



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

**MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN
MENCIÓN REDES DE COMUNICACIONES**

**DISEÑO Y PROPUESTA DE UNA RED WLAN CON INTEGRACIÓN DE
TECNOLOGÍA DE INTERNET DE LAS COSAS IoT PARA EL HOTEL RÍO SUITES**

SILVANA ALEXANDRA ARÉVALO CARLOSAMA

Director: DR. EDISON JAVIER GUAÑA MOYA

QUITO - ECUADOR

Marzo - 2022

APROBACIÓN DEL DIRECTOR

Como director del trabajo de titulación DISEÑO Y PROPUESTA DE UNA RED WLAN CON INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍA DE INTERNET DE LAS COSAS IOT PARA EL HOTEL RÍO SUITES desarrollado por Silvana A. Arévalo C., estudiante de la Maestría en Informática y Redes de Información, luego de supervisar la finalización del trabajo y realizado las correcciones respectivas, Apruebo la redacción final del documento escrito para continuar con los trámites correspondientes para sustentar la defensa oral.

Dr. Edison Javier Guaña Moya
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Silvana A. Arévalo Carlosama , declaro bajo juramento que el trabajo aquí presentado es de mi responsabilidad; que no ha sido presentado previamente para otro grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas incluidas en el documento.

Silvana A. Arévalo Carlosama

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de titulación no habría sido posible sin el respaldo de mi familia, por su comprensión, incentivo constante, y apoyo incondicional a lo largo de mis estudios. A Lenin, quien con mucho cariño me ha apoyado siempre en cada nuevo reto de mi vida. A mi Director, quien ha sido un apoyo importante en la realización de esta tesis.

DEDICATORIA

Este trabajo, que fue fruto de esfuerzo y constancia, va dedicado a Vicente y Piedad, mis padres; quienes con amor inculcaron en mí el deseo de triunfar y superarme, ejerciendo los valores éticos que cada día me permiten ser mejor profesional. A Lenin, Edith, Cecilia, Raysa, Carolina, Zoila, Guadalupe, Ernesto, Jairo, Aryana, Mathyas, por brindarme su amor, apoyo, comprensión y solidaridad en cada nuevo reto de mi vida.

Resumen

El presente trabajo de investigación desarrolla el diseño de una red inalámbrica que integra internet de las cosas para el Hotel Río Suites. Para solucionar el problema se utiliza la metodología de *design science research* y *packet tracer* para el diseño y simulación de la red. Los resultados de simulación muestran que es factible integrar el IoT en el hotel con la configuración de equipos presentada en este trabajo con una estabilidad de la comunicación del 90% y una cobertura total de la superficie de éste. Finalmente, se realiza un estudio de costo de los recursos necesarios para la implementación futura de este proyecto.

Palabras clave: iot, wi-fi, redes inalámbricas, design science research, simulación, packet tracer, hospedaje inteligente, edificios inteligentes

Abstract

This research work consists in the design of a wireless network that integrates the Internet Of Things (IoT) for the Río Suites Hotel. The Design Science Research methodology and Packet Tracer are used for the design and simulation of the network in order to accomplish the research goals. Simulation results show that it is feasible to integrate the IoT in the wireless network of the hotel by using the configuration presented in this work with a stability of 90% in wireless communication and the total coverage of the surface. Finally, a cost study of the necessary resources to deploy the solution in the future is also carried out.

Keywords: iot, wi-fi, wireless networks, design science research, simulation, packet tracer, smart hospitality, smart buildings

Índice general

Resumen	I
Abstract	II
Índice de figuras	V
Índice de tablas	VII
Índice de scripts	VIII
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación	4
1.3. Planteamiento del Problema	5
1.3.1. Preguntas de Investigación	7
1.4. Objetivos de la Investigación	8
1.4.1. Objetivo General	8
1.4.2. Objetivos Específicos	8
1.5. Aportes y Alcances del Trabajo	8
1.6. Contribuciones al conocimiento	9
1.7. Resumen de Capítulos de esta Tesis	10
2. Marco Conceptual y Trabajos Relacionados	12
2.1. Introducción	12
2.2. Internet de las Cosas IoT	13
2.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL IoT	14
2.2.2. Plataformas de desarrollo de IoT	16
2.3. Edificios Inteligentes	16
2.3.1. El Hotel Río Suites como Smart Building	18
2.4. Redes Inalámbricas	19
2.4.1. Topologías de Red	20
2.4.1.1. Topología Estrella	20
2.4.1.2. Topología Mesh	21
2.4.2. Protocolos de Redes Inalámbricas	23

2.5.	Redes Wi-Fi en Hoteles	25
2.5.1.	Instalación de WLAN en Hoteles	27
2.5.1.1.	Tipos de Hoteles	28
2.5.1.2.	Localización de Hoteles	28
2.5.1.3.	Tipos de Instalaciones de Wi-Fi en Hoteles	29
2.5.2.	Mejores Prácticas de Diseño de WLAN en Hoteles	33
2.5.2.1.	Determinar los requerimientos y limitaciones del Hotel	33
2.5.2.2.	Wi-Fi Site Survey	35
2.5.2.2.1.	Site Survey Predictivo	36
2.5.2.2.2.	Site Survey de Pre-Despliegue en Sitio	36
2.5.2.2.3.	Survey de Post-Despliegue	36
2.5.2.3.	Selección de Access Points	37
2.5.2.3.1.	Selección de Canales de Transmisión:	38
2.5.2.3.2.	Potencia de Transmisión TR_x :	41
2.5.2.4.	Monitoreo Control y Seguridad de la Red	41
2.5.2.4.1.	Segmentación de Tráfico	43
2.5.2.4.2.	Virtual local area networks (VLAN)	43
2.5.2.4.3.	Role-based access control (RBAC)	45
3.	Propuesta de Diseño	46
3.1.	Introducción	46
3.2.	Design Science Research (DSR)	47
3.2.1.	Ciclos y Etapas de DSR	48
3.3.	Diseño y Desarrollo	51
3.3.1.	Metodología	51
3.3.1.1.	Observación	52
3.3.2.	Cobertura de Red WLAN	56
3.3.2.1.	Site Survey Predictivo	56
3.3.2.2.	Site Survey Predictivo de Exteriores	57
3.3.2.3.	Site Survey Predictivo de Habitaciones	59
3.3.3.	Diseño de Red IoT del Hotel Río Suites Inteligente	60
3.3.3.1.	Segmentación de Red (VLAN)	61
3.3.3.2.	Seguridad de Red	70

3.3.3.3. Inteligencia de Red Wireless LAN Controller y Access Points	71
3.3.3.4. Configuración IoT	79
3.4. Evaluación y Demostración	93
3.4.1. Pruebas de Conectividad	95
3.4.2. Prueba de Alcance de Red y Cobertura de Equipos	99
3.4.3. Pruebas de Red IoT	100
4. Gestión del Proyecto	104
4.1. Introducción	104
4.2. Gestión de Involucrados (stakeholders)	105
4.3. Estructura analítica del proyecto	107
4.3.1. Gestión del Tiempo	110
4.3.2. Gestión de Costos	112
5. Conclusiones y Recomendaciones	117
5.1. Introducción	117
5.2. Discusión y Conclusiones	118
5.3. Recomendaciones y trabajos futuros	121

Índice de figuras

1.	Vista Satelital de Hotel Río Suites	6
2.	Topología Estrella	21
3.	Topología Mesh	22
4.	Evolución de Wi-Fi en el área	26
5.	Huawei AP2030 Wall Plate Access Point	31
6.	Comparación de Cobertura y Superposición de Canales entre ubicación de APs interna y en los pasillos	32
7.	Disponibilidad de Canales no superpuestos en <i>2,4 GHz</i> y <i>5 GHz</i>	38
8.	Planificación de Canales en <i>2,4 GHz</i> y <i>5 GHz</i>	40
9.	Conexión Radius	42
10.	Redes Virtuales de Área Local para Segmentación de Red y Usuarios	44
11.	Control de Accesos basado en Roles	45
12.	Ciclos de Design Science Research	48
13.	Proceso de Design Science Research	49
14.	Metodología para el Diseño de la red IoT	51
15.	Site Survey en Exteriores del Hotel Río Suites	53
16.	Site Survey en Interiores del Hotel Río Suites	54
17.	Velocidad de la Red NETLIFE-RIO	55
18.	Site Survey Predictivo Exteriores Hotel Río Suites	58
19.	Site Survey Habitaciones Planta Baja	59
20.	Esquema Lógico de Red Río Suites	61
21.	Verificación de Enrutamiento Intra VLAN	65
22.	Router Cisco 2911	65
23.	Switch Cisco Catalyst 3650	66
24.	Configuración de Autenticación Radius en Servidor (Packet Tracer)	71
25.	Controlador de red inalámbrica WLC 2504	72

26.	Dashboard del WLC-2504	73
27.	Interfaces de Red Inalámbrica	74
28.	Interfaz Huésped	75
29.	Configuración de Redes Inalámbricas	76
30.	Conformación de Grupos de AP para distribución de redes inalámbricas en el Hotel Río Suites en el WLC-1	77
31.	<i>GrupoPB₂</i> organiza la asignación de APs y redes inalámbricas específicas	78
32.	Dispositivos IoT y Control Local de Habitación	80
33.	Sistema de Login de Huésped del Hotel Río Suites	86
34.	Sistema de Control Local de Habitación Huésped 101	87
35.	Esquema de Red IoT Planta Baja	90
36.	Configuración de Servidor de Registro para Monitoreo de Dispositivo IoT	91
37.	Supervisión y control remoto de dispositivos IoT. Se dispone de acceso a todos los sensores/actuadores conectados a la red.	92
38.	Esquema Lógico de Red Hotel Río Suites	94
39.	Simulación de PDU de las interfaces principales del Router0	95
40.	Conectividad de los LWAP	96
41.	Ejemplo de la primera simulación PDU desde los dispositivos Laptop, Tablet y Smartphone de cada una de las habitaciones hacia el Router de la aplicación	97
42.	Cobertura de Red Wi-Fi en Modelo Físico	99
43.	El Smartphone_103 demuestra la posibilidad de movilidad sin pérdida de conexión para el usuario. Los Equipos se integran a sus respectivas redes VLAN	100
44.	Control remoto de dispositivos IoT desde IoT Monitor.	102
45.	Control de los dispositivos IoT de manera local por parte del huésped 103. La lámpara es accionada exitosamente.	103
46.	Organigrama Funcional del Hotel Río Suites	105
47.	Estructuras de Trabajo del Proyecto	108
48.	Diagrama de Gantt de Estimación de Duración del Proyecto	111
49.	Reporte de costos de recursos del proyecto	114
50.	Presupuesto estimado del Proyecto	116

Índice de tablas

1.	RSSI	56
2.	Segmentación de Red del Hotel Río Suites	62
3.	Direcciones IP Estáticas	63
4.	Características Switch Catalyst 3650	66
5.	Características Principales WLC-2504	72
6.	Requerimientos de Infraestructura	73
7.	Protocolos Soportados por Packet Tracer	93
8.	Prueba PDU de varios dispositivos de huéspedes hacia el servidor de la aplicación www.riosuites.com.ec	98
9.	Involucrados en Proyecto Red WLAN IoT Hotel Río Suites	106
10.	Detalle de Tareas del Proyecto	109
11.	Duración de Etapas Principales del Proyecto	110
12.	Costo de Equipos Principales	113
13.	Costo de Talento humano	113
14.	Costos del proyecto de Implementación	115

Índice de scripts

1.	Configuración de Router	64
2.	Configuración de Switch	68
3.	Habilitación de DHCP en Router	69
4.	Control local de habitación e interfaz de usuario	85
5.	Página de Ingreso de Usuario	89

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes

Originalmente, el término automatización de edificios se usó para describir principalmente la automatización de los sistemas de calefacción (*Heat*), ventilación (*Ventilation*) y aire acondicionado (*Air Conditioning*) de los edificios (HVAC por sus siglas en inglés). Sin embargo, los edificios inteligentes integran sistemas adicionales como: control de acceso, alarmas de incendio, monitoreo por vídeo, etc. (Guedey & Uckelmann, 2020).

Desde el punto de vista energético, en la actualidad se vive una preocupación por la creciente demanda de recursos y el impacto ambiental. En esta problemática, los edificios contribuyen con un 30 % a 36 % de los gases de efecto invernadero y consumen un 40 % de la energía (Guedey & Uckelmann, 2020; Swati, 2016). En los Estados Unidos, Jia y col. (2018) estiman que el consumo de energía por parte de los edificios ha excedido el consumo invertido en las industrias y el transporte; siendo responsables de un 38 % de las emisiones de CO_2 , 71 % del consumo de electricidad, 12 % del uso de agua y 40 % de desperdicios no industriales. Esta preocupante situación no es ajena a nivel doméstico. Así, por ejemplo, de acuerdo con De Freitas Melo y col. (2017) sólo el 35 % del total de energía en un sistema central de agua caliente doméstico se utiliza como tal. El restante 34 % se pierde en los sistemas de recirculación. De hecho, la mayor parte de energía en los edificios es consumida por los sistemas HVAC. Por esta razón, la mayoría de las soluciones para edificios inteligentes se enfoca únicamente en el

aspecto de eficiencia energética (Vlasov, 2020); pues, al reducir el consumo de energía, se reducen las emisiones de CO_2 y los costos operativos (Najem y col., 2017).

Dado que un edificio es la pieza clave para la eficiencia energética de una *Smart Micro Grid* (Najem y col., 2017), es importante implementar Sistemas de Administración de Energía (EMS, por sus siglas en inglés: *Energy Management Systems*) (Najem y col., 2017). El IoT, al permitir la interconexión de sensores y actuadores, por medio de redes inalámbricas, generalmente, facilita la gestión energética de los edificios de una manera sistemática (Jia y col., 2018). Una de las principales maneras de facilitar la gestión energética en los edificios, consiste en determinar la ocupación de éstos por zonas, sobre todo para sistemas de aire acondicionado e iluminación (Jia y col., 2018). Por ejemplo, la solución propuesta por De Freitas Melo y col. (2017) para optimizar el sistema de calentamiento de agua de un conjunto de edificios residenciales multifamiliares utiliza el IoT para controlar el encendido de la bomba de recirculación de agua caliente. Para esto, diseñaron una aplicación IoT que permite activar la recirculación fuera del horario establecido de calentamiento por medio de un relé de TCP/IP conectado a Internet. Esto permitió reducir la cantidad de agua fría desechada por el usuario mientras espera recibir el agua temperada.

Actualmente, existe un interés de la comunidad científica por mejorar la detección de ocupación de los edificios y reconocer la actividad humana. Tradicionalmente, en las últimas décadas, se han utilizado sistemas como: sensores infrarrojos pasivos (PIR), cámaras de vídeo, acelerómetros y sensores de inercia en dispositivos móviles y sensores de proximidad. Sin embargo, el IoT ha permitido que muchos dispositivos inalámbricos estén conectados, con lo cual se puede utilizar la red Wi-Fi para medir la ocupación interna de un edificio (Zou y col., 2018). De acuerdo con Akkaya y col. (2015) los sistemas actuales para la detección de la ocupación en edificios por medio de IoT se pueden realizar de tres maneras: 1) utilizando la infraestructura existente de Wi-Fi del edificio; 2) instalando software adicional en los Access Points (AP) o en los dispositivos del cliente, y 3) instalando nuevo hardware y software. Como exponen los autores, la detección de ocupación tiene en sí misma tres niveles: 1) Detección binaria simple, 2) Conteo de personas en una localidad del edificio o en su totalidad y 3) Rastreo de ocupación. La

ventaja de utilizar la infraestructura instalada de Wi-Fi es el aprovechamiento de un recurso ya instalado. A esta categoría pertenece el trabajo realizado por Zou y col. (2018), donde se utiliza la información proporcionada por la capa *Channel State Information* (CSI) de la interfaz Wi-Fi, para medir la interferencia de la señal propagada debido a los movimientos del cuerpo humano en diferentes actividades. Para esto los autores extraen las medidas de CSI de dispositivos Wi-Fi y utilizan un modelo de *Deep Learning*, denominado *Autoencoder* para descubrir patrones que identifican las actividades humanas. Los experimentos presentados por los autores muestran una precisión del 97.6%. En cambio, Jia y col. (2018) combinan un algoritmo probabilístico basado en enfoque Bayesiano para reducir el error mínimo cuadrado de la distribución de ocupantes en un sitio, aplicado sobre mediciones obtenidas por sensores infrarrojos y de vídeo cámara; demostrando mejoras de hasta un 70% en las medidas obtenidas usando únicamente cámaras de vídeo.

Respecto a la gestión de energía de los edificios, se puede decir que esta se enfoca desde tres puntos: 1) localizar a los huéspedes y sus actividades, como se discutió anteriormente, para optimizar el encendido y apagado de sistemas (De Freitas Melo y col., 2017); 2) optimizar la operación de los sistemas HVAC (Farag, 2017) y 3) optimizar la integración de energías renovables con el sistema de alimentación principal del edificio (Attia y col., 2018; Jia y col., 2018). En todos los casos se depende de una red de sensores (WSN: *Wireless Sensor Network*) interconectada a través de redes inalámbricas a aplicaciones instaladas en servidores para tomar decisiones que optimicen el proceso, sin disminuir el confort del usuario.

Si bien la gran mayoría de investigación, como indica Vlasov (2020), se enfoca en el uso de la energía, es importante destacar que existe interés en generar nuevas soluciones basadas en IoT para otros problemas urbanos. Así, por ejemplo, los autores Eliopoulos y col. (2018) diseñan un dispositivo de IoT para controlar y monitorear plagas urbanas. El dispositivo atrae al insecto a su interior y lo atrapa mediante sensores infrarrojos internos. Una vez dentro, una captura de pantalla es enviada al personal apropiado.

Al respecto del tipo de redes inalámbricas utilizadas en las soluciones se puede decir que depende de la extensión de los edificios y los objetivos a conseguir. Actualmente, Fraile y col. (2020) indican que existe un

cambio de paradigma en el mercado y que gradualmente se está pasando de redes de área personal (WPAN: Wireless Personal Area Network) y de área local (WLAN: Wireless Local Area Network) hacia soluciones LPWAN (Low Power Wide Area Network). Los autores realizan un estudio comparativo de LoRa e IEEE 802.15.4 para las soluciones de IoT, donde concluyen que la tendencia en IoT es hacia utilizar LoRa.

Finalmente, se debe notar que la gran mayoría de software y equipos disponibles son controlados por las empresas de automatización que antes de la venida del IoT proporcionaban sistemas de supervisión control y adquisición de datos (SCADA) a las industrias (Gutiérrez y col., 2017). Sin embargo, es también cierto que plataformas de hardware abierto como Raspberry PI y Arduino, y sistemas operativos Linux, están siendo utilizados para implementar soluciones alternativas.

1.2. Justificación

El Hotel Río Suites, ubicado en la provincia de Esmeraldas, cerca de la playa de Atacames, es un emprendimiento familiar que ha ido evolucionando a lo largo de los años desde su fundación en el año de 2012. Como en muchos hoteles, el consumo de agua y energía eléctrica, principalmente debido a los sistemas de aire acondicionado, es de vital importancia para la administración; pues, el consumo excesivo de los mismos no sólo incurre en un gasto económico sino en una afectación al medio ambiente.

El desarrollo de las comunicaciones inalámbricas ha traído como consecuencia lo que se conoce como Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés: Internet of Things); que permite la interconexión de una gran cantidad de dispositivos y sensores los cuales pueden ser organizados para optimizar y monitorear el estado en tiempo real de un hotel. Adicionalmente, la integración de estos componentes se puede utilizar para mejorar la experiencia del cliente, aportando un valor agregado. Para el Hotel Río Suites es de importancia optimizar el uso de sus recursos, especialmente debido a la crisis económica actual que enfrenta el área turística, así como brindar a los clientes experiencias significativas.

1.3. Planteamiento del Problema

El Hotel Río Suites, ubicado en la provincia de Esmeraldas, en el km 20 de la Ruta de los Spondylus en Tonsupa, es una edificación de aproximadamente 1300 m^2 con una capacidad de alojamiento para 50 personas y un total de 20 habitaciones. Dispone de varios servicios para sus huéspedes como son: bar restaurante, habitaciones con agua caliente, TV por cable, aire acondicionado, piscina, jacuzzi e internet inalámbrico. Sin embargo, la cobertura de la red inalámbrica es insuficiente en determinadas áreas, por lo que se requiere de una potenciación de esta. Además, la red inalámbrica es la misma tanto para los usuarios como para los administradores. Otro problema de interés para los administradores del hotel es la reducción del consumo de energía eléctrica; por cuanto los usuarios normalmente olvidan desconectar el aire acondicionado al salir de las habitaciones. Como resultado, el hotel se enfrenta a los desafíos de optimización de recursos, así como de brindar experiencias agradables a sus usuarios. En la Figura 1 se observa la ubicación y dimensiones del hotel en vista satelital obtenida de Google Maps.

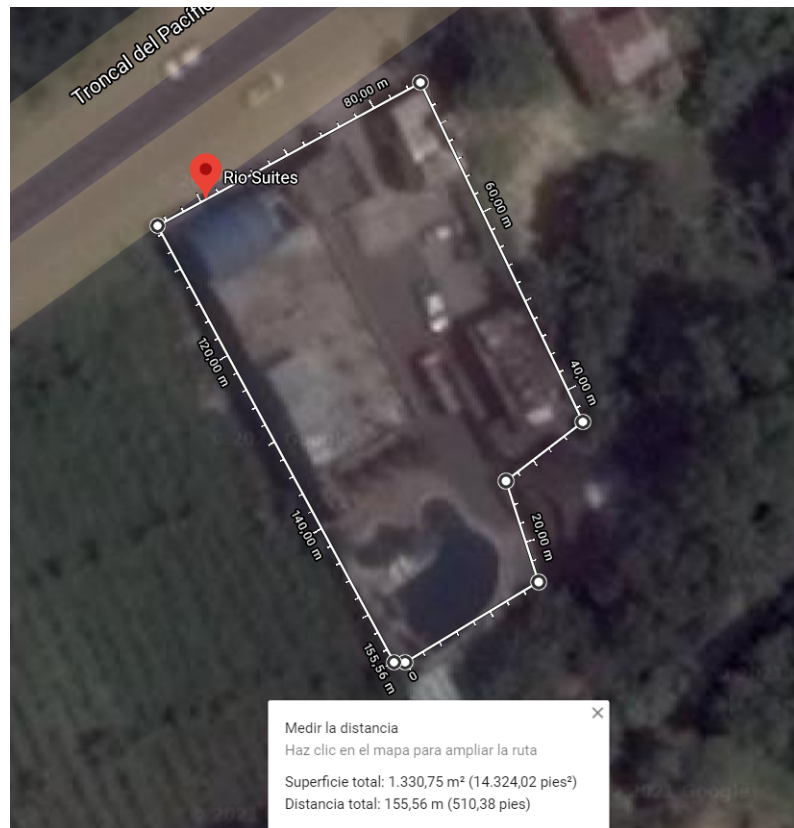


Figura 1: Vista Satelital de Hotel Río Suites

Fuente: Autor

Con la significativa mejora en las tecnologías de comunicación inalámbricas, es posible en la actualidad integrar distintos dispositivos electrónicos a la red de internet (Sheng-Lung Peng, 2020). Este fenómeno conocido como Internet de las Cosas (IoT) tiene un impacto técnico social y financiero en la sociedad del siglo XXI, que está cambiando la forma de operar de muchos sistemas cotidianos; como es el caso de los edificios (Jia y col., 2018). En este contexto, existe la oportunidad de integrar distintos dispositivos electrónicos a través de la red inalámbrica del hotel con la finalidad de mejorar la gestión de recursos. Por tanto, el problema principal del presente trabajo de titulación es el siguiente:

El Hotel Río Suites carece de una cobertura de Wi-Fi total y de tecnologías para la gestión inteligente de la energía eléctrica, con lo cual no puede optimizar el uso de recursos.

A partir del problema principal se deducen varios problemas

secundarios, que se listan a continuación:

- No se dispone de un *Site Survey* para conocer las zonas calientes y frías de la cobertura inalámbrica actual.
- La red inalámbrica es la misma tanto para administradores como para usuarios; planteando una posible vulnerabilidad de seguridad.
- No se dispone de instrumentación electrónica instalada para medir, registrar o monitorear el uso de recursos energéticos y de agua.
- No existe un control automático de iluminación.
- No existe un monitoreo automático de ocupación de habitaciones.
- No existen equipos actuadores de IoT para controlar los recursos del hotel.

1.3.1. Preguntas de Investigación

Considerando el problema principal, se plantean la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo se debe diseñar la red inalámbrica del Hotel Río Suites para que integre IoT?

En función de los problemas secundarios identificados en el planteamiento del problema, se tiene las siguientes preguntas de investigación secundarias:

- ¿Qué configuración de equipos y diseño de red de WLAN se puede proponer para disponer de una cobertura Wi-Fi del Hotel?
- ¿Qué configuración de la red WLAN del Hotel es necesaria para integrar equipos IoT en las habitaciones?
- ¿Qué características y diseño debe tener la red IoT?

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

Objetivo General

Diseñar una red Wi-Fi que permita una cobertura global del Hotel Río Suites e integre IoT en las habitaciones para su control y administración.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Conocer el estado del Internet de las cosas (IoT) aplicado en edificios inteligentes (*smart buildings*), mediante una revisión de literatura.
2. Identificar el funcionamiento y cobertura actual de la red instalada en el Hotel Río Suites para la realización de una propuesta de mejoras de alcance y funcionalidad.
3. Aplicar Design Science Research como metodología para el diseño de una red IoT que permita mejorar el control de las habitaciones y la optimización de recursos

1.5. Aportes y Alcances del Trabajo

En el presente trabajo de titulación, Diseño y Propuesta de una Red WLAN con Integración de Tecnología de Internet de las Cosas IoT para el Hotel Río Suites se realizará una investigación descriptiva y predictiva de una red inalámbrica Wi-Fi para cubrir al Hotel Río Suites. De esta manera, se busca satisfacer las necesidades tanto de cobertura como de eficiencia del Hotel Río Suites. No obstante, debido a los recientes problemas ocasionados por la pandemia de Covid-19, el diseño y análisis tanto de la red como de la tecnología IoT es propuesto de manera predictiva; puesto que mediciones en sitio no han podido ser capturadas por las restricciones de movilidad. Independientemente de este factor, el presente trabajo de titulación explora a través de herramientas de software la cobertura de una red Wi-Fi en las instalaciones del Hotel, que permita integrar una red inalámbrica de sensores y actuadores. Al centralizar esta integración, se podrá ofrecer al cliente una mejor experiencia, así como optimizar el uso

de recursos en el Hotel. Para diseñar una solución a los requerimientos propuestos por el Hotel, se considera una revisión de trabajos científico-técnicos relacionados al tema y un site survey predictivo que permita estructurar un prototipo tal que se pueda:

1. Incrementar la cobertura de la red inalámbrica Wi-Fi, mediante la propuesta de equipos y software.
2. Integrar tecnología de IoT para mejorar la gestión de recursos del Hotel, aprovechando la infraestructura de Wi-Fi instalada.

El sistema prototipo diseñado constará de diferentes sensores, actuadores y software para integrar el manejo inteligente y/o eficiente a las habitaciones y cuartos de máquinas del Hotel. Dado que el sistema que se propondrá en el presente trabajo de titulación no será implementado inmediatamente, la medición del impacto de la solución será realizada mediante un análisis financiero o de costo beneficio.

1.6. Contribuciones al conocimiento

Esta tesis aborda el problema de diseñar una red Wi-Fi que integre IoT en un Hotel. Trabajos relacionados se han enfocado principalmente en el problema doméstico; es decir, la automatización o integración de dispositivos a nivel de una casa; como en el trabajo desarrollado por Domínguez (2016), o de un salón de clases como en Paul y col. (2019). Es más, una búsqueda en Google Scholar con las cadenas de búsqueda *internet of things smart home* e *internet of things smart hotel*, devuelve un total de 68 800 y 17 800 resultados en el período 2016 - 2022. En consecuencia, se puede afirmar que la mayoría de los estudios se han centrado en el tema de hogar inteligente. Por otra parte, la mayoría de resultados respecto de IoT y Hoteles se centra en las posibilidades de esta tecnología en el sector. Por ejemplo, en el trabajo realizado por Lai y Hung (2017) no se presenta una implementación ni un diseño de la red o la infraestructura, sino que se analiza las características que debe tener el servicio de control inteligente de la habitación (el cual hace uso de RFID) y el ama de llaves virtual; de hecho, el trabajo se enfoca en la evaluación de la satisfacción del usuario de los servicios antes mencionados.

En este contexto, el presente trabajo de investigación aporta al desarrollo de conocimiento, en cuanto no se limita a la discusión de los beneficios de la integración de IoT en el sector hotelero, o en el de los edificios inteligentes, sino que desarrolla el diseño de la red inalámbrica del hotel junto con la integración de IoT. Para cumplir dicho propósito se plantea utilizar la metodología de Design Science Research en la generación del artefacto, así como la herramienta de software Packet Tracer para el diseño y simulación. La aplicación de la mencionada metodología puede considerarse también como un aporte. A diferencia de trabajos relacionados, la proporción de la red diseñada y simulada extiende el de una casa hacia lo que es un edificio de varias habitaciones y servicios. Finalmente, el análisis de gestión de proyecto permite también disponer de una idea de los costos implicados en un proyecto de implementación de tecnologías IoT en la escala hotelera.

1.7. Resumen de Capítulos de esta Tesis

El resto de esta tesis está organizado de la siguiente manera:

Capítulo 1: Introducción

En este capítulo se aborda el planteamiento del problema del Hotel Río Suites respecto de las redes inalámbricas y el IoT. También se delimita los alcances del proyecto.

Capítulo 2: Marco Conceptual y Trabajos Relacionados

Este capítulo establece los trabajos relacionados de soluciones de IoT para edificios Inteligentes, así como un marco teórico que permita aclarar la problemática del Hotel. Los conceptos principales del presente trabajo de titulación son: Internet de las Cosas, Edificios Inteligentes y Redes Inalámbricas. Los conocimientos científicos-técnicos al respecto de IoT y Redes Inalámbricas proporcionarán una base para determinar perspectivas de solución al problema abordado en este trabajo de titulación.

Capítulo 3: Propuesta de Diseño

En este capítulo se describe el diseño de red inalámbrica y la propuesta de solución de IoT, determinado mediante la aplicación de la metodología. Esto incluye la descripción de hardware y software necesario para alcanzar la solución deseada.

Capítulo 4: Gestión de Proyecto

En este capítulo se realiza un análisis desde la perspectiva de la gestión de proyectos, considerando metodologías como la PMBOK para la gestión de tiempo y costos. El capítulo concluye con la estimación de presupuesto de diseño e implementación.

Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones

Se presentan las conclusiones del trabajo de titulación realizado. Se evalúa el cumplimiento de objetivos alcanzados y las lecciones aprendidas del desarrollo del proyecto.

Capítulo 2

Marco Conceptual y Trabajos Relacionados

2.1. Introducción

El continuo y rápido desarrollo de las ciencias relacionadas a las tecnologías de la información implica la creación de nuevos conceptos y términos. Este es el caso del concepto del Internet de las Cosas (IoT). Por ejemplo, al ejecutar la cadena de búsqueda: *(wireless OR wi-fi) AND (Internet of Things OR IoT) AND (smart buildings OR Hotels) AND (user experience OR efficiency)* sobre la base de información SCOPUS, se obtienen resultados a partir del año 2012. Esto sugiere que, si bien el IoT tiene una edad aproximada de 8 años, la formalización académica de los conceptos se está dando en los últimos años.

Debido a las consideraciones prácticas del presente trabajo de titulación, es de interés establecer un marco teórico conceptual que permita fundamentar la propuesta metodológica para diseñar una red WLAN que integre IoT con la finalidad de mejorar la gestión del Hotel Río Suites; que, al ser un edificio de uso público, y con un interés por administrar mejor el consumo de recursos, se puede considerar como perteneciente al conjunto de lo que se denomina edificios inteligentes. De ahí que los conceptos principales a revisar en este trabajo de titulación son dos: el de IoT y el de redes inalámbricas.

El presente capítulo realiza una revisión bibliográfica de los conceptos de Internet de las Cosas (IoT), Redes Inalámbricas y Edificios Inteligentes, relacionados con el caso particular del Hotel Río Suites. Para concluir el

capítulo se realiza un análisis de trabajos relacionados con el presente trabajo de titulación.

2.2. Internet de las Cosas IoT

La revisión de la literatura científica relacionada al tema de investigación muestra que existen diferencias respecto de las definiciones dadas por los autores sobre el concepto de IoT. Es interesante notar que el trabajo de revisión de literatura realizado por Kassab y Darabkh (2020) llega a esta misma conclusión al afirmar que no existe una definición unificada del término. Así, por ejemplo, para Ioana Culic (2020), el IoT es la interconexión de sistemas electrónicos que pueden medir o interactuar con el entorno y comunicarse entre ellos. De hecho, los autores indican que si bien el concepto IoT generalmente hace referencia a las aplicaciones y equipos inteligentes hoy utilizados (e.g. smart phones, Alexa, etc.), el término también se utiliza al referirse a aplicaciones comerciales e industriales. Por esta razón, en los últimos años, se ha adoptado el término *Industrial Internet of Things* (IIoT) para referirse a casos comerciales e industriales. No obstante, las características fundamentales a nivel de arquitectura de las soluciones implementadas yacen sobre los mismos fundamentos en ambos mercados.

En cambio, King (2021) define el IoT como un conjunto complejo de ecosistemas de tecnología que conecta al mundo físico con el de Internet usando una variedad de dispositivos de computación (*edge computing devices*) y servicios de cómputo en la nube (*cloud computing services*). Una de las ventajas de esta definición es que precisa por medio de otros conceptos lo que se entiende por Cosa en IoT. Así por *edge computing devices* se ha de entender que son todos los dispositivos electrónicos, computadores pequeños (portátiles) y aplicaciones de software que interactúan con el mundo físico por medio de sensores y actuadores o que permiten establecer un puente de comunicación entre los mismos y el Internet. Por su parte, *cloud computing services* comprende: los servicios de cómputo, software, almacenamiento y otros que están siempre disponibles por Internet.

