta	Floor	BLOQUE C Planta Alta
Name (MAC)	Simulated AP-012	Name (MAC)	Simulated AP-012
Adapter	CELULARES WIFI 5	Adapter	CELULARES WIFI 6
Channel	116 120	Channel	116 120
RSSI (dBm)	-33	RSSI (dBm)	-33
SNR	59	SNR	59
Nss	2	Nss	4
Modul. (MCS)	QAM256 (9)	Modul. (MCS)	QAM1024 (11)
GI (ns)	400	GI (ns)	800
DR (b/s)	400 M	DR (b/s)	1.1 G
Max TP (b/s)	320 M	Max TP (b/s)	672 M
Floor	BLOQUE C Planta Alta	Floor	BLOQUE C Planta Alta

En la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos en el laboratorio de Fabricación, los cuales incluyen las características generales recopiladas durante las simulaciones con anchos de canal de 20MHz y 40MHz. La información se recolectó utilizando el mismo procedimiento de tomar mediciones a una distancia de 5 metros desde el punto de acceso (AP) hasta el usuario; Se destaca el predominio de los dispositivos móviles con Wi-Fi 6, aprovechando los beneficios del estándar 802.11ax en la banda de 5GHz, al igual que en la planta baja. Al comparar la situación actual con el nuevo diseño, se observan diferencias significativas en términos de cobertura en cada laboratorio. A continuación, se muestra las siguientes disparidades:

Tabla 12. Resultados de intensidad de señal bloque c en la planta alta

Comparación intensidad de la señal				
Laboratorio	Intensidad actual	Categorización	Intensidad diseñada	Nueva Categorización
Teoría de control	-37 dBm	Muy bueno	-35 dBm.	Muy bueno
Fabricación	-62 dBm	Moderado	-40 dBm.	Muy bueno
Mecatrónica	-60 dBm	Moderado	-38 dBm.	Muy bueno
Hidráulica	-62 dBm	Moderado	-38 dBm.	Muy bueno
Electrónica de potencia	-58 dBm	Bueno	-37 dBm	Muy bueno
Sala de profesores	-44 dBm	Muy bueno	-36 dBm.	Muy bueno

Fundamentos de telecomunicaciones	-37 dBm	Muy bueno	-35 dBm.	Muy bueno
Escaleras	-62 dBm	Moderado	-40 dBm.	Muy bueno
Neumática	-45 dBm	Muy bueno	-40 dBm.	Muy bueno
Comunicaciones ópticas e inalámbricas	-41 dBm	Muy bueno	-38 dBm.	Muy bueno
Robótica	-49 dBm	Muy bueno	-39 dBm	Muy bueno

La decisión de reutilizar el punto de acceso (AP) en el laboratorio de robótica resultó en una cobertura ideal o "Muy buena" tanto para el laboratorio de industria 4.0 en la planta baja como para el laboratorio de robótica en la planta alta. Los resultados muestran que la intensidad de señal alcanza los -34 dBm y -39 dBm respectivamente, lo que confirma la viabilidad de la decisión tomada.

En los laboratorios de Fabricación, Mecatrónica, Hidráulica, Electrónica de potencia y Teoría de control, se ha observado una mejora significativa en la intensidad de la señal. Esta ha pasado de un nivel "moderado", que causaba interrupciones en el uso de la red, a un nivel "muy bueno" asegurando así un entorno propicio para el desarrollo de actividades y experimentos de manera eficiente.

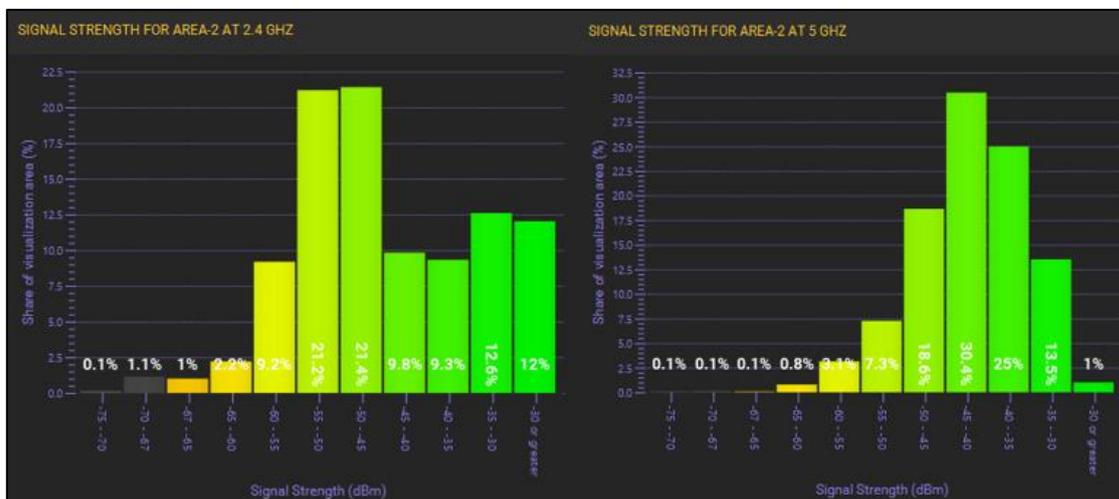


Figura 6.4. Fuerza de señal en la planta alta del Bloque C en las bandas 2.4GHz y 5Ghz.
Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

Para la planta alta se tiene mejoras significativas en ambas bandas. En la banda de 2.4GHz, se ha logrado un cubrimiento total del 65.1% de señal óptima, destacándose una intensidad de 45-40 dBm que abarca toda el área con un porcentaje del 21.9%. Esto representa una mejora notable en comparación con la cobertura en la planta baja según el diseño de la figura 6.1, lo cual indica una red confiable para esta banda.

Por otro lado, en la banda de 5GHz se ha logrado una cobertura totalmente óptima en comparación con la situación actual analizada en la figura 3.7. Anteriormente, se contaba con un 59.5% de señal que cubría mayormente el área (no ideal), pero ahora se ha alcanzado un 88.5% de señal ideal que abarca toda la zona con esta banda, representando un incremento del 48% en la intensidad de señal. Además, es importante resaltar la destacada cobertura de 45-40 dBm, que abarca un porcentaje del 30.4% de toda el área. Esta intensidad de señal óptima refuerza aún más la fiabilidad y calidad de la red en dicha banda.

