



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE
INGENIERÍA**

Trabajo de Titulación como requisito previo para la obtención del título de Magister en
Tecnologías de la Información, mención en Gestión y Administración de Tecnologías

**ESTUDIO COMPARATIVO DE RENDIMIENTO DE UNA RED DE
COMUNICACIÓN A TRAVÉS DE LI-FI CON LA RED WI-FI
PARA REDES DOMÉSTICAS EN EL SECTOR CENTRO DE LA
CIUDAD DE GUAYAQUIL.**

Autor: Robert Jair Moreno Ruíz

Director: Ing. Juan Francisco Chafla Altamirano, M. SC.

Quito, febrero del 2023



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE
INGENIERÍA**

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Robert Jair Moreno Ruíz**, con cédula de ciudadanía No. 1205591322, autor del trabajo de graduación titulado: **“ESTUDIO COMPARATIVO DE RENDIMIENTO DE UNA RED DE COMUNICACIÓN A TRAVÉS DE LI-FI CON LA RED WIFI PARA REDES DOMÉSTICAS EN EL SECTOR CENTRO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”**, previo a la obtención del título de **Magíster en Tecnologías de Información mención Gestión y Administración de TI**, de la Facultad de Ingeniería:

- 1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
- 2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCE, el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Quito, 1 de febrero de 2023

Atentamente;

Robert Jair Moreno Ruíz

Autor del Trabajo de Titulación

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi carácter de Director (a) – Tutor (a) del Trabajo de Posgrado Titulado: **“ESTUDIO COMPARATIVO DE RENDIMIENTO DE UNA RED DE COMUNICACIÓN A TRAVÉS DE LI-FI CON LA RED WIFI PARA REDES DOMÉSTICAS EN EL SECTOR CENTRO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”**, presentado por el maestrante **Robert Jair Moreno Ruíz**, con cédula de ciudadanía No. 1205591322, para optar al Grado de **Magíster en Tecnologías de Información mención Gestión y Administración de TI**, considero que dicho Trabajo de Investigación reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación por parte de los Lectores – Evaluadores que se designen para tal fin por parte de las autoridades de la Facultad de Ingeniería.

En la ciudad de Quito, a los 1 días del mes de febrero de 2023.

Atentamente;

Ing. Juan Francisco Chafra Altamirano, M. SC.

Tutor del Trabajo de Titulación

TURNITIN: INCLUIR HOJA DEL INFORME CON EL PORCENTAJE

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, **Robert Jair Moreno Ruíz**, con cédula de ciudadanía No. 1205591322, declaro que los resultados obtenidos en la investigación **“ESTUDIO COMPARATIVO DE RENDIMIENTO DE UNA RED DE COMUNICACIÓN A TRAVÉS DE LI-FI CON LA RED WIFI PARA REDES DOMÉSTICAS EN EL SECTOR CENTRO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”**, como requisito previo para la obtención del Grado Académico de **Magíster en Tecnologías de Información mención Gestión y Administración de TI** son absolutamente originales, auténticos y personales.

En tal virtud, declaro que el contenido, las conclusiones y los efectos legales y académicos, que se desprenden del trabajo de investigación, y luego de la redacción de este documento, son y serán de mi sola y exclusiva responsabilidad legal y académica.

En la ciudad de Quito, a los 1 días del mes de febrero 2023.

Atentamente;

Robert Jair Moreno Ruíz

Autor del Trabajo de Titulación

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

4

1

1.1.	Formulación del problema.....	14
1.2.	Objetivos de la investigación.....	15
1.2.1.	Objetivo General.....	15
1.2.2.	Objetivos Específicos	15
1.3.	Justificación de la investigación	16
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....		17
2.1.	Antecedentes de la investigación.....	17
2.2.	Beneficios, particularidades y aplicabilidad de la conectividad Li-Fi frente a la Wi-Fi	19
2.2.1.	Redes inalámbricas	19
2.2.2.	Tecnología Wi-Fi.....	20
2.2.2.1.	Funcionamiento del Wi-Fi.....	20
2.2.2.2.	Estándares de red Wi-Fi	21
2.2.2.3.	Beneficios de la red Wi-Fi.....	23
2.2.2.4.	Seguridad Wi-Fi	24
2.2.3.	Tecnología Li-Fi.....	26
2.2.3.1.	Funcionamiento de la tecnología Li-Fi.....	27
2.2.3.2.	Estándares de red Li-Fi.....	29
2.2.3.3.	Beneficios de la red Li-Fi	29
2.2.3.4.	Seguridad Li-Fi.....	31
2.2.4.	Aplicabilidad del Li-Fi frente a Wi-Fi.....	34
2.2.4.1.	Publicidad localizada.....	34
2.2.4.2.	Comunicación submarina	35
2.2.4.3.	Sistemas de transporte inteligente.....	35

2.2.4.4.	Manejo de información delicada	35
2.2.4.5.	Navegación interior	35
2.2.5.	Particularidades del Li-Fi frente a Wi-Fi.....	36
2.3.	Comparación de los rendimientos teóricos de las tecnologías Li-Fi y Wi-Fi	39
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA		41
3.1.	Tipo de investigación.....	41
3.2.	Diseño de la investigación	41
3.3.	Unidades del estudio, población y muestra.....	42
3.4.	Métodos, técnicas e instrumentos para la recolección de datos	42
3.5.	Operacionalización de variables	43
CAPÍTULO IV.....		44
4.1.	Resultados de las simulaciones realizadas a la red Wi-Fi en hogares del centro de Guayaquil	44
4.2.	Resultados de la encuesta aplicada	45
CAPÍTULO V.....		50
PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UNA RED LI-FI		50
5.1.	Descripción de la propuesta.....	50
5.2.	Justificación de la propuesta.....	50
5.3.	Objetivos de la propuesta	51
5.4.	Red comunicacional Li-Fi para hogares del centro de la ciudad de Guayaquil.....	51
5.4.1.	Requisitos técnicos.....	51
5.4.2	Diseño de la propuesta.....	52
5.4.1.	Análisis económico.....	59
CONCLUSIONES		62
RECOMENDACIONES		63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		64
ANEXOS		66
Anexo 1. Encuesta a profesionales.....		66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Principales diferencias entre las tecnologías Wi-Fi y Li-Fi	36
Tabla 2.	Comparativa de diferentes parámetros de conectividad entre las tecnologías Wi-Fi y Li-Fi	37
Tabla 3.	Operacionalización de variables	41
Tabla 4.	Características de los equipos Li-Fi.....	50
Tabla 5.	Especificaciones de las lámparas led panel Cuadrado A-1 a instalarse en la cocina de la vivienda	52
Tabla 6.	Especificaciones de las dos lámparas led panel Cuadrado A-1 a instalarse en el dormitorio de la vivienda	54
Tabla 7.	Especificaciones de las dos lámparas led panel Cuadrado A-1 a instalarse en la sala de la vivienda	56
Tabla 8.	Especificaciones de las dos lámparas led panel Cuadrado A-1 a instalarse en el baño de la vivienda	57
Tabla 9.	Lista de materiales y precios para el establecimiento de la propuesta de red comunicacional con tecnología Li-Fi.....	58
Tabla 10.	Recursos humanos necesarios para el establecimiento de una red comunicacional con tecnología Li-Fi	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Uso de canales de las redes Wifi en las bandas 2.4 y 5 Ghz	43
Figura 2. Mejorarías en el rendimiento con el empleo de Li-Fi	44
Figura 3. Cumple con las necesidades de trabajo	44
Figura 4. Conexión sin pérdidas ni interrupciones	45
Figura 5. Modelo de negocio rentable	45
Figura 6. Bajo consumo de gastos	46
Figura 7. Interferencias en el uso de la tecnología Li-Fi	47
Figura 8. Seguridad	47
Figura 9. Prototipo de vivienda en la que se implementará la red propuesta	51
Figura 10. Descripción de las dimensiones de la cocina	51
Figura 11. Cantidad de luces utilizadas en la cocina	52
Figura 12. Demostración de colores falsos en el área de la cocina	53
Figura 13. Dimensiones de la superficie del dormitorio	53
Figura 14. Representación de áreas del dormitorio cubiertas por la luz	54
Figura 15. Demostración de colores falsos en la habitación	55
Figura 16. Rango de lúmenes en dormitorio	55
Figura 17. Representación de áreas de la sala iluminadas	56
Figura 18. Representación de áreas iluminadas en el baño de una casa	57