Desde un punto de vista de evolución tecnológica el IoT es una consecuencia de los cambios producidos por el Internet y la mejora en los campos de las comunicaciones inalámbricas, los sistemas de información

y otros (Jan y col., 2014; Sheng-Lung Peng, 2020). A finales de los 90 e inicios de los 2000, el paradigma de comunicación adoptado se puede calificar de Humano a Humano (H2H); en donde el flujo de información era el resultado de peticiones entre diferentes usuarios. Años más tarde, este paradigma evoluciona hacia lo que se denomina *Machine 2 Machine* (M2M); en donde el flujo de información se hace entre dispositivos de una red (e.g. un sensor conectado a un sistema de seguridad, un auto inteligente consultando con otro y con los sensores de tráfico, etc.) (Song y col., 2017). Sin embargo, es importante establecer las diferencias entre M2M e IoT. Como indican Jan y col. (2014), la diferencia entre estas dos tecnologías es que IoT trata de conectar los dispositivos al Internet, mientras que M2M es una conexión entre una red de dispositivos orientada a problemas específicos. Esto es, en otras palabras, que el IoT es una extensión del Internet basado en gente, multimedia y contenidos, a incluir agentes artificiales para intercambiar información y generar conocimiento. Este gran agregado de componentes o cosas es lo que lleva a extender los conceptos tradicionales de ciudad y edificios a los nuevos de ciudades o edificios inteligentes. De aquí que lo interesante de un edificio inteligente basado en IoT es el que pueda extender sus capacidades para intercambiar información y energía con otros edificios o cosas.

Para el presente trabajo de titulación, se definirá al Internet de las Cosas o IoT de la siguiente manera:

Definición 1. Internet de las Cosas (IoT)

Consiste en la interacción de diferentes componentes electrónicos distribuidos a través de redes de comunicación para obtener información del estado de un sistema, operarlo, controlarlo y mejorar su funcionamiento mediante el procesamiento de sus datos.

2.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL IoT

Si bien los inicios de IoT están en paradigmas como el M2M y los sistemas de control SCADA, las siguientes son características que, a decir de Ioana Culic (2020), se corresponden con lo que se entiende por IoT:

- **Conectividad:** cualquier solución de IoT consistirá en una red de sensores o dispositivos conectados entre ellos y al Internet. De aquí

que uno de los cimientos de los que parte IoT son las denominadas *Wireless Sensor Networks*(WSN)

- **Gestión de las Cosas:** una aplicación de IoT no se limita a medir y monitorear, sino que debe interactuar con el entorno: responder a cambios. Por ejemplo, un usuario ingresa a la habitación y esta adapta su cantidad de luz, ajusta la temperatura y puede con más información e inteligencia adaptarse a las actividades que realice dentro de ella.
- **Heterogeneidad:** El ecosistema de IoT debe poder intercambiar información con diferentes dispositivos, infraestructuras de red y plataformas de software, pero mantener en todas ellas un objetivo global.
- **Recolección de datos:** La información es reunida para ser procesada. Esta información puede llegar de distintas fuentes. Por ejemplo, parte de la información en el Hotel puede venir de los sensores instalados. Otra información puede obtenerse consultando las predicciones climáticas de servidores especializados. Con esta información, la habitación o el hotel está en capacidad de tomar acciones y hacer recomendaciones que llegan al usuario a través de una App.
- **Dinamismo:** La infraestructura de IoT debe mantenerse independientemente de los cambios de sus componentes.
- **Gran Escala:** Se estima que el número de dispositivos conectados a Internet es aproximadamente de 20 billones; número que se espera crezca exponencialmente.
- **Autonomía:** Los sistemas deben ser capaces de tomar decisiones sin la intervención de un humano operador.
- **Seguridad y Privacidad:** al conectar sistemas delicados al Internet se requiere que estos estén debidamente protegidos de riesgos informáticos como hacking que pueda modificar su comportamiento poniendo en riesgo la información y los usuarios.

2.2.2. Plataformas de desarrollo de IoT

Para la simulación y diseño de la red de IoT existen varias herramientas y plataformas de desarrollo como: Zetta, Arduino, OpenRemote, Node-RED, Flutter, M2MLabs Mainspring, ThingsBoard, Kinoma, Kaa IoT Platform, SiteWhere, DSA, Thinger (Geekflare, 2020). También existen integraciones con Matlab y SpeakThing que permiten integrar dispositivos como Arduino al IoT y realizar la gestión de datos con MathScripts y Simulink (Mathworks, 2020). Sin embargo, un favorito en la industria del IoT es Cisco Packet Tracer que permite integrar dispositivos de redes inalámbricas y, desde la última versión, sensores y dispositivos inteligentes de IoT; incluyendo controladores como la Raspberry Pi y Arduino, que pueden ser configurados desde Packet Tracer usando Java, Python o Blockly (Finardi, 2018). Por las características de simulación y diseño de Packet Tracer puede ser el software más indicado para realizar la simulación completa de la red IoT. Una desventaja de Packet Tracer puede ser el anclaje hacia la marca Cisco de equipos. En esta sección analizamos las herramientas más adecuadas para el diseño y desarrollo de la red de IoT.

2.3. Edificios Inteligentes

Al igual que con el concepto de IoT, el concepto de Edificio Inteligente es reciente y consecuencia del desarrollo tecnológico en redes de comunicación e informática. En consecuencia, existen diferencias entre los autores al respecto de la definición del concepto; aun cuando la idea esencial es la misma. El estudio del concepto de edificio inteligente nace del concepto de automatización de edificios, que hace referencia a la interconexión de sensores y actuadores dentro de un edificio por medio de redes de comunicación con el objetivo global de automatizar las operaciones de este (Song y col., 2017). Para pasar de un edificio automatizado a uno inteligente es necesario que el mismo integre las características del IoT. Esto es, a parte de integrar sensores y actuadores, gestionar una interacción que permita responder a los cambios del medio gracias a la información recogida por los distintos nodos. Así, por ejemplo, para Najem y col. (2017) un edificio inteligente es el núcleo principal de una *smart grid*; por cuanto, la idea principal de la *smart grid* consiste en

que la energía dentro de una ciudad fluya entre generadores y consumidores en forma bidireccional (i.e. los consumidores pueden retornar y vender energía de regreso a los productores). El concepto energético de *smart building* ligado al de *smart grid* implica que el mismo debe poder gestionar sus recursos energéticos de manera eficiente para tomar sólo lo necesario, utilizar sus propios recursos alternativos (e.g. energía fotovoltaica, eólica, etc.) y compartir el excedente en la malla (*grid*). Como se puede notar, el concepto de *smart building* rompe con la idea tradicional de los edificios actuales como consumidores de energía; considerando, como se discutió en la Sección 1.1 del Capítulo 1 de este trabajo, que consumen altos niveles de energía y agua.

Por tanto, para un edificio inteligente no sólo basta con hacer una gestión de sus recursos de una manera automatizada y óptima, sino que también deberá, como indica Jia y col. (2018), conectar al usuario y al productor de energía. De ahí que la definición de edificio inteligente presentada por Sinopoli (2016) lo define como aquel cuyo objetivo primordial es el uso de la tecnología para mejorar los servicios y garantizar una operación eficiente para el beneficio de sus ocupantes y de su propia gestión. Esta definición no sólo que ha integrado al ocupante o huésped, sino que también indica que parte del interés en el desarrollo de edificios inteligentes radica en el impacto financiero resultante de la conservación de energía originada por este nuevo paradigma de IoT. Como indican los autores, se debe tener presente que un edificio inteligente se distingue por el uso de tecnología avanzada y esto no significa exclusivamente tecnologías digitales. Así, por ejemplo, existen investigaciones en marcha en busca de desarrollar un tipo de concreto que integre energía solar (Sinopoli, 2016). Por tanto, se puede decir que el uso de tecnología avanzada en los edificios permite mejorar el desempeño de estos brindando una operación superior, reduciendo los costos operativos y el mantenimiento, mejorar la satisfacción de los ocupantes y generar retornos financieros para el dueño. A la definición sólo faltaría comentar sobre el impacto ecológico en la reducción de gases de invernadero por la operación más eficiente del edificio como indican Najem y col. (2017) y Song y col. (2017). De aquí que se propone la siguiente definición de edificio inteligente para este trabajo:

Definición 2. Edificio Inteligente Es una infraestructura habitable que, por medio de la integración de tecnologías de internet de las cosas en sus

sensores y actuadores, permite adaptar el funcionamiento de este a las necesidades del usuario y de un sistema energético. A su vez, le permite una auto sustentación eficiente de los diferentes recursos energéticos que lo componen.

2.3.1. El Hotel Río Suites como Smart Building

Algunas soluciones que han sido probadas e implementadas para edificios inteligentes van desde la reducción en el consumo de agua y energía eléctrica (De Freitas Melo y col., 2017) hasta el ideal de determinar el comportamiento del usuario para adecuar el funcionamiento del edificio (Zou y col., 2018). Es notable que la mayoría de las soluciones se enfocan en los sistemas HVAC por ser los que más consumen recursos. No obstante, como el concepto de IoT manifiesta, lo importante es hacer la integración de los diferentes y heterogéneos subsistemas presentes en un edificio a fin de cumplir con las mejoras de servicio y optimización de recursos.

El Hotel Río Suites al disponer de distintos servicios para sus ocupantes y una red inalámbrica es una oportunidad para la aplicación de los conceptos de IoT y edificios inteligentes. Este trabajo de titulación busca diseñar una solución que haciendo uso de la potenciación de la red Wi-Fi permita a futuro a los dueños gestionar de manera más eficiente el Hotel. Como indica este marco teórico, este diseño impactará positivamente en la economía del hotel y en la experiencia del usuario.

2.4. Redes Inalámbricas

En los edificios, el uso de redes inalámbricas presenta algunas ventajas principalmente relacionadas con eliminar la necesidad de cableado y obra civil para la de redes de comunicaciones. Esto permite reducir los tiempos invertidos en la instalación de sensores, medidores y dispositivos de control (Sinopoli, 2016). Por otro lado, existe la optimización en el uso de recursos económicos ya que actualmente es muy común encontrar redes inalámbricas disponibles en edificios con una cobertura global. Este cambio de paradigma ha permitido pasar de las redes cableadas de dispositivos a las redes inalámbricas que permiten incluir el factor de movilidad en las aplicaciones; es más, la conexión por red es indispensable para las aplicaciones de IoT (Chew, 2018).

Dado que el IoT busca la integración de diferentes dispositivos (*edge computing devices*) para modificar el comportamiento de las aplicaciones, uno de los componentes clave de una solución de IoT son las denominadas *Wireless Sensor Network* (WSN)(Sheng-Lung Peng, 2020). Éstas se definen como una colección de nodos organizados en una red cooperativa; donde cada nodo dispone de capacidades de procesamiento a través de microcontroladores. La comunicación entre los nodos se establece utilizando redes inalámbricas (Vijayalakshmi & Muruganand, 2018). Este tipo de redes han sido de utilidad en varios dominios como son principalmente: observación de entornos, monitoreo militar, monitoreo en edificios e industrias y en salud. Sin embargo, esta tecnología también presenta áreas activas de investigación y mejora. En algunos casos los sensores requieren de baterías para operar por lo que los protocolos de comunicación deben ser lo más eficiente posibles para extender la vida útil de las baterías (Slijepcevic & Potkonjak, 2001). De acuerdo con Vijayalakshmi y Muruganand (2018), las siguientes son requerimientos con los que debe cumplir las WSN:

- Bajo consumo de Potencia
- Facilidad de uso
- Escalabilidad
- Comunicación Bidireccional
- Disponibilidad

- Movilidad

2.4.1. Topologías de Red

Para interconectar los dispositivos de IoT en una red inalámbrica se debe considerar la organización que tendrán los nodos en la misma (Chew, 2018). Se considera fundamentalmente dos topologías: a) topología estrella y b) topología mesh. La primera permite que todo el tráfico se dirija a un nodo central (o coordinador). La segunda, permite extender la red haciendo uso del alcance de los propios nodos. A diferencia de la topología en estrella en donde la comunicación entre dos nodos debe pasar por el nodo central, en la topología mesh se requiere que se establezca un enrutamiento entre los nodos. En la Figura 2 se presenta el esquema correspondiente a la topología de Estrella.

Respecto qué tipo de topología se recomienda para una aplicación IoT concreta, la respuesta depende de las características propias de la aplicación. Así, por ejemplo, en aplicaciones domésticas o del mercado de consumo, donde el área a cubrir es pequeña y también la cantidad de dispositivos a interconectar (e.g. casas inteligentes con sistemas de control HVAC y de iluminación automatizados con IoT). En estos casos una red mesh con Zigbee, Wi-Fi o Bluetooth, es una opción muy viable. En cambio, si el objetivo es cubrir cientos o miles de sensores dispersos geográficamente en campus e instalaciones como fábricas, minas, campos petrolíferos o edificios comerciales, la mejor aproximación es una topología de tipo estrella; ya que provee una solución confiable, económica, fácil de desplegar y administrar (BehrTech, 2021).

2.4.1.1. Topología Estrella

Considerada la topología más utilizada en redes inalámbricas (Skøien, 2021), consiste en un nodo central, denominado *gateway* (e.g. hub, access point) que conecta con todos los demás nodos, como se muestra en la Figura 2. Los nodos no se comunican entre sí sino cada uno con el nodo central. Esto permite a la topología estrella ser mucho más simple y económica de ser implementada comparada con una red Mesh. Sin embargo, su principal desventaja es que el rango de transmisión está limitado al máximo posible entre los nodos y el gateway (i.e. de 30 a 100 metros) (BehrTech, 2021; Solutions, 2021).

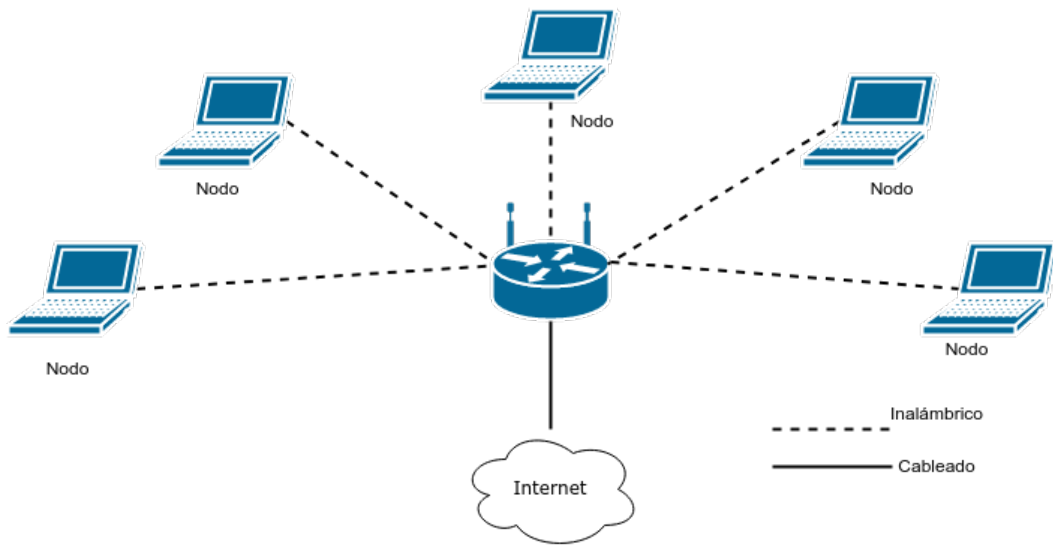


Figura 2: Topología Estrella

Fuente: Autor

2.4.1.2. Topología Mesh

Esta topología se utiliza generalmente para extender el área de cobertura de tecnologías inalámbricas de corto enlace como Zigbee, Z-Wave, WirelessHART (BehrTech, 2021). En la Figura 3, se representa mediante círculos alrededor de $N1$, $N3$ y $N4$ el alcance de la red inalámbrica generada en cada uno de los nodos indicados. Una característica importante que notar es el establecimiento de rutas de comunicación entre los distintos nodos, así como la redundancia. Por ejemplo, $N1$ sólo puede comunicar con $N2$. Sin embargo, $N2$ puede comunicarse inalámbricamente con $N3$ y $N5$. De esta manera si se desea comunicar a $N1$ con $N4$, se debe enrutar el mensaje desde $N2$ a través de $N3$ o $N5$. Por otra parte, se observa que los consumidores (representados por laptops) pueden acceder a más de una red, existiendo zonas de intersección (Chew, 2018).

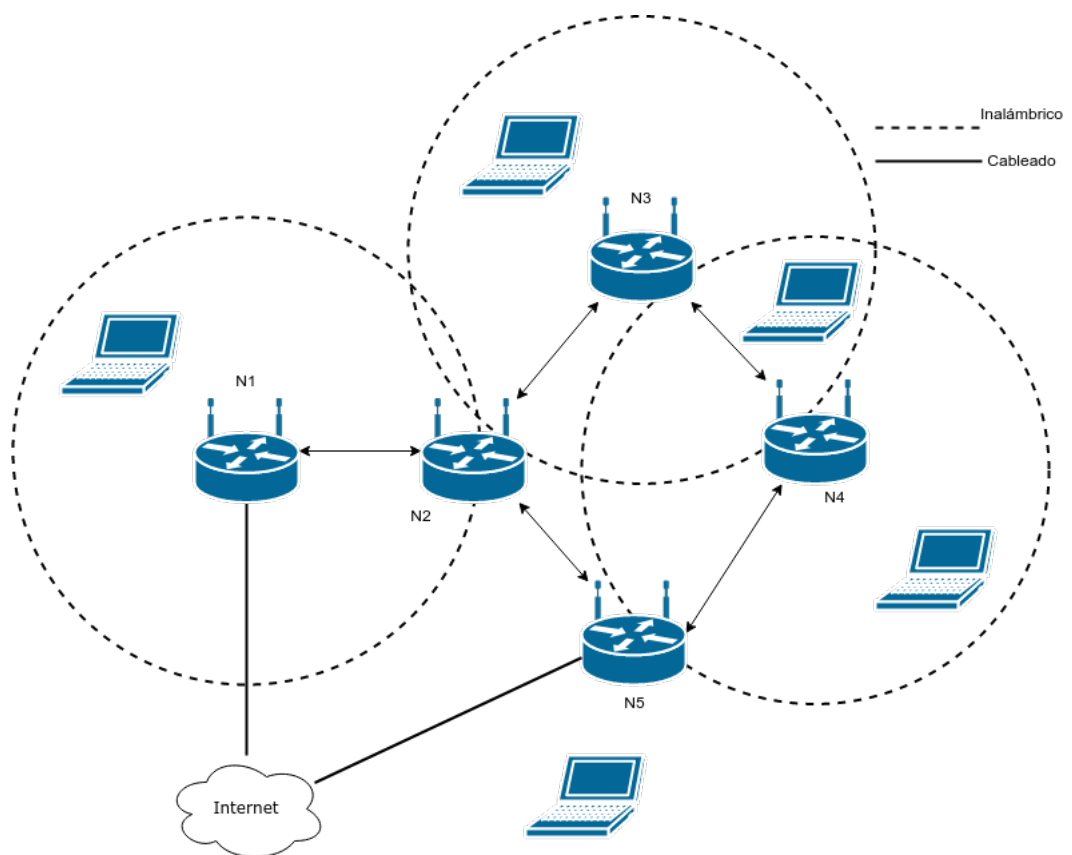


Figura 3: Topología Mesh
Fuente: Autor

En consecuencia, se puede concluir dos características importantes de la red mesh:

- Dispone de capacidad de auto recuperación: los datos pueden ser re-ruteados usando otros caminos en caso de que un repetidor o nodo falle (BehrTech, 2021).
- Es una red redundante que puede cubrir grandes áreas

Sin embargo, también resulta las siguientes desventajas o debilidades de la topología mesh:

- El número de repetidores para cubrir una zona puede incrementar de manera rápida, lo cual encarece la instalación.
- La redundancia y densidad de dispositivos incrementa la complejidad de la red e incrementa el consumo de energía eléctrica para mantener a los nodos despiertos y listos para transmitir y recibir información (BehrTech, 2021).
- Vulnerabilidad a ataques: cada nodo es potencialmente atacable y una vez que las seguridades de un nodo de la red quedan violadas, la red completa puede colapsar. A más nodos, más puntos de ataque posibles por lo que las brechas de seguridad deben ser altamente revisadas en este tipo de topología a fin de evitar incidentes (BehrTech, 2021).

2.4.2. Protocolos de Redes Inalámbricas

En la automatización de edificios, sistemas SCADA, y aplicaciones IoT, la comunicación entre los nodos de la red es de suma importancia. Los protocolos son los estándares que garantizan la compatibilidad en la comunicación entre dispositivos distintos (Gutiérrez y col., 2017); que debido a la heterogeneidad de las soluciones de IoT es una necesidad. Entre las tecnologías disponibles para establecer las comunicaciones inalámbricas entre los nodos de las redes se tienen las siguientes:

- Zigbee: es una tecnología inalámbrica regida por el estándar IEEE 802.15.4 para redes de baja data rate. Utiliza las frecuencias no licencias de 900 MHz en E.E.U.U., 868 MHz en Europa y 2.4 GHz en

el resto del mundo. Esta tecnología está prevista para ser aplicada a nivel residencial, edificios, y dispositivos industriales de control. Ha sido utilizada sobre todo en sensores y dispositivos de control para la automatización de edificios. Las tasas de velocidad varían entre 192 a 250 Kbps, con una distancia de 20 a 50 metros. Entre sus ventajas principales están: bajo consumo, soporte, topología mesh, escalabilidad (Sinopoli, 2016).

- EnOcean: es un consorcio de compañías de Estados Unidos y Europa que promueven el desarrollo de dispositivos inalámbricos auto alimentados. La idea principal es que los dispositivos inalámbricos no requieran de baterías para su funcionamiento. Los dispositivos pueden transmitir a 120 Kbits/s hasta 300 metros en paquetes de 14 bytes, a una frecuencia de 868.3 MHz. Este protocolo está basado en el estándar ISO/IEC 14543-3-10 (Sinopoli, 2016).
- Z-Wave: pensado para aplicaciones de tipo residencial y comerciales sencillas, es un consorcio de más de 160 fabricantes que provee de un protocolo de comunicación propietario. Este protocolo opera por medio de una red mesh de 900 MHz, donde cada nodo de la red dispone de una dirección única, hasta un total de 232 dispositivos por red. Las velocidades alcanzadas por esta tecnología son de 40 Kbit/s con un rango de 100 pies o 30 metros (Sinopoli, 2016).
- Wi-Fi: es la extensión del Ethernet cableado a conexiones inalámbricas. Los sistemas Wi-Fi actuales operan en dos frecuencias que son: la banda de 2.4 GHz y la banda de 5 GHz. Los protocolos que norman esta comunicación están regidos por los estándares definidos por la IEEE (*The Institute for Electrical and Electronics Engineers*): 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n; los cuales presentan diferentes prestaciones de velocidad, seguridad e interconexión de los equipos. En cuanto a la cobertura se estima un radio aproximado de 100 a 300 pies (Sinopoli, 2016).
- LoRa: trabaja en la banda de frecuencia de 868MHz con una velocidad máxima de 40 Kbps. Una de las ventajas de esta tecnología es poder establecer enlaces punto a punto con un

alcance de varios kilómetros. Está regida por el estándar IEEE 802.15.4 y al consorcio LoRa Alliance. Actualmente, existe un cambio de paradigma en la industria y está adoptando LoRa en implementaciones de automatización de edificios (Fraile y col., 2020).

Para solventar los requerimientos del Hotel Río Suites, es importante conocer de manera detallada las tecnologías involucradas. El IoT al utilizar la interconexión de dispositivos (sensores, actuadores y otros) requiere de un medio de comunicación que, por su gran disponibilidad hoy, son las redes inalámbricas. Se disponen de diferentes opciones dependiendo de los requerimientos de la aplicación. De hecho, Gutiérrez y col. (2017) indica que existen diferentes programas comerciales para ser utilizados. Esto no quita la posibilidad de utilizar hardware y software libres para solventar los requerimientos del Hotel Río Suites. Este trabajo de titulación utilizará principios de redes inalámbricas para proponer una configuración de APs para garantizar la cobertura de Wi-Fi del hotel. Considerando la diversidad de protocolos disponibles para comunicar dispositivos IoT se realizará un análisis que determine las tecnologías más apropiadas; donde es evidente que Wi-Fi puede ser el favorito ya que la ventaja es que la infraestructura ya se encuentra instalada. Finalmente, considerando los antecedentes y el presente marco teórico se diseñará una propuesta de solución IoT que permita administrar de mejor manera el Hotel Río Suites, para optimizar sus recursos.

2.5. Redes Wi-Fi en Hoteles

El desarrollo tecnológico en comunicaciones ha originado cambios significativos en los servicios que proveen los hoteles. En el pasado quedan los antes tan visitados business center de un hotel; que eran lugares en donde uno disponía de computadores conectados a internet. Hoy en día la tendencia principal es la de disponer de Wi-Fi e Internet en la comodidad de la habitación. En la Figura 4 se presenta el desarrollo evolutivo de Wi-Fi en los Hoteles. Así, por ejemplo, en los años 90, a un hotel le bastaba con proporcionar televisión por cable. Hacia finales de los 90 (e.g. 1998) los hoteles empiezan a ofrecer y cobrar el servicio de internet por medio de tecnologías cableadas. En el año 2002 aparecen los

primeros hoteles con servicios de Wi-Fi. A partir del año 2010, con el advenimiento de las Tablets y iPads, el sector hotelero incrementa sus servicios de Wi-Fi drásticamente acoplándose a los estándares Wi-Fi más actualizados, como el 802.11ax desde el año 2016.

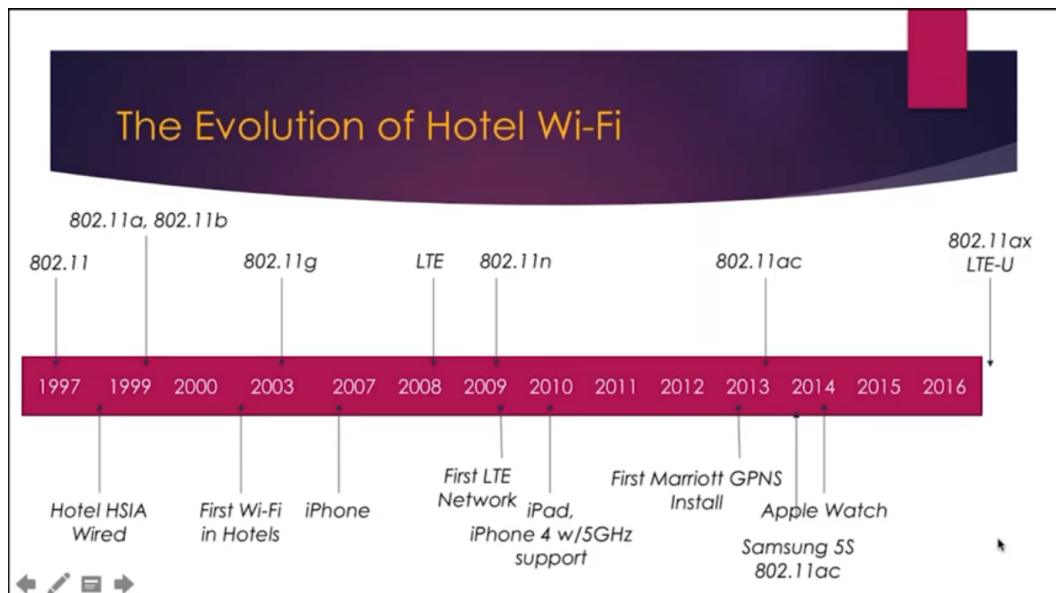


Figura 4: Evolución de Wi-Fi en el área

Fuente: Rohde (2016)

En la actualidad, como manifiesta Alcatel-Lucent (2021) en “Hospitality Networking Solution Guide”, la industria hotelera usa redes convergentes (i.e. una red que agrupa telefonía, vídeo y comunicaciones de datos en una misma red). Por esta razón una red de hotel puede incluir los siguientes servicios principalmente:

- VoIP: voz y multimedia sobre redes IP.
- Acceso Internet de alta velocidad (HSIA: High speed internet): tanto para los huéspedes como para los miembros administrativos del staff.
- Sistemas de Gestión de la Propiedad (PMS: Property management system software): aplicativos en el front-desk para gestionar el hotel.
- IPTV: televisión por IP
- Servicios Móviles de punto de venta (*Mobile Point of Sale*): restaurante, bar.
- HVAC: Administración de los sistemas de climatización del hotel.
- CCTV: Sistemas de video vigilancia y seguridad.

Un servicio naciente que se debe tomar en cuenta dentro de la red convergente de un hotel es el Internet de las Cosas (IoT), ya que permite agregar funcionalidades tanto de administración como de confort a los huéspedes y la eficiencia de las operaciones. Así, por ejemplo, el hotel puede proveer de servicios controlados por medio de App como: control de cerradura de puertas, termostatos, iluminación, entre otros. También los empleados podrán proveer un mejor servicio de limpieza y cuidado, servicio al cuarto, mantenimiento, etc. Sin embargo, también se debe considerar las vulnerabilidades de seguridad de redes al habilitar estos servicios y evitar posibilidades de hacking del sistema (Alcatel-Lucent, 2021).

2.5.1. Instalación de WLAN en Hoteles

La instalación de WLAN en un hotel conlleva varios desafíos. Para empezar, como indican Alcatel-Lucent (2021) y Ensign (2017), los huéspedes de un hotel esperan tener una experiencia igual o superior a la de la red del hogar. Generalmente los huéspedes llegan con tres

dispositivos a saber: una laptop, un Smart phone y una Tablet. Gracias a la posibilidad de movilidad del usuario, el uso de datos se ha vuelto complejo y ocurre en diferentes zonas del hotel (restaurante, gimnasio, etc.); siendo la preferida el cuarto de huésped. Así un usuario puede hacer uso de: redes sociales, juegos en línea, comunicaciones de voz y vídeo, vídeo streaming, etc. Adicionalmente, dado que en los últimos años existe una migración marcada al uso de archivos en la nube, también la red deberá estar lista para proporcionar este recurso sin saturarse brindando una experiencia cómoda para todos los huéspedes.

2.5.1.1. Tipos de Hoteles

Un hotel es una estructura compleja para el diseño de redes inalámbricas y por tanto se requiere un análisis adecuado de los factores y requerimientos de Wi-Fi. Uno de estos factores es el tipo de edificación o de hotel y la ubicación del hotel. No es lo mismo que el hotel esté localizado en la costa con salida al mar y exposición a temperatura y humedad que el estar construido en una zona metropolitana. De acuerdo con Rohde (2016), existen 3 tipos de Hoteles:

1. **Estándar:** su estructura es similar en todos los sentidos de arriba a abajo. Las paredes son uniformes y los cuartos son esencialmente los mismos.
2. **Atrium:** edificio de múltiples pisos con el centro abierto. Se caracteriza por ser un desafío en cuanto a la interferencia inalámbrica
3. **Resort/Campus:** se caracteriza por tener grandes espacios abiertos y cuartos con patios. Su principal dificultad es el cableado de la red.

2.5.1.2. Localización de Hoteles

De la misma manera las localizaciones principales de los hoteles son (Rohde, 2016):

1. **Metropolitano:** ubicados en ciudades. Sus principales desventajas son: la gran interferencia de radiofrecuencia por la multitud de señales urbanas y la dificultad de obtener planos actualizados (*as built*).

2. **Costa:** construcción de concreto en su mayoría con presencia de árboles y agua. No tiene interferencia de otros edificios.
3. **Aeropuerto:** Interferencia de señales de radar. Se debe activar los canales DFS.

2.5.1.3. Tipos de Instalaciones de Wi-Fi en Hoteles

De acuerdo con Rohde (2016), en el “Webinar: Hotel Wi-Fi - Designing it right”, existen las siguientes modalidades de instalación de Wi-Fi en Hoteles desarrolladas a través de los años:

Instalación en pasillos: consiste en colocar los AP de manera uniformemente distribuida en los pasillos. Este tipo de instalación generalmente usa cableado UTP categoría 5/6 y se caracteriza por una significativa interferencia co-canal. Dado que la cama y el escritorio del cuarto suelen quedar escondidos detrás del baño, que normalmente se instala hacia el pasillo, se tiene dificultades de penetración de la señal hacia los puntos principales de uso. También es característico de este tipo de instalación el que los AP se ubiquen en el cielo falso; por razones de estética. Sin embargo, los materiales de los techos de los cuartos no son siempre abiertos e inclusive a veces son de concreto; lo que dificulta el ingreso de la señal. Además, los AP ubicados en el cielo falso toman contacto con tuberías internas del edificio. Una ventaja es que los AP quedan accesibles para mantenimiento y no son intrusivos en el cuarto del huésped.

Exterior: en este tipo de instalación los AP son colocados en los exteriores del edificio y otras estructuras. La señal se lleva hacia los cuartos por medio de antenas directivas desde el exterior. Si bien este tipo de arreglo es adecuado para los patios, muchos hoteles no son dueños de propiedades externas al edificio para montar los equipos. Además, los AP quedan expuestos a los elementos. En lugares con huracanes, este tipo de instalación es usualmente destruida. Por estas razones, este tipo de instalación ha quedado en desuso por cuanto es difícil de mantener y no brinda una red estable adecuada al huésped; más con las cada vez más frecuentes redes de alta densidad de usuarios.

Sistemas de Antenas Distribuidas: se colocan los AP para cubrir 20 a 30 cuartos. Las Antenas se conectan a cable coaxial a través de splitters. Este tipo de diseño no tiene certificación FCC (*Federal Communications*

Commision) y no se considera práctica hoy en día para los requerimientos de densidad, debido al recorrido de la señal a través de los splitters hacia el AP.