6.3.1 THROUGHPUT DEL BLOQUE C EN LA PLANTA ALTA

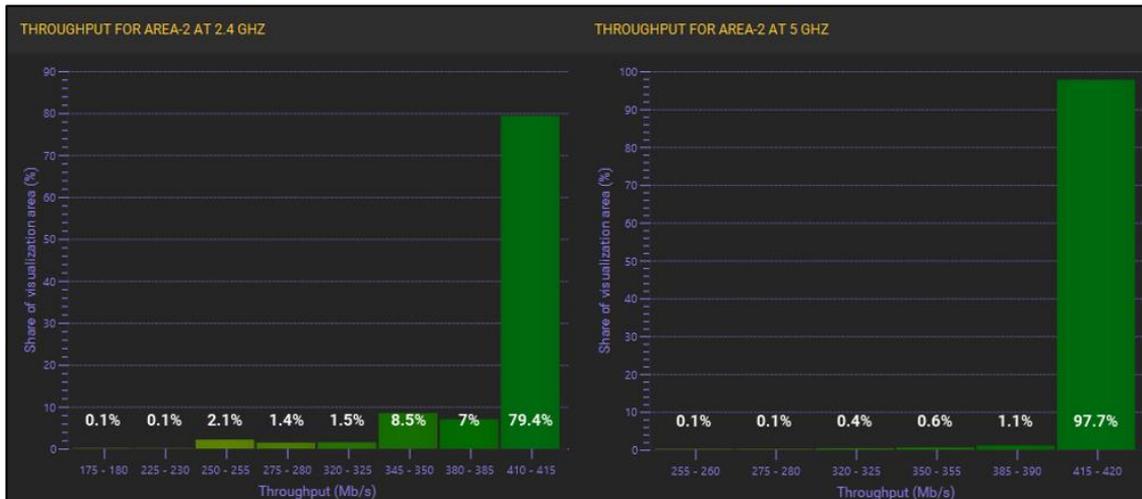


Figura 6.5. Throughput con ancho de canal de 20MHz en las bandas 2.4GHz y 5GHz planta alta.

Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

Para el throughput de la planta alta con ancho de canal de 20 MHz se obtuvieron los siguientes resultados:

- En la banda de 2.4GHz, el throughput es del 79.4%, con 410-415 Mbps sobre toda el área.
- En la banda de 5GHz, se alcanzó un rendimiento del 97.7%, con 415-420 Mbps sobre toda el área.

La información recabada de la planta alta, presentan similitudes con los de la planta baja en cuanto al ancho de canal de 20MHz, pero con diferencias en la cobertura total que abarcan cada uno. Como se puede apreciar en la figura 3.9, la tasa de transferencia efectiva en la situación actual varía entre 105 y 145 Mbps en la banda de 2.4GHz. Sin embargo, con el diseño propuesto se observa una notable mejora en esta banda, alcanzando valores de 410-415 Mbps. Así mismo, en la banda de 5GHz, donde anteriormente se obtenían velocidades de 240-245 Mbps, se logra un throughput de 415-420 Mbps en toda el área.

Estas mejoras son el resultado de la inclusión estratégica de puntos de acceso en áreas específicas donde se requerían. En particular, los laboratorios que han experimentado mayores beneficios son:

- Teoría de control

- Electrónica de potencia
- Hidráulica
- Mecatrónica
- Fabricación

De igual forma es importante destacar que los dispositivos utilizados deben ser compatibles con el estándar 802.11ax para aprovechar al máximo los beneficios que ofrece dicho estándar.

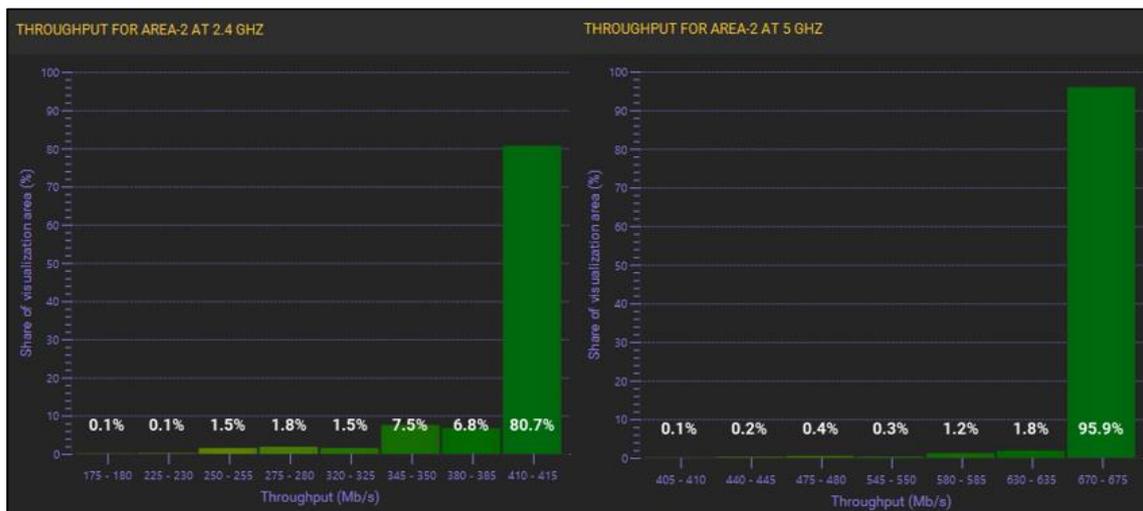


Figura 6.6. Throughput con ancho de canal de 40MHz en las bandas 2.4GHz y 5GHz planta alta.

Elaborado por: Geovanny Jaramillo y Diego Barahona

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir del diseño para cada banda con un ancho de canal de 40 MHz:

- La banda de 2.4GHz, el throughput es del 80.7%, con 410-415 Mbps sobre toda el área.
- La banda de 5GHz, se alcanzó un throughput del 95.9%, con 670-675 Mbps sobre toda el área.

Se observa un notable incremento en el throughput en la banda de 5GHz en comparación con los resultados anteriores. En la figura 6.5 la tasa de transferencia efectiva era de 415-420 Mbps, abarcando un 97.7% de cobertura en toda el área, mientras que ahora se ha alcanzado un rendimiento de 670-675 Mbps, con una cobertura del 95.9% en toda el área. Es importante destacar que en la banda de 2.4GHz, se registra un 14.3% de la señal con velocidades que oscilan entre 345 Mbps y 385 Mbps, lo cual sigue siendo considerado como una buena tasa de transferencia efectiva para la red en general.

6.4 ANÁLISIS DE COBERTURA DEL BLOQUE D EN LA PLANTA BAJA

Con el diseño se logró una mejora de cobertura en la banda de 2.4 y 5GHz. Estos datos revelan las características de los dispositivos de prueba Wi-Fi 4, Wi-Fi 5 y Wi-Fi 6 en comparación con la tecnología 802.11ax. Se destaca una mejora significativa en la cobertura y throughput en la planta baja, especialmente en la banda de 5GHz con la tecnología Wi-Fi6.