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN, MENCIÓN EN

GESTIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE TECNOLOGÍAS

ESTUDIO COMPARATIVO DE RENDIMIENTO DE UNA RED DE COMUNICACIÓN A TRAVÉS DE LI-FI CON LA RED WIFI PARA REDES DOMÉSTICAS EN EL SECTOR CENTRO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

Author: Robert Jair Moreno Ruíz

Director-Tutor: Juan Francisco Chafla Altamirano

Date: 01 febrero 2023

RESUMEN

Se realizó una investigación con el propósito de evaluar la viabilidad de implementar una red Li-Fi en los hogares del centro de la ciudad de Guayaquil. Para lograrlo, se llevó a cabo un estudio mixto que combinó elementos cualitativos y cuantitativos, además de un diseño experimental. A partir del diagnóstico realizado, se formuló una propuesta de red comunicacional basada en la tecnología Li-Fi para los hogares en el área de estudio.

Los resultados obtenidos revelan que, a pesar de que Li-Fi se presenta como una tecnología eficiente, rápida y rentable, aún se requiere realizar investigaciones y desarrollos adicionales antes de contar con una solución flexible. La implementación de una red Li-Fi contribuye a resolver problemas de congestión, limitaciones de uso debido a la interferencia con otras funciones y saturación del ancho de banda, lo que pone de manifiesto las deficiencias actuales de esta tecnología.

Es importante destacar que, aunque el manejo y uso de las redes inalámbricas (Wi-Fi) en Ecuador son rentables debido a su amplia disponibilidad de acceso y la estandarización de los productos, la implementación de una red Li-Fi representa una opción prometedora para superar las limitaciones existentes.

Palabras clave: Conectividad, Wi-Fi, Li-Fi

PONTIFICAL CATHOLIC UNIVERSITY OF ECUADOR FACULTY OF
ENGINEERING

MASTER'S DEGREE IN INFORMATION TECHNOLOGIES WITH A MENTION IN IT
MANAGEMENT AND ADMINISTRATION

**COMPARATIVE STUDY OF PERFORMANCE OF A COMMUNICATION
NETWORK THROUGH LI-FI WITH THE WIFI NETWORK FOR DOMESTIC
NETWORKS IN THE DOWNTOWN SECTOR OF THE CITY OF GUAYAQUIL**

Author: Robert Jair Moreno Ruíz

Director-Tutor: Juan Francisco Chafra Altamirano

Date: 01 febrero 2023

ABSTRACT

An investigation was conducted with the purpose of evaluating the feasibility of implementing a Li-Fi network in homes located in the downtown area of Guayaquil city. To accomplish this, a mixed study combining qualitative and quantitative elements, along with an experimental design, was carried out. Based on the conducted diagnosis, a proposal for a communication network based on Li-Fi technology was formulated for households within the study area.

The obtained results reveal that, although Li-Fi is presented as an efficient, fast, and cost-effective technology, further research and development are still required before a flexible solution can be achieved. The implementation of a Li-Fi network helps to address issues of congestion, usage limitations due to interference with other functions, and bandwidth saturation, thereby highlighting the current deficiencies of this technology.

It is important to note that while the management and use of wireless networks (Wi-Fi) in Ecuador are economically beneficial due to their widespread accessibility and product standardization, the implementation of a Li-Fi network represents a promising option to overcome existing limitations.

Keywords: Connectivity, Wi-Fi, Li-Fi

INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones inalámbricas representan hoy en día un papel importante para el desarrollo en el acceso a internet, principal motor del proceso de globalización; ya que los servicios de uso diario como redes sociales, e-commerce, servicios, almacenamientos, entre otros necesitan una conexión a esta red. En concordancia, a través de los años han surgido diferentes protocolos de comunicación, entre las que se encuentra la tecnología Wi-Fi creada partir de la década de los años 90 para lo cual se puede tener libre acceso al internet o redes, sin requerir del cableado (Wu, Dehghani, Zhou, Safari, & Haas, 2021).

La tecnología Wi-Fi es ampliamente reconocida como una forma de comunicación inalámbrica que opera en frecuencias de radio. Su capacidad para proporcionar un acceso conveniente a las redes informáticas ha tenido un impacto significativo en el campo de la tecnología y se ha adoptado ampliamente en todo el mundo. En la actualidad, la mayoría de los hogares utilizan redes Wi-Fi, ya que permiten que múltiples dispositivos se conecten simultáneamente a la misma red, lo que brinda comodidad, satisfacción y ahorro de costos. Sin embargo, el uso masivo de las redes Wi-Fi puede presentar limitaciones en términos de congestión de la red, cobertura, velocidad y preocupaciones de seguridad (Reza, 2022). Por lo tanto, es esencial considerar estos aspectos para garantizar un uso eficiente y seguro de la tecnología Wi-Fi (Reza, 2022).

En el ámbito tecnológico actual, estamos presenciando una constante evolución y, como resultado, ha surgido una nueva tecnología de transmisión de información que utiliza la luz LED, conocida como Light Fidelity (Li-Fi). El profesor Harald Haas presentó por primera vez esta tecnología en julio de 2011 durante una charla en TED Global. El Li-Fi se basa en la comunicación visual por luz (VLC), utilizando diodos emisores de luz (LED) para establecer una red inalámbrica completamente conectada. Esta tecnología se presenta como una alternativa al Wi-Fi y ofrece diversas ventajas en términos de seguridad, velocidad y eficiencia energética (Haas, Yin, Wang y Chen, 2016).

Li-Fi permite que el dispositivo electrónico se conecte a internet sin cables, para lo cual se necesitará un transceptor para transmitir y recibir los datos. Este transceptor tendrá una técnica de modulación para hacer que el emisor de luz LED permita transportar los datos usando la misma. En consecuencia, depende de la novedosa capacidad que presentan los sistemas de iluminación con estado sólido para crear códigos binarios de 1 y 0 con iluminación LED

imperceptible para los humanos, permitiendo que las mismas brinden no solo luz sino una conexión inalámbrica (Perwej, 2017).

A pesar de las ventajas que ofrece esta tecnología, todavía hay brechas en cuanto a sus características, ventajas, desventajas y aplicabilidad. Por esta razón, la tesis desarrollada compara redes Wi-Fi que en la actualidad con la nueva tecnología Li-Fi y proponer su uso en redes domésticas, especialmente en hogares localizados en el centro de la urbe porteña en Guayaquil. Esta propuesta podría mejorar la conectividad, velocidad y seguridad de estas redes, que son factores fundamentales considerando que cada vez más actividades humanas se realizan a través de internet.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Formulación del problema

Tecnología inalámbrica, Wi-Fi, ha generado grandes avances para la humanidad. Entre todas ellas, destaca su capacidad para transmitir datos de forma inalámbrica. No obstante, en algunos lugares, la seguridad y privacidad de esta tecnología se ven comprometidas, mientras que en términos de velocidad, el cableado suele superarla. (Miller, 2016).

Respecto a la seguridad, la red Wi-Fi presenta algunas desventajas ya que los datos que son transmitidos por el “Access Point” a través de señales RF se encuentran disponibles para cualquier individuo que sea capaz de recibir la señal. Por otro lado, esta tecnología utiliza acceso de medios compartidos half-duplex (CSMA/CA), lo cual obliga a que los clientes deban transmitir y recibir por el mismo canal, creando un problema al cliente inalámbrico, ya que no es posible detectar una colisión.