Redes de Malla (MESH): la principal dificultad está en el uso compartido del canal de 5 GHz entre el enlace de malla y el cliente. Se caracterizan por instalar un AP raíz que está conectado por cable para obtener internet. Los demás AP se conectan a este por medio de red inalámbrica sobre la banda de 5 GHz . Si bien este tipo de instalación puede llegar a lugares en los que no se pueda cablear un AP, no se recomienda instalar la red completa bajo este esquema; sobre todo si se requiere un alto flujo de datos.

Dentro del Cuarto: consiste en instalar los AP directamente en el cuarto del huésped (e.g. debajo del escritorio, en un closet o en el techo). Desde una perspectiva de radio frecuencia por cliente es la mejor ubicación para el AP; ya que se minimiza la proximidad con respecto al cliente y se agranda la distancia con respecto a otros AP (isolación). De esta manera este tipo de instalación reduce la interferencia de co-channel. También se puede aprovechar la sobreposición con APs contiguos para mantener al cliente conectado en caso de falla del AP de su cuarto. Sin embargo, este tipo de instalación dificulta las tareas de mantenimiento ya que las mismas deben realizarse cuando el huésped no se encuentre en el cuarto. Por lo mismo, desde un punto de estética, algunos hoteles no están conforme con la exposición de equipos electrónicos y cableado hacia el cliente. Otros problemas es la molestia de los usuarios por las luces parpadeantes del AP, la dificultad técnica de cablear dentro del cuarto de huésped y el hecho de que el AP puede ser manipulado por el huésped. No obstante, en la actualidad ya se dispone de AP para montaje empotrado en pared (Wall Plate Access Point) como el AP2030, (Figura 5) que se coloca de manera lisa en la pared, con las luces ocultas detrás de un panel deslizante y con antenas internas. Para el cableado se utiliza cable UTP, Fibra(G-PON) o DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification)¹.

¹Transferencia de datos de gran ancho de banda sobre cables de televisión existentes (Wikipedia contributors, 2021)

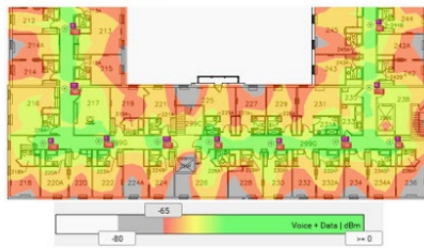


Figura 5: Huawei AP2030 Wall Plate Access Point
Fuente: Enterprise (2021)

En la Figura 6 se compara la cobertura y la superposición de canales (*channel overlap*) para las instalaciones de APs en el pasillo respecto de la instalación en el cuarto. Se puede observar que la cobertura se mejora de gran medida y la interferencia se reduce. Por esta razón, la instalación de APs dentro del cuarto es la mejor opción disponible.

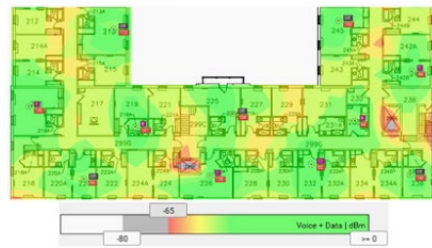
APs Deployed in the Hallways

Wi-Fi Coverage - 2.4 & 5 GHz



APs Deployed in Rooms

Wi-Fi Coverage - 2.4 & 5 GHz



Channel Overlap - 2.4 & 5 GHz



Channel Overlap - 2.4 & 5 GHz

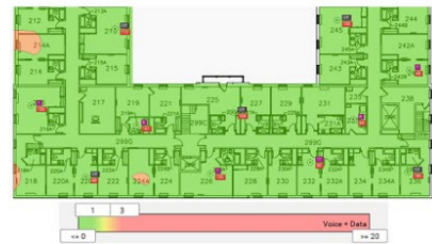


Figura 6: Comparación de Cobertura y Superposición de Canales entre ubicación de APs interna y en los pasillos

Fuente: Hintersteiner (2021)

2.5.2. Mejores Prácticas de Diseño de WLAN en Hoteles

El sector hotelero representa un gran desafío para el diseño e implementación de redes Wireless LAN. Por una parte, los huéspedes desean disponer de la misma calidad de Wi-Fi que en sus hogares y utilizarla en diversidad de servicios streaming disponibles (Netflix, Amazon Prime). Por otra, está el uso por parte del propio Hotel de la red Wi-Fi para tareas administrativas y hasta la interconexión con dispositivos IoT para la gestión inteligente de los cuartos (Hintersteiner, 2021). En esta Sección se describen las mejores prácticas para la implementación de Wi-Fi en el sector hotelero, recomendadas por diferentes empresas que proveen el servicio de implementación de soluciones Wi-Fi, como es el caso de BLUEPRINTRF, ENSIGN y EKAHAU, entre otras.

2.5.2.1. Determinar los requerimientos y limitaciones del Hotel

La primera etapa en un diseño exitoso de Wireless LAN en el sector hotelero depende en gran medida de determinar los requerimientos particulares del Hotel, las limitaciones existentes (e.g. presupuesto), así como asesorar al sector administrativo del mismo respecto a las posibilidades tecnológicas en Wi-Fi. Dado que el Hotel depende de satisfacer de las necesidades de los clientes, éstas terminan siendo determinantes. Así, algunos hoteles inicialmente buscan instalar Wi-Fi hotspots, pero al determinar los requerimientos de sus clientes, optan por instalar APs en cada cuarto para mejorar la experiencia del usuario (Ensign, 2017).

Por ejemplo, si bien se puede asumir que los clientes disponen de equipos electrónicos (tablets, smartphones, etc.) relativamente modernos, se debe considerar que algunos de estos dispositivos operan únicamente en la banda de $2,4\text{ GHz}$ (Hintersteiner, 2021). De hecho, los dispositivos IoT, en su mayoría, generalmente operan en la banda de $2,4\text{ GHz}$. Debido a estas circunstancias es necesario implementar soporte dual band, que permita comunicar con dispositivos en $2,4\text{ GHz}$ y 5 GHz (Hintersteiner, 2021).

También es importante determinar en esta primera etapa si la red instalada en el Hotel es Convergente (i.e. incluye servicios como VoIP, IPTV, dispositivos IoT, etc.). Pues, cada una de las aplicaciones requerirá su propia VLAN o una SSID Wireless dedicada con una encriptación

WPA2 Enterprise, preferiblemente. El tema de seguridades es de importancia ya que no se desea que un huésped pueda acceder a redes que controlan dispositivos de IoT de gestión del hotel o redes por las que fluyen comunicaciones internas del staff del hotel. De acuerdo con Hintersteiner (2021), normalmente se distinguirá entre dos redes principales:

- *Front of house*: es la red que usan los huéspedes y clientes del hotel.
- *Back of house*: es la red en la que circulan los servicios, los dispositivos IoT, las comunicaciones del staff de administración y servicios, etc.

Otros puntos importantes que determinar en esta primera etapa son:

- **Cobertura de la Red inalámbrica**: Consiste en determinar las áreas de interés a ser cubiertas por la WLAN. Normalmente son los cuartos de los huéspedes. Sin embargo, existen ciertas áreas estratégicas como: piscinas, comedores al aire libre, áreas de banquetes e inclusive estacionamientos. De ahí que, como señala Hintersteiner (2021), el diseño de red WiFi para un hotel es un mix entre capacidad y cobertura. En la Sección 2.5.1.3 se discutieron algunas alternativas para la instalación de los AP.
- **Capacidad de la Red inalámbrica**: Consiste en dimensionar la solución WLAN en función de la demanda de Ancho de Banda por parte de los usuarios y eventos en el hotel. Hintersteiner (2021) indica que los momentos de demanda pico son usualmente: las noches y fines de semana cuando los huéspedes están en sus habitaciones y los eventos del hotel; cuando éste tiene habilitado salones de conferencias. De igual manera se debe determinar la capacidad en función de lo que el hotel desee permitir y ofrecer: vídeo streaming, acceso a servicios de streaming como Netflix. Aquí es importante considerar el modelo de negocio del propio hotel y si se piensa monetizar la Wi-Fi; por ejemplo, distinguiendo entre un servicio básico y uno mejorado en cuanto al ancho de banda (Alcatel-Lucent, 2021).
- **Presupuesto**: Las limitaciones en el presupuesto pueden servir para identificar los requerimientos críticos. En este sentido es crucial

la selección adecuada de APs, ya que comercialmente existen APs desde los \$ 100.00 hasta los \$1000.00, con funcionalidades que de pronto no son necesarias para el hotel. Cada caso deberá ser analizado particularmente.

- **Estética del edificio:** Se debe considerar los requerimientos de decoración del hotel, así como el hecho de que a los huéspedes no les agrada en general ver antenas y recibir el constante parpadeo de los dispositivos electrónicos. Ventajosamente, en la actualidad se dispone de APs diseñados con estas consideraciones a fin de disminuir la percepción de éstos por el huésped (Figura 5).
- **Restricciones de montaje:** En función del tipo de Hotel que este siendo atendido se debe considerar el montaje de los APs. Por ejemplo, en el caso de moteles y hoteles antiguos se requiere realizar el montaje de APs en los pasillos ya que normalmente carecen de una infraestructura de cableado y ésta puede costar mucho.
- **Interferencia Externa:** Especialmente en los hoteles localizados en zonas Urbanas, se debe analizar la interferencia por fuentes externas de Wi-Fi. A pesar de que se puede setear los AP para utilizar los algoritmos de *auto channel* y *auto power*, los niveles de interferencia pueden ser problemáticos en ciertas partes del edificio.

Con toda la información recabada de las entrevistas con los involucrados en el proyecto, desde la perspectiva de Wi-Fi, de acuerdo con Metageek.com (2021), la lista de requerimientos debe ser similar a la siguiente:

- Fortaleza de la señal mínima de -67 dBm
- Relación señal a ruido mínima de 20 dB
- Data rate mínimo de 24 Mbps
- Potencia máxima de dos APs en el mismo canal sobre -85 dBm

2.5.2.2. Wi-Fi Site Survey

Un site survey permite una inspección de la propiedad y la infraestructura de red, permitiendo determinar las potenciales ubicaciones

de los Access Points, líneas de vista y las áreas de cobertura esenciales (Blueprintf, 2021). En general existen tres tipos de site survey que se pueden realizar. Para ejecutarlos es necesario disponer de planos precisos y escalados y acceso para realizar mediciones (Hintersteiner, 2021). Entre estos se tiene:

2.5.2.2.1. Site Survey Predictivo

Consiste en realizar un modelo matemático de las instalaciones. Una vez cargado el plano, se dibujan las paredes y ventanas eligiendo los materiales de las que están fabricadas. Esto permite estimar la atenuación de la señal inalámbrica en función del material. Los APs se localizan sobre el plano y se los puede mover en el modelo para evaluar las características de cobertura e interferencia. Adicionalmente, se puede variar los parámetros de potencia y el canal. Se considera una aproximación inicial que determina las posibles locaciones de los APs, su cantidad y potencia de transmisión recomendada. Su principal desventaja es que se basa en suposiciones simplificadas como: 1) que los planos sean actuales y precisos y 2) que los materiales descritos se comporten de la manera indicada por el software.

2.5.2.2.2. Site Survey de Pre-Despliegue en Sitio

También conocido como *AP-on-a-stick* o *APoaS*, consiste en realizar las mediciones en sitio utilizando los APs actualmente instalados o, en caso de que no existan APs, temporalmente se instala uno para realizar las mediciones de cobertura. Una ventaja adicional de este tipo de site survey es que se puede detectar señales de terceros y determinar el nivel de interferencia que estas fuentes externas pueden ocasionar sobre la WLAN. Si con anterioridad se ha realizado un site survey predictivo, éste survey permite refinar el modelo predictivo al medir las atenuaciones reales.

2.5.2.2.3. Survey de Post-Despliegue

Es realizado una vez que se ha instalado la red y esta se encuentra operativa. Permite validar que los requerimientos solicitados por el cliente hayan sido cumplidos. Además, se puede utilizar como una herramienta de diagnóstico en el caso que haya problemas con la cobertura de la red inalámbrica.

2.5.2.3. Selección de Access Points

La selección de APs debe considerar los requerimientos del Hotel más que las facilidades que los equipos presten para el equipo de ingeniería e instalación. La mayoría de WISP (*Wireless Internet Service Provider*) tienden a escoger marcas y modelos con las que están familiarizadas y no necesariamente las más adecuadas para la aplicación a resolver (Hintersteiner, 2021). Por ejemplo, se debe considerar que los APs de zonas públicas del hotel (e.g. salones de conferencias, restaurantes, lobby) deben ser seleccionados para proveer alta capacidad de comunicación. Mientras que en los dormitorios de los huéspedes es de importancia considerar la cobertura más que la capacidad. De ahí que se necesite un mix de equipos, marcas y distinguir apropiadamente las áreas que requieren alta capacidad de comunicación y las áreas que sólo requieren cobertura.

2.5.2.3.1. Selección de Canales de Transmisión:

Sobre la ubicación de los APs se discutió las diferentes alternativas en la Sección 2.5.1.3. La Figura 6 indica de manera muy clara las ventajas de cobertura y de interferencia cuando se instalan los APs directamente en los cuartos de los huéspedes. En general, la instalación de WLAN integrará diferentes APs para satisfacer los requerimientos de cobertura y capacidad de las distintas áreas del hotel. Como consecuencia, es necesario considerar que cada AP transmite en un canal determinado y, dependiendo de la frecuencia y potencia de la señal transmitida, los APs adyacentes se pueden interferir. Por ejemplo, como muestra la Figura 7, una de las ventajas de instalar la red WLAN en 5 GHz es que se dispone de 24 canales no superpuestos; contrariamente a lo que sucede en la banda de $2,4\text{ GHz}$ donde sólo se dispone de 3 canales (Metageek.com, 2021).



Figura 7: Disponibilidad de Canales no superpuestos en $2,4\text{ GHz}$ y 5 GHz

Fuente: Metageek.com (2021)

La interferencia de canales debe ser considerada en el diseño de la red WLAN principalmente porque, a diferencia de una red cableada LAN, una red inalámbrica es una comunicación de tipo *Half Duplex*. Esto significa que los diferentes dispositivos toman turnos para establecer la comunicación con el AP (i.e. sólo un dispositivo puede transmitir por el canal por turno). Por tanto, a mayor cantidad de dispositivos transmisores en el canal, más incremento en la latencia de comunicación de los demás dispositivos; dicho fenómeno se conoce como interferencia co-canal (*co-channel interference*)(Metageek.com, 2021). Para mitigar este fenómeno se pueden considerar las siguientes opciones:

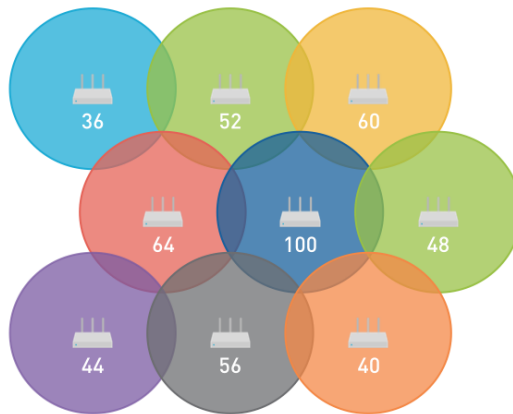
- Deshabilitar *data rates* de velocidades lentas como: 1, 2, 5.5, o 11 mbps

- Crear celdas de cobertura pequeñas para que pocos dispositivos transmitan por el mismo canal.
- Vigilar que las celdas permitan que la comunicación sea rápida.
- Disponer tanto de red a $2,4\text{ GHz}$ y 5 GHz . Esto permite duplicar el throughput disponible.
- Asignar efectivamente los canales para evitar que las celdas tomen turnos.

Si bien la ubicación de los APs en los cuartos de los huéspedes permite reducir la interferencia co-canal, se recomienda un patrón estático y alternante de los canales. La Figura 8 muestra una propuesta para configurar los APs considerando un patrón de alternancia de canales (Hintersteiner, 2021). Para la banda de $2,4\text{ GHz}$ se recomienda sólo usar un ancho de canal de 20MHz ; ya que, si bien se pueden configurar canales de 40MHz , uniendo dos canales contiguos en esta banda se tendrá canales traslapados. Por el contrario, en la banda de 5 GHz , es posible utilizar anchos de 40MHz y 80MHz .



(a) Celdas en 2,4 GHz



(b) Celdas en 5 GHz

Figura 8: Planificación de Canales en 2,4 GHz y 5 GHz

Fuente: Metageek.com (2021)

2.5.2.3.2. Potencia de Transmisión TR_x :

Una mayor potencia permite abarcar mayores distancias y garantizar que la señal atraviese de mejor manera materiales físicos. Como señala Hintersteiner (2021), al diseñar una WLAN de doble banda (dual band access point), se desea tener una cobertura equivalente en ambas bandas. Esto produce una diferencia en los niveles de potencia entre 4-6 dB de la banda de $2,4\text{ GHz}$ comparada con la de 5 GHz . Por esta razón, en entornos densos se suele deshabilitar la banda de $2,4\text{ GHz}$ en algunos APs.

2.5.2.4. Monitoreo Control y Seguridad de la Red

Con la creciente conectividad de sensores y dispositivos electrónicos que facilitan las operaciones de un Hotel, y como se ha mencionado anteriormente, es necesario implementar un esquema de seguridad. Por ejemplo, la segmentación de la red entre la red de huéspedes y la de administración es necesaria para brindar un nivel de seguridad (Ensign, 2017).

Una práctica común en el dominio de los hoteles, de acuerdo con Hintersteiner (2021), es el uso de los portales cautivos (*Captive Portals*). Estos son dispositivos de capa 3 cuya finalidad es autenticar a los usuarios antes de permitir el acceso total a internet de estos. Cuando un usuario intenta acceder a internet, el portal cautivo intercepta la solicitud y deriva al usuario a una página web denominada *splash page*. Allí el usuario debe registrarse, identificarse y aceptar las políticas de uso de la red. Generalmente los métodos de login en un portal cautivo son:

- **Términos y Condiciones:** Indica las políticas de uso necesarias de ser aceptadas por el usuario.
- **Usuario y Contraseña:** Generalmente utilizadas en residencias universitarias y edificios.
- **Código:** Utilizado en hoteles. Se provee al cliente de un código para hacer uso del servicio de Wi-Fi. El código es cambiado cada cierto tiempo.
- **Nombre de usuario y número de cuarto:** Este método asegura que el usuario tenga conexión cuando el usuario está en el Hotel.

- **Email o redes sociales:** Consiste en utilizar el portal para obtener información para ser usadas en campañas de marketing.
- **Anuncios:** Se utiliza para monetizar mostrando anuncios de terceros.

Para complementar los niveles de seguridad, tanto del segmento administrativo como de la red de huéspedes, se recomienda utilizar el portal cautivo a través de un servidor RADIUS y de VLAN dinámicas (Ensign, 2017). La Figura 9 ilustra la conexión con un servidor Radius para identificar a un AP para conexiones seguras.

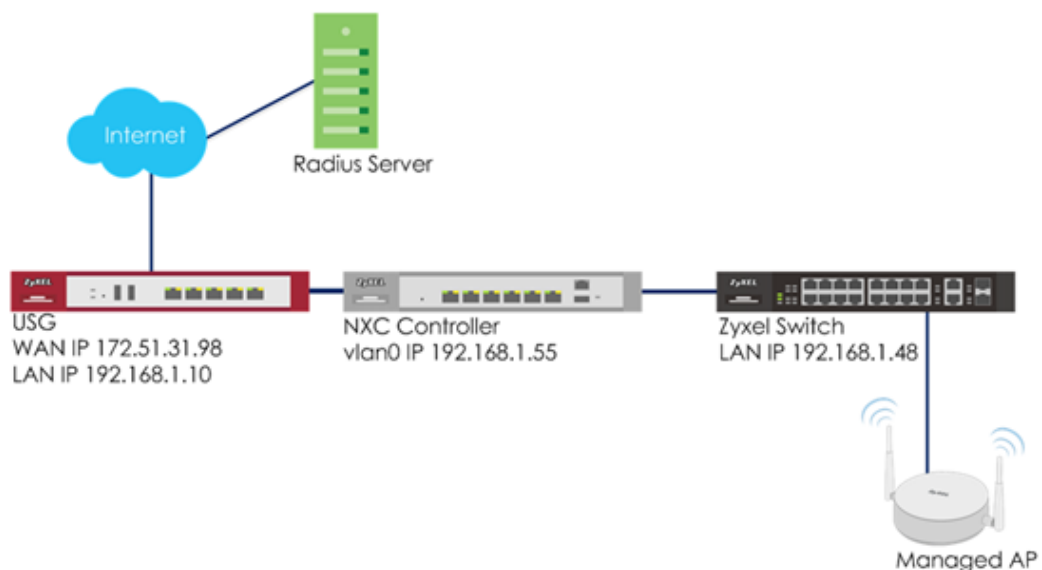


Figura 9: Conexión Radius

Fuente: KathyLin (2019)

La red del Hotel debe ser administrada y monitoreada. Esta administración se realiza de tres maneras a través del controlador AP:

1. **Arquitectura Centralizada:** Toda la inteligencia de la red se configura en el controlador y todo el tráfico de cada AP pasa a través del controlador antes de llegar al destino. Este tipo de arquitectura ya no es muy utilizada.
2. **Arquitectura Distribuida:** La inteligencia de la red es gestionada por cada AP. En algunos casos no requiere instalar un Controlador AP.
3. **Arquitectura Separada:** En esta configuración la inteligencia de la red se comparte entre los APs y el controlador. De esta manera la gestión de datos se hace a través de los APs mientras que las funciones de control a través del controlador.

2.5.2.4.1. Segmentación de Tráfico

La segmentación de tráfico es una parte crucial del diseño de una red (Coleman & Westcott, 2021). Pues, permite restringir los recursos a los que puede un usuario autorizado acceder. Existen diferentes mecanismos para implementarla entre los cuales están: firewalls, routers, VPN, VLAN. Comúnmente, en 802.11, se utiliza segmentación en capa 3 que emplea VLAN mapeadas a diferentes subnets. Este esquema es complementado con el uso de servidores Radius para un mayor control de la seguridad interna de la red.

2.5.2.4.2. Virtual local area networks (VLAN)

Son utilizadas para crear dominios separados a nivel de capa 2 y de esta manera restringir el acceso a los recursos de la red sin depender de la topología física de la misma. Para esto las VLAN están mapeadas a subnets únicas de la capa 3. Dado que se pueden plantear tanto arquitecturas centralizadas como descentralizadas, el comportamiento de las VLAN es diferente. Por ejemplo, en las redes centralizadas, el tráfico del usuario se encamina al controlador de la red desde cada AP. En cambio, en la arquitectura descentralizada, se requiere de soporte para usuarios múltiples (i.e. cada AP se conecta a un puerto troncal 802.1Q del switch que identifica mediante un tag las VLAN de los usuarios). De esta manera en WLAN se puede segmentar a los usuarios por medio del par SSID/VLAN y utilizar un sólo AP. Cada SSID puede además configurarse con políticas de seguridad diferentes. Una estrategia a menudo empleada, dado que la mayoría de AP comerciales pueden crear múltiples SSIDs, es separar las SSIDs según el uso mapeándolas a VLANs específicas: invitado, voz, empleado. Finalmente, la administración de los controladores de red inalámbrica debe aislarse con una VLAN específica (Coleman & Westcott, 2021).

En la Figura 10 se muestra una configuración que hace uso de un Switch de capa 2 para crear 4 redes VLAN. Una para invitados (10.100.7.0/24), otra para empleados (10.100.5.0/24), otra para Voz IP (10.100.8.0/24) y una para administración del AP (10.100.2.0/24).

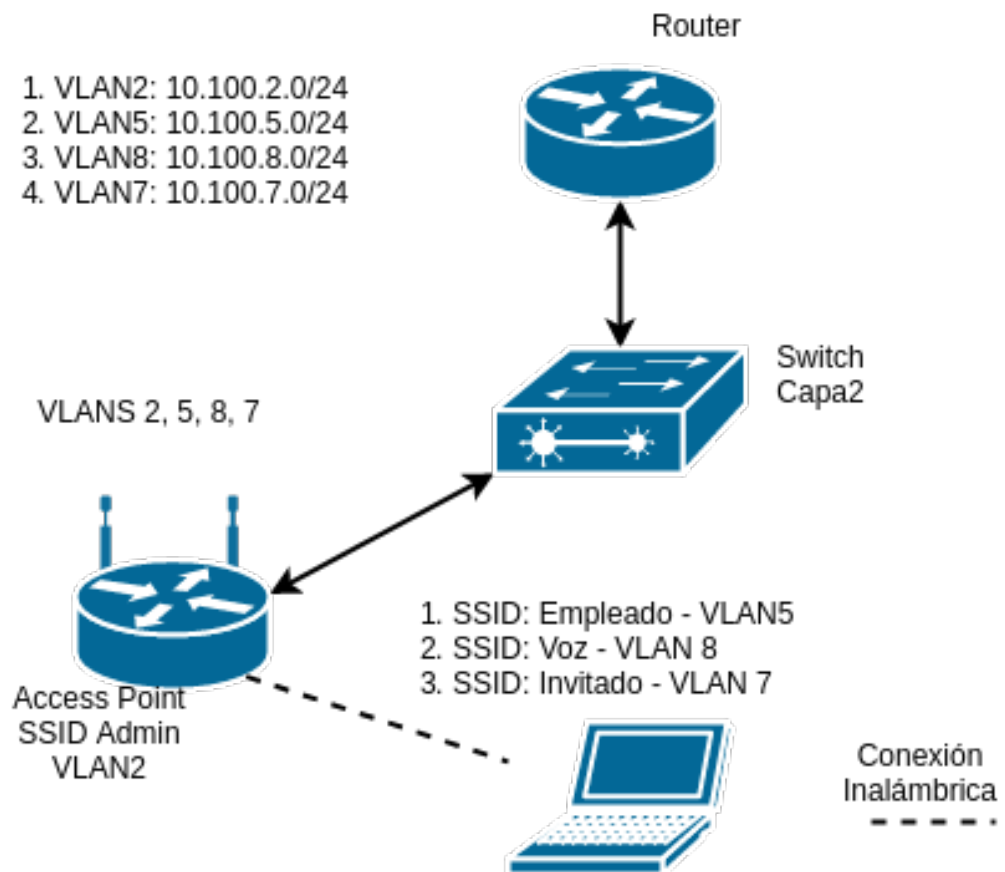


Figura 10: Redes Virtuales de Área Local para Segmentación de Red y Usuarios
Fuente: Autor

- VLAN - Invitado: El SSID relacionado con el invitado generalmente es del tipo abierto; aun cuando todos los invitados deben estar restringidos por una política de firewall. No disponen de acceso a los recursos de la red local y son enrutados directamente hacia una pasarela de internet.
- VLAN - Empleados: El SSID del empleado utiliza una solución de seguridad más robusta: WPA2-Enterprise, listas de control de acceso (ACLs: *Access Control Lists*) o políticas de firewall que permitan que los empleados dispongan de un acceso completo a los recursos de la red una vez que hayan sido autenticados.

2.5.2.4.3. Role-based access control (RBAC)

Este enfoque permite restringir el acceso a la red por medio de políticas de autorización de usuarios. Su principal ventaja es que desde un mismo SSID y con políticas definidas por grupos de usuarios en un servidor radius se puede gestionar el tráfico sin la necesidad de crear el par SSID/VLAN como en el caso anterior. Los 3 componentes principales de esta solución son: usuario, rol y permisos. Se puede crear un rol para cada tipo de usuario (e.g. ventas, finanzas, marketing). Los permisos del tráfico se definen a nivel de capa 2 con MAC filters o a nivel de capa 3 con VLANs (listas de control de accesos). Adicionalmente a nivel de las capas 4–7 se pueden setear los permisos para el usuario (reglas de firewall y ancho de banda). Los permisos de tráfico de los usuarios son mapeados a través de los roles o perfiles de usuario. Cuando un usuario se identifica usando 802.1X/EAP, se generan pares de valores de atributos (RADIUS attribute value pairs (AVPs)) para asignar al usuario a un rol específico. Un ejemplo de este enfoque se presenta en la Figura 11.

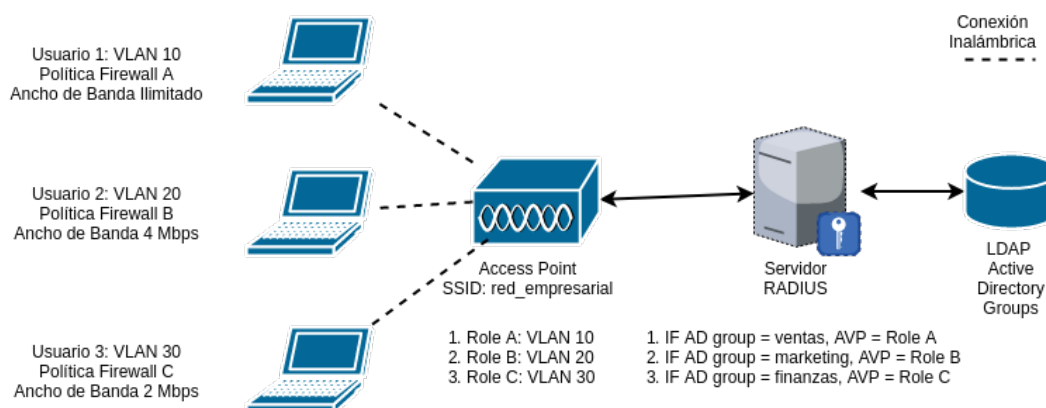


Figura 11: Control de Accesos basado en Roles

Fuente: Autor

Capítulo 3

Propuesta de Diseño

3.1. Introducción

El uso racional de los recursos energéticos en un edificio es cada vez más importante a medida que la huella de carbono y los efectos del calentamiento global son más notorios. En este sentido, el desarrollo de tecnologías integradas como el IoT, que explotan el recurso de las comunicaciones inalámbricas, y los desarrollos en Ciencias de la Computación, como Big Data y Machine Learning, permiten en la actualidad replantear el funcionamiento tradicional de los edificios. En el Capítulo 2, Sección 2.3, se discutió y definió el concepto de Smart Building, señalando sus características principales y sus potenciales dentro de las Smart Cities y Smart Grids. Por su parte, los conceptos principales sobre IoT se abordaron en el Capítulo 2, Sección 2.2, y por último los conceptos de Redes Inalámbricas en el Capítulo 2, Sección 2.4. En el presente capítulo se aborda la propuesta de diseño de la solución para el Hotel Río Suites. Esta propuesta tiene por objetivo sentar bases que permitan, en un futuro, transformar al Hotel en un smart building. Por tanto, es relevante estudiar la cobertura y arquitectura de la red Wi-Fi, que será la encargada de intercomunicar a los clientes, los empleados, y la red de sensores y actuadores IoT (WSN). Para alcanzar los objetivos planteados y diseñar la investigación, se utiliza la metodología de *Design Science Research* presentada por los autores Hevner y Chatterjee (2010) y Peffers y col. (2020).

3.2. Design Science Research (DSR)

El paradigma de la ciencia del diseño es esencialmente pragmático, enfocado en la solución de problemas, y con sus raíces en la ingeniería. Filosóficamente, se presupone que la verdad (i.e. la teoría) y la utilidad (i.e. el artefacto) son dos presentaciones de la misma esencia (Hevner & Chatterjee, 2010). Como paradigma de investigación, la DSR permite a los investigadores de Sistemas de Información conducir investigación aplicada con rigor científico (Peppers y col., 2020); misma que puede desarrollarse de dos maneras a saber: el diseño como investigación y la investigación del diseño. El primer caso consiste en el diseño de un artefacto que resuelve el problema específico. Dicho artefacto genera conocimiento científico en la forma de modelos, constructos, métodos e instancias aplicadas al dominio específico (March & Smith, 1995). Por su parte, el segundo caso se enfoca principalmente en investigar el proceso de diseño. Este trabajo de investigación se enmarca en la primera clase, ya que se desea realizar un artefacto (i.e. el diseño de la red Wi-Fi con IoT) que permita en un futuro hacer del hotel Río Suites un Hotel Inteligente.

DSR se puede considerar como conformado por los términos *Research* (Investigación) y *Design Science* (Ciencia del Diseño). Desde la perspectiva de investigación el objetivo de la DSR será el de incrementar el conocimiento científico. La investigación implica una combinación de preguntas, métodos y productos de investigación. Por su parte las ciencias del diseño son distintas de las ciencias formales (e.g. matemática) y de las ciencias explicativas (e.g. física o biología). Las ciencias del diseño son esencialmente prescriptivas (e.g. ingeniería, medicina) porque desarrollan conocimiento en la realización de artefactos que resuelven problemas constructivos. Es decir, se enfocan principalmente en el mutandum (cambio), tratando de responder cómo puede ser o funcionar algo. No es objeto de una ciencia del diseño enfocarse en cómo es algo. De ahí que el producto de una ciencia de diseño es el propio artefacto (Toca Pérez, 2021).

3.2.1. Ciclos y Etapas de DSR

En la literatura revisada sobre DSR para el presente trabajo de investigación, se encuentran dos tipos de ciclos o etapas en las que los investigadores dividen a la DSR. Hevner y Chatterjee (2010) plantean la DSR mediante tres ciclos: 1) ciclo de relevancia, 2) ciclo de diseño y 3) ciclo de rigor. El primero se enfoca en el dominio de la aplicación y trata principalmente de los requerimientos y criterios de evaluación de la investigación. El segundo ciclo, se enfoca en la construcción del artefacto y su evaluación iterativa. El tercer y último ciclo se centra en verificar que la investigación desarrollada sea innovadora. Para esto hace uso de explorar las bases de conocimientos (teórico-científicas y métodos de ingeniería), así como el conocimiento derivado de las experiencias y artefactos ya desarrollados en el estado del arte del dominio de la aplicación. La Figura 12 representa esquemáticamente esta situación.