Tabla 13. Resultados de EKAHAU AI PRO bloque D planta baja

RESULTADOS DE SIMULACIONES CON DIFERENTE ANCHO CANAL			
20MHz		40MHz	
Name (MAC) AP-BG-LABORATORIO NETWO...	Name (MAC) AP-BG-LABORATORIO NETWO...	Name (MAC) AP-BG-LABORATORIO NETWO...	Name (MAC) AP-BG-LABORATORIO NETWO...
Adapter Generic Laptop	Adapter Profile-10	Adapter CELULARES WIFI 6	Adapter CELULARES WIFI 4
Channel 64	Channel 64	Channel 100 104	Channel 60 64
RSSI (dBm) -34	RSSI (dBm) -31	RSSI (dBm) -31	RSSI (dBm) -30
SNR 61	SNR 64	SNR 61	SNR 62
Nss 2	Nss 2	Nss 4	Nss 2
Modul. (MCS) QAM256 (8)	Modul. (MCS) QAM64 (15)	Modul. (MCS) QAM1024 (11)	Modul. (MCS) QAM64 (15)
GI (ns) 400	GI (ns) 400	GI (ns) 800	GI (ns) 400
DR (b/s) 173 M	DR (b/s) 144 M	DR (b/s) 1.1 G	DR (b/s) 300 M
Max TP (b/s) 154 M	Max TP (b/s) 107 M	Max TP (b/s) 672 M	Max TP (b/s) 179 M
Floor BLOQUE D Planta Baja	Floor BLOQUE D Planta Baja	Floor BLOQUE D Planta Baja	Floor BLOQUE D Planta Baja
Name (MAC) AP-BG-LABORATORIO NETWO...	Name (MAC) AP-BG-LABORATORIO NETWO...	Name (MAC) AP-BG-LABORATORIO NETWO...	Name (MAC) AP-BG-LABORATORIO NETWO...
Adapter Generic Tablet	Adapter Profile-9	Adapter Generic Tablet	Adapter Profile-9
Channel 64	Channel 64	Channel 100 104	Channel 100 104
RSSI (dBm) -36	RSSI (dBm) -31	RSSI (dBm) -36	RSSI (dBm) -31
SNR 59	SNR 64	SNR 56	SNR 61
Nss 2	Nss 4	Nss 2	Nss 4
Modul. (MCS) QAM256 (8)	Modul. (MCS) QAM1024 (11)	Modul. (MCS) QAM256 (9)	Modul. (MCS) QAM1024 (11)
GI (ns) 400	GI (ns) 800	GI (ns) 400	GI (ns) 800
DR (b/s) 173 M	DR (b/s) 574 M	DR (b/s) 400 M	DR (b/s) 1.1 G
Max TP (b/s) 154 M	Max TP (b/s) 418 M	Max TP (b/s) 320 M	Max TP (b/s) 672 M
Floor BLOQUE D Planta Baja	Floor BLOQUE D Planta Baja	Floor BLOQUE D Planta Baja	Floor BLOQUE D Planta Baja

En la Tabla 13 se presentan los datos recopilados utilizando la herramienta "inspect" de Ekahau en el Laboratorio de Networking 3. En el análisis previo de la Figura 3.13, se registraron intensidades de señal superiores a -50 dBm. Estos datos se obtuvieron siguiendo el mismo procedimiento establecido en el Bloque C. En los resultados del diseño se revelan mejoras de cobertura y rendimiento en la planta baja.

En las tablas 14 y 15, se presentan los datos que demuestran que el diseño implementado ha logrado una mejor intensidad de señal en las bandas analizadas. Estos resultados reflejan una mejora significativa en la intensidad de la señal en comparación con el diseño anterior.

En 2.4 GHz

Tabla 14. Resultados de intensidad de señal bloque b en la planta baja

Comparación intensidad de la señal Planta Baja Bloque D				
Laboratorio	Intensidad actual	Categorización	Intensidad diseñada	Nueva Categorización
Laboratorio de Networking 1	-46dBm	Muy bueno	-29 dBm.	Excelente
Laboratorio de Networking 2	-47 dBm	Muy bueno	-29 dBm.	Excelente.
Laboratorio de Networking 3	-54 dBm	Bueno.	-29 dBm.	Excelente.
Computación Avanzada	-55 dBm	Bueno	-30 dBm.	Muy bueno
Mesas:	-40 dBm	Muy bueno	-31 dBm	Muy bueno
Escaleras:	-56 dBm	Bueno	-31 dBm	Muy bueno.

En 5 GHz

Tabla 15. Resultados de intensidad de señal bloque b en la planta baja en 5GHZ

Comparación intensidad de la señal				
Laboratorio	Intensidad actual	Categorización	Intensidad diseñada	Nueva Categorización
Laboratorio de Networking 1	-51 dBm	Muy bueno	-30 dBm.	Muy bueno
Laboratorio de Networking 2	-62 dBm	Moderado	-30 dBm.	Muy bueno
Laboratorio de Networking 3	-71 dBm	Débil	-30 dBm.	Muy bueno
Computación Avanzada	-79 dBm	Débil	-33 dBm.	Muy bueno
Mesas:	-65 dBm	Bueno	-32 dBm	Muy bueno
Escaleras:	-69 dBm	Moderado	-33 dBm	Muy bueno.

Al analizar los datos de la figura 6.7, se observa que la señal más fuerte se encuentra en la banda de 2.4 GHz, con un porcentaje del 27.1%, y se sitúa en el rango de -30 dBm. De cerca le siguen señales de -35 dBm a -30 dBm, con un porcentaje del 22.5%, en comparación con el porcentaje de 0.2 a -30 dBm en la figura 3.14 Sin embargo, en la banda de 5 GHz, la calidad de la señal se degrada debido a su menor alcance. Aquí, el porcentaje alcanza el 24.6%, y se observa una predominancia de señales en el rango de -40 dBm y -45 dBm, en contraste con el 13.2% en el mismo rango de la figura 3. Estos hallazgos indican que la zona de cobertura del diseño abarca una mayor cantidad de señal en esta planta.

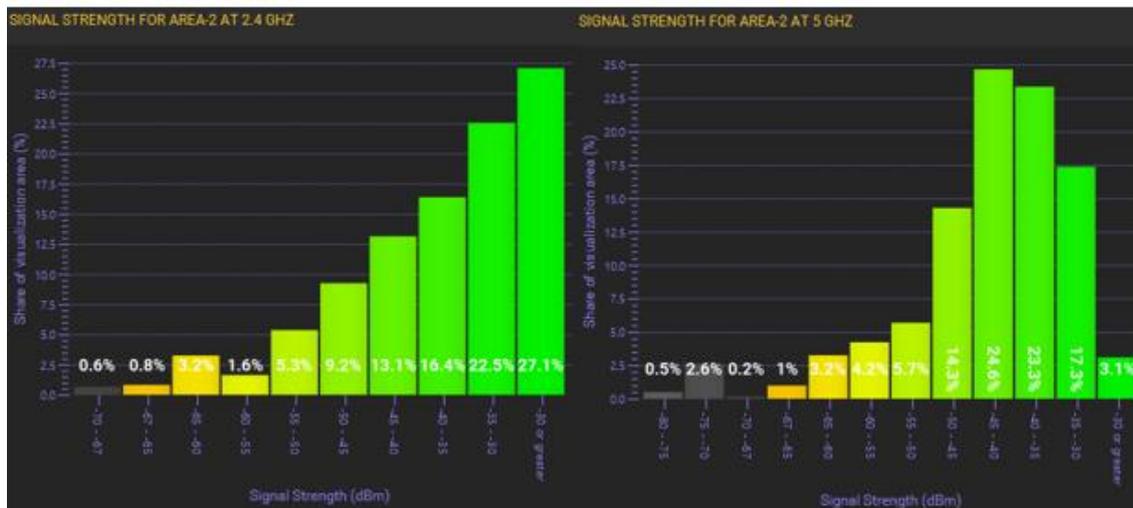


Figura 6.7. Fuerza de señal en la planta baja del Bloque D en las bandas 2.4GHz y 5Ghz.

Elaborado por: Diego Barahona y Geovanny Jaramillo

Al analizar la figura 5.6, se observa el mapa de calor en la planta baja del bloque D, en la banda de 2.4 GHz, se evidencia que logra abarcar una cobertura más amplia en comparación con lo

representado en la figura 3.12; la existencia de varias zonas donde la cobertura no es adecuada para garantizar una experiencia de navegación óptima para los usuarios.