Otra desventaja que posee la tecnología Wi-Fi es que es muy sensible a las interferencias electromagnéticas como microondas y teléfonos inalámbricos que operan en las mismas bandas de frecuencia de esta tecnología.

Las tecnologías inalámbricas actuales presentan limitaciones en la privacidad y seguridad del traslado de datos, así como posibles efectos en la salud humana. Estas limitaciones han impulsado el desarrollo de nuevas soluciones, y una de ellas es el sistema de transmisión Li-Fi, también conocido como Wi-Fi basado en luz. Este sistema utiliza eficientemente el espectro lumínico, aprovechando la luz de las bombillas para lograr una mayor velocidad de transmisión y reducción al consumo de energía. Con esto, el Li-Fi, presenta la alternativa prometedora de conectividad y la eficiencia energética en hogares y otros espacios (López & Maldonado, 2022).

Esta tecnología Li-Fi representa la alternativa sobre las situaciones en las que las redes (Wi-Fi) no son viables debido a las interferencias electromagnéticas y la saturación existente, especialmente en zonas densamente pobladas. En el caso particular de las redes domésticas en el Centro Porteño de Guayaquil, podría (Li-Fi) como tecnología mejorar significativamente la eficiencia de la red, permitiendo una mejor optimización del ancho de banda y garantizando una mayor seguridad, entre otros beneficios.

Este contexto, se evidencia la importancia de llevar a cabo el presente trabajo, el cual establece un marco teórico que proporciona una comprensión para funcionar en el aspecto de innovación tecnológica Li-Fi y su potencial aplicación para hogares del Centro de Guayaquil.

Para ello se establecen las siguientes interrogantes:

- ¿Cuáles son las características, beneficios, rendimiento y aplicabilidad de la tecnología Li-Fi frente a la tecnología Wi-Fi?
- ¿Cuáles son los rendimientos teóricos de las tecnologías Li-Fi y Wi-Fi para la transmisión de datos y conectividad al internet?
- ¿Cuál será la situación actual de las redes Wi-Fi en los hogares del sector centro porteño de Guayaquil?
- ¿De qué manera se puede formular la propuesta para implementar la red de comunicación mediante Li-Fi en los hogares del Centro de Guayaquil?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo General

Estudiar las características, rendimiento y aplicabilidad de las redes Li-Fi respecto a las Wi-Fi y la posibilidad de implementación en redes domésticas del Centro de la Ciudad de Guayaquil.

1.2.2. Objetivos Específicos

- 1) Fundamentar teóricamente los beneficios, particularidades y aplicabilidad de la conectividad Li-Fi frente a la Wi-Fi.
- 2) Comparar los rendimientos teóricos de las tecnologías Li-Fi y Wi-Fi para la transmisión de datos y conectividad al internet.
- 3) Diagnosticar la situación actual de las redes Wi-Fi utilizadas en los hogares del centro de Guayaquil.
- 4) Diseñar la propuesta de implementar la red Li-Fi, para los hogares del Centro de Guayaquil.

1.3. Justificación de la investigación

El sistema Li-Fi utilizará el espectro de luz visible, en lugar de controlar el espectro electromagnético, para el traslado de datos a través de dispositivos LED presentes al entorno cotidiano. A pesar de las ventajas que ofrece, esta tecnología aún presenta limitaciones en cuanto a características, rendimiento, seguridad y aplicabilidad, lo cual justifica la necesidad de investigaciones adicionales. Por tanto, este estudio se justifica por su contribución teórica, al servir como referencia para investigaciones futuras.

En esta investigación se examina la estructura y el diseño de traslado tecnológico Li-Fi, con objetivo de evaluar la potencial en el avance de las comunicaciones y las telecomunicaciones inalámbricas. Para lograr este análisis, resulta crucial adentrarse en los conocimientos y experiencias adquiridos hasta la fecha, a fin de obtener una comprensión más sólida acerca de su desarrollo y una visión más clara de sus posibles aplicaciones.

Además, en la práctica, la tesis propuesta tiene una justificación de evaluar la posibilidad para aplicar la tecnología Li-Fi en las redes domésticas del sector centro porteño en Guayaquil. La implementación de esta tecnología permitiría mejorar la conectividad a internet, aumentar el ancho de banda, mejorar la seguridad, aumentar la escalabilidad y supondría un ahorro de energía y, por ende, en beneficio del medio ambiente. Al aprovechar las bombillas LED no solo como fuente de luz sino también como método de transmisión, se puede lograr un aporte significativo en el área socioeconómica del país, a través de la implementación de nuevos modelos económicos para los hogares.

A través de la implementación de un prototipo, es posible determinar de manera precisa colocar lámparas “LED” en espacios que se establecen con la conexión a Internet para hogares del Centro Porteño en Guayaquil.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Antecedentes de la investigación

Con el avance tecnológico de la humanidad, se han desarrollado varias tecnologías que han apuntado a mejorar la conectividad en el mundo. Con la llegada del internet, se experimentó un mejoramiento significativo en la conectividad, de tal modo que las tecnologías Wi-Fi y Li-Fi, se han convertido en acreedoras de gran interés para el desarrollo a nivel comunicacional de los seres humanos. Son varios los reportes investigativos que han puesto en evidencia varias particularidades de ambas tecnologías, y a continuación se exponen algunos estudios sobre las mismas:

En el estudio titulado "Análisis de la tecnología Li-Fi: comunicaciones por luz visible como punto de acceso a internet, una alternativa a la transmisión de datos en las comunicaciones inalámbricas de Peñafiel (2015)", encontró que Li-Fi es una alternativa viable para su implementación en cualquier entorno interior. Sin embargo, a pesar de las ventajas que esta solución proporciona, también presenta una limitación significativa: la transmisión de información requiere una línea de visión directa con la luz emitida por la lámpara transmisora. Esta tecnología resulta especialmente adecuada para su implementación en lugares como salas de conferencias, aulas y bibliotecas, donde se requiere una alta capacidad de transmisión de datos. La implementación de Li-Fi se presenta como una solución eficiente y efectiva para proporcionar conectividad sin dividirla entre los usuarios, a diferencia del Wi-Fi. Además, estos lugares suelen ser espacios donde los usuarios permanecen estáticos.

El mencionado autor sostiene que abrir las puertas a nuevas tecnologías puede permitir el uso y aprovechamiento más eficiente de Internet. Además, Li-Fi no solo proporciona iluminación, sino que también sirve como punto de acceso a Internet. En un futuro cercano, se espera que esta alternativa sea tan común en nuestros hogares y lugares de trabajo como la conexión (Wi-Fi), brindando una experiencia mejorada para los usuarios.

De acuerdo con el artículo titulado "Estudio de factibilidad de la implementación de la tecnología Li-Fi en la facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil de Naranjo & Casilla (2016)", el estudio reveló que la gran mayoría de los encuestados manifestaron su insatisfacción con el uso actual de Wi-Fi en la institución y mostraron una actitud favorable hacia la adopción de la inalámbrica que resuelva sus problemas. Para demostrar la viabilidad de implementar Li-Fi como una solución alternativa, se

seleccionaron áreas específicas, la de inglés, biblioteca y las áreas de administrativas. El objetivo fue evaluar el rendimiento y la eficacia de Li-Fi en estos espacios y determinar su potencial como una opción mejorada en comparación con el Wi-Fi convencional.