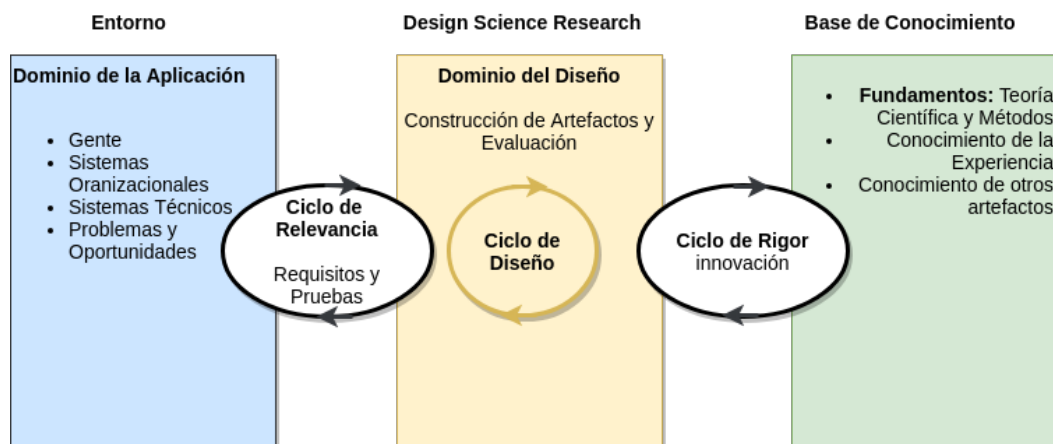


Figura 12: Ciclos de Design Science Research

Fuente: Adaptado de “Design science research in information systems”, Hevner y Chatterjee (2010)

Sin embargo, Peffers y col. (2020) presentan un enfoque diferente basado en etapas de la DSR. Es más, los autores proponen lo que han denominado como *Design Science Research Process*. Este enfoque es el que se considera para la presente investigación; por cuanto el artículo es más actualizado y contiene en su revisión de literatura el trabajo realizado por Hevner y Chatterjee (2010). En consecuencia, el DSRP está conformado de 6 etapas que se describen a continuación y se detallan en la Figura 13:

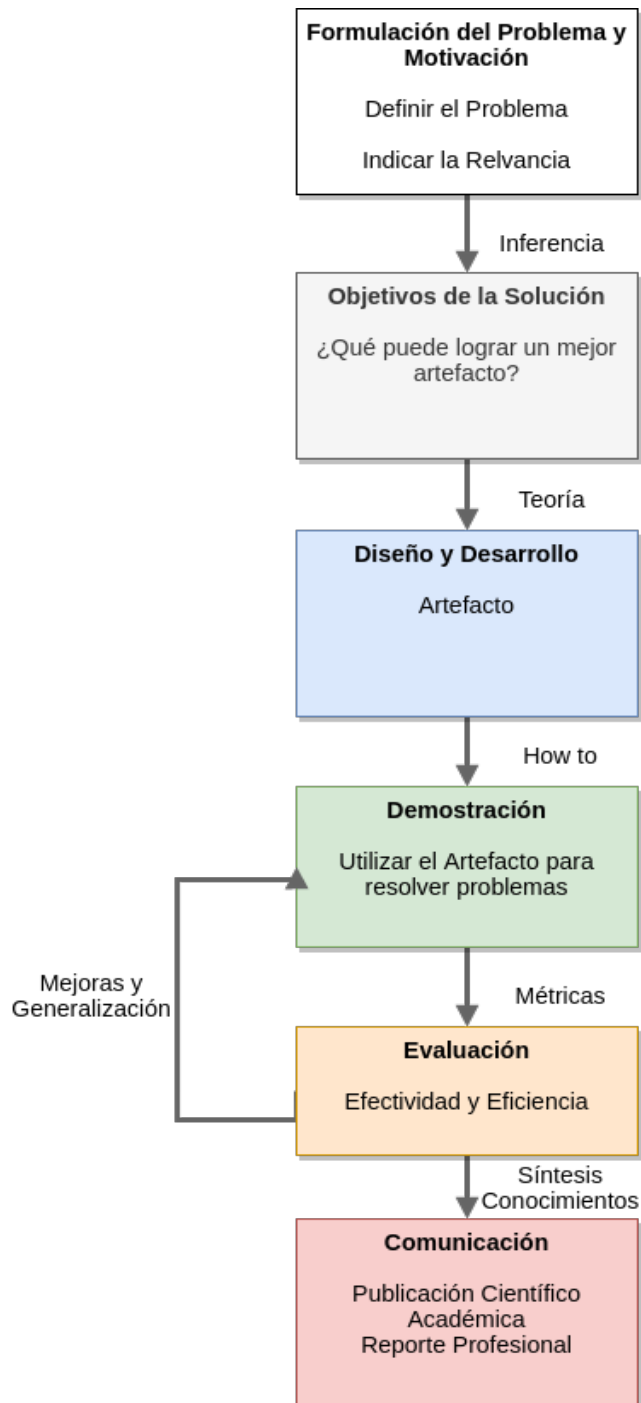


Figura 13: Proceso de Design Science Research

Fuente: Adaptado de “Design Science Research Process: A Model for Producing and Presenting Information Systems Research”, Peffers y col. (2020)

1. **Formulación del problema y motivación:** Consiste en la definición del problema de investigación y la importancia o relevancia de la solución. Esta etapa se recomienda que evalúe conceptualmente el problema a fin de determinar la complejidad de la solución.
2. **Objetivos:** Una vez formulado el problema los objetivos son inferidos directamente de la etapa anterior. Los objetivos pueden ser cuantitativos (el artefacto propuesto es mejor que otros en un benchmarking) o cualitativos (e.g. el artefacto resuelve problemas distintos a otros artefactos). Esta etapa puede requerir de un conocimiento del estado del arte, así como de las experiencias en el dominio de la aplicación.
3. **Diseño y desarrollo:** Consiste en la creación del artefacto. El cual, de acuerdo con Hevner y Chatterjee (2010), puede ser constructos, modelos, métodos o instancias.
4. **Demostración:** Implica demostrar la eficacia del artefacto para resolver el problema. Se puede recurrir a casos de estudio, experimentación, simulación y otros.
5. **Evaluación:** Consiste en evaluar el desempeño del artefacto en su aplicación en la solución del problema. De los resultados analizados de esta etapa se puede hacer modificaciones al artefacto para mejorar su desempeño.
6. **Comunicación:** Comunicar los resultados obtenidos, la innovación e importancia del artefacto diseñado a la comunidad académica o profesional dependiendo del caso.

3.3. Diseño y Desarrollo

3.3.1. Metodología

El Hotel Río Suites requiere disponer de una cobertura adecuada de Wi-Fi para implementar la red inalámbrica de sensores y actuadores (WSN). Se conoce de antemano, por conversaciones con la gerencia del hotel, que existen zonas donde la red presenta deficiencias. Por otra parte, no existen mecanismos de control o automatización en las habitaciones que permitan optimizar el uso de recursos energéticos. Así, por ejemplo, el cliente puede abandonar el Hotel, dejando encendido el aire acondicionado y las luces. Esta situación origina un gasto innecesario que se puede optimizar realizando una detección automatizada de la habitación. Por estas necesidades, se propone para el presente trabajo de titulación la metodología indicada en la Figura 14.

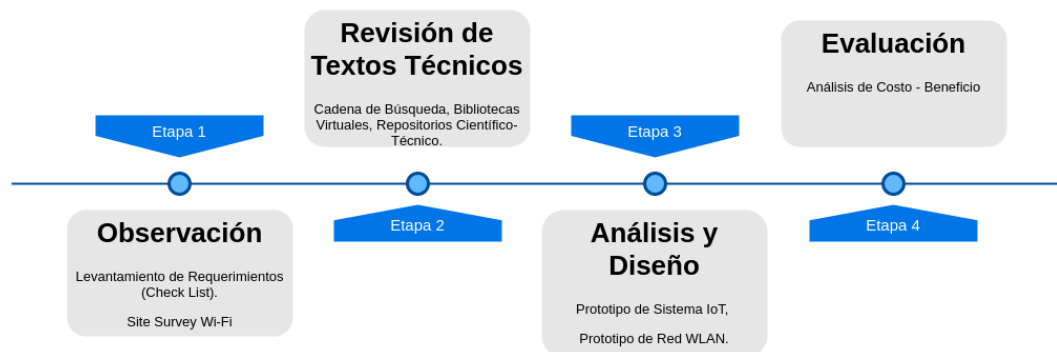


Figura 14: Metodología para el Diseño de la red IoT

Fuente: Autor

Como primer paso, se requiere realizar la observación de la situación actual del hotel. Para esto se recomienda ejecutar un site survey en sitio para conocer la cobertura de la red Wi-Fi. Entre las herramientas que se pueden utilizar se dispone de: NetSpot, VisiWave Site Survey, y Ekahau HeatMapper. Sin embargo, debido a las restricciones de movilidad de la situación sanitaria actual del año 2021, esta tesis utilizará site survey predictivo (i.e. una herramienta de software que permita predecir el comportamiento de los Access Points en función de la geometría de un plano 2D del hotel) para el diseño de la red Wi-Fi. Comercialmente, se dispone de la herramienta gratuita y en línea *WiFi Designer* de la empresa *Cambium Networks*.

Para la propuesta de soluciones de IoT, que permita realizar una mejor gestión de los recursos del Hotel, se realiza una revisión de trabajos relacionados, como segunda etapa del proyecto. Con esto, se estaría en posibilidad de realizar el diseño de una nueva red Wi-Fi que permita integrar sensores y actuadores de IoT para cumplir con los objetivos del presente trabajo de investigación.

El paso 2 de la metodología propuesta permite determinar las herramientas más adecuadas para el diseño de la red de IoT a fin de cumplir con los objetivos planteados en el presente proyecto de titulación.

Finalmente, debido a las necesidades de inversión del Hotel, y dado que este es un proyecto prototipo, se realizará el análisis de costo beneficio de la solución. Esto permitirá que el Hotel a futuro pueda realizar la implementación del prototipo desarrollado en este trabajo de titulación mediante una proyección de la inversión económica en equipos y talento humano.

3.3.1.1. Observación

Para conocer la cobertura de Wi-Fi y equipos actualmente instalados en el Hotel Río Suites, se utilizó el programa Wi-Fi Heatmap. Este software permite realizar un site survey en sitio utilizando un smartphone para captar y medir la intensidad de las señales inalámbricas. Por lo mismo, esto permitió realizar el site survey en sitio sin la necesidad de estar presente físicamente en el hotel sino instalando la aplicación en el teléfono del personal de administración de éste. En la Figura 15 se presenta la intensidad de la red inalámbrica del Hotel Río Suites en exteriores. Se observa que los sectores comunales como la piscina y el bar restaurante carecen de cobertura con suficiente señal.

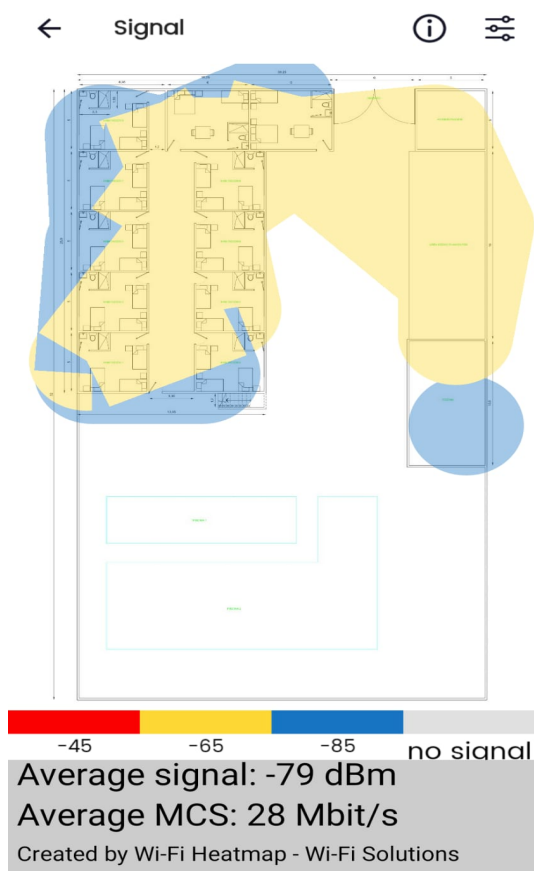


Figura 15: Site Survey en Exteriores del Hotel Río Suites
Fuente: Autor

En la Figura 16 se presenta la intensidad de señal obtenida para la red inalámbrica en los interiores del hotel.

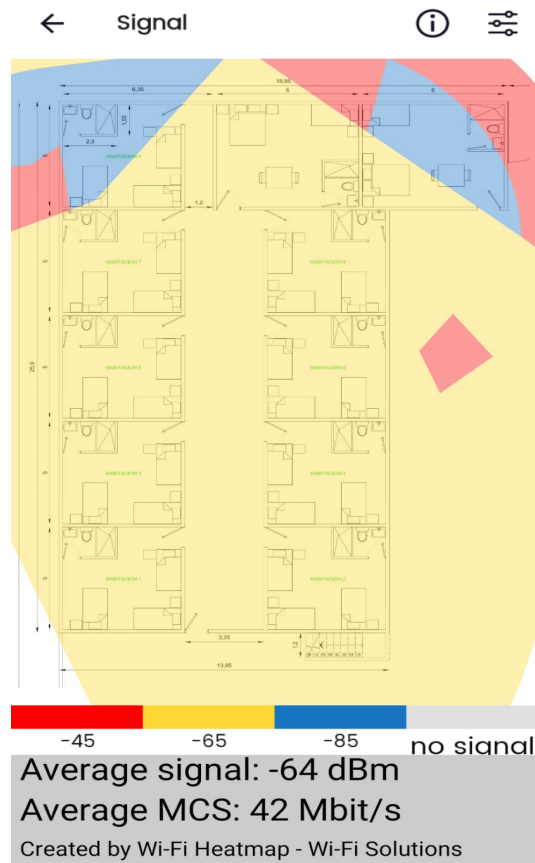


Figura 16: Site Survey en Interiores del Hotel Río Suites

Fuente: Autor

En cuanto a los equipos instalados, actualmente el Hotel dispone de 4 routers inalámbricos TP-LINK TL-WR941ND, conectados a la red NETLIFE-RIO. En el caso de la Figura 17, ésta muestra la velocidad de la red en un punto arbitrario del hotel. También, se observa que existe una sola SSID utilizada tanto por el personal de administración como para los huéspedes; lo cual implica un riesgo de seguridad según lo discutido en el Capítulo 2.

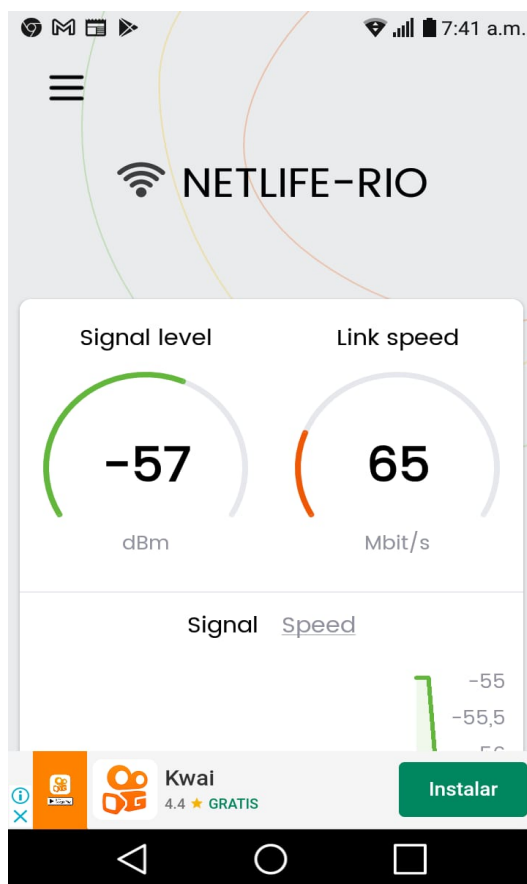


Figura 17: Velocidad de la Red NETLIFE-RIO

Fuente: Autor

3.3.2. Cobertura de Red WLAN

En esta sección se realiza por medio del Site Survey Predictivo el análisis para una cobertura global del espacio del Hotel Río Suites por la red inalámbrica. Esto permite cumplir con el segundo objetivo específico del presente trabajo de investigación detallado en el Capítulo 1, Sección 1.4.

3.3.2.1. Site Survey Predictivo

El hotel Río Suites enfrenta dos problemas a la hora de analizar la conectividad inalámbrica por protocolo 802.11:

1. La cobertura de la superficie del hotel externa (i.e. la zona de bar-restaurante, piscina, parqueaderos, etc.)
2. La cobertura de dispositivos inalámbricos instalables en las habitaciones del hotel.

Por esta razón se separa el análisis de la cobertura de Wi-Fi en dos bloques fundamentales del edificio que son: el terreno exterior y el bloque de habitaciones. Para analizar los mapas de calor obtenidos para la intensidad de las señales inalámbricas, se considera la Tabla 1, donde se indica el factor RSSI que es un indicador de la fuerza de señal recibida.

Tabla 1: RSSI

RSSI	Descripción
0	Potencia ideal
-40 a -60	Señal idónea. Transferencia estable
-60	Enlace bueno
-70	Enlace normal susceptible a problemas
-80	Enlace de potencia mínima aceptable
-90	Sin conexión

Fuente: Adaptado de https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Indicador_de_fuerza_de_la_se%C3%B1al_recibida&oldid=133320567 Wikipedia (2021)

3.3.2.2. Site Survey Predictivo de Exteriores

En la Figura 18 se observa el site survey obtenido por medio del software Wi-Fi Designer. Para garantizar una cobertura suficiente de la red Wi-Fi se considera que exista un valor de RSSI de -60 dBm en las instalaciones. El mapa se obtuvo mediante la digitalización de las dimensiones del hotel en un plano bidimensional. A continuación, en la herramienta Wi-Fi Designer se dibujaron los obstáculos que la señal de Wi-Fi atraviesa que fundamentalmente tienen relación con los muros, paredes, ventanas y puertas. También se seleccionó como variable de configuración que el ambiente o entorno a analizar corresponde efectivamente a un hotel. Para una adecuada predicción el plano debe estar debidamente escalado. Finalmente, para conseguir una adecuada cobertura se utilizan 3 Aps e700. Una de las características principales del cnPilot e700 es que está diseñado para exteriores con un IP67. La antena del equipo es omnidireccional con 8 dBi de potencia. El AP permite gestionar tanto la banda de 2.4GHz como la de 5GHz en los protocolos: 802.11 a/b/g/n/ac

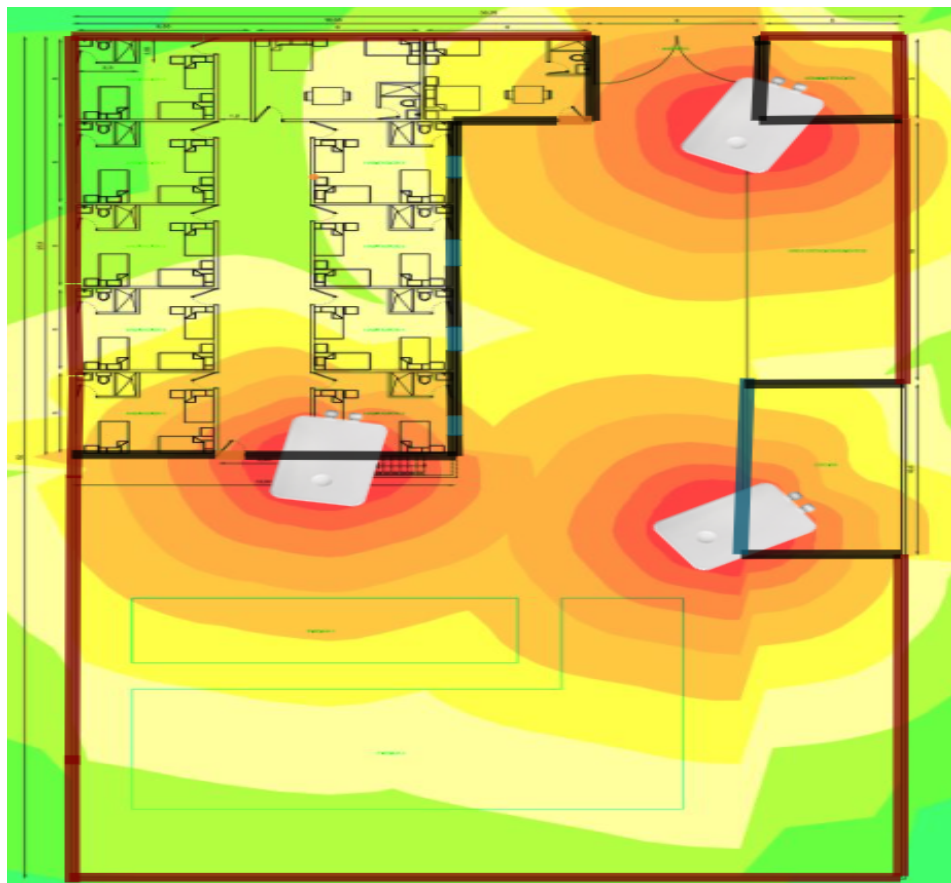


Figura 18: Site Survey Predictivo Exteriores Hotel Río Suites
Fuente: Autor

3.3.2.3. Site Survey Predictivo de Habitaciones

El hotel dispone de un bloque con las habitaciones que está dividido en dos pisos. Se debe observar que en las habitaciones estarán dispuestos los diferentes sensores y actuadores de IoT. Para garantizar la interconexión de éstos a redes Inalámbricas, se procedió a realizar un Site Survey Predictivo usando Wi-Fi designer de Cambium Networks y considerando disponer como mínimo un RSSI de -60 dBm. Al igual que en el caso anterior, se realiza un plano de interiores basado en la información suministrada por gerencia. Con las dimensiones y disposición de las habitaciones, se colocan 4 APs XV3-81 para asegurar una cobertura adecuada de Wi-Fi de las habitaciones y poder conectar de manera inalámbrica los distintos actuadores y sensores de cada habitación en un esquema WSN (Wireless Sensor Network). El site survey predictivo se muestra en la Figura 19; donde se ha considerado como condición de operación que las puertas están cerradas (condición normal en un Hotel).

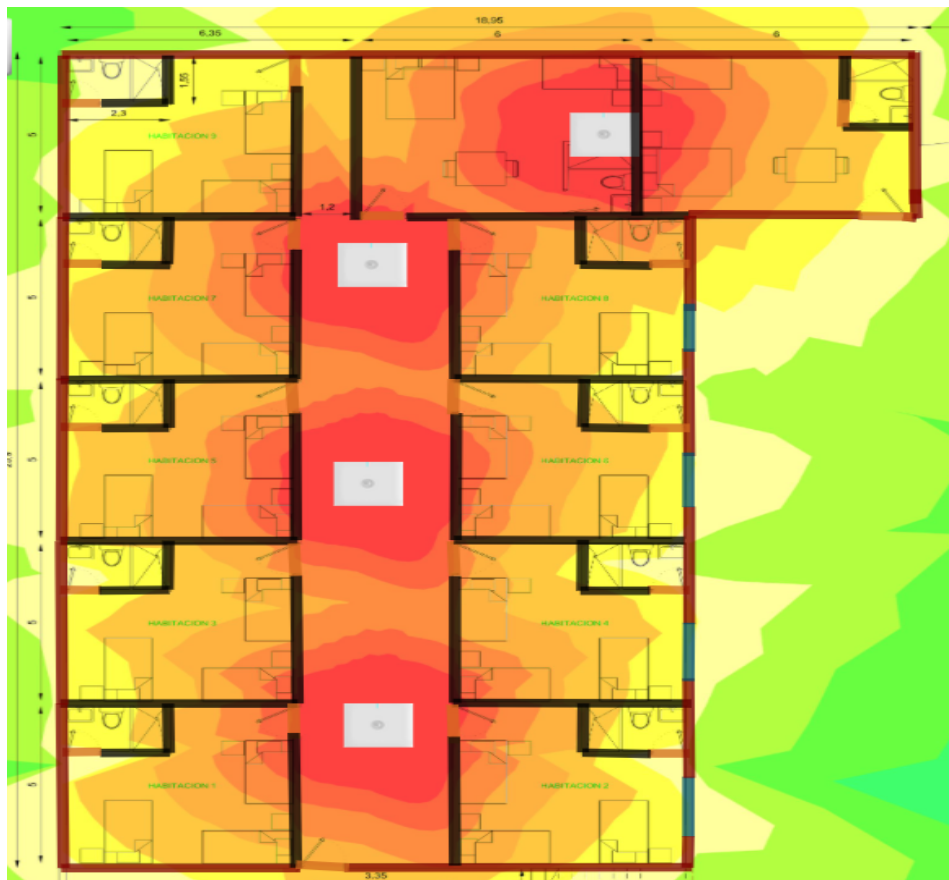


Figura 19: Site Survey Habitaciones Planta Baja

Fuente: Autor

3.3.3. Diseño de Red IoT del Hotel Río Suites Inteligente

En el Capítulo 2 se revisó el tema de las mejores prácticas para la instalación de redes Wi-Fi en Hoteles, en vista del carácter convergente de las mismas. Si bien, en el caso presente del Hotel Río Suites no se consideran servicios tales como: voz sobre IP (VoIP) y televisión por IP (IPTV), se consideran para el presente diseño de la red del Hotel Río Suites las recomendaciones establecidas por Blueprintrf (2021), Ensign (2017) y Hintersteiner (2021), que son referentes de empresas especializadas en comunicaciones del sector hotelero como BLUEPRINTRF, ENSIGN y EKAHAU. Específicamente, por concepto de diseño se limitará la integración de los distintos dispositivos IoT a través de la red Wi-Fi. Esto fundamentalmente con la idea de mantener un mismo tipo de protocolo de comunicación; considerando que redes como ZigBee y similares, al usar la misma $2,4\text{ GHz}$, son susceptibles de generar interferencia.

Considerando tanto los problemas de cobertura de red inalámbrica, y las posibilidades de mejorarla gracias al Site Survey Predictivo realizado en la Sección anterior, como las mejores prácticas que indican que debe existir un Access Point por habitación, se ha llegado a determinar un criterio de mínima suficiencia de 4 Access Points (AP) distribuidos en las plantas baja y superior del hotel, mas tres AP adicionales para la red externa. Esto debido a que la extensión del hotel así lo permite. Por otra parte, esta configuración disminuye el costo de instalación y de equipos.

La Figura 20 se presenta el esquema lógico de la red inalámbrica para el Hotel Río Suites; donde se plantea una Arquitectura Centralizada. Este tipo de configuración permite concentrar toda la lógica de las redes inalámbricas en el controlador inalámbrico (WLC: *Wireless Lan Controller*), facilitando la integración y coordinación de los AP.

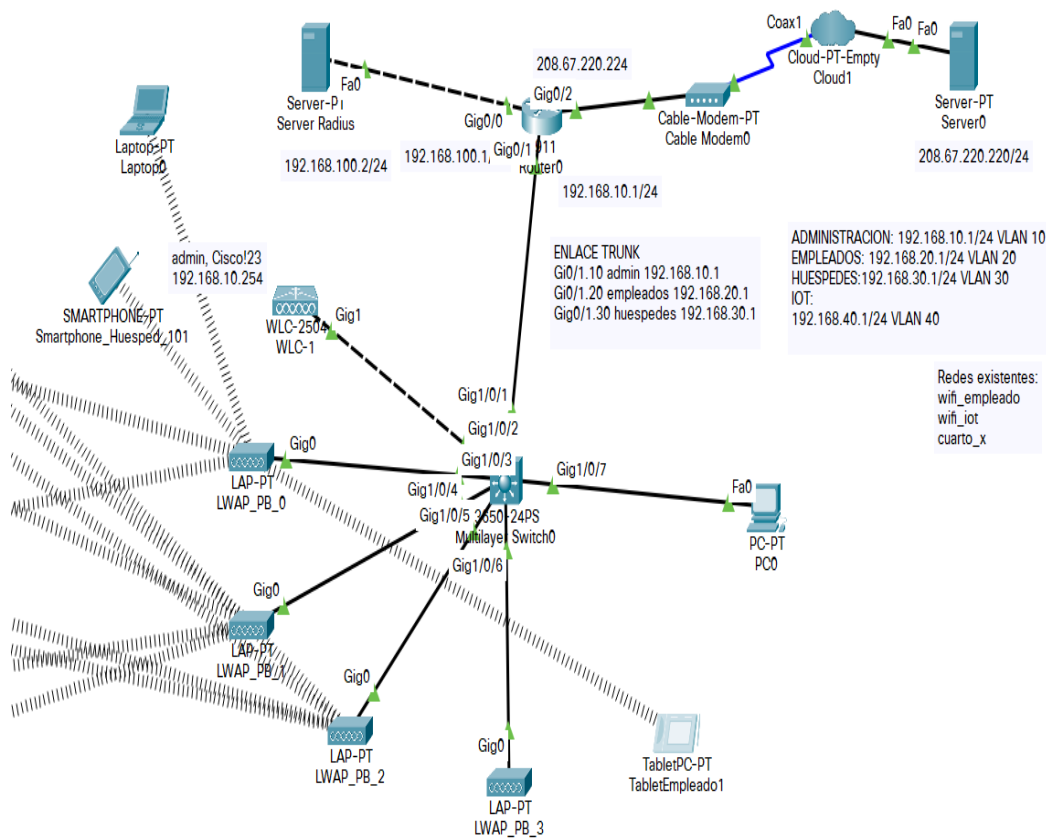


Figura 20: Esquema Lógico de Red Río Suites

Fuente: Autor

3.3.3.1. Segmentación de Red (VLAN)

A fin de restringir el acceso a los recursos de la red y administrarlos, una de las mejores prácticas en redes inalámbricas consiste en la creación de dominios separados de red a nivel de capa 2. Para el caso de la red del Hotel Río Suites, se plantea el uso de un Switch de capa 3 (Switch 3650 - 24PS), que permite identificar mediante tags y puertos troncales 802.1Q las diferentes VLAN. La Tabla 2 resume las VLAN configuradas para el funcionamiento de la red del Hotel Río Suites:

Tabla 2: Segmentación de Red del Hotel Río Suites

VLAN	IP	Tag	Funcionamiento
10	192.168.0.10/24	HOTEL_RIOSUITES	Mantenimiento
20	192.168.20.0/24	EMPLEADOS	Perfil de Empleado de Hotel
30	192.168.30.0/24	HUESPEDES	Perfil de Huésped del Hotel
40	192.168.40.0/24	IOT	Conexión de dispositivos de IoT
50	192.168.50.0/24	GERENCIA	Gestiones Administrativas

Fuente: Autor

La Tabla 3 presenta la asignación de direcciones IP estáticas de equipos esenciales para el funcionamiento de la red tales como el servidor IoT, la controladora inalámbrica (WLC-250) y las tarjetas Raspberry Pi que controlan localmente las habitaciones. El resto de los dispositivos recibe una dirección IP definida por DHCP.

Tabla 3: Direcciones IP Estáticas

Dispositivo	Descripción	Dirección IP
Server0	Servidor Internet	208.67.220.220
Server-P1	Implementa Radius AAA y el Servidor IoT	192.168.100.2
WLC-1	WLC-2504	192.168.10.254
SBC_i con $i \in [0, 22]$	Raspberry Pi	192.168.40.220 - 192.168.40.240
Router0	Router 2911	192.168.100.1/24, 192.168.10.1/24, 208.67.220.224

Fuente: Autor

Para llevar a cabo la segmentación de la red y distribuir el tráfico adecuadamente se realiza la creación de subinterfaces en la interfaz 0/1 del Router 2911; esto se logra mediante el protocolo IEEE 802.1Q (Vlan Trunk: agregar una etiqueta a cada trama con la ID de la VLAN y hace posible transmitir más de una VLAN por un mismo enlace) y permite generar las VLAN 10, 20, 30 y 40. La configuración ejecutada en el Router 2911 se presenta a continuación en el Script 1.

```

Router>
Router>en
Router#conf t
Router(config)#interface gigabitEthernet 0/1.10
Router(config-subif)#encapsulation dot1Q 10 native
Router(config-subif)#ip add 192.168.10.1 255.255.255.0
Router(config-subif)#exit
Router(config)#interface gigabitEthernet 0/1.10
Router(config-subif)#description HOTEL_RIOSUITES
Router(config-subif)#exit

Router(config)#interface gigabitEthernet 0/1.20
Router(config-subif)#encapsulation dot1Q 20
Router(config-subif)#ip add 192.168.20.1 255.255.255.0
Router(config-subif)#description EMPLEADOS
Router(config-subif)#exit

Router(config)#interface gigabitEthernet 0/1.30
Router(config-subif)#encapsulation dot1Q 30
Router(config-subif)#ip add 192.168.30.1 255.255.255.0
Router(config-subif)#description HUESPEDES
Router(config-subif)#exit

Router(config)#interface gigabitEthernet 0/1.40
Router(config-subif)#encapsulation dot1Q 40
Router(config-subif)#ip add 192.168.40.1 255.255.255.0
Router(config-subif)#descr
Router(config-subif)#description IOT
Router(config-subif)#exit
Router(config)#exit
Router#

```

Script 1: Configuración de Router

La configuración de enrutamiento Intra VLAN queda verificada como muestra la Figura 21.

```
Router0
Physical Config CLI Attributes
IOS Command Line Interface
Router#show ip route connected
C 192.168.10.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/1.10
C 192.168.20.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/1.20
C 192.168.30.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/1.30
C 192.168.40.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/1.40
C 192.168.100.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/0
C 208.67.220.0/24 is directly connected, GigabitEthernet0/2
Router#
```

Figura 21: Verificación de Enrutamiento Intra VLAN

Fuente: Autor

Esto es posible gracias a que la familia de Routers 2900 de Cisco dispone de un alto nivel de integración para servicios como voz, vídeo, seguridad, wireless, movilidad y otros. En cuanto a los componentes de encapsulamiento el 2911 proporciona: 802.1q VLAN, Protocolo Punto a Punto (PPP), Protocolo Multi Punto Punto (MLPPP), entre otros. En cuanto a los protocolos soporta IPv4, IPv6, OSPF (Open Shortest Path First), EIGRP (Enhanced IGRP), BGP (Border Gateway Protocol), entre otros. Además de disponer de que todos sus puertos son de 10/100/1000 Gigabit Ethernet (Cisco, 2021b). La Figura 22 muestra varios tipos de Routers de la familia 2900.