La figura 3.13 ilustra la cobertura en la banda de 5 GHz en la situación actual, revelando que la mayoría de la planta carece de cobertura en esta banda. En contraste, en el análisis de la figura 5.7 del diseño propuesto, se puede observar que la cobertura óptima, cubriendo gran parte de la planta, teniendo mejor navegación para los usuarios.

6.4.1 THROUGHPUT DEL BLOQUE D EN LA PLANTA BAJA

En la figuras 6.8, se observa que con el estándar 802.11ax, el throughput puede alcanzar hasta 415 Mbps en un 92.4% del área total de la planta, lo cual representa una mejora significativa en comparación con la velocidad actual que llega hasta 110 Mbps y cubre un total del 32.3% del área. En la banda de 5 GHz, la situación actual alcanza velocidades de hasta 155 Mbps, cubriendo un total del 45.4%. Sin embargo, este rendimiento es superado por el diseño propuesto, que logra alcanzar de hasta 420 Mbps en un 90% del área total de la planta. Esta mejora se debe a la mayor cantidad de AP's en la planta beneficiando a más áreas.

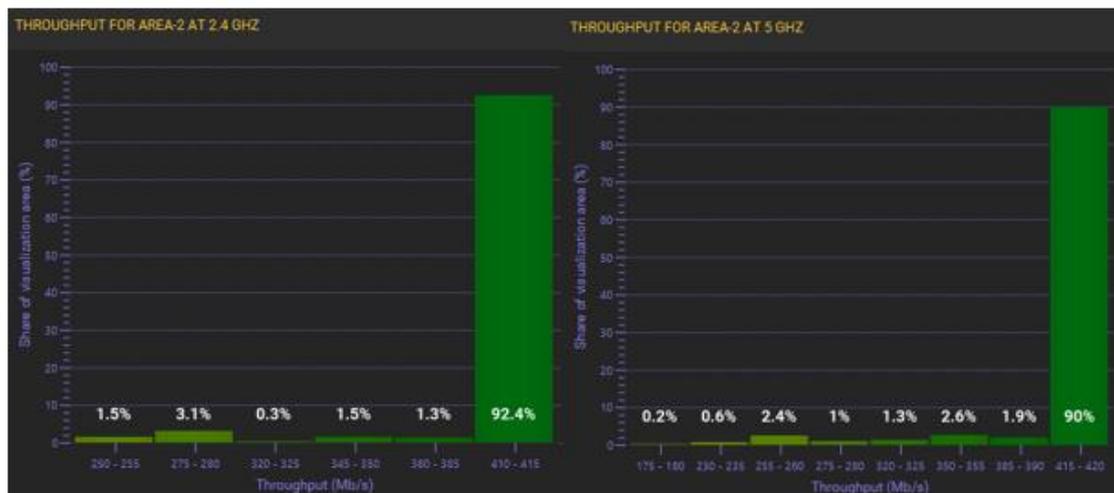


Figura 6.8. Throughput con ancho de canal de 20MHz en las bandas 2.4GHz y 5GHz.

Elaborado por: Diego Barahona y Geovanny Jaramillo

La figura 6.9. Estos resultados revelan y destacan la frecuencias operan con un ancho de canal de 40 MHz, el Throughput mejora aún más. En la banda de 2.4 GHz, puede llegar hasta 660 Mbps, cubriendo un 90.8% del área total de la planta. Mientras tanto, en la banda de 5 GHz, puede alcanzar un rendimiento de hasta 675 Mbps, cubriendo un 88.7% del área total de la planta, en comparación a los datos de la figura 6.2 donde se obtiene un valor 415 en 2.4 y en 5 un total de 420.

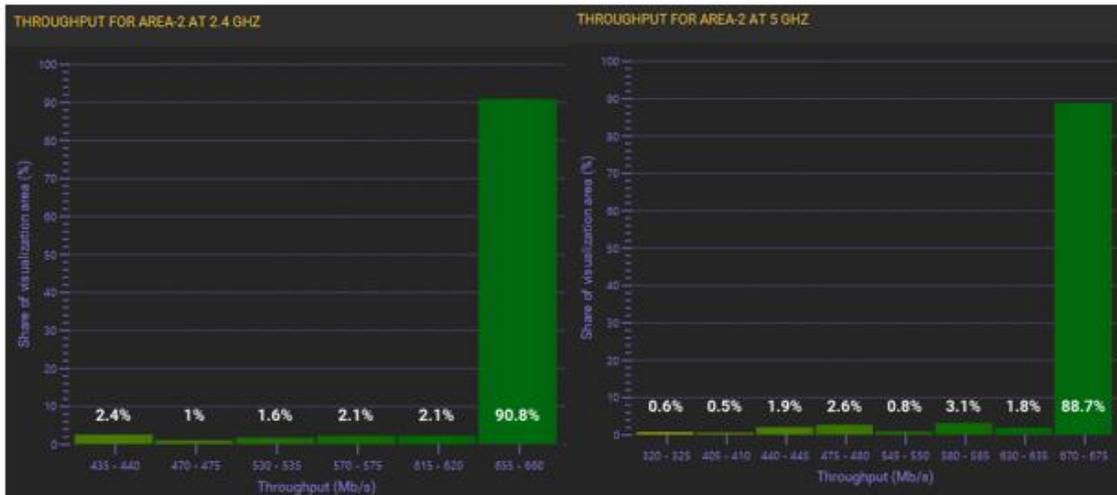


Figura 6.9. Throughput con ancho de canal de 40MHz en las bandas 2.4GHz y 5GHz.
Elaborado por: Diego Barahona y Geovanny Jaramillo

6.5 ANÁLISIS DE COBERTURA DEL BLOQUE D EN LA PLANTA ALTA

Tabla 16. Resultados de EKAHAU AI PRO bloque D planta alta

RESULTADOS DE SIMULACIONES CON DIFERENTE ANCHO CANAL			
20MHz		40MHz	
Name (MAC)	AP-BG-IHM	Name (MAC)	AP-BG-IHM
Adapter	Generic Tablet	Adapter	Generic Laptop
Channel	100	Channel	100
RSSI (dBm)	-42	RSSI (dBm)	-40
SNR	53	SNR	55
Nss	2	Nss	2
Modul. (MCS)	QAM256 (8)	Modul. (MCS)	QAM256 (8)
GI (ns)	400	GI (ns)	400
DR (b/s)	173 M	DR (b/s)	173 M
Max TP (b/s)	154 M	Max TP (b/s)	154 M
Floor	BLOQUE D Primer Alta	Floor	BLOQUE D Primer Alta
Name (MAC)	AP-BG-IHM	Name (MAC)	AP-BG-IHM
Adapter	CELULARES WIFI 4	Adapter	CELULARES WIFI 6
Channel	100	Channel	100
RSSI (dBm)	-37	RSSI (dBm)	-37
SNR	58	SNR	58
Nss	2	Nss	4
Modul. (MCS)	QAM64 (15)	Modul. (MCS)	QAM1024 (11)
GI (ns)	400	GI (ns)	800
DR (b/s)	144 M	DR (b/s)	574 M
Max TP (b/s)	107 M	Max TP (b/s)	418 M
Floor	BLOQUE D Primer Alta	Floor	BLOQUE D Primer Alta
Name (MAC)	AP-BG-IHM	Name (MAC)	AP-BG-IHM
Adapter	CELULARES WIFI 4	Adapter	CELULARES WIFI 5
Channel	124 128	Channel	124 128
RSSI (dBm)	-33	RSSI (dBm)	-33
SNR	59	SNR	59
Nss	2	Nss	2
Modul. (MCS)	QAM64 (15)	Modul. (MCS)	QAM256 (9)
GI (ns)	400	GI (ns)	400
DR (b/s)	300 M	DR (b/s)	400 M
Max TP (b/s)	179 M	Max TP (b/s)	320 M
Floor	BLOQUE D Primer Alta	Floor	BLOQUE D Primer Alta
Name (MAC)	AP-BG-IHM	Name (MAC)	AP-BG-IHM
Adapter	CELULARES WIFI 6	Adapter	Generic Laptop
Channel	124 128	Channel	124 128
RSSI (dBm)	-33	RSSI (dBm)	-36
SNR	59	SNR	56
Nss	4	Nss	2
Modul. (MCS)	QAM1024 (11)	Modul. (MCS)	QAM256 (9)
GI (ns)	800	GI (ns)	400
DR (b/s)	1.1 G	DR (b/s)	400 M
Max TP (b/s)	672 M	Max TP (b/s)	320 M
Floor	BLOQUE D Primer Alta	Floor	BLOQUE D Primer Alta