Según los informes presentados por Naranjo & Casilla (2016) el uso de la red Li-Fi, se persiguen diversos objetivos, entre ellos, reducir el consumo energético, mejorar la seguridad y minimizar la utilización del espectro radioeléctrico, el cual puede tener efectos perjudiciales para la salud debido a su naturaleza ionizante. El proyecto busca brindar una amplia información de Li-Fi y comparar los beneficios que tiene en comparación con la tecnología Wi-Fi convencional. En el estudio, se determinó con precisión la cantidad necesaria de lámparas Li-Fi para cubrir eficientemente las áreas mencionadas previamente, utilizando fórmulas matemáticas específicas. Es importante destacar que, aunque la implementación de esta tecnología en el estudio implicó un costo elevado, se justificó en función de los beneficios para la salud humana y la mejora de la cobertura dentro de la institución.

En cuanto al proyecto de Moreno-Iza (2018) titulado "Prototipo de comunicación vía luz Li-Fi, para la transmisión de datos mediante un web service", se aplicó una metodología experimental para el intercambio de datos de un servicio web utilizando la luminosidad como medio. Los resultados demostraron que la implementación del servicio web permitió la visualización gráfica de la comunicación de datos, y se reportó una velocidad de transmisión de datos de 33.33 bits/s en promedio a una distancia de 0.20 m.

Por su parte, el "Estudio de factibilidad para la utilización de redes Li-Fi a través de un laboratorio en las carreras de Ingeniería en Sistemas Computacionales y Tecnología de la Información de la Universidad Estatal del Sur de Manabí por Choez (2018)". En este estudio se destacaron las ventajas de la tecnología Li-Fi, como su alta eficiencia y su respeto por el entorno en el que las personas se desenvuelven. Esta tecnología evita la sobreutilización y contaminación del espectro radioeléctrico, lo que la convierte en la opción más destacada para las comunicaciones inalámbricas en la actualidad.

2.2. Beneficios, particularidades y aplicabilidad de la conectividad Li-Fi frente a la Wi-Fi

2.2.1. Redes inalámbricas

Para la telefonía de voz han desarrollado una industria completamente nueva. Agregar acceso móvil a la combinación de telefonía tuvo una profunda influencia en el mercado de llamadas de voz, porque las personas que llamaban podían conectarse con personas, no con computadoras. Estamos en el apogeo de un cambio igualmente profundo en las redes para computadoras.

La telefonía inalámbrica ha sido popular porque permite que las personas se comuniquen entre sí sin importar el lugar. Para el acceso a Internet, la tecnología moderna dirigida a las redes informáticas promete hacer lo mismo. Hasta ahora, 802.11 se ha convertido en la tecnología de red de datos inalámbrica más popular.

La red inalámbrica (Wi-Fi), permite que los dispositivos electrónicos permanezcan enlazados a la red, sin estar conectados con cables en los lugares que está el usuario. Estas señales (Wi-Fi) son amplificadas por puntos de acceso, para que una computadora esté lejos de un enrutador, pero aun así estar conectada a la red. Una persona se enlaza a la red inalámbrica del lugar donde se encuentra en la organización cuando le permite estar conectada en la organización o en un lugar público.

La red cableada se diferencia de la red inalámbrica en que utiliza cables para conectar dispositivos a Internet o a otra red, como computadoras portátiles o de escritorio. Aunque ambas redes tienen ventajas y desventajas, la principal desventaja de la red cableada es que el enrutador está limitado a la ubicación de la computadora a la que está conectado. Las redes alámbricas más populares utilizan cables que se conectan a un puerto Ethernet en el enrutador de la red y en el otro extremo se conectan a una computadora u otro sistema.

La red inalámbrica (WLAN) cumple la función que una con cable para conectar un grupo de computadoras. Dado que "inalámbrico" no requiere un cableado costoso, la principal ventaja es que, por lo general, es más simple, rápido y económico de configurar. Por el contrario, puede ser laborioso y costoso construir una red arrastrando cables por las paredes y los techos de una oficina. Pero una red inalámbrica puede ser una forma rentable de ampliarla o aumentarla, aunque ya tenga una red cableada.

La tecnología de radiofrecuencia (RF), un componente del espectro electromagnético que permite la propagación de ondas de radio, es la base de las redes inalámbricas. Mediante el suministro de corriente de RF a una antena, se genera un campo electromagnético que se puede propagar en el espacio. En el contexto de una red inalámbrica, el punto de acceso (AP) juega un papel esencial. Su función principal es transmitir una señal inalámbrica que puede ser detectada y sintonizada por dispositivos informáticos. Además, dado que las redes inalámbricas suelen estar interconectadas con redes cableadas, los puntos de acceso suelen actuar como puertas de enlace que acceden a recursos de la red cableada, con conexión a Internet.

Los dispositivos tecnológicos requieren adaptadores de red inalámbrica (Wi-Fi) para conectarse. En su mayoría, estos adaptadores están integrados directamente en el dispositivo. Sin embargo, en caso de no estar incorporados, es posible utilizar un adaptador adicional que se conecte a una ranura de expansión libre, un puerto USB o, las Laptops tiene una ranura para tarjeta de PC. Esto permite que prácticamente cualquier computadora o computadora portátil adquiera capacidades inalámbricas.

2.2.2. Tecnología Wi-Fi

El término "Wi-Fi" no es un acrónimo; en realidad, es una marca comercial creada por una empresa de marketing para servir como un sello de interoperabilidad en los esfuerzos de comercialización. Wi-Fi es una inalámbrica que permite la conexión de diversos dispositivos, como laptops, escritorio, dispositivos móviles como teléfonos inteligentes y dispositivos portátiles, así como otros equipos como impresoras y cámaras de video, a Internet. Con Wi-Fi, estos dispositivos pueden intercambiar información entre sí, creando una red de comunicación.

La conexión a Internet a través de Wi-Fi se establece mediante un router inalámbrico. Al conectarte a Wi-Fi, estás estableciendo una conexión con un router inalámbrico que permite la interacción de tus dispositivos compatibles con Wi-Fi con Internet.

2.2.2.1. Funcionamiento del Wi-Fi

Wi-Fi sin el uso de cables o alambres proporciona Internet. opera tres elementos esenciales que son las señales de radio, la antena y el enrutador. Las ondas de radio son claves que hacen posible la creación de redes Wi-Fi y las computadoras y teléfonos celulares están listos con tarjetas Wi-Fi.

En esta tecnología la transmisión real se conecta en secuencia, completándose a través de la navegación del sistema estéreo. Wi-Fi permite a la persona obtener acceso a la web en cualquier lugar de un área determinada, por lo cual se utiliza en zonas de resort, bibliotecas, escuelas, universidades, campus, institutos, tiendas u otros lugares públicos ayudando a que los procesos sean rápidos y eficientes (Shetty, 2016).

Las señales de radio se transmiten desde antenas y enrutadores que las señales son captadas por receptores Wi-Fi, como computadoras y teléfonos celulares que están preparados con tarjetas Wi-Fi. Cada vez que la computadora recibe las señales dentro del rango de 100-150 pies para el enrutador, conecta el dispositivo de inmediato.

El rango del Wi-Fi depende del entorno, rangos interiores o exteriores. Las tarjetas Wi-Fi leerán las señales y crearán una conexión a Internet. La velocidad del dispositivo que utiliza la conexión Wi-Fi aumenta cuando el ordenador se acerca al equipo y la velocidad disminuye del ordenador cuando se aleja.

Muchas computadoras portátiles nuevas, teléfonos móviles tienen tarjetas Wi-Fi incorporadas, no tiene que hacer nada, lo cual es una de las mejores cosas. Si se trata de un tipo de conexión de red gratuito, se le solicitará al usuario clave de inicio de sesión y la contraseña. Las conexiones de red de base libre también funcionan bien en algunas áreas. La conexión a la red Wi-Fi está creando puntos calientes en las ciudades. Los puntos calientes son un punto de conexión de la red Wi-Fi. Es una pequeña caja que está conectada a Internet. Hay muchos puntos de acceso Wi-Fi disponibles en lugares públicos como restaurantes, aeropuertos y oficinas de hoteles, universidades, etc.