Figura 22: Router Cisco 2911

Fuente:Cisco (2021b)

El Switch 3650 tiene una capacidad de 4094 tags para redes VLAN, 24 puertos con una capacidad de 92 Gbps, puede gestionar hasta 64 WLANs y administrar hasta 25 APs. También dispone de opciones de seguridad avanzadas para la gestión de red como: implementar redes VLAN privadas para restringir el tráfico con aislamiento entre los puertos; evitando que los usuarios puedan fisgonear (*snoop*) el tráfico y el manejo de políticas de administración por RADIUS. Adicionalmente, dispone del

Cisco VLAN Trunking Protocol (VTP) versión 3 que soporta configuración dinámica de VLAN en modo trunk. Una característica importante es que es capaz de manejar PoE (Power Over Ethernet) lo que permite suministrar energía sobre el cable Ethernet y reducir el costo oculto en cableado. Las características principales del switch se resumen en la Tabla 4 y la Figura 23 muestra ejemplos del dispositivo real.



Figura 23: Switch Cisco Catalyst 3650
Fuente:Cisco (2021c)

Tabla 4: Características Switch Catalyst 3650

Dispositivo	Switch Cisco Catalyst 3650
Capacidad de Switching	92 Gbps
Total de direcciones MAC	32000
Total de número de rutas IPv4	24000
Máximo de APs por Grupo	25
VLAN IDs	4094
Número Total de WLANs	64
Ancho de Banda por Switch	20 Gbps
Número de clientes wireless por switch	1000

Fuente: Adaptado de https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-3650-series-switches/data_sheet-c78-729449.html, Cisco (2021c)

En un switch capa 3, la configuración trunk actúa como un router haciendo del puerto configurado un puerto enrutado. Cuando el puerto queda configurado de esta manera, no se realizan las operaciones con lógica de switch de capa 2, sino que disparan la lógica de capa 3. Para habilitar el modo trunk en el switch de capa 3 3650-24PS se ejecutaron los comandos presentados en el Script 2. El código activa las distintas VLAN y el protocolo dot1q para todos los puertos conectados.

```

Switch>ena
Switch#conf t
Switch(config)#interface vlan 10
Switch(config-if)#ip add 192.168.10.2 255.255.255.0
Switch(config-if)#exit
Switch(config)#vlan 10
Switch(config-vlan)#name ADMIN_HOTEL
Switch(config-vlan)#exit
Switch(config)#vlan 20
Switch(config-vlan)#name EMPLEADOS
Switch(config-vlan)#exit
Switch(config)#vlan 30
Switch(config-vlan)#name HUESPEDES
Switch(config-vlan)#exit
Switch(config)#vlan 40
Switch(config-vlan)#name IOT
Switch(config-vlan)#exit
Switch(config)#interface range gigabitEthernet 1/0/1-7
Switch(config-if-range)#switchport trunk native vlan 10
Switch(config-if-range)#switchport trunk encapsulation dot1q
Switch(config-if-range)#switchport mode trunk
Switch(config-if-range)#switchport nonegotiate
Switch(config-if-range)#exit
Switch(config)#exit
Switch#
Switch#wr
Building configuration...
Compressed configuration from 7383 bytes to 3601 bytes [OK]
[OK]
Switch#
Switch#copy running-config startup-config
Destination filename [startup-config]?
Building configuration...
[OK]

```

Script 2: Configuración de Switch

Para que cada una de las redes VLAN puedan generar sus propias direcciones IP mediante DHCP, se crearon los respectivos *dhcp pools* para cada VLAN haciendo uso de la máscara de 24 bits, como se determinó en la Tabla 2. Adicionalmente, para simular el acceso a internet se configuró un servidor DNS y HTTP externo a la red en la dirección 208.67.220.220; pues, si bien la conexión que se usa es del tipo cable módem, no afecta significativamente la simulación respecto a la instalación real que corresponde a fibra óptica. La configuración se presenta en el Script 3.

```
Router#conf t
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
Router(config)#ip dhcp pool ADMIN_POOL
Router(dhcp-config)#network 192.168.10.0 255.255.255.0
Router(dhcp-config)#default-router 192.168.10.1
Router(dhcp-config)#dns
Router(dhcp-config)#dns-server 208.67.220.220
Router(dhcp-config)#exit
Router(config)#ip dhcp pool USUARIOS_POOL
Router(dhcp-config)#net
Router(dhcp-config)#exit
Router(config)#no ip dhcp pool USUARIOS_POOL
Router(config)#ip dhcp pool HUESPEDES_POOL
Router(dhcp-config)#network 192.168.30.0 255.255.255.0
Router(dhcp-config)#default-router 192.168.30.1
Router(dhcp-config)#dns-server 208.67.220.220
Router(dhcp-config)#exit
Router(config)#ip dhcp pool EMPLEADOS_POOL
Router(dhcp-config)#network 192.168.20.0 255.255.255.0
Router(dhcp-config)#default-router 192.168.20.1
Router(dhcp-config)#dns-server 208.67.220.220
Router(dhcp-config)#exit
Router(config)#exit
Router#
```

Script 3: Habilitación de DHCP en Router

3.3.3.2. Seguridad de Red

Para la configuración de seguridad de la red Wi-Fi del Hotel Río Suites se utilizó la autenticación *Radius*. Si bien existe discusión entre los profesionales de las tecnologías de la información (TI) sobre su utilización, ciertamente reduce la gestión de contraseñas al utilizar credenciales únicas. Esto reduce la necesidad de los cambios frecuentes de contraseñas, ahorrando tiempo al administrador de TI y al usuario. Además, centraliza la gestión de contraseñas. Sin embargo, su implementación se considera de relativa dificultad (Coco-Stotts, 2021).

En el caso del Hotel Río Suites, de manera similar a la segmentación de la red, se procede a generar usuarios y claves de acceso independientes para cada habitación del hotel, una clave para administradores, otra para los empleados del hotel y finalmente también se usa un registro para los equipos IoT. La Figura 24 muestra la configuración realizada en Packet Tracer para habilitar a Radius como servicio de *Authentication, Authorization, y Accounting (AAA)*. Como se puede observar, el servidor Radius utiliza el puerto 1812 y su cliente es el WLC-1 con la dirección IP 192.168.10.254 y la clave: *hotel_radius*. También se observan los distintos usuarios y sus claves.

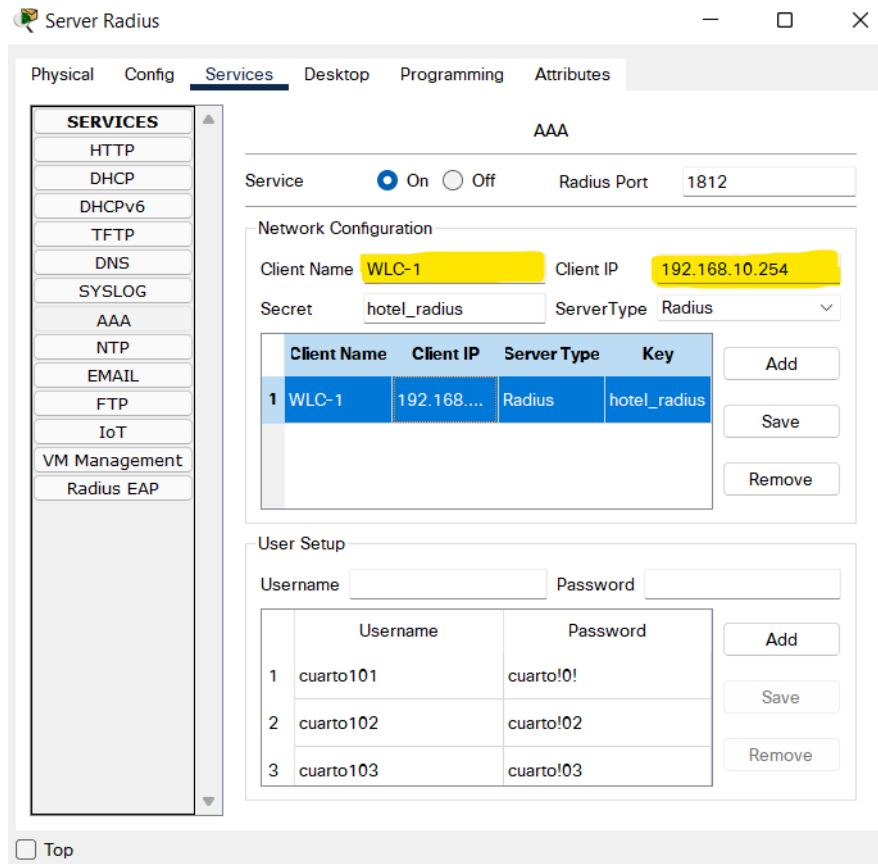


Figura 24: Configuración de Autenticación Radius en Servidor (Packet Tracer)
Fuente: Autor

3.3.3.3. Inteligencia de Red Wireless LAN Controller y Access Points

El controlador de red WLC 2504 de Cisco está diseñado para implementar funciones de red inalámbrica en empresas y oficinas de tamaño medio con los estándares IEEE 802.11n y 802.11ac. Dentro de una red WLAN, el dispositivo permite centralizar el control de los distintos Puntos de Acceso o Access Points (APs), hasta un total de 75 APs y 30 grupos, y generar un máximo de 16 WLANs. Para esto, el WLC hace uso del protocolo de comunicación CAPWAP. De ahí que el AP se denomina LWAP (Light Wireless Access Point); pues, todo el tráfico y gestión de los APs fluye a través del WLC, permitiendo controlar la definición de redes y su autenticación (CCNA, 2020). En la Figura 25 se observa el equipo físico WLC 2504 y en la Tabla 5 se resumen sus principales características.



Figura 25: Controlador de red inalámbrica WLC 2504
Fuente:Cisco (2021a)

Tabla 5: Características Principales WLC-2504

Dispositivo	Wireless LAN Controller WLC 2504
Mínimo número de AP	5
Máximo número de AP	75
Máximo número de grupos de AP	30
Máximo número de APs por Grupo	25
Máximo número de WLAN	16
Máximo número de VLAN	16
Máxima Potencia Consumida	80 W
Máximo throughput	1 Gbps

Fuente: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/wireless/2504-wireless-controller/model.html>,

Cisco (2021a)

Las características del WLC 2504 son suficientes para el diseño de red Wi-Fi del Hotel Río Suites; con la única observación de que para cubrir la densidad de WLAN se requiere de dos unidades del equipo; puesto que el hotel dispone de un total 20 habitaciones, y se ha considerado adecuado que cada habitación disponga de su propia WLAN. En la Tabla 6 se presenta la demanda de recursos para disponer de: a) una red inalámbrica de uso de los empleados, b) otra para la administración y c) una red propia en cada una de las 20 habitaciones.

El WLC 2504 dispone de una interfaz Web para realizar las operaciones de configuración. Cisco Packet Tracer es capaz de emular en gran medida las operaciones del WLC. Sin embargo, no posee la configuración completa disponible en el equipo real. Para realizar las configuraciones es necesario asignar al equipo una dirección IP; que en el presente caso corresponde a la 192.168.10.254/24. Luego de configurada

Tabla 6: Requerimientos de Infraestructura

Access Points		WLANS	
Access Points Planta Baja	4	WLAN por Habitación	20
Access Points Planta Alta	4	WLAN Administración	1
Access Points Exterior	3	WLAN Empleados	1
Total APs	11	Total WLANS	22

Fuente: Autor

la dirección IP, se hace uso del Computador de Administración PC0 para acceder por medio del Web Browser a la IP. Una vez ahí, se crea el usuario: *admin* y se asigna una clave. El equipo reinicia y para proceder con las configuraciones de interés es necesario ingresar desde el PC0 a través de <https://192.168.10.254>; que permite establecer una conexión segura entre el dispositivo y el administrador TI. La Figura 26 presenta el dashboard principal del WLC-2504 desde donde se puede monitorear el funcionamiento de los APs y del controlador.

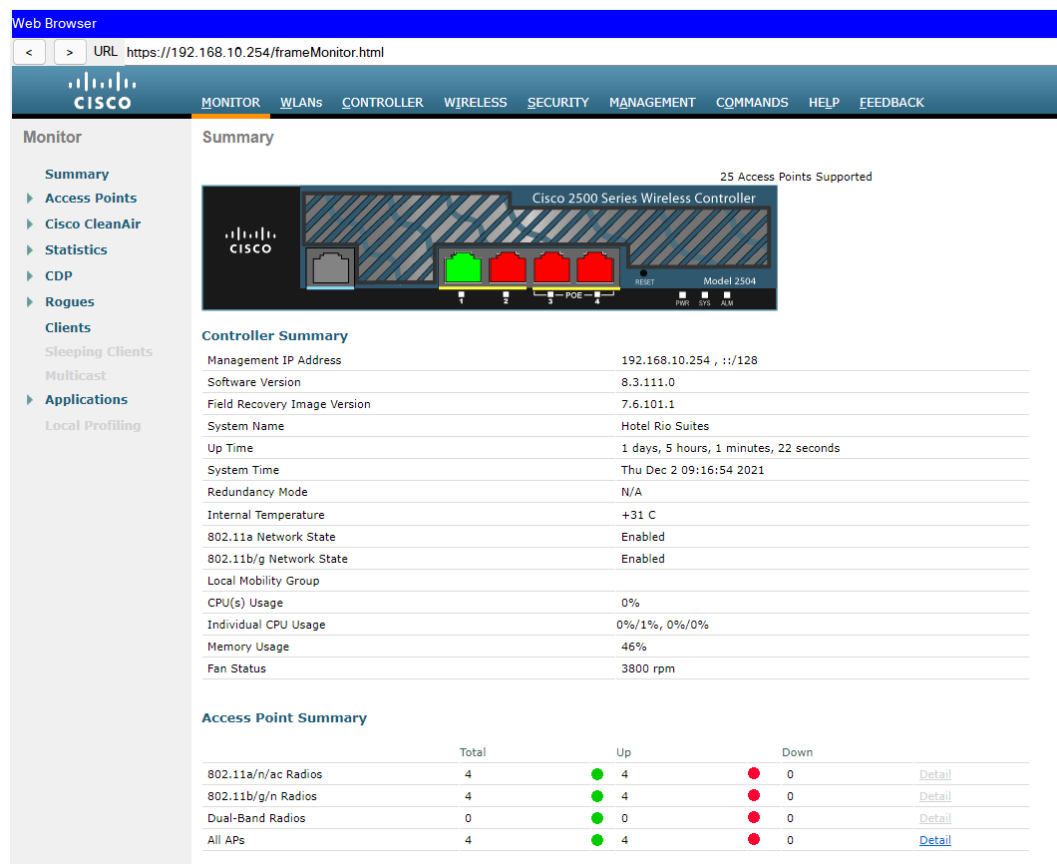


Figura 26: Dashboard del WLC-2504

Fuente: Autor

Al fin de administrar adecuadamente las diferentes redes inalámbricas, se crean diferentes interfaces que guardan relación con las distintas VPNs propuestas para el Hotel. La Figura 27 muestra las interfaces generadas; donde *management* es la interfaz por defecto que es usada para configurar el equipo. Entre las demás interfaces están: *dispositivo_iot*, *empleados*, *huésped* y *gerencia*. Como puede observarse, las direcciones IP tienen la forma: 192,168.Z,254, donde Z corresponde a la VLAN (i.e. $Z \in \{20, 30, 40, 50\}$). De esta manera se consigue que al crear una red inalámbrica y asignarle la correspondiente interfaz, las IPs que se asignen por DHCP guarden coherencia con las IPs esperadas de acuerdo con la segmentación de VLAN planteada.

Interface Name	VLAN Identifier	IP Address	Interface Type	Dynamic AP Management	IPv6 Address
dispositivo_iot	40	192.168.40.254	Dynamic	Disabled	
empleados	20	192.168.20.254	Dynamic	Disabled	
huésped	30	192.168.30.254	Dynamic	Disabled	
management	untagged	192.168.10.254	Static	Enabled	::/128
virtual	N/A	192.0.2.1	Static	Not Supported	

Figura 27: Interfaces de Red Inalámbrica

Fuente: Autor

La Figura 28 presenta la configuración de la interfaz huésped, donde se asigna la dirección IP de 192.168.30.254; que corresponde a la dirección del WLC en la VLAN 30. Debido a que en el Router se configuró el DHCP Pool *HUESPEDES_POOL* con la dirección 192.168.30.1 como servidor DHCP primario. Dependiendo del tipo de AP es importante indicar cuál es el puerto que conecta el dispositivo con el Switch. Las restantes interfaces se configuran de manera análoga.

The screenshot shows the Cisco WLC configuration interface for the 'huesped' interface. The browser address bar shows the URL: https://192.168.10.254/frameInterfaceEdit.html. The Cisco logo and navigation tabs (MONITOR, WLANs, CONTROLLER, WIRELESS, SECURITY, MANAGEMENT, CO) are visible at the top. The left sidebar contains a navigation menu with options like General, Inventory, Interfaces, and Internal DHCP Server. The main content area is titled 'Interfaces > Edit' and contains the following configuration sections:

- General Information:** Interface Name: huesped; MAC Address: 00:E0:F7:A1:C1:69.
- Configuration:** Guest Lan (checkbox), Quarantine (checkbox), Quarantine Vlan Id (0), NAS-ID (empty field).
- Physical Information:** Port Number (1), Backup Port (0), Active Port (1), Enable Dynamic AP Management (checkbox).
- Interface Address:** VLAN Identifier (30), IP Address (192.168.30.254), Netmask (255.255.255.0), Gateway (192.168.30.1).
- DHCP Information:** Primary DHCP Server (192.168.30.1), Secondary DHCP Server (empty field), DHCP Proxy Mode (Global), Enable DHCP Option 82 (checkbox).
- Access Control List:** (Section header, no configuration visible).

Figura 28: Interfaz Huésped

Fuente: Autor

Por su parte, la configuración de las distintas redes inalámbricas se realiza en la pestaña WLAN. Esta interfaz permite crear un ID para identificar a la red inalámbrica, así como el SSID y definir el mecanismo de autenticación; que en este caso se realiza mediante protocolo Radius. La Figura 29 muestra las redes WLAN configuradas en el WLC-1.

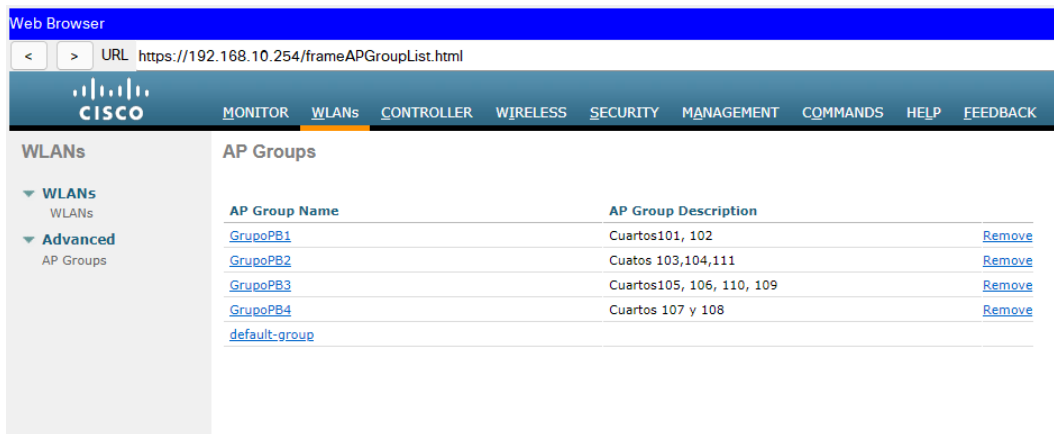
The screenshot shows the Cisco WLC-1 configuration page for WLANs. The interface includes a navigation menu with options like MONITOR, WLANs, CONTROLLER, WIRELESS, SECURITY, MANAGEMENT, COMMANDS, HELP, and FEEDBACK. The main content area displays a table of configured WLANs with columns for WLAN ID, Type, Profile Name, WLAN SSID, Admin Status, and Security Policies. Each row also includes a 'Remove' link.

WLAN ID	Type	Profile Name	WLAN SSID	Admin Status	Security Policies	
1	WLAN	wifi_admin	wifi_admin	Enabled	[WPA2][Auth(802.1X)]	Remove
2	WLAN	hotel_empleado	wifi_empleado	Enabled	[WPA2][Auth(802.1X)]	Remove
3	WLAN	cuarto101	cuarto101	Enabled	[WPA2][Auth(802.1X)]	Remove
4	WLAN	cuarto102	cuarto102	Enabled	[WPA2][Auth(802.1X)]	Remove
5	WLAN	cuarto103	cuarto103	Enabled	[WPA2][Auth(802.1X)]	Remove
6	WLAN	cuarto104	cuarto104	Enabled	[WPA2][Auth(802.1X)]	Remove
7	WLAN	cuarto105	cuarto105	Enabled	[WPA2][Auth(802.1X)]	Remove
8	WLAN	cuarto106	cuarto106	Enabled	[WPA2][Auth(802.1X)]	Remove
9	WLAN	cuarto107	cuarto107	Enabled	[WPA2][Auth(802.1X)]	Remove
10	WLAN	cuarto108	cuarto108	Enabled	[WPA2][Auth(802.1X)]	Remove
11	WLAN	cuarto109	cuarto109	Enabled	[WPA2][Auth(802.1X)]	Remove
12	WLAN	cuarto110	cuarto110	Enabled	[WPA2][Auth(802.1X)]	Remove
13	WLAN	cuarto111	cuarto111	Enabled	[WPA2][Auth(802.1X)]	Remove
14	WLAN	iot_wifi	iot_wifi	Enabled	[WPA2][Auth(802.1X)]	Remove
15	WLAN	cuarto201	cuarto201	Enabled	[WPA2][Auth(802.1X)]	Remove
16	WLAN	cuarto202	cuarto202	Enabled	None	Remove

Figura 29: Configuración de Redes Inalámbricas

Fuente: Autor

A fin de distribuir las redes inalámbricas de una manera optimizada, en el WLC-1 se formaron grupos de Access Points (*AP Groups*). Esto permite que determinados LWAPs transmitan redes inalámbricas específicas. En la Figura 30 se observa la declaración de cuatro grupos diferentes. El grupo *default-group* permite transmitir todas las redes a través de los LWAPs asignados al mismo.

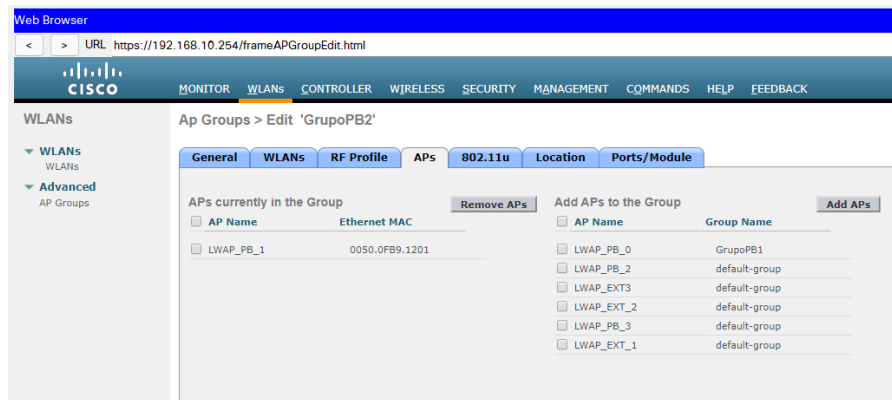


AP Group Name	AP Group Description	
GrupoPB1	Cuartos101, 102	Remove
GrupoPB2	Cuartos 103,104,111	Remove
GrupoPB3	Cuartos105, 106, 110, 109	Remove
GrupoPB4	Cuartos 107 y 108	Remove
default-group		

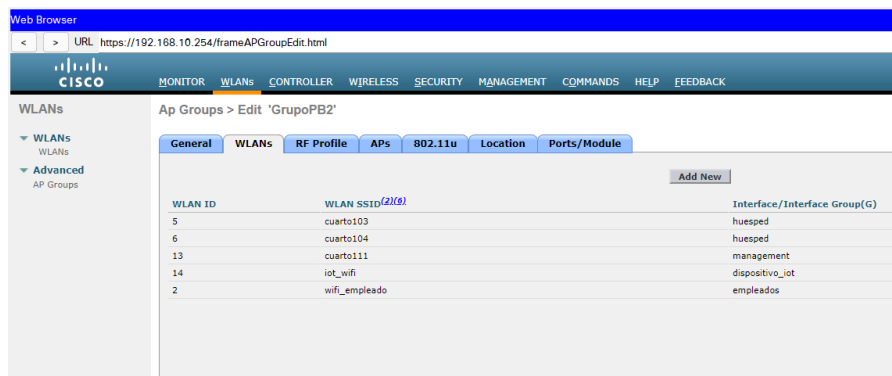
Figura 30: Conformación de Grupos de AP para distribución de redes inalámbricas en el Hotel Río Suites en el WLC-1

Fuente: Autor

Así, por ejemplo, en el caso del *GrupoPB₂* se encuentran asignadas las redes Wi-Fi: cuarto103, cuarto104, cuarto111, iot_wifi y wifi_empleado. En este caso, el AP asignado con estas redes específicas corresponde al LWAP_PB_1, como se muestra en la Figura 31. Los demás grupos se configuran de manera análoga a la presentada.



(a) Para el grupo *GrupoPB₂* se asigna el LWAP_PB_1



(b) Los LWAPs asignados al *GrupoPB₂* transmiten las redes inalámbricas específicas indicadas

Figura 31: *GrupoPB₂* organiza la asignación de APs y redes inalámbricas específicas

Fuente: Autor

3.3.3.4. Configuración IoT

La red de IoT integra los distintos sensores y actuadores que se utilizan para monitorear y controlar el hotel. Como una innovación, se propone que el huésped pueda controlar la habitación por medio de un terminal inteligente. Adicionalmente, debe existir la posibilidad de que el Administrador del Hotel pueda supervisor y/o controlar las habitaciones y cuartos de máquinas; es más, al disponer de datos, se puede apoyar en éstos para la toma de decisiones en un tiempo optimizado (tiempo real). En consecuencia, y con la finalidad de cumplir con el tercer objetivo específico planteado del presente trabajo de investigación en el Capítulo 1, Sección 1.4, el diseño de la red IoT del Hotel Río Suites debe permitir:

- Control de los dispositivos IoT por parte del Administrador.
- Control de los dispositivos IoT de la habitación por parte del usuario de esta.
- Integración de los distintos dispositivos IoT en una red WLAN.

A fin de disponer de un control modular e incrementar las seguridades de la red, se plantea, como condición de diseño de la red, la segmentación de esta. En consecuencia, los dispositivos IoT disponen de una VLAN (192.168.40.0) y una WLAN (*iot_wifi*) específica a la que conectarse; diferente de la que usan los usuarios, empleados y administradores. Adicionalmente, dado que los dispositivos IoT se conectarán por medio de Wi-Fi, se usan credenciales de autenticación Radius. Debido a que los diferentes dispositivos IoT pueden ubicarse en cualquier parte del edificio, se configura a los APs para que retransmitan la red *iot_wifi*; por esta razón la red de dispositivos IoT se transmite en todos los Grupos AP. Como resultado, se logra mantener una cobertura adecuada de los dispositivos IoT y se evitan la necesidad de una conexión cableada. Para realizar la simulación de la red IoT, se utilizaron los siguientes dispositivos: actuador de apertura/cierre de la puerta, una lámpara inteligente para el control de iluminación, un detector de presencia y aire acondicionado.

Si bien se podría utilizar el protocolo MQTT para realizar la comunicación entre los dispositivos IoT, se decidió utilizar HTTP por cuanto el usuario realiza operaciones sobre los dispositivos a través de la página web; que es un cliente HTTP. Por otra parte, Packet Tracer no

permite la gestión simultánea de ambos protocolos. Aun cuando, el protocolo MQTT, de acuerdo con Serozhenko (2021), presenta grandes beneficios para redes IoT, como son la velocidad y la optimización de consumo de energía al disponer de encabezados optimizados, gracias al modelo *publish/subscribe*, en el caso del Hotel Río Suites, se puede garantizar la suficiente alimentación eléctrica de los dispositivos ya que los mismos no están alejados ni funcionando sobre baterías. En este contexto, es suficiente desarrollar la aplicación con el modelo *cliente/servidor* de HTTP para el Hotel Río Suites.

Para disponer de un control local de las habitaciones, se utiliza el minicomputador de hardware abierto Raspberry PI en cada una de las habitaciones. En Packet Tracer esta tarjeta aparece como SBC-PT. Dentro de la configuración de programación, se puede iniciar un Servidor Web, que permite realizar acciones sobre los dispositivos conectados a la tarjeta e interactuar con el usuario por medio de una Página HTML. La Figura 32, muestra el esquema de conexiones de la Raspberry PI con los actuadores de las habitaciones 104 y 111. También se indica la ubicación del LWAP que cubre la región física y suministra la red inalámbrica. Por su parte la tarjeta se conecta a la red inalámbrica *iot_wifi* por medio de direcciones IP fijas que han sido segregadas en la configuración del Router. Las direcciones han sido reservadas conforme se indicó en la Tabla 3.