La Tabla 16 muestra los datos recopilados en el Laboratorio de Interacción Humano-Máquina. En investigaciones anteriores, se observaron niveles de intensidad de señal superiores a -49 dBm, y en la banda de 5 GHz, -50 dBm, como se muestra en las Figuras 5.9 y 5.8. Sin embargo, mediante un diseño mejorado, se logró una cobertura aún mayor en la banda de 2.4 GHz, alcanzando -30 dBm, Este diseño también permitió establecer una cobertura más amplia y estable a -37 dBm en 5 GHz. Los datos se recopilaron utilizando el mismo procedimiento seguido para el bloque C. Estos resultados demuestran que los dispositivos Wi-Fi 6 pueden aprovechar todas las mejoras y características de seguridad de la navegación.

En las tablas 9 y 11, se presentó una comparación de dispositivos que cumplen con el estándar 802.11ax (Wi-Fi 6) en relación con otros estándares anteriores. Ahora, en las tablas 13 y 16, se proporcionará una comparación adicional para ofrecer una visión más completa de las mejoras

y características del estándar 802.11ax. Los dispositivos que no son compatibles con este estándar no pueden aprovechar las mejoras que ofrece Wi-Fi 6, como la implementación de un intervalo de guarda más amplio con valores de 800 ns en comparación con los 400 ns de sus predecesores. Este intervalo de guarda ampliado ayuda a mitigar la interferencia intersimbólica, lo que se traduce en una transmisión más confiable y estable al minimizar la influencia de señales adyacentes.

Además, Wi-Fi 6 utiliza una modulación de mayor orden, como QAM1024, en contraste con las variantes QAM64 y QAM256 utilizadas en Wi-Fi 4 y Wi-Fi 5. Esta funcionalidad permite transmitir una mayor cantidad de bits de datos en cada símbolo transmitido, lo que resulta en una transmisión más eficiente y rápida. Como resultado, se logra una mayor capacidad de transferencia de datos de hasta 1.1 Gb/s y se reduce la latencia de la red, mejorando así la experiencia del usuario en términos de velocidad y respuesta.

En las tablas 17 y 18 se presentan los datos de comparación de la intensidad de la señal en la planta alta del bloque D. Estos datos revelan que el diseño ha logrado mejorar significativamente la intensidad de la señal en esta planta.

En 2.4 GHz

Tabla 17. Resultados de intensidad de señal bloque b en la planta alta

Comparación intensidad de la señal				
Laboratorio	Intensidad actual	Categorización	Intensidad diseñada	Nueva Categorización
Interacción Humano Maquina	-50 dBm	Moderado	-35 dBm.	Muy bueno
Oficina	-49 dBm	Bueno	-30 dBm.	Muy bueno
Auditorio Padre Carollo	-39 dBm	Muy bueno	-30 dBm.	Muy bueno
Loby	-51 dBm	Bueno	-40 dBm	Muy bueno

En 5 GHz

Tabla 18. Resultados de intensidad de señal bloque b en la planta alta en 5 GHz

Comparación intensidad de la señal				
Laboratorio	Intensidad actual	Categorización	Intensidad diseñada	Nueva Categorización
Interacción Humano Maquina	-66 dBm	Moderado	-30 dBm.	Muy bueno
Oficina	-49 dBm	Muy bueno	-43 dBm.	Muy bueno
Auditorio Padre Carollo	-36 dBm	Muy bueno	-28 dBm.	Excelente
Loby	-64 dBm	Moderado	-34 dBm	Muy bueno

En la figura 6.10, se observa que en la banda de 2.4 GHz, hay un 19.8% de intensidad de señal menor a -30 dBm, en comparación con el 0.2% de la situación actual figura 3.15. En la banda de 5 GHz, el porcentaje de intensidad de señal menor a -30 dBm es de 0.7%. muestra un promedio más alto de intensidad de señal menor a -30 dBm. Sin embargo, al concentrarse en un solo punto, existen áreas donde la cobertura no es la adecuada y la señal no llegue de manera óptima. Observando una mejora en el laboratorio IHM, junto a la oficina, donde la señal carecía de fuerza y en la banda 5 GHz la señal era nula

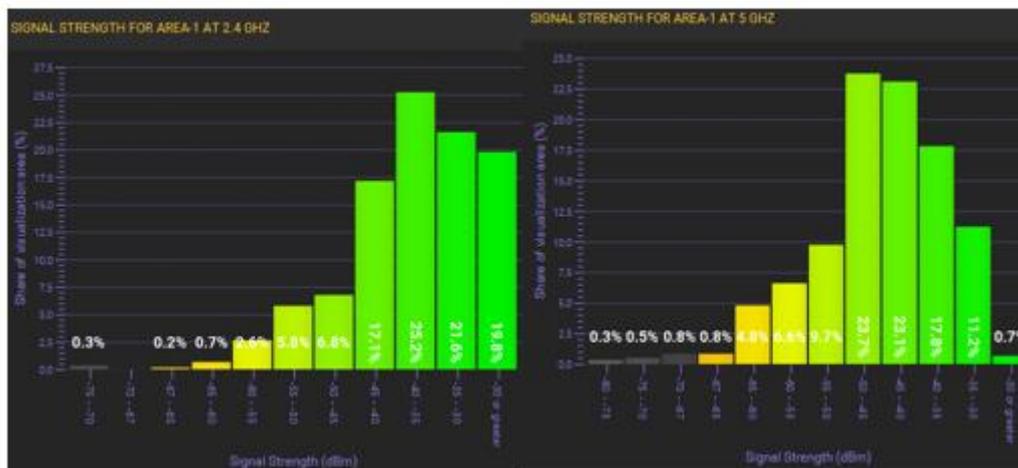


Figura 6.10. Fuerza de señal en la planta alta del Bloque D en las bandas 2.4GHz y 5Ghz.
Elaborado por: Diego Barahona y Geovanny Jaramillo

La figura 3.10 representa la cobertura en la banda de 2.4 GHz en la situación actual, donde se observa claramente que la cobertura para los estudiantes y docentes del laboratorio Interacción Humano Máquina (IHM). Sin embargo, en la figura 5.8 se puede apreciar cómo el mapa de calor cambia notablemente en este laboratorio y en el lobby de la misma planta, mostrando una mejora significativa en la cobertura.