2.2.2.2. Estándares de red Wi-Fi

El estándar de red utilizado por la arquitectura inalámbrica es IEEE 802.11. Sin embargo, esta norma está en continuo desarrollo y periódicamente se publican nuevas modificaciones. A las enmiendas a la norma se les asignan letras y, aunque se han publicado muchas enmiendas, las más conocidas son:

802.11a

Esta enmienda original agregó soporte para la banda de 5 GHz, lo que permite la transmisión de hasta 54 megabits de datos por segundo. El estándar 802.11^a utiliza multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM). Divide la señal del radio en

subseñales antes de que lleguen a un receptor. 802.11^a es un estándar más antiguo y ha sido reemplazado en gran medida por tecnología más nueva.

802.11b

El estándar 802.11b fue una actualización que añadió velocidades más rápidas banda de 2,4 GHz en comparación con el estándar original. Este estándar puede transmitir Alcanzando velocidades mejoradas de hasta 11 megabits por segundo, esta tecnología emplea la modulación de codificación de código complementario (CCK). Sin embargo, es importante señalar que este estándar es relativamente antiguo y ha sido en gran medida reemplazado por tecnología más avanzada y eficiente.

802.11g

802.11g estandarizó el uso de la tecnología OFDM utilizada en 802.11^a que pertenece y funciona en la señal 2,4 GHz. Era compatible con versiones anteriores de 802.11 y 802.11b. 802.11g es un estándar más antiguo y ha sido reemplazado en gran medida por tecnología más nueva.

802.11n

Una vez que el estándar 802.11n más popular fue la primera vez que una especificación unificada cubría las señales de 2,4 GHz y 5,0 GHz. Este protocolo ofrece mejor velocidad con relación a las anteriores al aprovechar la idea de transmitir usando múltiples antenas simultáneamente (generalmente llamada tecnología MIMO o Multiple In Multiple Out). 802.11n es un estándar más antiguo, pero es posible que todavía se utilicen algunos dispositivos más antiguos.

802.11ac

802.11ac solo se especificó para la banda de 5 GHz. Se basó en los mecanismos introducidos en 802.11n. Si bien no fue tan revolucionario como lo fue 802.11n, amplió las velocidades y las capacidades en la banda de 5,0 GHz. La mayoría de los dispositivos actualmente disponibles son probablemente dispositivos 802.11ac.

La tecnología 802.11ac se lanzó en dos grupos principales, generalmente llamados

“ondas”. La principal diferencia es que los dispositivos Wave 2 tienen algunas capacidades técnicas más en comparación con Wave 1, pero todos son interoperables.

802.11ax (Wi-Fi 6)

802.11ax (al igual que 802.11n) unificó la especificación en todas las bandas de frecuencia aplicables. En nombre de la simplicidad, la industria comenzó a referirse a él como Wi-Fi 6. Wi-Fi 6 ha ampliado las tecnologías utilizadas para la modulación para incluir OFDMA, que permite una cierta cantidad de paralelismo en la transmisión de paquetes dentro del sistema, haciendo un uso más eficiente del espectro disponible y mejorando el rendimiento general de la red. Wi-Fi 6 es la última tecnología y es con lo que se envían la mayoría de los dispositivos nuevos (Miller, 2016).

2.2.2.3. Beneficios de la red Wi-Fi

Las organizaciones pueden obtener numerosos beneficios al implementar una red inalámbrica, entre ellos se destacan:

- **Comodidad:** La comodidad radica en la flexibilidad de acceder fácilmente a los recursos de la red desde cualquier ubicación dentro del alcance de una red inalámbrica, a través de cualquier punto de acceso disponible de Wi-Fi.
- **Movilidad:** No está limitado a su escritorio como lo estaría con una conexión por cable. Tanto usted como su equipo disfrutan de la libertad de conectarse en línea durante las reuniones en la sala de conferencias, lo cual proporciona una mayor flexibilidad y movilidad en el entorno de trabajo, fomentando la colaboración y la productividad.
- **Productividad:** El acceso inalámbrico a Internet, así como a las aplicaciones y recursos esenciales de su empresa, impulsa la eficiencia y la colaboración en su personal. Les permite realizar su trabajo de manera más efectiva y fomenta una mayor colaboración entre los miembros del equipo. Estos beneficios se traducen en un aumento de la productividad general de la organización.
- **Configuración sencilla:** no requiere el tendido de cables, la instalación de una red inalámbrica puede llevarse a cabo de manera rápida y rentable. Esto significa que no se necesita pasar por el proceso de cableado, lo cual agiliza el proceso de implementación y reduce los costos asociados con la instalación física de cables.

- **Capacidad de expansión:** con las redes inalámbricas, es factible expandir de manera fácil la cobertura y capacidad de la red aprovechando el equipo actual. A diferencia de las redes con cable, que a menudo requieren cableado adicional para su expansión, las redes inalámbricas ofrecen la flexibilidad de agregar nuevos dispositivos y puntos de acceso sin la necesidad de realizar costosas y complicadas instalaciones físicas de cables. Esto permite una escalabilidad más eficiente y rentable de la red en las organizaciones.
- **Seguridad:** los avances en las redes inalámbricas han permitido el desarrollo de sólidas medidas de seguridad. Esto garantiza que su red inalámbrica esté protegida contra posibles amenazas y ataques cibernéticos. Al implementar protocolos de seguridad, como cifrado de datos, autenticación de usuarios y configuraciones de firewall, su red inalámbrica se vuelve altamente segura, brindando protección tanto para los datos de su empresa como para la privacidad de sus usuarios.
- **Costo reducido:** las redes inalámbricas ofrecen una ventaja significativa en términos de costos, ya que eliminan o reducen los gastos asociados con el cableado tradicional. Al prescindir de la necesidad de instalar cables físicos, los valores que compra los materiales, pago de mano de obra y mantenimiento se ve considerablemente reducidos. Esto hace que la operación y expansión de una red inalámbrica sean más económicas en comparación con las redes cableadas, lo que resulta en ahorros significativos a largo plazo para su empresa.

2.2.2.4. Seguridad Wi-Fi

La seguridad es un elemento importante en la tecnología Wi-Fi. La seguridad es una decisión personal, pero al tener una conexión inalámbrica se debe prestar atención para proteger los datos privados. Podemos conectarnos fácilmente a enrutadores inalámbricos no seguros. El problema es que alguien está conectado a su enrutador inalámbrico utilizando los datos, como descargar juegos, descargar aplicaciones y planificar actividades terroristas, filtrar archivos de música y películas ilegales, etc. Por lo tanto, es necesario brindar seguridad a los dispositivos basados en tecnologías inalámbricas.

Todos los enrutadores tienen una página web a la que puede conectarse para configurar la seguridad de Wi-Fi y active WEP (Privacidad de equivalencia por cable) e ingrese una contraseña y recuerde esta contraseña. La próxima vez que conecte el enrutador Wi-Fi de su computadora portátil, le pedirá que ingrese la contraseña de conexión y el usuario ingrese esa contraseña.

Existen cuatro protocolos principales de seguridad inalámbrica desarrollados por Wi-Fi Alliance, una organización dedicada a promover tecnologías inalámbricas y la interoperabilidad. Tres de estos protocolos fueron introducidos a fines de la década de 1990 y han sido mejorados desde entonces con cifrado más fuerte. El cuarto protocolo fue publicado en 2018.

WEP (Wired Equivalent Privacy)

El primer protocolo de seguridad inalámbrica que se introdujo fue WEP (Wired Equivalent Privacy). Desde finales de la década de 1990 hasta 2004, WEP fue el método estándar para brindar seguridad en redes inalámbricas (Smith, 2010). Sin embargo, WEP presentaba dificultades en su configuración y solo utilizaba cifrado básico de 64/128 bits. Debido a su falta de seguridad, se recomienda reemplazar WEP con un protocolo más moderno, como WPA2, que se describe a continuación.