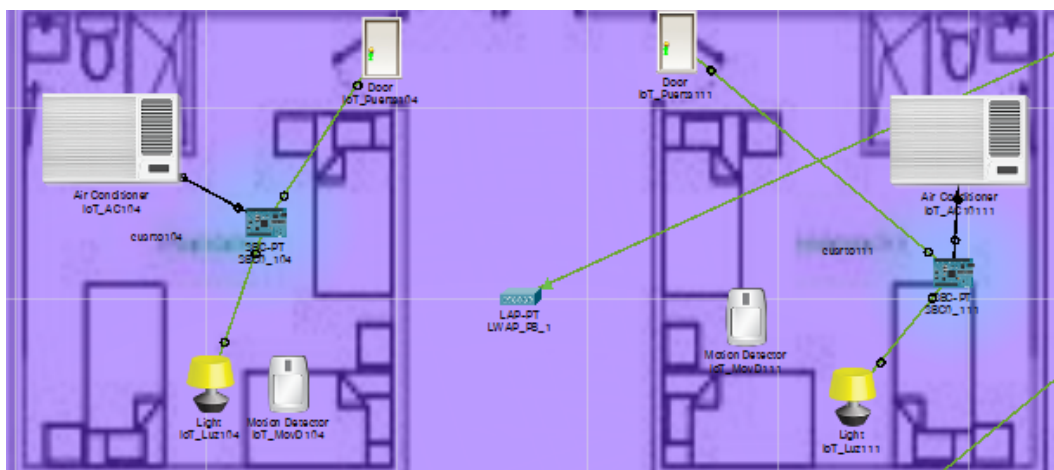


Figura 32: Dispositivos IoT y Control Local de Habitación

Fuente: Autor

Para realizar el control de los dispositivos IoT de cada habitación se escribe un script de Python en la Raspberry PI. El script controla tanto la aplicación Web, que es la interfaz de interacción con el usuario, como el encendido y apagado de dispositivos. El control de los dispositivos IoT utiliza la librería *gpio*. Esencialmente los valores de encendido y apagado para los distintos dispositivos IoT se definen en las funciones:

- *def onRouteActivarAC, def onRouteApagarAc*
- *def onRouteActivarLampara, def onRouteApagarLampara*
- *def onRouteAbrirPuerta, def onRouteCerrarPuerta*

En el lazo *while* se actualizan y se escriben los valores de salida a los pines correspondientes de la tarjeta Raspberry PI. Packet Tracer dispone de un *Template* para escribir un programa *HTTP Server*, que fue utilizado para escribir el script que facilita la interacción y control local por parte del usuario de la habitación. La página principal para interacción se define en la función *def onRouteRoot*; donde se usa *JavaScript* para implementar funciones de salto. El script desarrollado es el mostrado a continuación en el Script 4.

```
1  from http import *
2  from time import *
3  from gpio import *
4
5  def onRouteRoot(url, response):
6      print("Request for /");
7      response.send("""
8      <html>
9      <script>
10         function activate_ac(){
11             window.location.href="encender_ac";
12             return true; }
13         function deactivate_ac(){
14             window.location.href="apagar_ac";
15             return false; }
16         function activate_light(){
17             window.location.href="encender_foco";
18             return true; }
19         function deactivate_light(){
20             window.location.href="apagar_foco";
21             return false; }
22         function open_door(){
23             window.location.href="abrir_puerta";
24             return true; }
25         function close_door(){
26             window.location.href="cerrar_puerta";
```

```

27         return false; }
28     </script>
29     <center>
30     <font size='+2' color='blue'>Hotel R&iacute;o Suites</font>
31     </center>
32     <center>
33     <font size='+2' color='green'>Control de Habitaci&oacute;n IoT</font>
34     </center>
35     <hr>Bienvenido a la interfaz de usuario para control local IoT
36     de la Habitaci&oacute;n.
37     <p></p>
38     <table width="70%" bgcolor="white" align="center">
39         <!-- bgcolor0066AA -->
40         <tr>
41             <td align="center">
42                 <button type="button" id="on_ac" onclick="activate_ac();">
43                     Encender AC
44                 </button>
45                 <button type="button" id="off_ac" onclick="deactivate_ac()">
46                     Apagar AC
47                 </button>
48             </td>
49             <td align="center">
50                 <button type="button" id="on_light" onclick="activate_light()">
51                     Encender Lampara
52                 </button>
53                 <button type="button" id="off_light" onclick="deactivate_light()">
54                     Apagar Lampara
55                 </button>
56             </td>
57             <td align="center">
58                 <button type="button" id="open_door" onclick="open_door()">
59                     Abrir Puerta
60                 </button>
61                 <button type="button" id="close_door" onclick="close_door()">
62                     Cerrar Puerta
63                 </button>
64             </td>
65         </tr>
66     </table>
67     <br>
68     <a href='http://www.riosuites.com.ec'>Hotel R&iacute;o Suites</a>
69     </html>""")
70
71     def onRouteActivarAC(url, response):
72         print("activando Aire Acondicionado")
73         global ac_state
74         ac_state = HIGH
75         response.send("""
76         <html>
77             <center>
78             <font size='+2' color='blue'>Hotel R&iacute;o Suites</font>
79             </center>
80             <center>
81             <font size='+2' color='green'>Control de Habitaci&oacute;n IoT</font>
82             </center>
83             <hr>Aire acondicionado activado

```

```

84         <br><a href="/">Atr&aacute;s</a>
85     </html>"""
86
87     def onRouteApagarAC(url, response):
88         print("desactivando Aire Acondicionado")
89         global ac_state
90         ac_state = LOW
91         response.send("""
92     <html>
93         <center>
94             <font size='+2' color='blue'>Hotel R&iacute;o Suites</font>
95         </center>
96         <center>
97             <font size='+2' color='green'>Control de Habitaci&oacute;n IoT</font>
98         </center>
99         <hr>Aire acondicionado desactivado
100        <br><a href="/">Atr&aacute;s</a>
101    </html>"""
102
103     def onRouteActivarLampara(url, response):
104         print("encendiendo lampara")
105         global foco_state
106         foco_state = 2
107         response.send("""
108     <html>
109         <center>
110             <font size='+2' color='blue'>Hotel R&iacute;o Suites</font>
111         </center>
112         <center>
113             <font size='+2' color='green'>Control de Habitaci&oacute;n IoT</font>
114         </center>
115         <hr>L&aacute;mpara activada
116        <br><a href="/">Atr&aacute;s</a>
117    </html>"""
118
119     def onRouteApagarLampara(url, response):
120         print("apagando lampara")
121         global foco_state
122         foco_state = 0
123         response.send("""
124     <html>
125         <center>
126             <font size='+2' color='blue'>Hotel R&iacute;o Suites</font>
127         </center>
128         <center>
129             <font size='+2' color='green'>Control de Habitaci&oacute;n IoT</font>
130         </center>
131         <hr>L&aacute;mpara desactivada
132        <br><a href="/">Atr&aacute;s</a>
133    </html>"""
134
135     def onRouteAbrirPuerta(url, response):
136         print("abriendo puerta")
137         global puerta_state
138         puerta_state = [0,1]
139         response.send("""
140     <html>

```

```

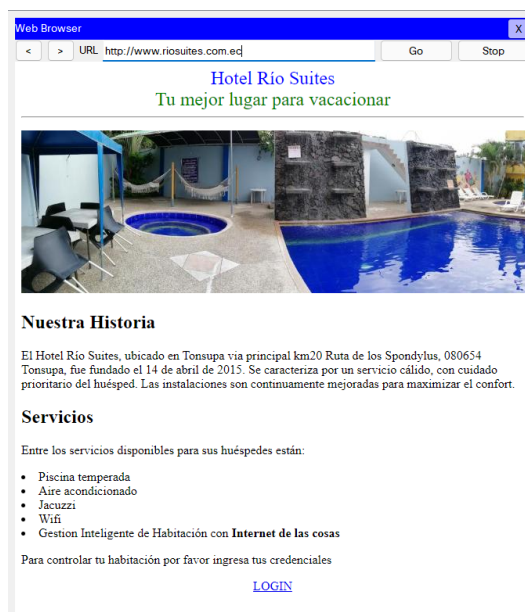
141         <center>
142         <font size='+2' color='blue'>Hotel R&iacute;o Suites</font>
143         </center>
144         <center>
145         <font size='+2' color='green'>Control de Habitaci&oacute;n IoT</font>
146         </center>
147         <hr>Puerta abierta
148         <br><a href="/">Atr&aacute;s</a>
149     </html>"""
150
151     def onRouteCerrarPuerta(url, response):
152         print("cerrando puerta")
153         global puerta_state
154         puerta_state = [0,0]
155         response.send("""
156         <html>
157             <center>
158             <font size='+2' color='blue'>Hotel R&iacute;o Suites</font>
159             </center>
160             <center>
161             <font size='+2' color='green'>Control de Habitaci&oacute;n IoT</font>
162             </center>
163             <hr>Puerta cerrada
164             <br><a href="/">Atr&aacute;s</a>
165         </html>""")
166
167     def onRouteFile(url, response):
168         print("Request for /file")
169         response.sendFile("/file.txt")
170
171     def onRouteWildcard(url, response):
172         print("Request for " + url)
173         response.send("wildcard")
174
175     def main():
176         pinMode(2,OUT)
177         pinMode(1,OUT)
178         pinMode(0, OUT)
179         HTTPServer.route("/", onRouteRoot)
180         HTTPServer.route("/encender_ac", onRouteActivarAC)
181         HTTPServer.route("/apagar_ac", onRouteApagarAC)
182         HTTPServer.route("/encender_foco", onRouteActivarLampara)
183         HTTPServer.route("/apagar_foco", onRouteApagarLampara)
184         HTTPServer.route("/abrir_puerta", onRouteAbrirPuerta)
185         HTTPServer.route("/cerrar_puerta", onRouteCerrarPuerta)
186         HTTPServer.route("/file", onRouteFile)
187         HTTPServer.route("/*", onRouteWildcard)
188
189         # start server on port 80
190         print(HTTPServer.start(80))
191
192         # don't let it finish
193         while True:
194             digitalWrite(2, ac_state)
195             customWrite(1, foco_state)
196             customWrite(0, puerta_state)
197             delay(500)

```

```
198
199     if __name__ == "__main__":
200         global ac_state
201         ac_state = 0
202         global foco_state
203         foco_state = 0
204         global puerta_state
205         puerta_state = [0,0]
206         main()
```

Script 4: Control local de habitación e interfaz de usuario

El control de acceso a las diferentes habitaciones se controla desde la página principal de la aplicación localizada en *www.riosuites.com.ec*, alojada en el servidor 208.67.220.220, donde está activado el servicio DNS. Esta aplicación implementa un sistema de *Login* que permite direccionar a cada usuario hacia el control local de su respectiva habitación. La Figura 33 muestra la pantalla Principal del Hotel Río Suites y la Pantalla de Login.



(a) Página de *www.riosuites.com.ec*



(b) Página de Login

Figura 33: Sistema de Login de Huésped del Hotel Río Suites

Fuente: Autor

Una vez registrado el huésped mediante las credenciales Radius, es direccionado hacia la Página Web de la habitación, que como se señaló, está alojada en la tarjeta SBC-PT de cada habitación y generada a través del script. La Figura 34 muestra la página de control de la Habitación 101; desde donde el huésped de la habitación 101 puede controlar los dispositivos IoT. El script de Login se desarrolla en HTML con funciones de JavaScript y se presenta a continuación en el Script 5.



Figura 34: Sistema de Control Local de Habitación Huésped 101
Fuente: Autor

```

<html>
  <head>
    <title>Página de Inicio</title>
  </head>
  <body>
    <form name="loginForm">
      <table width="20%" bgcolor="0099CC" align="center">

        <tr>
          <td colspan=2><center><font size=4><b>HOTEL RÍO SUITES LOGIN</b></font></center></td>
        </tr>

        <tr>
          <td><label for="username">Usuario: </label></td>
          <td>
            <input type="text" size=25 name="userid" id="userid"></td>
        </tr>

        <tr>
          <td><label for="password">Clave: </label></td>
          <td><input type="Password" size=25 name="pwd" id="pwd"></td>
        </tr>

        <tr>
          <td ><input type="Reset"></td>
          <td><button type="button" onclick="check()">Submit</button></td>
        </tr>

      </table>
    </form>
    <p id="mensaje"></p>
    <script language="javascript">

      var users = [
        { username: 'cuarto101', password: 'cuarto!0!' },
        { username: 'cuarto102', password: 'cuarto!02' },
        { username: 'cuarto103', password: 'cuarto!03' },
      ]
    </script>
  </body>
</html>

```

```

        { username: 'cuarto104', password: 'cuarto!04' },
        { username: 'cuarto105', password: 'cuarto!05' },
        { username: 'cuarto106', password: 'cuarto!06' },
        { username: 'cuarto107', password: 'cuarto!07' },
        { username: 'cuarto108', password: 'cuarto!08' },
        { username: 'cuarto109', password: 'cuarto!09' },
        { username: 'cuarto110', password: 'cuarto!10' },
        { username: 'cuarto111', password: 'cuarto!!!' },
        { username: 'cuarto201', password: 'cuarto20!' }

];

function check()
{

    var username = document.getElementById("userid").value;
    var password = document.getElementById("pwd").value;

    if (username == users[0].username && password == users[0].password){
        window.location.href = "http://192.168.40.220";
        document.getElementsByName("mensaje").innerHTML = "user1";
        return true;
    }
    if (username == users[1].username && password == users[1].password) {
        window.location.href = "http://192.168.40.221";
        document.getElementsByName("mensaje").innerHTML = "user2";
        return true;
    }
    if (username == users[2].username && password == users[2].password) {
        window.location.href = "http://192.168.40.222";
        document.getElementsByName("mensaje").innerHTML = "user3";
        return true;
    }
    if (username == users[3].username && password == users[3].password) {
        window.location.href = "http://192.168.40.223";
        document.getElementsByName("mensaje").innerHTML = "user4";
        return true;
    }
    if (username == users[4].username && password == users[4].password) {
        window.location.href = "http://192.168.40.224";
        document.getElementsByName("mensaje").innerHTML = "user5";
        return true;
    }
    if (username == users[5].username && password == users[5].password) {
        window.location.href = "http://192.168.40.225";
        document.getElementsByName("mensaje").innerHTML = "user6";
        return true;
    }
    if (username == users[6].username && password == users[6].password) {
        window.location.href = "http://192.168.40.226";
        document.getElementsByName("mensaje").innerHTML = "user7";
        return true;
    }
    if (username == users[7].username && password == users[7].password) {
        window.location.href = "http://192.168.40.227";
        document.getElementsByName("mensaje").innerHTML = "user8";
        return true;
    }
    if (username == users[8].username && password == users[8].password) {
        window.location.href = "http://192.168.40.228";
        document.getElementsByName("mensaje").innerHTML = "user9";
    }
}

```

```
        return true;
    }if (username == users[9].username && password == users[9].password) {
        window.location.href = "http://192.168.40.229";
        document.getElementsByName("mensaje").innerHTML = "user10";
        return true;
    }if (username == users[10].username && password == users[10].password) {
        window.location.href = "http://192.168.40.230";
        document.getElementsByName("mensaje").innerHTML = "user11";
        return true;
    }else {
        document.getElementById("mensaje").innerHTML = "Error. Clave o
        Usuario incorrectos";
        return false;
    }
}
</script>

</body>
</html>
```

Script 5: Página de Ingreso de Usuario

En la Figura 35 se presenta el esquema de conexiones generalizado para toda la planta baja del Hotel Río Suites. En este caso los equipos principales de red se encuentran en un gabinete de control en la oficina de administración. Desde ahí se conecta con cable de Ethernet los distintos LWAP al Switch. En cada habitación se dispone de los equipos mostrados en la Figura 32; necesarios para habilitar un control local por parte del usuario. Se observa un total de 7 LWAP, que incluyen los 3 AP adicionales para cobertura de exteriores.

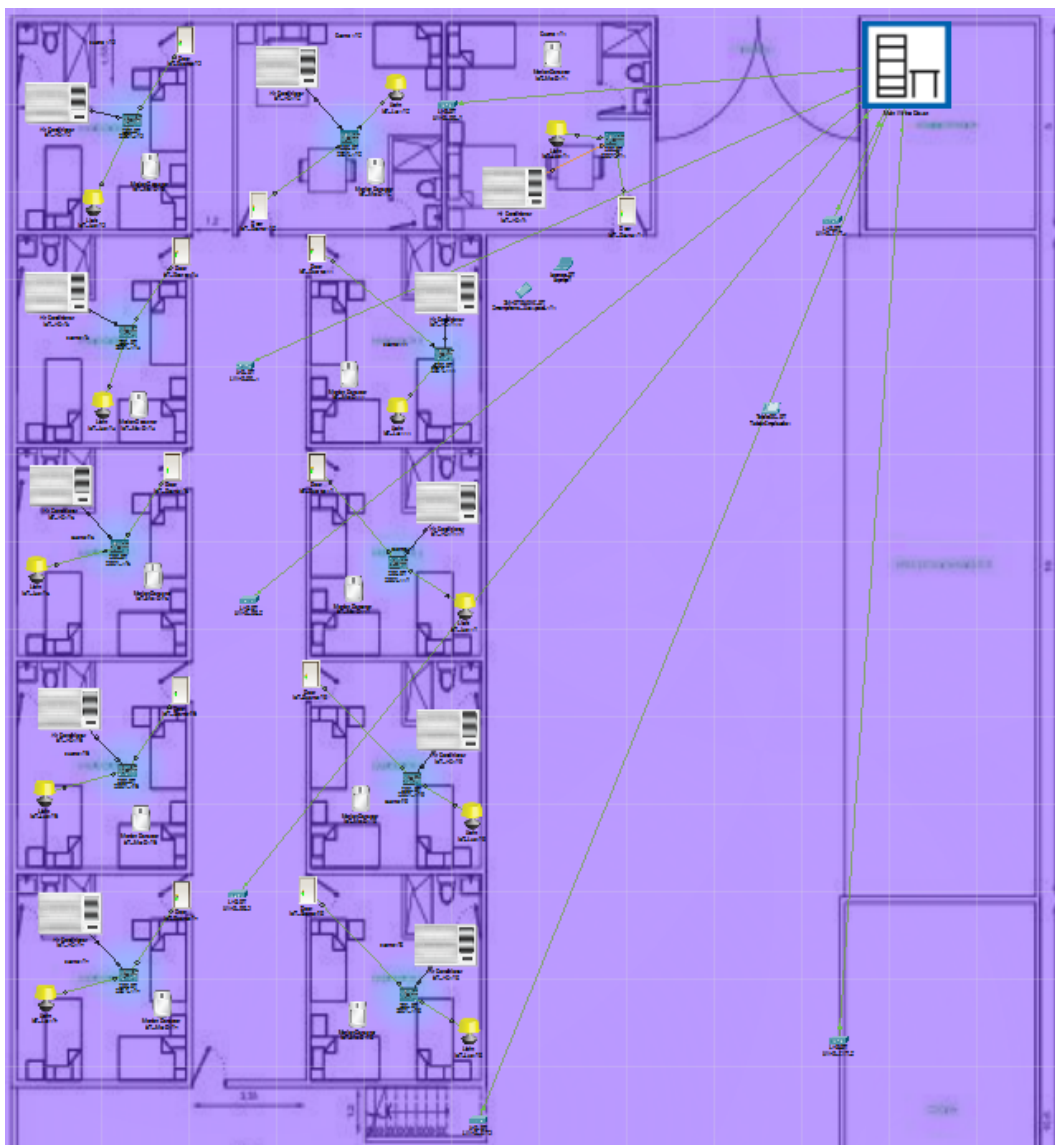
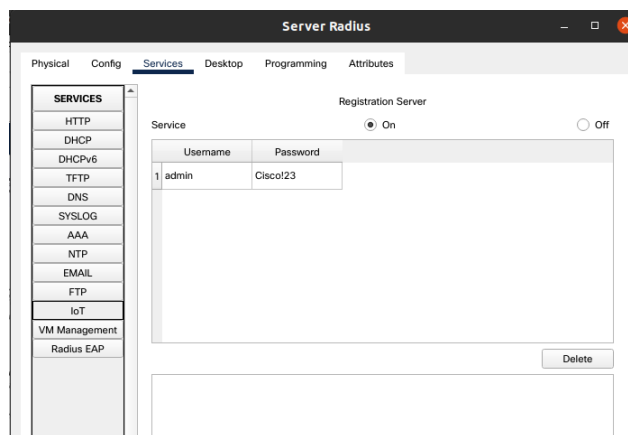


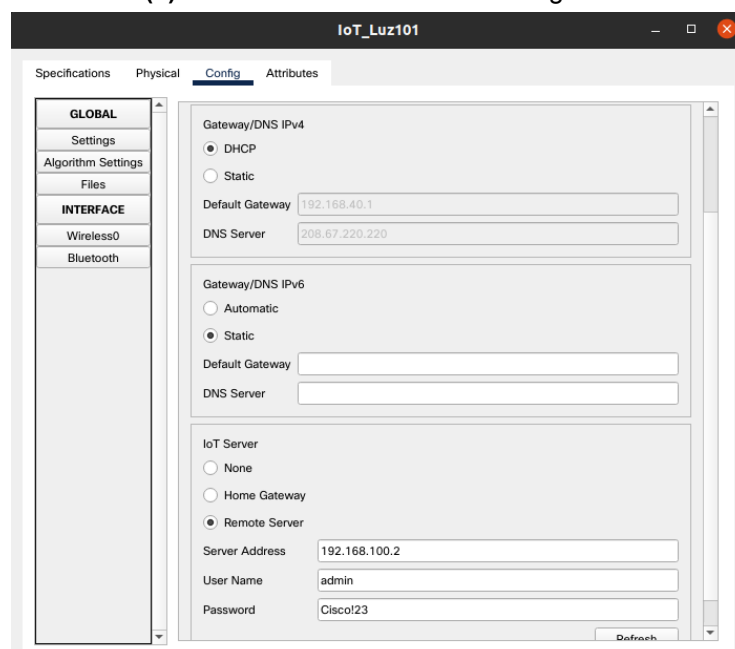
Figura 35: Esquema de Red lot Planta Baja

Fuente: Autor

Para obtener el control por parte del administrador, se configura un Monitor IoT en el servidor. Desde ahí el administrador puede monitorear los distintos sensores y actuadores. En la Figura 36 se muestra la configuración de IoT en el servidor en Packet Tracer y la de un dispositivo IoT a fin de ser controlado remotamente. En el dispositivo se usa la dirección IP (192.168.100.2) del servidor como servidor remoto. Esto permite usar la aplicación *IoT Monitor* para poder ver el estado de los dispositivos IoT, así como operarlos.



(a) Habilitación del Servidor de Registro

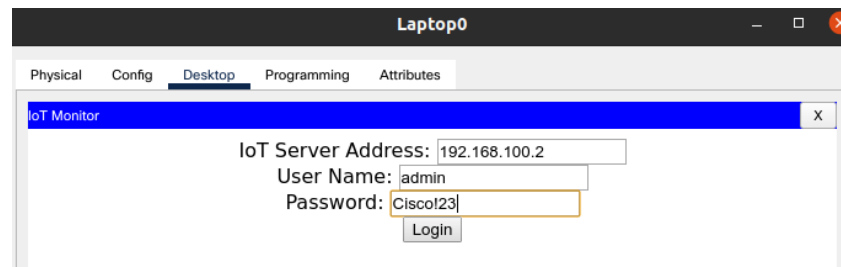


(b) El dispositivo IoT se configura con la Dirección IP del Servidor de Registro

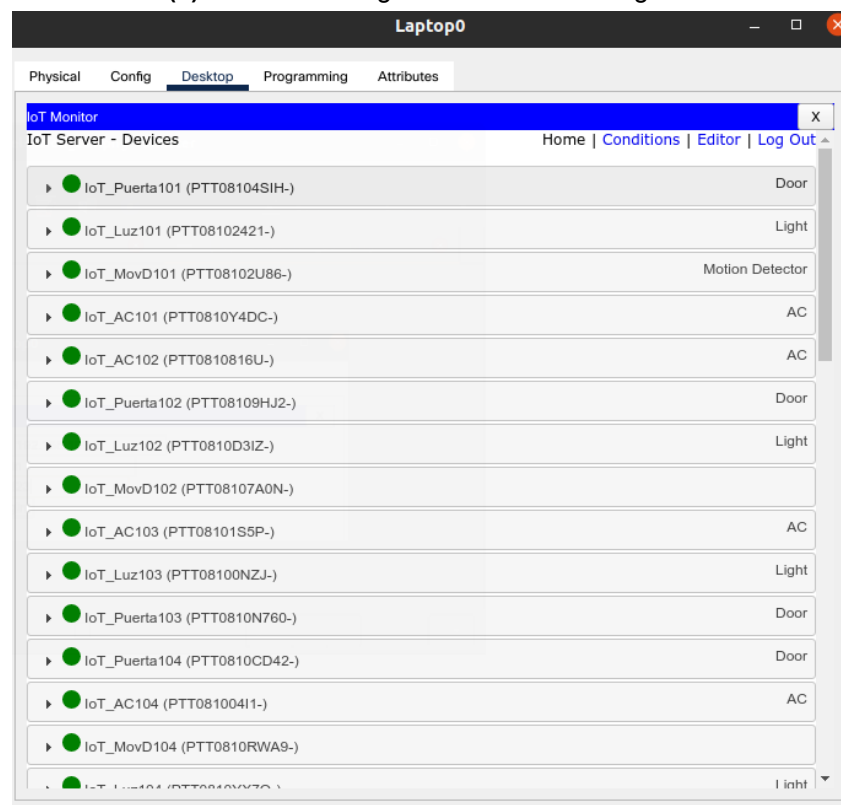
Figura 36: Configuración de Servidor de Registro para Monitoreo de Dispositivo IoT

Fuente: Autor

La Figura 37 presenta los equipos IoT conectados a la red y que pueden ser operados remotamente por el administrador. Para poder ingresar al Monitor de IoT, es necesario registrarse mediante la dirección IP del servidor de registro usando las credenciales generadas.



(a) Pantalla de Login en Servidor de Registro



(b) Pantalla de Supervisión de Dispositivos

Figura 37: Supervisión y control remoto de dispositivos IoT. Se dispone de acceso a todos los sensores/actuadores conectados a la red.

Fuente: Autor

3.4. Evaluación y Demostración

En DSRP la etapa de Demostración consiste en el uso del artefacto para resolver problemas. Esto permite validar que el artefacto diseñado en la anterior sección sea capaz de cumplir los objetivos de diseño propuestos en la formulación del problema. A fin de demostrar la eficacia del artefacto, en el presente trabajo se recurre al uso de la simulación en Packet Tracer.

Cisco Packet Tracer es un programa de simulación que permite evaluar el desempeño y comportamiento de dispositivos de red y su entorno. Los protocolos disponibles en Packet Tracer están codificados de tal manera que su comportamiento sea el mismo que se produciría en el hardware real; aunque existen limitaciones. Los protocolos que Packet Tracer soporta se indican en la Tabla 7 (Jesin, 2014).

Tabla 7: Protocolos Soportados por Packet Tracer

Tecnología	Protocolos
LAN	Ethernet, 802.11 a/b/g/n wireless y PPPOE
Switching	VLAN, 802.1q, trunking, VTP, DTP, STP, RSTP, multicapa, Ethernet Channel, LACP, y PAgP
TCP/IP	HTTP, HTTPS, DHCP, DHCPv6, Telnet, SSH, TFTP, DNS, TCP, UDP, IPv4, IPv6, ICMP, ICMPv6, ARP, IPv6 ND, FTP, SMTP, POP3, y VOIP(H.323)
Routing	default, RIPv1, RIPv2, EIGRP, single area OSPF, multiarea OSPF, BGP, inter-VLAN routing y redistribución
WAN	HDLC, SLARP, PPP, y Frame Relay
Seguridades	IPsec, GRE, ISAKMP, NTP, AAA, RADIUS, TACACS, SNMP, SSH, Syslog, CBAC, Zone-Based Policy Firewall, e IPS
QoS	Layer 2 QoS, Layer 3 DiffServ QoS, FIFO Hardware queues, Priority Queuing, Custom Queuing, Weighted Fair Queuing, MQC, y NBAR
Varios	ACLs (standard, extended, and named), CDP, NAT (static, dynamic, inside/outside, and overload), y NATv6

Fuente: Adaptado de *Packet Tracer Network Simulator* por Jesin (2014)

En consecuencia, Packet Tracer permite realizar tanto el diseño como la demostración de funcionamiento del artefacto, ya que, en el caso particular de esta tesis, el artefacto es la propia red inalámbrica que integra dispositivos IoT para mejorar la experiencia del usuario y la gestión de administración del hotel. En la Figura 38 se presenta el esquema lógico de la red diseñada para el Hotel Río Suites. Se puede apreciar que la topología es esencialmente de tipo estrella.

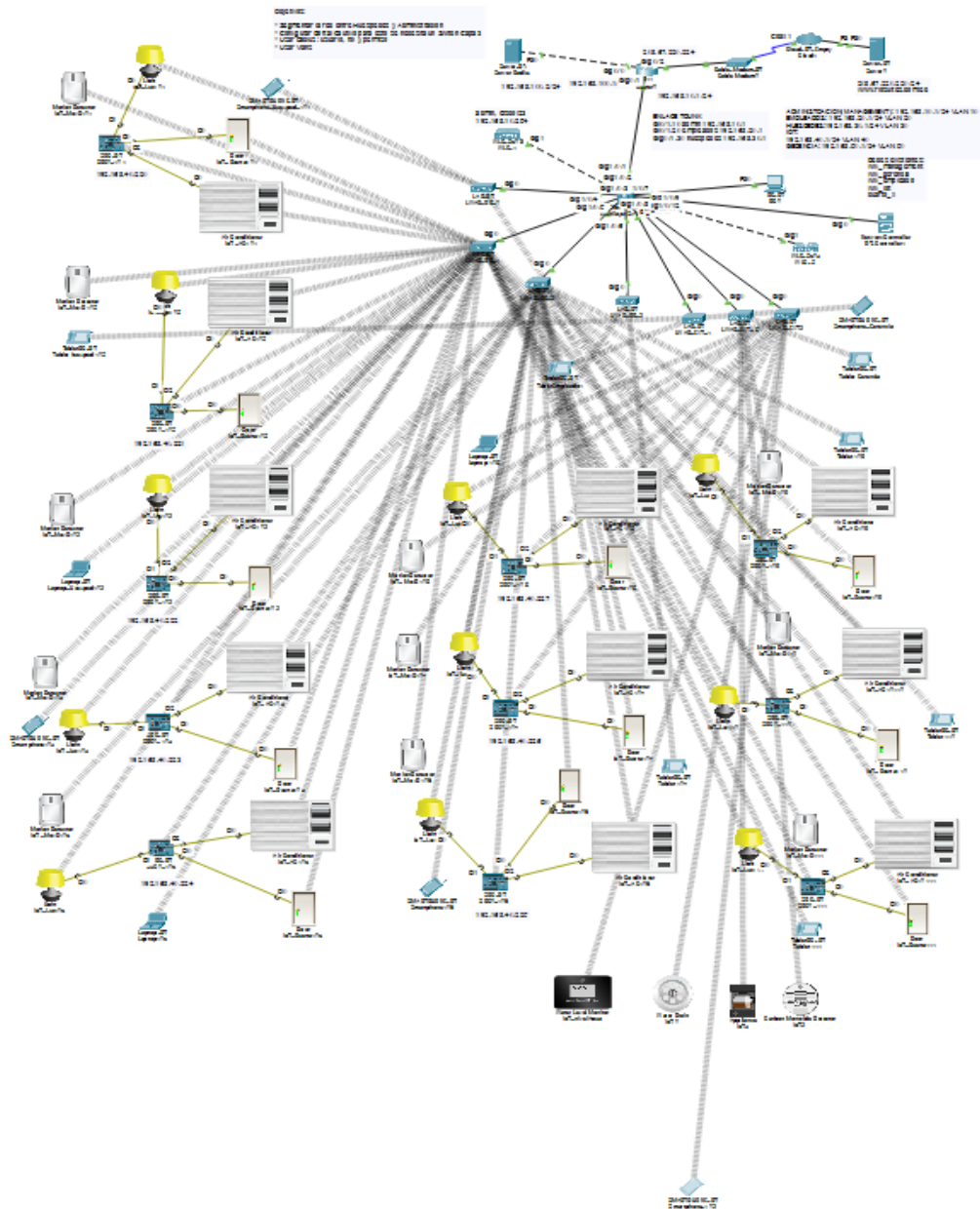


Figura 38: Esquema Lógico de Red Hotel Río Suites

Fuente: Autor

A fin de realizar pruebas se colocaron dispositivos inteligentes (Smartphone, Laptop, Tablet) en cada una de las habitaciones; permitiendo simular que existe un huésped en la habitación y que se conecta a la red para hacer uso de las funcionalidades IoT. Además se muestran los dispositivos IoT que existen en cada una de las habitaciones y adicionalmente un sumidero inteligente y un sensor de nivel de agua colocados en la zona de la Piscina. Para la zona de la Cocina se colocó un sensor IoT de monóxido de carbono y una cafetera.

3.4.1. Pruebas de Conectividad

Las pruebas de conectividad tienen por objetivo demostrar que existe flujo de datos entre los distintos dispositivos de la red; considerando que existen diferentes redes VLAN. Para esto se puede configurar una prueba sencilla de PDU (*Protocol Data Unit*). La Figura 39 realiza la prueba de conectividad entre el Router0 con el Server Radius (192.168.100.2), Server0 (208.67.220.220) y el Switch Multi Capa (192.168.10.2). De esta manera quedan verificadas las interconexiones entre las interfaces.

Fire	Last Status	Source	Destination	Type	Color	Time(sec)	Periodic	Num	Edit	Delete
	Successful	Router0	Server0	ICMP		0.000	N	0	(edit)	(delete)
	Successful	Router0	Server Radius	ICMP		0.000	N	1	(edit)	(delete)
	Successful	Router0	Multilayer S...	ICMP		0.000	N	2	(edit)	(delete)

Figura 39: Simulación de PDU de las interfaces principales del Router0

Fuente: Autor

El WLC-1 es el equipo central para la operación de los distintos LWAPs. Para evaluar que exista flujo de datos se realiza la Simulación PDU de los mismos con respecto al Router0 y adicionalmente se observa que todos se encuentren reconocidos por el controlador. Estos resultados se presentan en la Figura 40.

All APs

Entries 1 - 7 of 7

Current Filter

[Change Filter] [Clear Filter]

Number of APs 7

AP Name	IP Address(Ipv4/Ipv6)	AP Model
LWAP_EXT_1	192.168.10.10	PT-AIR-CAP1000I-A-K9
LWAP_PB_3	192.168.10.12	PT-AIR-CAP1000I-A-K9
LWAP_EXT3	192.168.10.3	PT-AIR-CAP1000I-A-K9
LWAP_EXT_2	192.168.10.6	PT-AIR-CAP1000I-A-K9
LWAP_PB_1	192.168.10.8	PT-AIR-CAP1000I-A-K9
LWAP_PB_2	192.168.10.5	PT-AIR-CAP1000I-A-K9
LWAP_PB_0	192.168.10.7	PT-AIR-CAP1000I-A-K9

(a) Aps registrados en el WLC-1

Fire	Last Status	Source	Destination	Type	Color	Time(sec)	Periodic	Num
	Successful	Router0	WLC-1	ICMP	Green	0.000	N	0
	Successful	Router0	LWAP_PB_0	ICMP	Light Green	0.000	N	1
	Successful	Router0	LWAP_PB_2	ICMP	Purple	0.000	N	2
	Successful	Router0	LWAP_PB_3	ICMP	Cyan	0.000	N	3
	Successful	Router0	LWAP_EXT_1	ICMP	Red	0.000	N	4
	Successful	Router0	LWAP_EXT_2	ICMP	Magenta	0.000	N	5
	Successful	Router0	LWAP_EXT3	ICMP	Yellow	0.000	N	6
	Successful	Router0	LWAP_PB_1	ICMP	Purple	0.000	N	7

(b) Prueba de PDU entre Router0 y cada LWAP

Figura 40: Conectividad de los LWAP

Fuente: Autor

A fin de utilizar la aplicación desarrollada para el control y supervisión de los dispositivos IoT de las habitaciones, es necesario que los dispositivos inteligentes del huésped (e.g. Smartphone, Laptop y Tablet) sean capaces de acceder al servidor de la aplicación alojado en la IP 208.67.220.220. Para esta prueba se colocan en cada habitación un dispositivo electrónico que pueda acceder a la red mediante un buscador de internet; como los antes referidos. De manera aleatoria se dispuso de Tablets, Smartphones y Laptops en las habitaciones y fueron conectadas a sus respectivas redes WLAN. Una vez realizado este proceso, se confirmó que las direcciones IP sean las esperadas; ya que los huéspedes están asignados a la VLAN 30, administradores en la 50, y empleados en la 20. Sin embargo, durante la prueba se detecta que la red de la habitación 110 provea de una IP correspondiente a la VLAN 10. Al realizar la revisión se confirmó que el problema se debía a que la interfaz asignada a la WLAN era la de management (192.168.10.0/24) en vez de la de huéspedes (192.168.30.0/24). Se realiza la rectificación de este

incidente en el WLC-1 y se procede a continuar con la prueba de PDU. Adicionalmente a los dispositivos de las habitaciones, se incluyeron dispositivos de gerencia y de los empleados. Con esto se realizaron 14 pruebas, como muestra la Figura 41. Estas pruebas fueron repetidas 4 veces a fin de promediar los resultados.