La figura 5.9 muestra la cobertura en la banda de 5 GHz, y se puede observar que el mapa de calor abarca una zona mucho más amplia en comparación con lo representado en la figura 3.11, se destaca la excelente cobertura en el Auditorio Padre Carollo, sin embargo, se evidencia una falta de cobertura en esta banda en el laboratorio IHM. Esta limitación en la cobertura afecta la experiencia de navegación de los estudiantes y docentes que utilizan esta área.

6.5.1 THROUGHPUT DEL BLOQUE D EN LA PLANTA ALTA

La figura 6.11, muestra los resultados de throughput del diseño, evidenciando un mejor rendimiento en comparación con la situación actual. En la banda de 2.4 GHz, se alcanza un throughput de 415 Mbps, cubriendo un área del 93.6%. Por otro lado, en la banda de 5 GHz, se obtiene un throughput de 420 Mbps, con una cobertura del 88.8%. Estos valores representan una mejora significativa en comparación con la situación actual, donde en la banda de 2.4 GHz se logra un throughput de 115 Mbps, cubriendo el 54% del área total, mientras que en la banda de 5 GHz se obtiene un throughput de 115 Mbps, cubriendo el 53.2% del área total

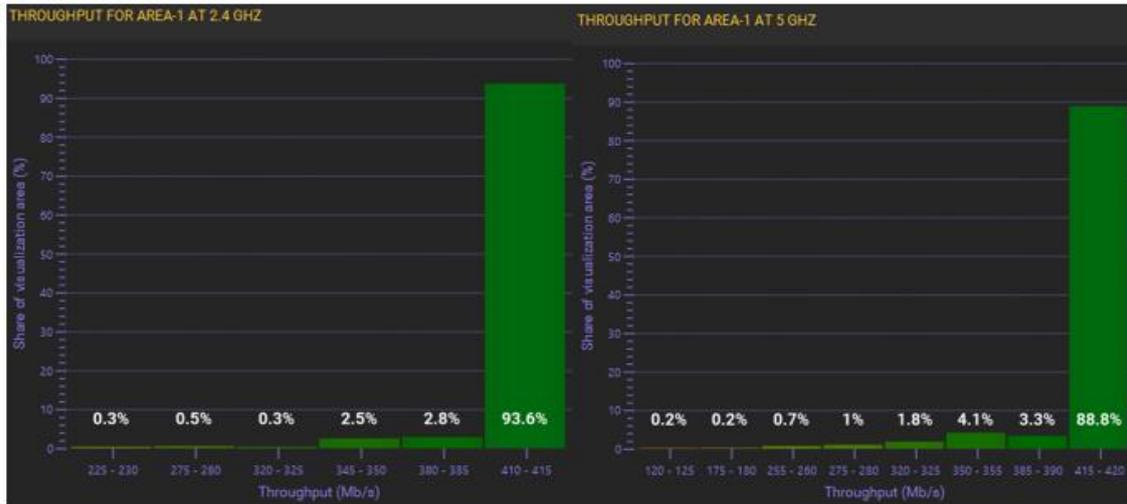


Figura 6.11. Throughput con ancho de canal de 20MHz en las bandas 2.4GHz y 5GHz.
Elaborado por: Diego Barahona y Geovanny Jaramillo

En la figura 6.12, se observa que las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz están operando con un ancho de canal de 40 MHz, lo cual permite alcanzar un throughput de 660 Mbps y 675 Mbps respectivamente. Este rendimiento representa una mejora significativa en comparación con los resultados mostrados en la figura 5, donde el throughput alcanza los 415 Mbps en la banda de 2.4 GHz y 420 Mbps en la banda de 5 GHz

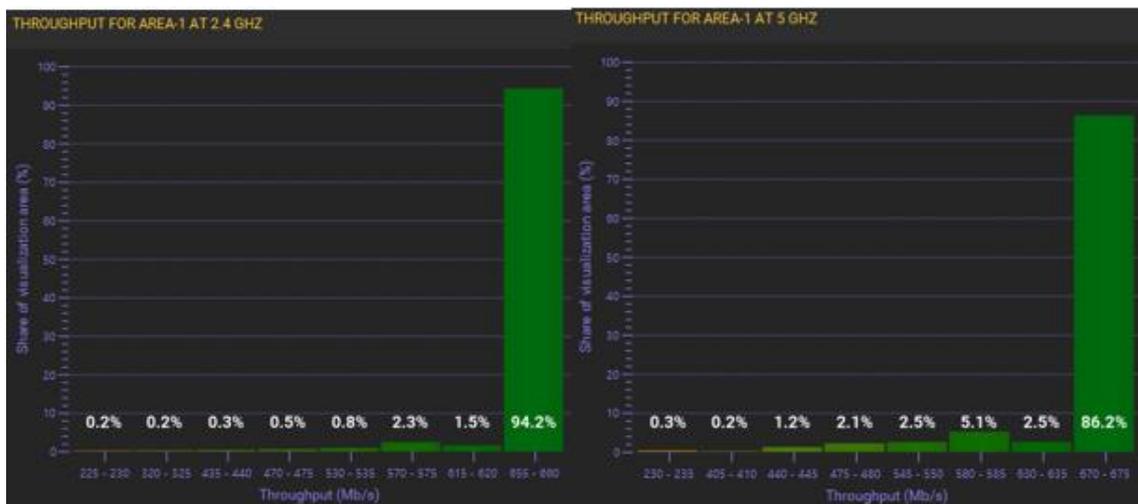


Figura 6.12. Throughput con ancho de canal de 40MHz en las bandas 2.4GHz y 5GHz.
Elaborado por: Diego Barahona y Geovanny Jaramillo

Estas mejoras fijan una conectividad confiable en todas las aulas, pasillos y áreas comunes, permitiendo a los estudiantes y al personal pueda aprovechar al máximo las herramientas y servicios digitales gracias a la ubicación de nuevos puntos de accesos, cubriendo áreas donde antes la señal no era óptima.