WPA (Works Progress Administration)

El protocolo WPA (Wi-Fi Protected Access) fue desarrollado en 2003 como una mejora de seguridad con respecto a WEP. WPA utiliza el Protocolo de Integridad de Clave Temporal (TKIP) para proporcionar un cifrado más fuerte de 128/256 bits (Johnson, 2012). Tanto WPA como WPA2 son los protocolos más comúnmente utilizados en la actualidad para garantizar la seguridad de las redes inalámbricas. Sin embargo, a diferencia de WPA2, WPA es compatible con software más antiguo, lo que permite su utilización en una variedad más amplia de dispositivos y sistemas operativos (Brown, 2015).

WPA2

WPA2, una versión más avanzada de WPA, se desarrolló en 2004. Es conocido por ser más fácil de configurar y ofrece una seguridad de red aún más robusta que WPA. Esto se logra mediante el uso del protocolo de seguridad Estándar de Cifrado Avanzado (AES). Las diferentes versiones de WPA2 están disponibles tanto para usuarios individuales como para empresas, adaptándose a diferentes necesidades y entornos. Con WPA2, se garantiza una mayor protección de los datos y una mayor confidencialidad en las comunicaciones inalámbricas.

WPA3

La nueva generación de seguridad inalámbrica, WPA3, ha sido desarrollada para proporcionar una configuración más sencilla y una seguridad aún más sólida en comparación con sus predecesores. Con un cifrado mejorado de 192/256/384 bits, WPA3 garantiza una protección más robusta de los datos y una mayor confidencialidad en las comunicaciones inalámbricas. Además, WPA3 funciona en las últimas redes Wi-Fi 6, asegurando un rendimiento y una compatibilidad de vanguardia en entornos modernos. Con estas mejoras, WPA3 establece un estándar más alto en cuanto a seguridad inalámbrica y se convierte en una opción recomendada para mantener la integridad en Wi-Fi 6.

2.2.3. Tecnología Li-Fi

Li-Fi como tecnología permite transferir datos por LED (diodos emisores para luz). Utiliza Visual Light Communications, una aplicación que ha sido anunciada como la alternativa más rápida, segura y energéticamente eficiente a la actual tecnología Wi-Fi. De hecho, la velocidad en la que se transmite los datos de Li-Fi puede ser hasta 100 mil veces más rápida. Este innovador enfoque es posible gracias al descubrimiento de Alexander Graham Bell de la tecnología VLC, que aprovecha la luz visible para transmitir datos. Bell demostró por primera vez esta idea utilizando su invención del teléfono.

El trabajo contemporáneo conocido más reciente sobre VLC comenzó en 2003 en la Universidad de Keio, Japón, por Nakagawa Laboratories. Su investigación sobre la tecnología se concentró en el traspaso de datos por luz visible mediante uso de LED. Los investigadores simularon un sistema de comunicación interior que utilizaría la iluminación como medio de transmisión. Vieron el potencial de VLC, y con sus esfuerzos de investigación adicionales y 6 años después, pudieron producir un sistema de comunicación rápido que alcanzó un máximo de 100 Mbit/s.

VLC se refiere a todas las tecnologías de comunicación que utilizan luz visible. Li-Fi es una aplicación de VLC y hace uso de su principio muy básico de usar la luz como medio, pero difiere con el uso de un protocolo de red bidireccional para proporcionar conectividad de red a una velocidad increíble. La mayor parte de la investigación y los estudios sobre Li-Fi estuvo a cargo del profesor Harald Haas y su equipo de investigadores. Li-Fi es una creación de un profesor de la Universidad de Edimburgo, Harold Haas, y su equipo de investigadores.

Han estado investigando VLC desde el año 2006 y se centraron que trabajar con la luz para transmitir datos bidireccionales, lo que luego condujo a la creación de la tecnología Li-Fi.

Li-Fi es una innovadora tecnología móvil inalámbrica que se basa en la transmisión de datos a través de la luz en lugar de hacerlo mediante frecuencias de radio. Esta tecnología revolucionaria utiliza la iluminación LED existente para transmitir información, aprovechando las propiedades de la luz visible. En lugar de ondas de radio, la luz se modula para llevar datos, lo que permite una comunicación rápida y confiable. Con Li-Fi, se abre un nuevo mundo de posibilidades para la conectividad inalámbrica, brindando una alternativa eficiente y segura a las redes tradicionales basadas en radiofrecuencia. La tecnología cuenta con el respaldo de un ecosistema global de empresas que impulsan la adopción de Li-Fi, la próxima generación de tecnología inalámbrica que está lista para una integración perfecta en el núcleo 5G.

2.2.3.1. Funcionamiento de la tecnología Li-Fi

El tipo de red Li-Fi utiliza la luz de las lámparas LED para enviar datos a un dispositivo, como una computadora portátil o una tableta. El dispositivo tiene un receptor para captar señales de luz y un transmisor para enviar señales de luz a la lámpara mediante luz infrarroja. La luz de las lámparas LED cambia de intensidad miles de millones de veces por segundo, más rápido de lo que el ojo puede ver. Este cambio de intensidad se convierte en una señal digital que puede llevar información de Internet a un usuario y viceversa.

En comparación con las ondas de radio utilizadas en los sistemas inalámbricos convencionales, la luz visible ofrece un ancho de banda mil veces mayor. Esta característica lo convierte en una solución eficiente para aplicaciones que requieren un uso intensivo de datos. La tecnología Li-Fi permite la transmisión de datos a través de la luz visible, y ofrece una velocidad de datos de hasta 224 gigabits por segundo. Además, es un sistema de comunicación bidireccional y de dúplex completo, lo que significa que puede enviar y recibir datos simultáneamente.

Gracias a su ancho de banda ilimitado, Li-Fi es una de las soluciones más prometedoras para el futuro de las comunicaciones inalámbricas. Li-Fi se diferencia de la tecnología convencional Wi-Fi al utilizar luz visible en lugar de ondas de radio para transmitir datos. Esta innovadora tecnología aprovecha las propiedades de la luz, lo que permite una transferencia de datos más rápida y segura. A diferencia de Wi-Fi, que se basa en ondas de radio, Li-Fi utiliza

la luz visible, lo cual proporciona una conexión más veloz y confiable. Esta característica distintiva hace de Li-Fi una alternativa prometedora en entornos que requieren una transmisión de datos eficiente y segura.

Comparada con las ondas de radio utilizadas en los sistemas inalámbricos convencionales, la luz visible tiene un ancho de banda mil veces mayor. Este ancho de banda ilimitado la convierte en una solución altamente eficiente para aplicaciones con uso intensivo de datos. La tecnología Li-Fi es un sistema bidireccional de comunicación rápida y de duplex completo, capaz de alcanzar velocidades de datos de hasta 224 gigabits por segundo.

El punto de acceso a datos conecta el sistema de transmisión de datos habilitado para Li-Fi con Internet a través de un enrutador y un conmutador de alta velocidad. Actúa como un centro inteligente que establece la conectividad entre los dispositivos habilitados para Li-Fi e Internet. Se emplean esquemas de modulación avanzados y técnicas de cifrado para garantizar una comunicación segura y protegida.

Dado que la fuente de luz utilizada en la tecnología Li-Fi, las bombillas LED, son semiconductores, la misma luz se puede usar para transmitir datos con un cambio rápido de luz LED de acuerdo con los esquemas de modulación de gama alta. El transceptor sofisticado actúa como fuente de luz (para luz visible) y nodo de transmisión de datos capaz de enviar y recibir datos de alta velocidad de forma segura. La luz visible es el medio para la transmisión de enlace ascendente y descendente de alta velocidad.