PDU List Window								
Fire	Last Status	Source	Destination	Type	Color	Time(sec)	Periodic	Num
	Successful	Smartphone_Huesped_101	Server0	ICMP		0.000	N	0
	Successful	Tablet huesped 102	Server0	ICMP		0.000	N	1
	Successful	Laptop_Huesped103	Server0	ICMP		0.000	N	2
	Successful	Smartphone104	Server0	ICMP		0.000	N	3
	Failed	Laptop105	Server0	ICMP		0.000	N	4
	Successful	Smartphone106	Server0	ICMP		0.000	N	5
	Successful	Tablet 107	Server0	ICMP		0.000	N	6
	Successful	Laptop 108	Server0	ICMP		0.000	N	7
	Successful	Tablet 109	Server0	ICMP		0.000	N	8
	Successful	Tablet 110	Server0	ICMP		0.000	N	9
	Successful	Smartphone_Gerencia	Server0	ICMP		0.000	N	10
	Successful	Tablet Gerencia	Server0	ICMP		0.000	N	11
	Successful	TabletEmpleado1	Server0	ICMP		0.000	N	12
	Successful	Laptop105	Server0	ICMP		0.000	N	13
	Successful	PC0	Server0	ICMP		0.000	N	14

Figura 41: Ejemplo de la primera simulación PDU desde los dispositivos Laptop, Tablet y Smartphone de cada una de las habitaciones hacia el Router de la aplicación

Fuente: Autor

En la Tabla 8 se presenta los resultados obtenidos de 4 diferentes simulaciones realizadas para evaluar la comunicación entre los dispositivos de las habitaciones, de empleados y gerencia hacia el servidor de la aplicación. El promedio de resultados indica que se dispone de una tasa de éxito del 89 %. Se observa que las fallas no caen siempre en el mismo dispositivo; por lo cual la pérdida del paquete resulta de la simulación del flujo de datos en la red. También, se concluye que existe una comunicación estable de dispositivos conectados por diferentes VLAN hacia el DNS de la aplicación.

Tabla 8: Prueba PDU de varios dispositivos de huéspedes hacia el servidor de la aplicación www.riosuites.com.ec

Equipo Origen	Prueba1	Prueba2	Prueba3	Prueba4
Dispositivo101	OK	OK	OK	OK
Dispositivo102	OK	OK	OK	OK
Dispositivo103	OK	OK	OK	OK
Dispositivo104	OK	OK	OK	OK
Dispositivo105	FALLA	OK	OK	OK
Dispositivo106	OK	OK	OK	FALLA
Dispositivo107	OK	FALLA	OK	OK
Dispositivo108	OK	FALLA	OK	OK
Dispositivo109	OK	OK	OK	FALLA
Dispositivo110	OK	OK	OK	OK
Dispositivo111	OK	OK	OK	OK
Dispositivo Gerencia	OK	OK	FALLA	OK
Dispositivo Mantenimiento	OK	OK	OK	OK
Dispositivo Empleado	OK	OK	OK	OK
Total Éxitos	13	12	13	12
Total Fallas	1	2	1	2
Tasa de Éxito	93 %	86 %	93 %	86 %
Promedio Éxito	89 %			

Fuente: Autor

3.4.2. Prueba de Alcance de Red y Cobertura de Equipos

Packet Tracer en la vista física de la red permite analizar la intensidad de cobertura de la señal. En la Figura 42 se aprecia el plano del hotel Río Suites, en donde la intensidad de la señal se represente mediante un color degradado lila. De acuerdo con el análisis de Site Survey Predictivo, realizado en el Capítulo 3, Sección 3.3.2.1, se debían colocar 3 APs externos en ubicaciones determinadas. En el diseño se respetó la sugerencia obtenida mediante este análisis, y se confirma en la simulación que existe una adecuada cobertura de zonas públicas del Hotel, tales como la piscina, el restaurante y los parqueaderos.

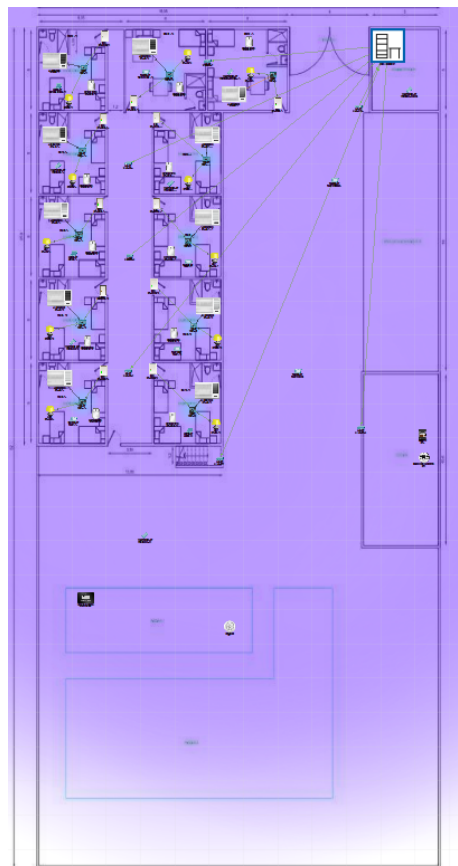


Figura 42: Cobertura de Red Wi-Fi en Modelo Físico

Fuente: Autor

También, el diseño plantea que los APs exteriores ($LWAP_EXT_i$ donde $i \in \{1, 2, 3\}$) repitan todas las señales, mientras que los APs colocados en el interior del Hotel se configuran para emitir las redes Wi-Fi de cada una de las habitaciones según su cercanía al AP. A fin de evaluar que las señales sean repetidas en los LWAP externos, se

coloca un teléfono del huésped de la habitación 103 ubicada al otro extremo del hotel en la zona de la Piscina. También se coloca un sensor de nivel de agua y un actuador para el drenaje de agua de IoT. Se verifica con éxito, en la misma Figura, que los equipos conectan adecuadamente a las redes correspondientes a través del AP más cercano.

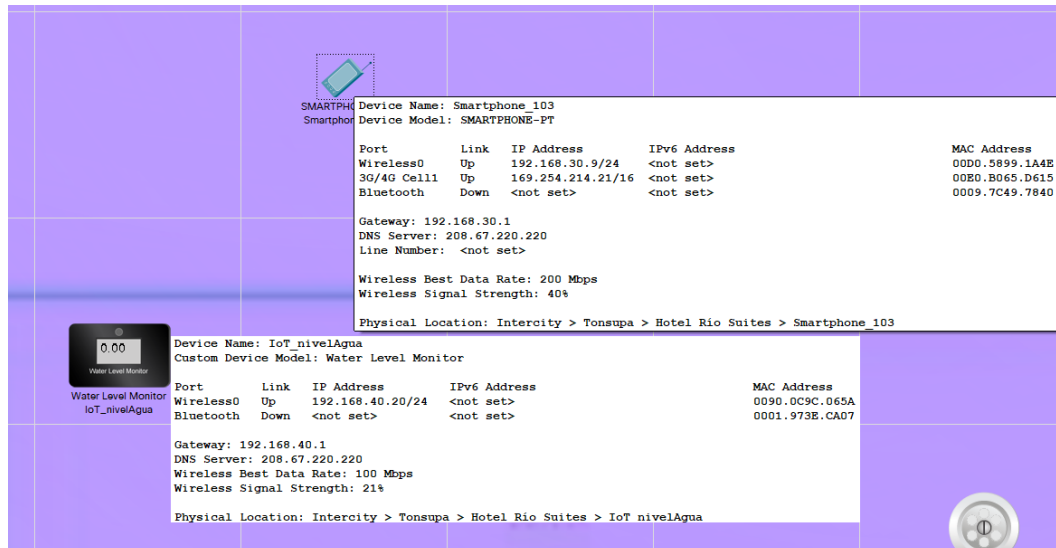


Figura 43: El Smartphone_103 demuestra la posibilidad de movilidad sin pérdida de conexión para el usuario. Los Equipos se integran a sus respectivas redes

VLAN

Fuente: Autor

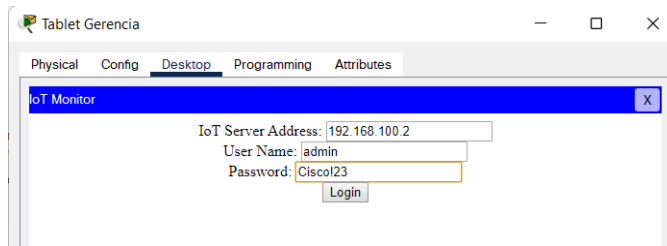
3.4.3. Pruebas de Red IoT

Una vez verificado que existe comunicación a través de las diferentes redes Wi-Fi y la suficiente cobertura, se procede a evaluar las operaciones de control y supervisión del sistema. Como se había indicado con anterioridad, para el control remoto de los dispositivos IoT se recurre al servidor de registro o *IoT Server*. En este caso, el administrador, haciendo uso de un dispositivo inteligente como la Tablet de Gerencia, ingresa a la Aplicación IoT Monitor; desde donde puede observar y actuar sobre los dispositivos IoT. Este proceso se muestra en la Figura 44.

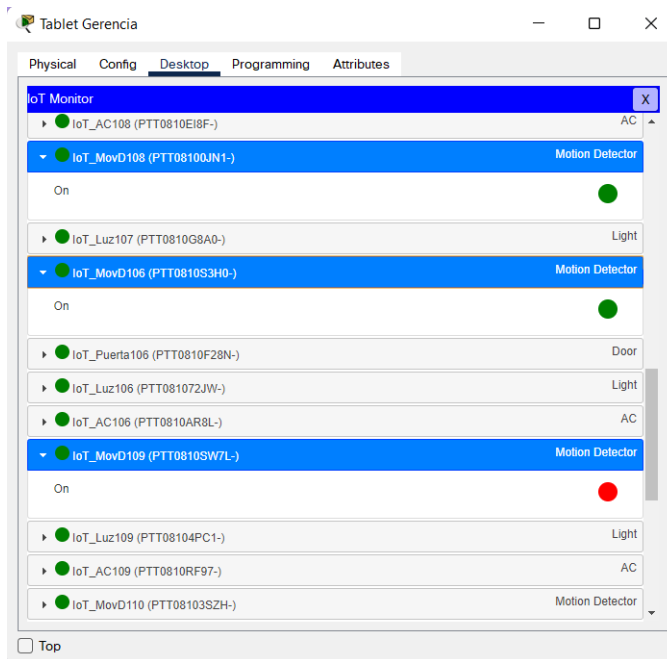
En cambio, para el control local por parte del huésped de la habitación, se utilizan las tarjetas SBC. Para demostrar la funcionalidad, se procede a ingresar a la página www.riosuites.com.ec desde la Laptop_Huesped103. La página principal de bienvenida se carga. Se accede a la página de

control de la habitación a través de la pantalla de Login. La Figura 45 muestra la página de control de la habitación 103 que reside en el servidor HTTP de la Raspberry PI SBC0_103. Se observa la ejecución del programa de control, el cual ha recibido la instrucción del huésped de encender la lámpara. Finalmente se muestra el resultado confirmando que la red IoT es operable.

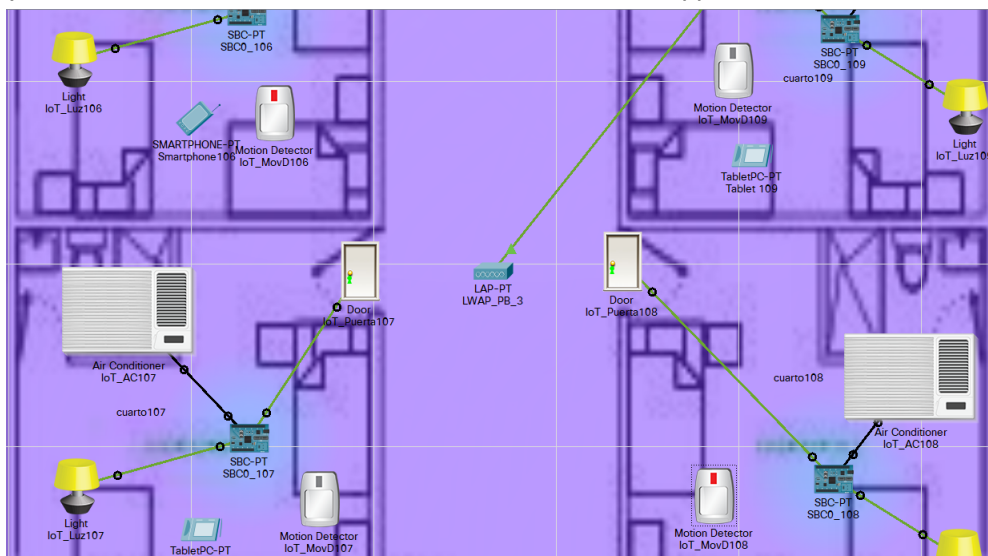
Se realizan varias pruebas cambiando el dispositivo del huésped y los dispositivos IoT actuados. En cada caso se confirma la correcta operación del sistema IoT en la nueva red del Hotel Río Suites. Es importante señalar que los dispositivos IoT, los dispositivos de los huéspedes, aquellos de la gerencia, y los de los empleados, operan en redes VLAN distintas. El éxito en las operaciones verifica que las configuraciones del Router, el Switch, los Wireless Lan Controller y las tarjetas Raspberry PI se comportan de acuerdo a lo esperado. Por tanto, se considera que el artefacto diseñado es capaz de resolver el problema propuesto de proveer una red Wi-Fi para el Hotel Río Suites con una cobertura suficiente e integración de dispositivos IoT; que enriquecen la experiencia del huésped y permiten dinamizar las operaciones de gerencia y mantenimiento. De hecho, los scripts desarrollados pueden ser aplicados a otros edificios similares como: edificios gubernamentales, complejos residenciales, locales comerciales, negocios, etc. Lo que sí variará en los distintos casos será la cantidad de equipos a instalar en función de las necesidades particulares de demanda de cada edificio. No obstante, la prueba de concepto se basaría en la misma técnica desarrollada en esta tesis.



(a) Acceso al IoT Monitor desde Tablet de Gerencia.



(b) Estado de los Sensores de Movimiento visto desde la App en la Tablet de Gerencia



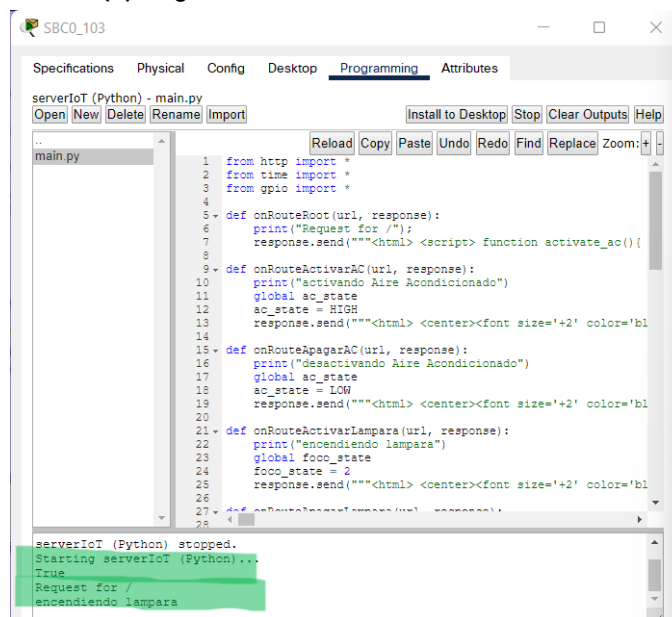
(c) Estado de los sensores de movimiento en las habitaciones 106, 107, 108, y 109

Figura 44: Control remoto de dispositivos IoT desde IoT Monitor.

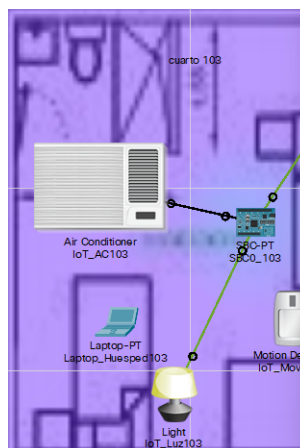
Fuente: Autor



(a) Página de control de la habitación 103



(b) Script de Python de la Tarjeta Raspberry PI de la habitación 103. El servidor está en estado *Run* y se ha enviado la orden de encender la lámpara



(c) Dispositivos IoT de la habitación 103. Los dispositivos son accionados por el usuario haciendo uso de la red WLAN

Figura 45: Control de los dispositivos IoT de manera local por parte del huésped 103. La lámpara es accionada exitosamente.

Fuente: Autor

Capítulo 4

Gestión del Proyecto

4.1. Introducción

En los capítulos anteriores se describieron las características principales del problema a resolver, la formulación de objetivos y limitación del alcance del proyecto, en el Capítulo 1; el sustento teórico, en el Capítulo 2, y el diseño del artefacto, siguiendo la metodología de Design Science Research, que culminó con la demostración mediante simulación de la factibilidad del artefacto para la solución del problema planteado (i.e. el diseño de una red Wi-Fi que permita una cobertura global del Hotel e integre IoT), en el Capítulo 3 .

En este capítulo se propone realizar un análisis desde la perspectiva de la gestión del proyecto como tal. Es decir, se revisará, la gestión de involucrados, de tiempo y de costos fundamentalmente, a fin de evaluar las implicaciones de la implementación real del proyecto. Para esto, se adoptará como guía partes de la metodología descrita en el PMBOK (PMBOK, 2017) y la Gestión de Proyectos de TI descrita en la Escuela Superior de Redes CEDIA (Alves Costa y col., 2014). Dado que no es el objetivo principal de esta tesis la gestión del proyecto de diseño e implementación, el presente capítulo se circunscribe a un análisis principalmente enfocado al costo de implementación (gestión del costo) y la demanda de tiempo (gestión del tiempo) y la descripción de principales involucrados. La gestión de proyectos normalmente incluye otras etapas de planificación como la gestión de riesgos, adquisiciones, calidad, comunicaciones, etc., que no son de interés principal de la tesis.

4.2. Gestión de Involucrados (stakeholders)

Los involucrados de un proyecto son individuos u organizaciones que se ven afectados por los resultados de este (Alves Costa y col., 2014). A fin de determinar los involucrados, es importante conocer la estructura organizacional del Hotel Río Suites. En la Figura 46 se presenta la estructura de organización tipo funcional del Hotel Río Suites; ésta es de tipo funcional jerárquica, organizada por departamentos. Las decisiones son centralizadas e involucran a gerencia principalmente, debido al tamaño de la organización. El departamento de sistemas no dispone de independencia, ya que el personal está destinado para el apoyo de las campañas electrónicas de marketing.

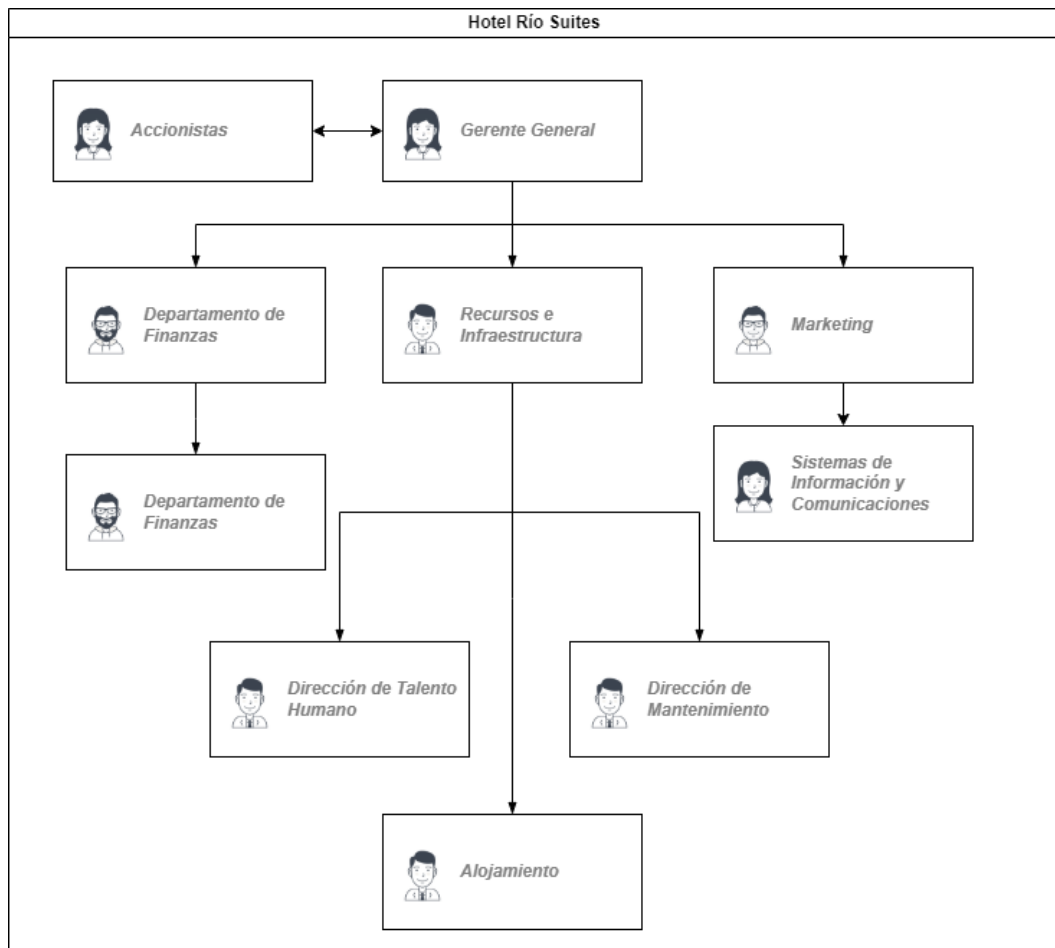


Figura 46: Organigrama Funcional del Hotel Río Suites

Fuente: Autor

Los principales stakeholders se resumen en la Tabla 9. El cliente es el propio hotel; pues, recibe al artefacto como entregable y lo consumirá para disponer de la red de Wi-Fi y los servicios de IoT. De la misma manera, los usuarios finales del artefacto son los empleados y huéspedes del hotel. Se debe notar que el hotel carece de personal calificado en sistemas de redes y comunicaciones. Por tanto, existe la necesidad (o riesgo) de contratar personal calificado, o capacitar el actualmente contratado. El equipo de proyecto estará conformado por varios profesionales dependiendo de las etapas del proyecto.

Tabla 9: Involucrados en Proyecto Red WLAN IoT Hotel Río Suites

Stakeholder	Nombre	Puesto	Rol	Influencia
Patrocinador	José Zoo	Gerente Hotel Río Suites	Ejecutivo	Alta
Cliente	Hotel Río Suites	Departamento de Mantenimiento	Ejecutivo	Alta
Usuarios finales	Empleados y Huéspedes	Departamento de Mantenimiento / Huésped	Ejecutivo	Media
Equipo de proyecto	Silvana Arévalo y otros	Ingeniería	Técnico	Media
Gerente de Proyecto	Silvana Arévalo	Gestión Proyecto	Ejecutivo	Alto

Fuente: Autor

Al Hotel Río Suites, le interesa, tras la crisis económica que experimenta el sector turístico y hotelero por la pandemia de COVID-19, recuperar las ganancias financieras. Debido a esto, es importante determinar el costo de implementar la propuesta presente en esta tesis. En este contexto, las metodologías de gestión de proyectos y/o Estructuras Analíticas de Proyecto (EAP) aportan con herramientas para predecir los costos del proyecto en tiempo y recursos. A largo plazo, la visión del hotel es la de generar nuevos atractivos que permitan mejorar los ingresos a través de nuevos servicios innovadores. En este sentido, la

integración de IoT permite no sólo optimizar las gestiones de mantenimiento, ya que se dispone de la información a la mano a través del Servidor de Registro, sino que también permite generar una experiencia nueva para el huésped.

4.3. Estructura analítica del proyecto

La estructura analítica del proyecto permite descomponer de manera jerárquica las actividades del proyecto para alcanzar sus objetivos, estructurando de esta manera al mismo (Alves Costa y col., 2014). La idea es identificar las tareas necesarias para cumplir con los objetivos a fin de que estos sean ejecutados. En este sentido, el proyecto de implementación se divide en las siguientes tres fases:

- **Fase de Diseño e Ingeniería:** es la fase desarrollada en el presente trabajo de investigación. En esta se desarrolla el prototipo o artefacto que resuelve el problema investigado.
- **Fase de Implementación:** consiste en la adquisición de los equipos necesarios: routers, switches, tarjetas de control, dispositivos IoT, etc. y la instalación física de los mismos. Puede incluir tareas de instalación civil o eléctrica.
- **Fase de Pruebas:** etapa final centralizada en las pruebas reales de la red implementada. Dependiendo de los equipos instalados, se puede revisar si existe una optimización en cuanto al uso de recursos del hotel al disponer del control remoto en tiempo real de los mismos.

Una vez establecidas las fases del proyecto, éstas se subdividen en Estructuras de Trabajo (EDT). La Figura 47 presenta un esquema resumen de los principales hitos de las EDT del proyecto. El desglose completo de las tareas, se presenta en la Tabla 10. La principal ventaja de estructurar el proyecto en EDT es realizar la proyección de recursos, costos y tiempo para la implementación del proyecto.

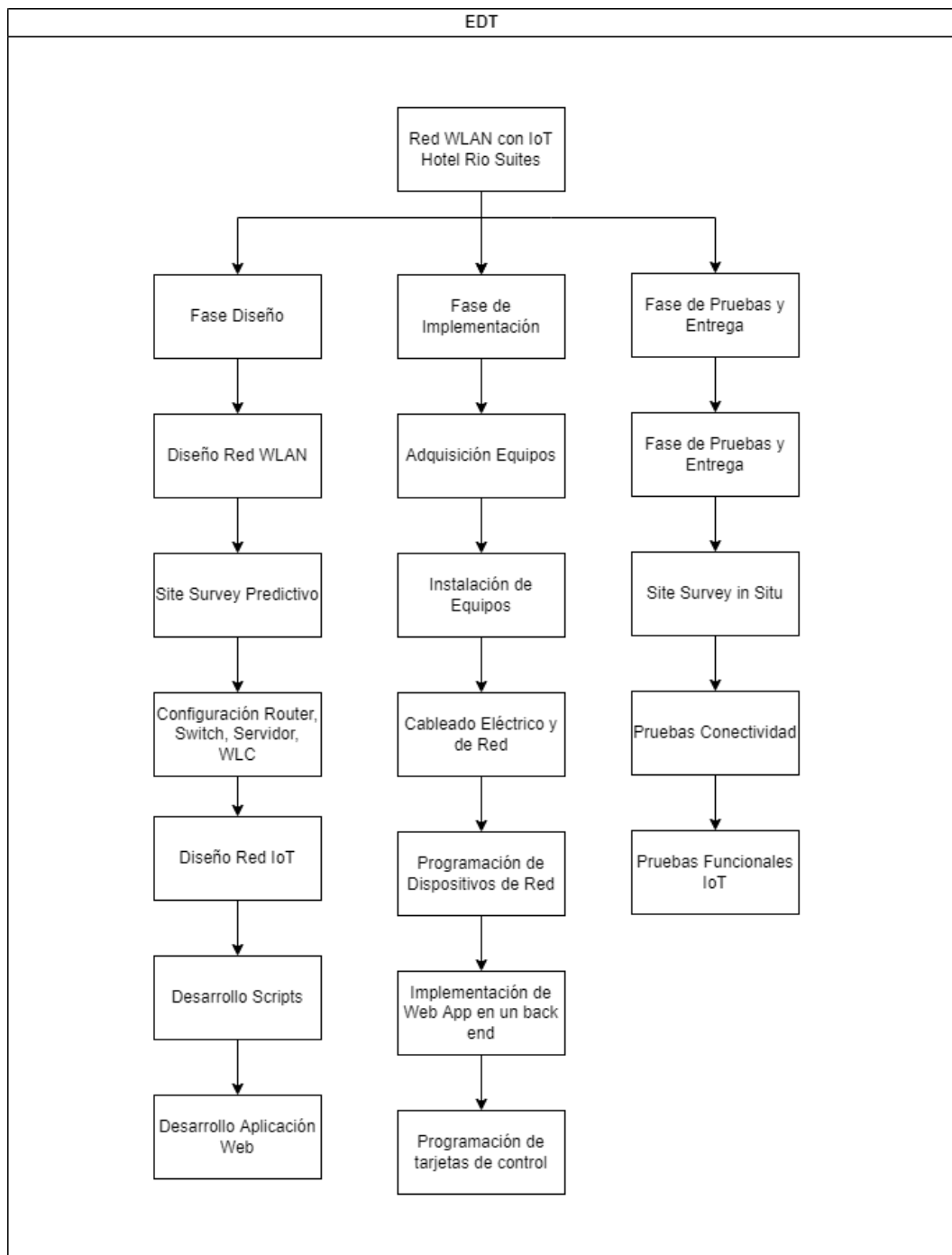


Figura 47: Estructuras de Trabajo del Proyecto

Fuente: Autor

Tabla 10: Detalle de Tareas del Proyecto

1. Fase de Diseño	2. Fase de Implementación	de	3. Fase de Pruebas in Situ
1.1. Reunión de Inicio	2.1. Adquisición de Equipos	de	3.1. Pruebas de Conectividad
1.2. Desarrollo de Planos	2.2. Instalación de Equipos en Oficina de Sistemas y Comunicación	de	3.2. Site Survey in Situ
1.3. Site Survey Predictivo	2.3. Instalación de Equipos en Hotel	de	3.3. Pruebas de Control IoT
1.4. Diseño de Artefacto	2.4. Cableado Eléctrico y de Comunicaciones	de	3.4. Pruebas de Calidad de Red
1.4.1. Diseño de Red WLAN	2.5. Programación de Equipos de Red	de	3.5. Documentación
1.4.1.1. Localización de Aps	2.6. Programación de App	de	3.6. Cierre
1.4.1.2. Configuración de Servidor	2.7. Programación de Equipos de Control		
1.4.1.3. Configuración de Router	2.8. Documentación		
1.4.1.4. Configuración de Switch			
1.4.1.5. Configuración de Wireless Lan Controller			
1.4.2. Diseño Red IoT			
1.4.2.1. Desarrollo Scripts Python Raspberry Pis			
1.4.2.2. Desarrollo Aplicación Web del Servidor Principal			
1.5. Simulación			
1.6. Documentación			

Fuente: Autor

4.3.1. Gestión del Tiempo

La estructura de trabajo presentada en la sección anterior permite dividir el proyecto en tareas con el fin de realizar la implementación del diseño propuesto en esta tesis. Cada una de estas tareas consume un recurso de tiempo para llevarse a cabo. En la Tabla 11 se presenta la duración estimada, a criterio de experto, de las EDT. En total se estima que el proyecto dure 472 días. Sin embargo, se debe notar que la fase de diseño corresponde al presente trabajo de investigación y se encuentra realizada. Entre la Fase de Diseño y la de implementación existe un espacio de tiempo debido a que el alcance del proyecto tesis, como indica en el Capítulo 1, Sección 1.5, no incluye la implementación de este; debido a razones propias de la gerencia y administración del Hotel. Es más, la fase de implementación debe observar la disponibilidad de tiempo para realizar trabajos de tipo civil y eléctrico que no afecten la productividad del hotel. En este sentido, dichos trabajos deben ser realizados en horarios específicos determinados por la administración. Este particular no está considerado en la presente diagramación de tiempos esperados.

Tabla 11: Duración de Etapas Principales del Proyecto

Fase	% Completado	Duración Programada
Fase de Diseño	95 %	213 días
Fase de Implementación	0 %	215 días
Fase de Pruebas	0 %	35 días
Cierre	0 %	2 días

Fuente: Autor

En la Figura 48 se tiene la representación en diagrama de Gantt de la estimación de tiempos para la implementación del diseño aquí presentado, considerando las fases de diseño, implementación y prueba. Se resalta en color rojo la ruta crítica; la cual está fundamentalmente relacionada con las tareas pendientes de realización.

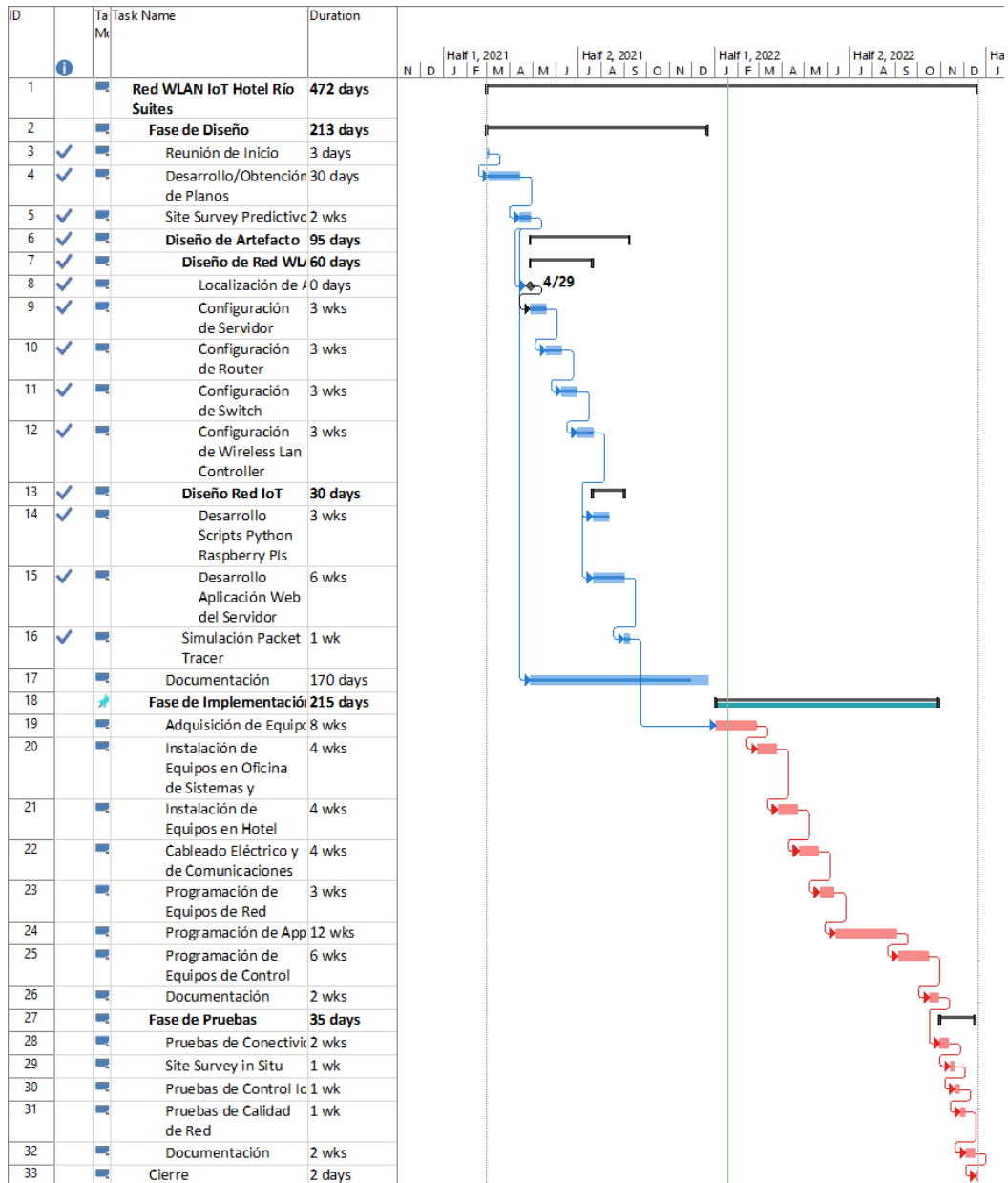


Figura 48: Diagrama de Gantt de Estimación de Duración del Proyecto

Fuente: Autor

4.3.2. Gestión de Costos

Para la gestión de costos se aplica la metodología de presupuesto *bottom-up*, que se basa en sumar los costos de las distintas EDT de las fases del proyecto (Alves Costa y col., 2014). Para el presupuesto, se solicitó cotización a la empresa *Telalca*¹ que, en función de los equipos identificados en la etapa de diseño, especifico los equipos Cisco que se pueden utilizar para realizar la red WLAN. El computador y las Raspberry PI se cotizaron a parte. La cotización presentada por la mencionada empresa incluye valores de servicio y licencias necesarias para la operación de los equipos. A nivel de implementación no existiría conflicto con los scripts y configuraciones desarrollados en el Capítulo 3, inclusive en un eventual cambio de marca, pues, los asesores de la empresa señalan que la marca Ruckus² es más recomendable para implementación de proyectos de redes de comunicación en hoteles, ya que las configuraciones en los equipos serían esencialmente las mismas. Un cambio que sí trae la especificación de los equipos, de acuerdo con la proforma recibida, es en cuanto al Wireless Lan Controller. Debido a las capacidades de la serie WLC 9800-L, es suficiente un sólo WLC. La Tabla 12 presenta los costos de los equipos principales a ser instalados para el funcionamiento de la red Wi-Fi.