CAPÍTULO VII

7.1 CONCLUSIONES

- La tecnología Wi-Fi 6 (802.11ax) ha demostrado un notable cambio en el throughput del bloque C en comparación con la tecnología Wi-Fi 5(802.11ac) de la situación actual. Específicamente, se destaca su desempeño óptimo en la banda de 5GHz; mientras que con Wi-Fi 4 y Wi-Fi 5 se obtenían tasas de transferencia efectiva de hasta 245 Mbps, ahora con el estándar Wi-Fi 6 se logra un throughput de 672 Mbps en esta banda, acompañado de una data rate de 1.1 Gbps en un entorno de máxima densidad. No obstante, cabe recalcar que, aunque el estándar es retro compatible con las versiones anteriores, los dispositivos más antiguos no pueden aprovechar plenamente los beneficios como lo hacen los dispositivos de la misma tecnología.
- En la situación actual, la tasa de transferencia efectiva cubre alrededor del 64.95% de todo el bloque C. Sin embargo, al implementar el diseño 802.11ax con un ancho de canal de 20MHz, los valores de cobertura aumentaron significativamente a un impresionante 97.55% del bloque y en las pruebas con un ancho de canal de 40MHz, se logró un cubrimiento del 95.3% del área total del bloque evidenciando una clara mejora. No obstante, la banda de 2.4GHz no experimentó mejoras significativas; con una cobertura actual del 75.85%, el diseño de 20MHz y 40MHz mostró una ligera disminución a 73.25% y 74.15%, respectivamente. Estos resultados confirman el éxito de la implementación del diseño 802.11ax en la mejora de la cobertura de la red inalámbrica en el bloque C.
- Tras analizar la compatibilidad de los protocolos de seguridad WPA2 y WPA3 con el estándar 802.11ax, se concluye que, en el Campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana, resulta más práctico y económico mantener WPA2 en el diseño de la red 802.11ax. Esto se debe a la gran cantidad de dispositivos compatibles con WPA2 en los bloques C y D, así como a su sólido cifrado y autenticación que garantiza un nivel adecuado de seguridad. Aunque WPA3 ofrece mejoras adicionales, su limitada compatibilidad con dispositivos que no sean de la misma tecnología plantea una desventaja. Mantener el mismo proceso de autenticación garantiza una experiencia de usuario sin afectaciones innecesarias.
- Los resultados obtenidos durante las pruebas de throughput utilizando anchos de canal de 20MHz y 40MHz en los bloques C y D, tanto en la planta baja como en la planta alta, demuestran una mejora significativa en la capacidad de transmisión de datos en la banda de 5GHz. Los valores registrados de 410 Mbps a 420 Mbps para el ancho de canal de 20MHz y de 410 Mbps a 675 Mbps para el ancho de canal de 40MHz indican que a medida que se incrementa el ancho de canal, se logra una mayor eficiencia en la transmisión de datos dando como resultado una mejora significativa por encima de las tasas de transmisión de la situación actual que son de 140 – 245 Mbps. Estos resultados respaldan la importancia de considerar y optimizar el ancho de canal en la configuración de redes inalámbricas, especialmente en la banda de 5GHz, para garantizar un rendimiento ideal y una mejor experiencia de conectividad.
- Se ha propuesto un diseño que ha logrado mejorar significativamente la cobertura de la señal Bloque D, mejorando la intensidad de la señal en ambas plantas donde existe

lugares que la señal tiene poca intensidad o es nula, como es el caso de dos laboratorios de Computación Avanzada e IHM, donde en estos laboratorios se tiene una intensidad de señal de -55 dBm en la banda 2.4 GHz y 5 GHz -79 dBm, en el laboratorio de IHM en la frecuencia 2.4 GHz se tiene una intensidad de -50 dBm y en 5 GHz -66 dBm, demostrando que la cobertura en esos lugares es muy baja. Sin embargo el proyecto ayuda a mejorar la intensidad en estas zonas y otras áreas del bloque, donde pasan a tener intensidades buenas o excelentes intensidades como en el caso de los laboratorios mencionados donde cambian de señal, en 2.4 GHz se tiene -30 dBm y -35dBm, en 5 GHz -33 dBm y -30 dBm respectivamente. Estas comparaciones indican claramente que la cobertura y mapa de calor, se han mejorado considerablemente, lo que contribuye a ofrecer a los usuarios una experiencia mucho más satisfactoria.

7.2 RECOMENDACIONES

- La velocidad final experimentada por un cliente no solo se ve afectada por la capacidad de conexión, sino también por el sistema de distribución. Aunque se disponga de la tecnología Wi-Fi 6, si el sistema de distribución está limitado a 100 Mbps, ese será el máximo rendimiento que el equipo pueda alcanzar debido a sus características tecnológicas o configuración. Esto implica que se requiere una migración hacia equipos de mayor gama en los puntos intermedios de la red (switch, core, WLC, router), ya que la tecnología 802.11ax tiene la capacidad de transportar una mayor cantidad de información y, por lo tanto, requiere equipos que cumplan con las características necesarias para aprovecharla plenamente.
- Al utilizar la EWC (Embedded Wireless Controller), se recomienda asignar nombres diferentes a las redes en comparación con las redes existentes. Esto se debe a que no es posible tener controladoras diferentes con el mismo SSID. Si los dispositivos intentan realizar roaming entre diferentes controladoras y se encuentran en VLANs diferentes pero con nombres de red iguales, el proceso de roaming no será exitoso.
- Antes de llevar a cabo la implementación completa de este diseño de red, se recomienda realizar pruebas físicas adicionales para evaluar la ubicación estratégica de los puntos de acceso. Estas pruebas permitirán obtener una mayor precisión en la determinación de las ubicaciones de los AP, considerando factores como la propagación de la señal, la interferencia y la capacidad de cobertura en áreas específicas.

REFERENCIAS

- [1] Cisco, (2014). Casos de uso de clientes de 802.11ac. Revisado febrero 13, de 2023 cisco.com enlace: https://www.cisco.com/c/dam/r/es/la/internet-of-everythingioe/assets/pdfs/c45_729588_01_802_11ac_customer_use_cases_aag_v1a_esxl.pdf
- [2] José Antonio Castillo. (2019, enero 25). 802.11ax vs 802.11ac, características y rendimiento. Revisado febrero 14, 2023, de Profesional Revisado de enlace: <https://www.profesionalreview.com/2019/01/25/802-11ax-vs-802-11ac/#:~:text=tener%20en%20cuenta,-,Velocidad%20de%20802.11ax%20frente%20a%20802.11ac,ya%20que%20trabaja%20en%20ambas.>
- [3] Sánchez, D. (2020, marzo 10). Wi-Fi 6 - Todo lo que tienes que saber de 802.11ax. Revisado febrero 15, 2023, de Ita.tech enlace: <https://info.ita.tech/blog/todo-lo-que-tienes-que-saber-de-wifi6-802.11ax>
- [4] H. Labiod, H. Afifi y C. de Santis, libro "Wi-Fi™, Bluetooth™, Zigbee™ and WiMax™". Springer,2007.
- [5] Salazar, J. (n.d.). REDES INALÁMBRICAS. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf
- [6] Redes inalámbricas para educación | Magotic. (2021, April 5). Magotic. <https://magotic.es/redes-inalambricas-educacion>
- [7] López Ortiz, F. (n.d.). El estándar IEEE 802.11 Wireless LAN. <https://www.dit.upm.es/~david/tar/trabajos2002/08-802.11-Francisco-Lopez-Ortiz-res.pdf>
- [8] Estándar IEEE 802.11 | Centro de Educación Virtual. (2023). Puce.edu.ec. <https://puceapex.puce.edu.ec/web/cev/estandar-ieee-802-11/>
- [9]Peralta, J. A. (2014). IEEE 802.11 ac. Editorial Universidad Católica" Nuestra Señora de la Asunción, 27. Revisado febrero 20, de Peralta, J. A. (2014).
- [10] De, R., Elevado, Alejandro, I., Torres, T., Ciro, I., & García, D. (n.d.). UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8185/1/%E2%80%99CAN%C3%81LISIS%20Y%20SIMULACI%C3%93N%20DEL%20EST%C3%81NDAR%20802.11AX%20PARA%20EVALUAR%20EL%20RENDIMIENTO%20DE%20DESPLIEGUES%20WLAN%20EN%20ESCENARIOS%20CON%20TR%C3%81FICO%20DE%20RED%20ELEVADO%E2%80%99D.pdf>
- [11] WiFi 6: Evolución del estándar IEEE 802.11ax y ventajas - Comunidad Huawei Enterprise. (2023). Revisado febrero 20, 2023, de Comunidad Huawei Enterprise Enlace: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/wifi-6-evoluci%C3%B3n-del-est%C3%A1ndar-ieee-802-11ax-y-ventajas/thread/733035-100239>