Un dispositivo inteligente habilitado para Li-Fi tiene un fotodetector (funciona como receptor) y un emisor de luz (funciona como transmisor) para el enlace ascendente y descendente. Una vez que el dispositivo se mueve desde la cercanía de una fuente de luz a otra fuente de luz, el sistema restablece la conectividad como el concepto de celda tradicional.

Actualmente, la mayoría de los dispositivos inteligentes no están equipados con sensores y transmisores de detección de luz necesarios para aprovechar la tecnología Li-Fi. Sin embargo, gracias al desarrollo de la tecnología moderna de semiconductores, Li-Fi se puede integrar en un chip y agregarse fácilmente a futuros dispositivos inteligentes. Las empresas PureLi-Fi y Philips lideran esta tecnología y han creado dispositivos como "dongles" inteligentes con tecnología Li-Fi, que ya están disponibles para computadoras personales y otros accesorios como impresoras.

2.2.3.2. Estándares de red Li-Fi

Desde 2015, el Instituto Fraunhofer Heinrich Hertz ha estado trabajando continuamente en las actividades de estandarización Li-Fi. En comparación con el estándar IEEE 802.15.7-2011 anterior, los proyectos Li-Fi actuales ITU-T G.9991, IEEE P802.15.13 y P802.11bb introducen una serie de nuevas tecnologías (OFDM, transmisión adaptativa, MIMO, traspaso y retransmisión) que hacen que Li-Fi sea tan poderoso como las comunicaciones móviles basadas en radio. Técnicamente, estos proyectos abordan objetivos similares. ITU-T G.9991 se basa en el conocido estándar de redes domésticas G.hn G.hn (G.996x), que también se utiliza en Powerline-Modems.

IEEE P802.15.13 (2017-2020) se enfoca en aplicaciones industriales especializadas caracterizadas por cantidades pequeñas de alto valor agregado. IEEE P802.11bb (2018-2022) se enfoca en futuras aplicaciones masivas que hacen de cada luminaria un punto de acceso inalámbrico. Cada teléfono inteligente o dispositivo IoT puede acceder a Internet a través de la luz. Para esto, se deben cumplir requisitos adicionales, como bajo costo y bajo consumo de energía. De esta forma, Li-Fi se puede utilizar en redes móviles tradicionales, como Wi-Fi y 4G/5G, para aumentar aún más la capacidad y el número de usuarios.

2.2.3.3. Beneficios de la red Li-Fi

En estos días, no podemos imaginar la vida sin conectividad a Internet. Tanto la tecnología celular como la Wi-Fi utilizan frecuencias de radio para transmitir datos a dispositivos como teléfonos y computadoras portátiles. El espectro de radio, sin embargo, es un recurso finito. Llegará un momento en que la demanda de datos supere la oferta. Eso es posible, ya que ahora casi todo lo hacemos en línea.

Los expertos en tecnología mencionan la posibilidad de perder la conexión debido a una demanda abrumadora que supondría una crisis de disponibilidad del espectroradioeléctrico. Para evitar este panorama se necesitan nuevas tecnologías inalámbricas para evitar la contracción del espectro. Gracias a un puñado de empresas que fabrican dispositivos Li-Fi, esta tecnología se desarrolla constantemente para mantenernos a todos conectados. Dado que Li-Fi es un sistema VLC, puede ser más rápido y seguro que Wi-Fi, llenando el vacío que deja la misma y otras tecnologías inalámbricas. Por otro lado, la tecnología Li-Fi funciona en cabinas de

aviones, hospitales y zonas rurales, ofreciendo múltiples ventajas tal como se recogen a continuación:

Velocidad revolucionaria. Las señales digitales transportadas por la luz son mucho más rápidas que las transmitidas a través de ondas de radio utilizadas en las conexiones Wi-Fi. Algunas compañías han probado Li-Fi y han proyectado que sea hasta 1000 veces más rápido que Wi-Fi. Para pintar una imagen más clara, Li-Fi puede transmitir 224 GB de datos por segundo. A ese ritmo, puede descargar un video de alta definición en solo unos segundos.

Eficiencia de primer nivel. Li-Fi ofrece una eficiencia de primer nivel al utilizar bombillas de luz LED como medio para transmitir datos de manera bidireccional. Las bombillas LED son conocidas por su bajo consumo energético, lo que las convierte en un componente perfecto para la tecnología Li-Fi. Al eliminar la necesidad de enrutadores, repetidores de señal y amplificadores de onda que están conectados a la energía todo el día, Li-Fi también ayuda a reducir costos de energía de manera significativa.

Mejor seguridad. Las ondas de radio pueden atravesar paredes, lo que permite que personas ajenas a la red Wi-Fi intercepten la señal. En cambio, con Li-Fi la luz no atraviesa las paredes y las superficies, lo que convierte a esta tecnología en una solución más segura. Los datos transmitidos a través de Li-Fi están protegidos en un espacio cerrado, por lo que es menos probable que sean interceptados. En consecuencia, se puede utilizar Wi-Fi en áreas comunes y reservar la tecnología Li-Fi para espacios donde se conectan dispositivos más sensibles.

Disponibilidad mejorada. Con Li-Fi, puede conectarse a Internet siempre que haya una fuente de luz LED. Por ahora, la tecnología está disponible a través de bombillas LED y lámparas de escritorio. Pero en el futuro, será posible usar las luces de las calles y los edificios para conectarse y mantenerse conectado dondequiera que esté.

Por supuesto, hay algunos inconvenientes en el uso de Li-Fi. Por un lado, tiene un alcance limitado. Su incapacidad para penetrar a través de las paredes es algo bueno para la seguridad. Pero esto limita su alcance, especialmente en espacios amplios y abiertos. Debe colocar estratégicamente el punto de acceso en grandes pasillos o espacios de oficina. Otra desventaja es su limitada compatibilidad. Solo unos pocos dispositivos pueden funcionar con Li-Fi, ya que la mayoría están equipados con hardware para Wi-Fi y conexiones celulares. Todavía hay tiempo para abordar estas desventajas. Después de todo, Li-Fi es una nueva tecnología inalámbrica.

Los beneficios clave de Li-Fi son los siguientes:

- ✓ Mejora las infraestructuras inalámbricas al proporcionar una capa adicional de celdas pequeñas.
- ✓ Evita la contracción del espectro de radiofrecuencia, lo que permite una capacidad 10.000 veces mayor.
- ✓ Habilita el Internet de las cosas, permitiendo conectar hasta 100 veces más dispositivos.
- ✓ Mejora significativamente la seguridad de la comunicación inalámbrica, al reducir la interceptación de señales.
- ✓ Mejora la eficiencia energética mediante la combinación de la comunicación de datos e iluminación, lo que puede reducir el consumo de energía en hasta 100 veces.
- ✓ Elimina completamente los problemas de salud asociados con las ondas de radio utilizadas en las redes inalámbricas convencionales.

2.2.3.4. Seguridad Li-Fi

La tecnología Li-Fi se considera que es segura y la (Wi-Fi), con las características de seguridad se pueden integrar en los sistemas para hacerlos aún más seguros. Aunque es posible que se agreguen más medidas de seguridad a medida que se popularice su uso, actualmente ya se le considera más segura debido a su forma de operar.

Cobertura localizada. Al trabajar con luz, la comunicación Li-Fi se limita a las áreas que pueden ser iluminadas, lo que resulta en una cobertura localizada. En espacios abiertos, cada luz LED se puede dirigir a áreas específicas para crear diferentes zonas de red, donde cada luz representa una red única. De esta manera, se puede restringir el acceso de ciertas personas a redes específicas, lo que aumenta la seguridad de la red.