¹<https://www.telalca.com/sobre-nosotros/>

²<https://www.commscope.com/ruckus/>

Tabla 12: Costo de Equipos Principales

Equipo	Cantidad	Precio	Costo
Router ISR4331	1	\$4,993,32	\$4,993,32
Switch Cisco Catalyst 9200, 24 Puertos, Capa 3, C9200L-24P-4G-E	1	\$3,890,76	\$3,890,76
Cisco Catalyst 9105 Access Point, C9105AXI-A	8	\$1,086,03	\$8,688,24
Cisco Catalyst 9124AX Access Point para Exteriores C9124AXI-A	3	\$2,846,82	\$8,540,46
Cisco Catalyst 9800-L Wireless Controller C9800-L-C-K9	1	\$13,302,59	\$13,302,59
Servidor Cisco Ucs C240 M4 Xeon 2 X 10 Core 16gb 2tb Rack	1	\$14,074,80	\$14,074,80
Cpu Gamer Intel Core i7 10ma/1tb+ssd 480gb 16gb Gtx1660 6gb	1	\$1,599,00	\$1,599,00
Raspberry Pi4	22	\$200,00	\$4,400,00
Total			\$59,489,17

Fuente: Autor

El talento humano también involucra un costo para el desarrollo de las distintas tareas del proyecto. En la Tabla 13 se presenta el costo estimado por hora de trabajo para el ingeniero de proyecto, el ingeniero de diseño de redes, y los especialistas para instalaciones eléctricas y de infraestructura civil. También muestra un estado del costo de trabajos realizados al momento.

Tabla 13: Costo de Talento humano

Especialista	Horas Realizado	Trabajo	Tarifa	Costo
Ingeniero Proyecto	de 24 h		\$8,00 h ⁻¹	\$192,00
Ingeniero Diseño de Red	de 984 h		\$10,00 h ⁻¹	\$9,840,00
Técnico Electricista	0 h		\$4,00 h ⁻¹	\$0,00
Técnico Infraestructura	de 240 h		\$4,00 h ⁻¹	\$960,00

Fuente: Autor

Considerando tanto los costos invertidos en los materiales necesarios para la realización de la implementación de la red Wi-Fi con integración de IoT y los costos del recurso humano, se obtiene el detalle de costos presentado en la Tabla 14. En la referida tabla se detalla el costo por cada una de las EDT. Los costos de las Etapas de Desarrollo, Implementación y Pruebas resultan de la suma de los costos de sus tareas subordinadas. El total esperado para el proyecto es de \$87,729,77; donde el 68 % es el costo de materiales (únicamente equipos de red), como muestra la Figura 49.

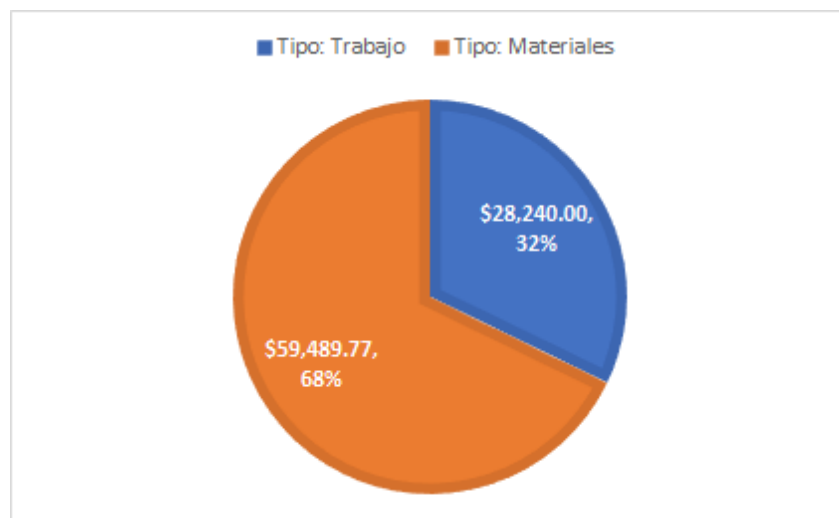


Figura 49: Reporte de costos de recursos del proyecto

Fuente: Autor

Tabla 14: Costos del proyecto de Implementación

Tarea	Costo
Red WLAN IoT Hotel Río Suites	\$87,729,77
Fase de Diseño	\$10,992,60
Reunión de Inicio	\$432,00
Desarrollo/Obtención de Planos	\$960,00
Site Survey Predictivo	\$800,12
Diseño de Artefacto	\$8,800,48
Diseño de Red WLAN	\$4,800,48
Localización de Aps	\$0,00
Configuración de Servidor	\$1,200,12
Configuración de Router	\$1,200,12
Configuración de Switch	\$1,200,12
Configuración de Wireless Lan Controller	\$1,200,12
Diseño Red IoT	\$3,600,00
Desarrollo Scripts Python Raspberry Pis	\$1,200,00
Desarrollo Aplicación Web del Servidor Principal	\$2,400,00
Simulación Packet Tracer	\$400,00
Documentación	\$0,00
Fase de Implementación	\$73,969,17
Adquisición de Equipos	\$59,489,17
Instalación de Equipos en Oficina de Sistemas y Comunicación	\$4,160,00
Instalación de Equipos en Hotel	\$640,00
Cableado Eléctrico y de Comunicaciones	\$640,00
Programación de Equipos de Red	\$1,200,00
Programación de App	\$4,800,00
Programación de Equipos de Control	\$2,400,00
Documentación	\$640,00
Fase de Pruebas	\$2,640,00
Pruebas de Conectividad	\$800,00
Site Survey in Situ	\$400,00
Pruebas de Control IoT	\$400,00
Pruebas de Calidad de Red	\$400,00
Documentación	\$640,00
Cierre	\$128,00

Fuente: Autor

A partir de la base de costos en materiales y talento humano se puede planificar el presupuesto del proyecto. Para esto se considera un valor del 15 % (\$13,140,26) para contingencias y un 10 % (\$10,074,20) para imprevistos. De esta manera se obtiene el valor de \$110,816,23. De manera gráfica se esquematiza el presupuesto en la Figura 50; donde se observa que la línea base de este se estima en \$100,742,03.

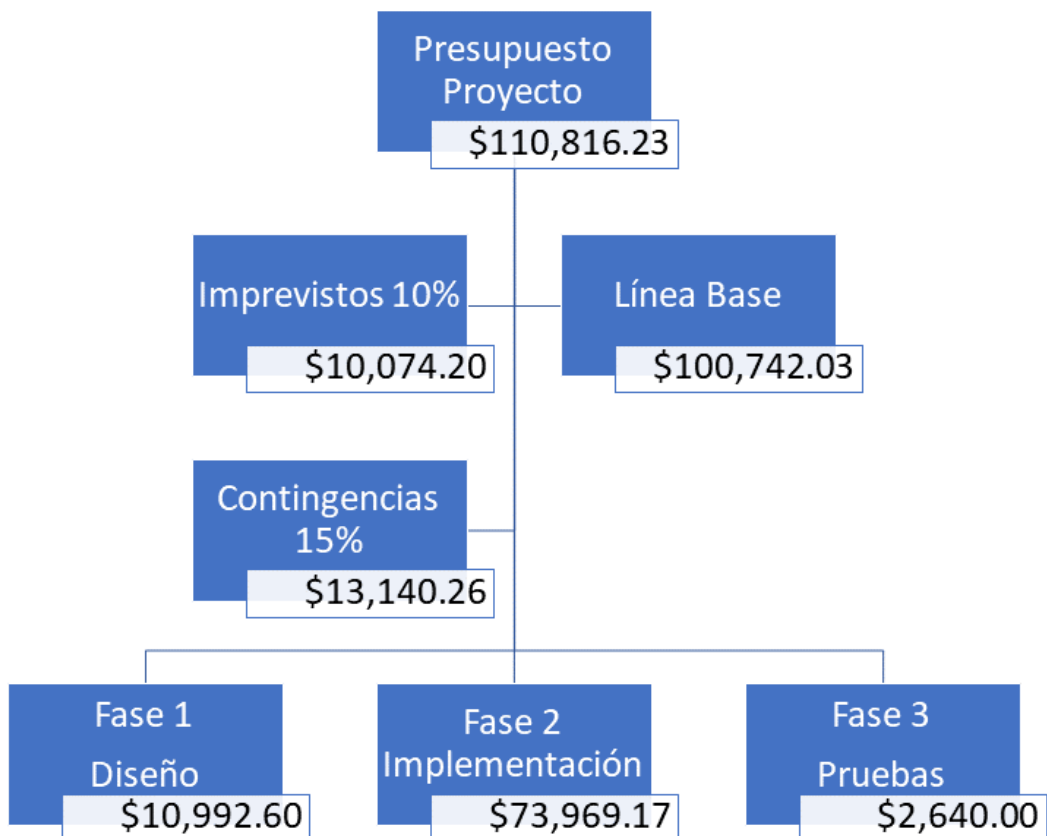


Figura 50: Presupuesto estimado del Proyecto

Fuente: Autor

Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Introducción

Los capítulos anteriores presentaron el marco teórico, la metodología (DSR), el diseño del artefacto (red WLAN con IoT) y el análisis de gestión del proyecto de implementación. En este capítulo se realiza una revisión del proyecto de investigación con respecto a los objetivos y preguntas de investigación planteadas.

El rápido desarrollo de las tecnologías de la información y las comunicaciones ha generado la introducción de nuevos productos que han incrementado el control y monitoreo remoto de edificios y hogares, añadiendo un componente de respuesta inteligente; por lo cual las denominaciones de smart home, smart office, smart building, etc. (Dotihal y col., 2019). Equipos como Alexa, que introducen una interfaz natural para el control de dispositivos electrónicos, mediante el *Alexa Voice Service (AVS)*, no sólo modifican los tradicionales sistemas de interfaz humano - máquina, sino que también permiten integrar una respuesta inteligente de la casa, habitación o edificio, al integrar los sensores y actuadores distribuidos en éstos con programas de inteligencia artificial. Todo esto ha modificado lo que antes se conocía como domótica, originando la pregunta de si esta disciplina se encuentra absorbida por el IoT como una subespecialización de éste. Por ejemplo, a través de Alexa Skill, AWS IoT Core, y AWS Lambda, se pueden desarrollar nuevas habilidades personalizadas que permiten a Alexa controlar dispositivos

físicos nuevos con características que el propio diseñador o usuario define (Rajalakshmi & Shahnasser, 2017). Una creciente preocupación con los asistentes virtuales inteligentes (IVAs, por sus siglas en inglés) corresponde a los niveles de seguridad. Pues, como señala Chung y col. (2017), no todas las comunicaciones entre los dispositivos y los IVAs están cifradas y pueden ser objeto de detección de paquetes (*packet sniffing*), de ataques de negación de servicio (DDoS) y capturar los sonidos del entorno y las conversaciones.

Si bien esta tesis aborda el tema de integrar el IoT en un Hotel a fin de dotarle de nuevas capacidades y servicios, el proyecto no ha abordado el tema de IVAs. Sin embargo, debido a la ya alta disponibilidad en el mercado de estos equipos, y la posibilidad de integrar todos los servicios por medio de una red Wi-Fi, un trabajo futuro puede abordar este tema. En el presente proyecto se ha investigado fundamentalmente dos puntos: 1) la integración de dispositivos por medio de la red Wi-Fi, 2) las posibilidades de control remoto con fin de facilitar tareas de administración del hotel. Debido a las restricciones y alcances mencionados en el Capítulo 1, este proyecto realizó el diseño y simulación del artefacto.

5.2. Discusión y Conclusiones

Uno de los principales problemas con las redes inalámbricas es la cobertura del espacio físico; problema relacionado con la principal ventaja de estas que es la movilidad (i.e. que el usuario no necesite cables para disponer del servicio de conectividad). El Hotel Río Suites no es ajeno a esta situación, por lo que se procedió a realizar un Site Survey Predictivo para determinar la cantidad y ubicación de los APs externos a fin de cubrir zonas externas del hotel. Por su parte, la simulación desarrollada en el Capítulo 3, Sección 3.4, permiten estimar que el uso de 3 APs ubicados conformando una zona de cobertura triangular garantiza una adecuada cobertura. Es más, dado que los APs están integrados con el WLC-2504, y debido a la configuración desarrollada en los mismos, estas zonas permiten disponer de conectividad al huésped y al administrador, permitiendo disponer de ubicuidad del servicio; lo cual es clave para el desarrollo de aplicaciones de IoT en tiempo real.

En cuanto al diseño de la red misma, el artefacto muestra que para dotar de las funcionalidades esperadas se requiere de una configuración adecuada de equipos como el Router, el Switch capa 3, el WLC y el Servidor IoT. Uno de los problemas a resolver fue el disponer de control autónomo por parte del huésped a través de la página del hotel. Para esto se recurrió a utilizar tarjetas Raspberry PI ubicadas en cada una de las habitaciones. Con esto, se logró obtener tanto el control remoto que requiere administración como el control autónomo para la experiencia del huésped. A fin de dotar de seguridades a la red se configuraron VLAN independientes según el tipo de usuario (huésped, empleado, administrador, dispositivo IoT) y redes inalámbricas independientes para cada habitación, con la finalidad de evitar la intervención mal intencionada entre usuarios. Por tanto, una de las pruebas necesarias y que deben ser consideradas también en la implementación del proyecto son pruebas de penetración y hacking ético del hotel.

Con respecto a las preguntas de investigación que se plantearon al inicio del presente trabajo, la principal pregunta realizada consiste en *¿Cómo se debe diseñar la red inalámbrica del Hotel Río Suites para que integre IoT?*. Esta pregunta fue dividida en las siguientes tres que son discutidas en función de los resultados obtenidos:

1. *¿Qué configuración de equipos y diseño de red WLAN se puede proponer para disponer de una cobertura Wi-Fi del Hotel?*

El site survey predictivo en función de las dimensiones físicas del Hotel, y presuponiendo materiales típicos, permitió determinar una ubicación adecuada tanto de los APs externos como de los APs internos. Si bien la literatura recomienda que existan tantos APs internos como habitaciones, tanto por mitigar los problemas de interferencia de señales como disponer de una cobertura adecuada para los equipos y dispositivos a conectar a la red, por razones de presupuesto, se optimizó la cantidad de dispositivos buscando con el site survey obtener la mejor cobertura posible. Esto no impide que, en una realización real, tras realizar un site survey en sitio, el número de APs y su ubicación varíe o incremente. En cuanto a la configuración, se pudo observar que los APs externos deben repetir las redes inalámbricas a fin de dotar de un servicio de movilidad y la mejor experiencia al usuario. También, dado que esta tesis asume la conexión de los equipos de IoT por medio de la red inalámbrica, de

existir dispositivos en las zonas comunales, es necesario que la VLAN de sensores se transmita a fin de cubrir la demanda.

2. *¿Qué configuración de la red WLAN del Hotel es necesaria para integrar equipos IoT en las habitaciones?*

Para integrar IoT se dividió la red del Hotel en función de los distintos tipos de usuarios, considerando para ello a los dispositivos IoT como un usuario más. Esta segmentación a través de VLAN se obtiene por medio de la configuración descrita en el Capítulo 3, Sección 3.3.3 sobre el Router y habilitada en el Switch. Además, se observó que para evitar problemas de sniffing sería adecuado disponer de redes inalámbricas independientes para cada habitación y una red WLAN única para los equipos IoT, ubicada en otro segmento de la red. Finalmente, es importante instalar software que permita habilitar un servidor de registro o IoT Server que permita monitorear los distintos dispositivos IoT del Hotel. Para el control local por parte del usuario fue necesario utilizar tarjetas de hardware abierto para permitir la doble funcionalidad, local y remota.

3. *¿Qué características y diseño debe tener la red IoT?*

Por características de diseño se consideró que la conexión de los dispositivos IoT debe explotar la conectividad inalámbrica. El protocolo usado fue el IEEE802.11 correspondiente a Wi-Fi, ya que el Hotel puede asegurar la alimentación de los dispositivos, y al disponer de infraestructura con Wi-Fi no sería necesario utilizar otras tecnologías como Zigbee o BlueTooth. Además, la integración con equipos IoT, como se discutió en el Capítulo 3, puede realizarse por MQTT o por HTTP. En este sentido es mejor disponer de una red que facilite el uso de estos protocolos. Si bien en este trabajo no se utilizó MQTT, debido a que no se trabaja con sensores remotos y alimentados con baterías que requieran de optimizar las comunicaciones para garantizar la disponibilidad y energía de estos, el protocolo tiene ventajas al respecto de HTTP que deben ser observadas en una implementación real. Como interfaz, se diseñó una aplicación en el servidor del Hotel que a través del Login de huésped habilita a que el mismo pueda usar su habitación de manera inteligente.

5.3. Recomendaciones y trabajos futuros

El presente trabajo de investigación ha utilizado la simulación para demostrar la factibilidad del diseño propuesto. Si bien no se dispone de una implementación debido a los costos en que incurre el proyecto, es importante indicar algunos temas que quedan por explorar; que pueden ser más relevantes que la propia implementación. Pues, aun cuando existen limitaciones en el software de Packet Tracer, al disponer éste de los sistemas operativos de los equipos Cisco, se puede concluir que las configuraciones y scripts desarrollados podrán ser implementados en un proyecto real con éxito.

Entre los temas que son de interés para un trabajo futuro están: ¿se puede sustituir o automatizar la recepción y gestión del hotel, usando IoT, asistentes virtuales o Inteligencia Artificial? El IoT abre la posibilidad de generar información a partir de la integración de sensores y actuadores en una red; que al estar conectados por red Wi-Fi, como en el presente trabajo, están categorizados como Wireless Sensor Network. Al disponer de información centralizada en tiempo real, existe la posibilidad de automatizar determinadas tareas. Por ejemplo, se puede programar el encendido y apagado de las luces en función de programación horaria y del nivel de luz solar disponible medidas por algún sensor fotosensible. Es más, el integrar cámaras inteligentes y programas de detección de objetos pueden permitir no sólo una detección de intrusos, sino una respuesta programada y eficiente del hotel a las necesidades de un huésped. De esta manera se podría optimizar el consumo de energía eléctrica disminuyendo o apagando luces de salas comunales hasta que, al ser detectado un huésped en movimiento, el nivel de iluminación cambie. También, las aplicaciones de inteligencia artificial con procesamiento de imágenes pueden clasificar el comportamiento observado del huésped y según eso tomar una decisión: ¿Podría detectar el programa si el huésped se encuentra enfermo, estresado, irritado, etc.?. De la misma manera, es claro que los hoteles disponen de servicios de bar y restaurante, los mismos que también podrían ser optimizados al integrar estas tecnologías.

Si bien la respuesta al tema planteado sobre la digitalización de la recepción del hotel es en principio afirmativa, se debe explorar las diferentes consecuencias de ésta. Por ejemplo, se debe observar cómo

afectan la aplicación de estas tecnologías sobre el nivel de privacidad del huésped. Otro tema de interés es el análisis de vulnerabilidades de los edificios inteligentes. Pues, al conectar dispositivos a la red de internet, éstos están expuestos a los mismos ataques conocidos para los computadores. Sin embargo, el impacto de este tipo de ataques puede afectar negativamente tanto al huésped como a la reputación del hotel. Por ejemplo, el explotar las vulnerabilidades de la red del hotel puede devenir en que se invada la privacidad del huésped, se ejecute la adquisición de servicios no solicitados por parte del usuario, se extraiga información personal o se niegue el acceso a servicios. En este sentido, una implementación de un proyecto de red IoT, como pretende este trabajo, debe incluir el análisis y pruebas de seguridad informática; que es un tema que no aborda esta tesis.

El IoT es una ventana de oportunidades que está siendo explorada y, en un futuro cercano, seguramente explotada. Este trabajo de investigación muestra que la implementación de redes que integren IoT en Hoteles es posible; lo que abre posibilidades a nuevas experiencias y servicios. Sin embargo, se debe observar los costos que estas nuevas tecnologías pueden acarrear al ser adoptadas en edificios de gran tamaño (i.e. superior a lo que sería la automatización de una casa o un departamento). Es claro que el desafío técnico existe y los diferentes fabricantes disponen ya de herramientas para la gestión de hoteles y la administración de redes inalámbricas. Sin embargo, al parecer existe aún una brecha de oportunidad o research gap, que se espera esta tesis haya abordado, con respecto a la integración de IoT en las redes de Hoteles.

Bibliografía

- Akkaya, K., Guvenc, I., Aygun, R., Pala, N. & Kadri, A. IoT-based occupancy monitoring techniques for energy-efficient smart buildings [cited By 95]. En: cited By 95. 2015, 58-63. <https://doi.org/10.1109/WCNCW.2015.7122529>.
- Alcatel-Lucent, E. (2021). Hospitality Networking Solution Guide. <https://www.al-enterprise.com/-/media/assets/internet/documents/hospitality-networking-blueprint-en.pdf>
- Alves Costa, R., Motta, A. C. & Boca Piccolini, J. D. (2014). *Gestión de Proyectos de TI*. CEDIA.
- Attia, M., Haidar, N., Senouci, S. & Aglzim, E.-H. Towards an efficient energy management to reduce CO2 emissions and billing cost in smart buildings [cited By 10]. En: *2018-January*. cited By 10. 2018, 1-6. <https://doi.org/10.1109/CCNC.2018.8319226>.
- BehrTech. (2021). mesh vs star topology – how to find the right architecture for your iot networks. <https://behrtech.com/blog/mesh-vs-star-topology/>
- Blueprintrf. (2021). Hotel WiFi Network Design: Best Practices and Installation Strategies. <https://www.blueprintrf.com/hotel-wifi-network-design-best-practices-and-installation-strategies/>
- CCNA, D. C. (2020). WLC qué es? Wireless Lan Controller de Cisco. <https://ccnadesdecero.com/curso/wlc/>
- Chew, D. (2018). *The Wireless Internet of Things: A Guide to the Lower Layers*. John Wiley & Sons Inc.
- Chung, H., Iorga, M., Voas, J. & Lee, S. (2017). Alexa, can I trust you? *Computer*, 50(9), 100-104.
- Cisco, C. (2021a). Cisco 2504 Wireless Controller. <https://www.cisco.com/c/en/us/support/wireless/2504-wireless-controller/model.html>

- Cisco, C. (2021b). Cisco 2900 Series Integrated Services Routers Data Sheet.
https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/2900-series-integrated-services-routers-isr/data_sheet_c78_553896.html
- Cisco, C. (2021c). cisco catalyst 3650 series switches data sheet. https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-3650-series-switches/data_sheet-c78-729449.html
- Coco-Stotts, K. (2021). RADIUS Authentication Pros & Cons - JumpCloud. <https://jumpcloud.com/blog/radius-pros-cons>
- Coleman, D. D. & Westcott, D. A. (2021). *CWNA Certified Wireless Network Administrator Study Guide: Exam CWNA-108*. John Wiley & Sons.
- De Freitas Melo, D., De Souza Lage, E., Rocha, A. & De Jesus Cardoso, B. Improving the consumption and water heating efficiency in smart buildings [cited By 0]. En: *2018-January*. cited By 0. 2017, 1-6. <https://doi.org/10.1109/CEWIT.2017.8263304>.
- Domínguez, M. (2016). *Estudio y diseño de domotica para el conjunto Villa Navarra* (Tesis doctoral). Master's thesis, Pontificia Universidad Católica Del Ecuador.
- Dotihal, R., Sopori, A., Muku, A., Deochake, N. & Varpe, D. (2019). Smart homes using alexa and power line communication in IoT. *International Conference on Computer Networks and Communication Technologies*, 241-248.
- Eliopoulos, P., Tatlas, N.-A., Rigakis, I. & Potamitis, I. (2018). A “smart” trap device for detection of crawling insects and other arthropods in urban environments [cited By 5]. *Electronics (Switzerland)*, 7(9). <https://doi.org/10.3390/electronics7090161>
- Ensign. (2017). A Step-by-Step Guide to Great Hotel WiFi | Ensign. <https://www.ensign-net.co.uk/a-step-by-step-guide-to-great-hotel-wifi.html>
- Enterprise, H. (2021). AP2030DN Wall Plate Access Point. <https://e.huawei.com/en/products/enterprise-networking/wlan/indoor-access-points/ap2030dn>
- Farag, W. (2017). ClimaCon: An Autonomous Energy Efficient Climate Control Solution for Smart Buildings [cited By 2]. *Asian Journal of Control*, 19(4), 1375-1391. <https://doi.org/10.1002/asjc.1426>
- Finardi, A. (2018). IoT Simulations with Cisco Packet Tracer.

- Fraile, L., Tsampas, S., Mylonas, G. & Amaxilatis, D. (2020). A Comparative Study of LoRa and IEEE 802.15.4-Based IoT Deployments Inside School Buildings [cited By 0]. *IEEE Access*, 8, 160957-160981. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3020685>
- Geekflare. (2020). 12 Open Source Internet of Things (IoT) Platforms and Tools. <https://geekflare.com/iot-platform-tools/>
- Guedey, M. & Uckelmann, D. Exploring smart home and internet of things technologies for smart public buildings [cited By 0]. En: cited By 0. 2020. <https://doi.org/10.1145/3410992.3411009>.
- Gutiérrez, S., Velázquez, R. & Alvarez, J. Review of system controller for smart homes/building applications [cited By 1]. En: *2017-August*. cited By 1. 2017, 104-108. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85045558339&partnerID=40&md5=a742c5257f5f2255866c9c6a126ac26f>
- Hevner, A. & Chatterjee, S. (2010). Design science research in information systems. *Design research in information systems* (pp. 9-22). Springer.
- Hintersteiner, J. D. (2021). Wi-Fi in Hospitality. <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2140159/Wi-Fi%5C%20in%5C%20Hospitality.pdf>
- Ioana Culic, C. R., Alexandru Radovici. (2020). *Commercial and Industrial Internet of Things Applications with the Raspberry Pi: Prototyping IoT Solutions* (1.^a ed.). Apress.
- Jan, H., Vlasios, T., Catherine, M., Stamatis, K., Stefan, A. & David, B. (2014). *Internet of Things*. Academic Press. <http://ebsco.puce.elogim.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=503597&site=ehost-live>
- Jesin, A. (2014). *Packet Tracer Network Simulator*. Packt Publishing Ltd.
- Jia, Q.-S., Zhang, Y. & Zhao, Q. (2018). Controlling the internet of things – From energy saving to fast evacuation in smart buildings [cited By 0]. *Advances in Industrial Control*, (9783319684611), 293-310. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68462-8_11
- Kassab, W. & Darabkh, K. A. (2020). A–Z survey of Internet of Things: Architectures, protocols, applications, recent advances, future directions and recommendations. *Journal of Network and Computer Applications*, 163, 102663. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102663>

- KathyLin, Z. (2019). How to Configure 802.1x to Secure the Wireless Environment with an External RADIUS Server? <https://community.zyxel.com/en/discussion/3159/how-to-configure-802-1x-to-secure-the-wireless-environment-with-an-external-radius-server>
- King, A. (2021). *Programming the Internet of Things*. O'Reilly Media, Inc.
- Lai, W.-C. & Hung, W.-H. (2017). Constructing the smart hotel architecture—A case study in Taiwan. *The 17th International Conference on Electronic Business, December*, 4-8.
- March, S. T. & Smith, G. F. (1995). Design and natural science research on information technology. *Decision support systems*, 15(4), 251-266.
- Mathworks. (2020). Post Temperature Data and Read from Channel Matlab & Simulink. <https://www.mathworks.com/help/thingspeak/read-and-post-temperature-data.html>
- Metageek.com. (2021). Designing a Dual-Band Wireless Network. <https://www.metageek.com/training/resources/design-dual-band-wifi.html>
- Najem, N., Ben Haddou, D., Abid, M., Darhmaoui, H., Krami, N. & Zytoune, O. Context-Aware Wireless Sensors for IoT-Centric Energy-Efficient Campuses [cited By 5]. En: cited By 5. 2017. <https://doi.org/10.1109/SMARTCOMP.2017.7946995>.
- Paul, C., Ganesh, A. & Sunitha, C. (2019). An IoT-Based Smart Classroom. *International Conference on Computer Networks and Communication Technologies*, 9-14.
- Peppers, K., Tuunanen, T., Gengler, C. E., Rossi, M., Hui, W., Virtanen, V. & Bragge, J. (2020). Design Science Research Process: A Model for Producing and Presenting Information Systems Research.
- PMBOK. (2017). A guide to the Project Management Body of Knowledge. *Project Management Institute*.
- Rajalakshmi, A. & Shahnasser, H. (2017). Internet of things using node-red and alexa. *2017 17th International Symposium on Communications and Information Technologies, ISCIT 2017, 2018-January*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ISCIT.2017.8261194>
- Rohde, R. (2016). Webinar: Hotel Wi-Fi - Designing it right. <https://www.youtube.com/watch?v=HAE35c37mmo>
- Serozhenko, M. (2021). MQTT vs. HTTP: which one is the best for IoT? <https://medium.com/mqtt-buddy/mqtt-vs-http-which-one-is-the-best-for-iot-c868169b3105>

- Sheng-Lung Peng, L. H., Souvik Pal. (2020). *Principles Of Internet Of Things (IoT) Ecosystem: Insight Paradigm*. Springer.
- Sinopoli, J. (2016). *Advanced Technology for Smart Buildings*. Artech House. <http://ebsco.puce.elogim.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=1511843&site=ehost-live>
- Skøien, K. (2021). Network Topologies in wireless solutions. <https://blog.nordicsemi.com/getconnected/wireless-network-topologies>
- Slijepcevic, S. & Potkonjak, M. (2001). Power efficient organization of wireless sensor networks. *ICC 2001. IEEE International Conference on Communications. Conference Record (Cat. No. 01CH37240)*, 2, 472-476.
- Solutions, L. P. R. (2021). Wireless Networks Network Topology LPRS. <http://www.lprsiot.com/networks/>
- Song, H., Srinivasan, R., Sookoor, T. & Jeschke, S. (2017). *Smart Cities : Foundations, Principles, and Applications*. John Wiley & Sons, Incorporated. <http://ebookcentral.puce.elogim.com/lib/puce/detail.action?docID=4883016>
- Swati, S. T. (2016). Smart Building Technologies: Smart Building Components for Smart Cities: New Building Materials & Construction World [Copyright - Copyright 2016 NBM Media Pvt. Ltd., distributed by Contify.com; Last updated - 2020-11-18]. *NBM & CW*. <https://search.proquest.com/docview/1757057488?accountid=13357>
- Toca Pérez, C. (2021). Master Class "Entendiendo la metodología Design Science Research". <https://www.youtube.com/watch?v=bBtWwuMEHTQ>
- Vijayalakshmi, S. R. & Muruganand, S. (2018). *Wireless Sensor Networks : An Introduction*. Mercury Learning & Information. <http://ebsco.puce.elogim.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=1809144&site=ehost-live>
- Vlasov, N. (2020). *SMART BUILDINGS* [Copyright - Copyright Institut de l'Audiovisuel et de Telecommunications en Europe (IDATE) 2020; Last updated - 2020-09-29]. Institut de l'Audiovisuel et de Telecommunications en Europe (IDATE). <https://search.proquest.com/docview/2447008046?accountid=13357>
- Wikipedia. (2021). Indicador de fuerza de la señal recibida — Wikipedia, La enciclopedia libre [[Internet; descargado 29-marzo-2022]]. %5Curl%

7Bhttps://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Indicador_de_fuerza_de_la_se%C3%5C%B1al_recibida&oldid=133320567%7D

Wikipedia contributors. (2021). DOCSIS — Wikipedia, The Free Encyclopedia [[Online; accessed 9-May-2021]]. <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=DOCSIS&oldid=1017763662>

Zou, H., Zhou, Y., Yang, J. & Spanos, C. (2018). Towards occupant activity driven smart buildings via WiFi-enabled IoT devices and deep learning [cited By 27]. *Energy and Buildings*, 177, 12-22. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.010>