- [12] Servicio en redes Wi Fi.”, T. “métodos de A. al M. P. L. C. (s/f). Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica. Recuperado el 14 de abril de 2023, de Edu.cu website: <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/9817/Alejandro%20Cabrera%20R%20ados.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [13] Kevin Machado. “Análisis mediante simulación de la distribución de subportadoras de un sistema OFDMA con el algoritmo geometric wáter-filling utilizando Matlab”, página 10, Quito, 2020.
- [14] WLAN 802.11ax acelera la comunicación en escenarios multiusuario, Revisado febrero 20, de cdn.rohde-schwarz.com enlace: https://cdn.rohde-schwarz.com/magazine/pdfs_1/article/217/spanish_19/NEWS_217__02_WLAN802_11ax__es.pdf
- [15] Vista de OFDMA para Sistemas de Banda Ancha Inalámbrica | Prisma Tecnológico. (2023). Revisado febrero 20, 2023, de [Utp.ac.pa](https://revistas.utp.ac.pa) enlace: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/416/html#:~:text=A%20diferencia%20de%20OFDM%20que,una%20falla%20en%20cualquier%20aplicaci%C3%B3n>.
- [16] ¿Qué es el WiFi 6 (802.11ax) y por qué es importante? | Comunidad FS. (2021). Retrieved February 20, 2023, from Knowledge website: <https://community.fs.com/es/blog/wifi-6-technology-introduction-and-application.html>
- [17] Morales, L., & Jerson, A. (n.d.). 2021. “Análisis, implementación y evaluación del desempeño del estándar IEEE 802.11 ax en escenarios reales y simulados”
- [18] Target Wake Time Target Wake Time Extended Power-Savings Using Target Wake Time. (n.d.). Retrieved from https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/controller/9800/17-2/config-guide/b_wl_17_2_cg/target_wake_time.pdf
- [19] TP-Link. (2023). Retrieved February 21, 2023, from TP-Link website: <https://www.tp-link.com/ar/wifi6/>
- [20] Target Wake Time - Comunidad Huawei Enterprise. (2023). Retrieved February 21, 2023, from Comunidad Huawei Enterprise website: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/target-wake-time/thread/1028106-100239>
- [21] Narváez Sandra, Quito, 2015. “Estudio de QoS en el estándar IEEE 802.11e y alternativas de seguridad para las redes locales inalámbricas aplicado en la WLAN de la Universidad Politécnica del Carchi.”
- [22] Luis Jefferson Villacis Naranjo, Guayaquil-Ecuador, 2018. “Diseño de una Red Inalámbrica basada en la Norma 802.11 ac para un Centro Comercial de Guayaquil en el 2018”.
- [23] Jaime Uriel González Villalobos, “Comparación entre el Estándar IEEE 802.11ax y el estándar IEEE 802.11ac para determinar la evolución del rendimiento de las Redes de Área Local Inalámbricas (WLAN)”, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá – Colombia, 2020.

- [24] Patiño Hinojosa, R. F., & Pozo Vallejo, B. A. (2022). Análisis de rendimiento del estándar 802.11 ax aplicando OFDMA mediante software de simulación.
- [25] UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA. (n.d.). Retrieved June 16, 2023, from https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/DGB_UNAM/TES01000632778/3/0632778.pdf
- [26] Gonzalez Villalobos, J. U. (2020). Comparación entre el Estándar IEEE 802.11 ax y el estándar IEEE 802.11 ac para determinar la evolución del rendimiento de las Redes de Área Local Inalámbricas (WLAN).
- [27] Ilimit Terrassa, Barcelona (2021). “¿Qué es Wifi 6? ¿Conoces las ventajas de Wifi 6?”, Revisado Febrero 19, de [ilimit.com](https://www.ilimit.com/blog/wifi-6-ventajas/) enlace: <https://www.ilimit.com/blog/wifi-6-ventajas/>
- [28] Point, A. (2021, October 26). ¿Qué es Wifi 6? Características, ventajas y desventajas. Access Point. <https://accesspointcorp.com/blog/que-es-wifi-6-como-funciona/>
- [29] COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN- La situación de las Tecnologías WLAN basadas en el estándar IEEE 802.11 y sus variantes. Revisado febrero 20, de COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN enlace: https://www.coit.es/sites/default/files/informes/pdf/la_situacion_de_las_tecnologias_wlan_basadas_en_el_estandar_ieee_802.11_y_sus_variantes_wi-fi.pdf
- [30] Magic Quadrant | Gartner | España. (2022). Gartner. Revisado Junio, 26 2023 de, <https://www.gartner.es/es/metodologias/magic-quadrant>
- [31] Juniper Networks. (2022). Juniper Networks; Juniper Networks. Revisado Junio, 26 2023 de, <https://www.juniper.net/mx/es/forms/gartner-2022-mq-wired-wireless.html>
- [32] Cisco Embedded Wireless Controller on Catalyst Access Points. (2023, January). Cisco. <https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/embedded-wireless-controller-on-catalyst-access-points/index.html>
- [33] Analyzing the Cisco Enterprise Campus Architecture | Introduction to Enterprise Campus Network Design. (2023). [Ciscopress.com. https://www.ciscopress.com/articles/printerfriendly/1608131](https://www.ciscopress.com/articles/printerfriendly/1608131)
- [34] Convert Catalyst 9100 Access Points to Embedded Wireless Controller. (2023, March). Cisco. <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/wireless/embedded-wireless-controller-on-catalyst-access-points/215303-embedded-wireless-controller-conversion.html#toc-hId-1852121793>
- [35] Campus LAN and Wireless LAN Solution Design Guide. (2021, May). Cisco. <https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/CVD/Campus/cisco-campus-lan-wlan-design-guide.html#Accesslayer>
- [36] Cisco Embedded Wireless Controller on Catalyst Access Points Configuration Guide, IOS XE Bengaluru 17.6.x - Configuring Local Area Bonjour for Embedded Wireless Controller Access Point Mode [Cisco Embedded Wireless Controller on Catalyst 9115AX Access Points].

(2023, April). Cisco. https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/controller/ewc/17-6/config-guide/ewc_cg_17_6/m_local_area_bonjour_ewc_ap_mode.html

[37] Ekahau. (2023, January 12). Ekahau. <https://www.ekahau.com/>

[38] Akin, D. (2018, February 9). Wi-Fi Throughput – Divergent Dynamics. Divdyn.com. <https://divdyn.com/wi-fi-throughput/>

[39] Cómo medir la atenuación de las paredes y muros en diseños de redes Wi-Fi - Ayscom. (2021, December 22). Revisado 14/07/2023 de Ayscom, Enlace: <https://www.ayscom.com/como-medir-la-atenuacion-de-las-paredes-y-muros-en-disenos-de-redes-wi-fi-sin-cometer-errores/>

[40] Morelo, D. (2023, July 12). Revisado 10 de Julio 2023 de Open-source framework for publishing content. NetSpot; Netspotapp software. Enlace: <https://www.netspotapp.com/es/wifi-signal-strength/wifi-signal-strength-and-its-impact.html>