Fugas reducidas. Debido a la naturaleza confinada de la luz visible, las conexiones de Li-Fi ofrecen inherente seguridad en comparación con las conexiones de Wi-Fi. Al cerrar las persianas y ventanas, es posible limitar la propagación de la luz y restringir la señal de Li-Fi a un área específica. La luz visible no puede atravesar paredes opacas, lo que significa que la comunicación se restringe a áreas delimitadas por dichas paredes. Esto implica que cualquier persona que desee conectarse a la red debe estar presente físicamente en la habitación, lo que hace imposible el acceso no autorizado desde el exterior. Además, esta característica facilita el seguimiento de los usuarios que se conectan a la red.

Esta propiedad de Li-Fi también permite la creación de redes ad-hoc seguras, donde los usuarios pueden compartir datos entre sí sin el riesgo de fugas de información. Al limitar la propagación de la luz a un

espacio específico, se garantiza que la información compartida se mantenga dentro del entorno controlado y no se exponga a amenazas externas. Esto proporciona una capa adicional de seguridad para las comunicaciones inalámbricas basadas en Li-Fi.

A diferencia de la transmisión de datos mediante radiofrecuencia, que implica el uso de circuitos de radio, antenas y receptores complejos, la tecnología Li-Fi emplea métodos de modulación directa similares a los utilizados en dispositivos de comunicación por infrarrojos de bajo costo, como los controles remotos. Esto simplifica enormemente la implementación de Li-Fi y lo hace más accesible. Además, las bombillas LED utilizadas en Li-Fi tienen una intensidad lumínica alta, lo que les permite alcanzar velocidades de transmisión de datos muy elevadas.

Aunque aún es temprano para Li-Fi, es probable que siga siendo una tecnología de nicho durante algún tiempo. Sin embargo, la atención, el mercado y los casos de uso de Li-Fi están en aumento. Además, la llegada de nuevos chips con Li-Fi y las diferentes evoluciones que se avecinan abren oportunidades para más aplicaciones. A finales de 2017, el IEEE anunció la creación de un grupo de estudio de comunicación de luz (el Grupo de trabajo IEEE 802.11) para establecer estándares para las comunicaciones de luz visual. Aunque Li-Fi no es una tecnología nueva, el interés en las LAN inalámbricas alimentadas por luz visual está creciendo, especialmente en el ámbito de los LED.

Al mismo tiempo, también hay bastante movimiento en el mercado con proveedores que se preparan para obtener una parte del pastel, entre otros, ingresando a consorcios Li-Fi o adquiriendo reproductores Light Fidelity. Otros grandes grupos en mercados particulares están observando de cerca y aumentando el soporte, aunque a menudo 'detrás de las pantallas' y no ven a Li-Fi como un reemplazo de Wi-Fi sino como muy relevante para sus futuras hojas de ruta en un contexto heterogéneo.

Teniendo en cuenta que, como se dijo, aún es pronto (a pesar de que el término Li-Fi se introdujo en 2011 y las aplicaciones existían antes de eso) y que continuaremos enfatizando las aplicaciones iniciales altamente específicas, espere aún más atención para los productos Li-Fi en ferias comerciales en 2018 que, en años anteriores, cuando el Mobile World Congress siempre fue un buen lugar para los anuncios de Light Fidelity.

Hoy en día, al igual que en los buenos tiempos de Wi-Fi, todavía necesita un dongle USB para obtener su conectividad a través de Li-Fi. Además, los productos siguen siendo caros,

pero, como es habitual, una vez que bajen los costes, la adopción se ampliará. También hay nuevas tecnologías LED por delante que ayudarían a mejorar Li-Fi y resolver algunos de sus desafíos conocidos. También es solo cuestión de tiempo, de nuevo como sucedió con Wi-Fi, antes de que los chips con capacidades integradas de Li-Fi lleguen al mercado.

El mercado de Li-Fi sigue siendo un nicho y los casos de uso de Li-Fi son relativamente limitados, pero muestran casos importantes para el futuro. Sin embargo, teniendo en cuenta las deficiencias y otras evoluciones en el área de LAN inalámbrica, es solo cuestión de años porque Li-Fi no solo vendrá con cada vez más casos de uso para Li-Fi, sino que también tendrá un impacto clave en varias aplicaciones en el internet de las cosas. Está claro que los esfuerzos de estandarización de Li-Fi son cruciales aquí.

En resumen, Li-Fi es una tecnología que se basa en la capacidad de los LED para encenderse y apagarse rápidamente sin afectar su vida útil, lo que permite crear flujos de comunicación. Li-Fi (también conocido como Light Fidelity) es una tecnología de comunicación inalámbrica que utiliza la luz visible para transmitir datos a través de diodos emisores de luz (LED). La tecnología Li-Fi se fundamenta en la comunicación a través de luz visible (VLC), empleando el espectro electromagnético visible para transmitir información de manera más segura, rápida y respetuosa con el medio ambiente en comparación con las redes Wi-Fi convencionales.

Li-Fi debe verse como algo adicional a Wi-Fi (una vez más, una cuestión de esos casos de uso de Li-Fi), aunque también lo reemplazará y, quizás lo más importante, podría encajar en otras evoluciones de comunicación relacionadas con el internet de las cosas (aunque Li-Fi es mucho más que el internet de las cosas y la conectividad inalámbrica del internet de las cosas, pero es un nuevo paradigma de movilidad y movilidad, por ejemplo, en el ámbito de Power over Ethernet).

Una de las empresas líderes en el ecosistema Li-Fi es la francesa Lucibel. Otras empresas incluyen pureLi-Fi (cofundada por Harald Haas, quien mostró Li-Fi en acción por primera vez en 2011 y acuñó el término), VLNComm y OLEDComm (fundada por el inventor Suat Topsu). Estas y otras empresas ya operan en ecosistemas de grandes empresas que también quieren hacerse un hueco en el mercado Li-Fi, entre otras a través de adquisiciones (a principios de 2017 Philips adquirió la francesa Luciom).

Una mirada a las industrias principales y los casos de uso de Li-Fi, según lo encontrado

por varios informes, muestra una imagen que es relativamente similar a las industrias y los casos de uso iniciales como se informó en el comunicado de prensa del lanzamiento del grupo de estudio IEEE. Estos incluyen entornos desafiados por la interferencia electromagnética (EMI), como hospitales (piense, entre otros, en quirófanos), plantas petroquímicas y aviones (por ejemplo, aplicaciones en cabinas de aviones). También incluyen entornos seguros donde no se sanciona la RF (radiofrecuencia, utilizada en Wi-Fi).

2.2.4. Aplicabilidad del Li-Fi frente a Wi-Fi

Las aplicaciones que requieren un rendimiento de cientos de Mbps o microsegundos de latencia se beneficiarán de Li-Fi. En áreas urbanas densas, las fotoceldas interiores de Li-Fi pueden complementar la infraestructura celular.

Li-Fi puede habilitar aplicaciones de Realidad Aumentada. La iluminación en un museo Li-Fi es una tecnología con numerosas aplicaciones potenciales, entre las que destacan las posibilidades que ofrece para la Realidad Aumentada. Por ejemplo, en un museo, la iluminación podría proporcionar información detallada y una experiencia interactiva en torno a las exposiciones. En los centros comerciales, las ofertas y promociones se podrían enviar de manera directa y precisa a través de Li-Fi. Además, Li-Fi también puede permitir la conexión de electrodomésticos, lo que es fundamental para el Internet de las cosas. Otras aplicaciones potenciales de Li-Fi incluyen el seguimiento de la ubicación y la navegación en interiores, así como la conexión de dispositivos portátiles inteligentes.

La tecnología Li-Fi se transmite a través de la luz visible, lo que la convierte en una excelente opción para aplicaciones que requieren alta seguridad. Al no atravesar paredes u otros obstáculos sólidos, solo aquellos dentro del haz de luz del transmisor pueden recibir los datos, lo que garantiza la privacidad de la comunicación. Además, en entornos donde se consideran dañinas las ondas de radio, Li-Fi puede ser una alternativa segura y saludable. A diferencia de las ondas de radio, las señales de Li-Fi mantienen una mejor transmisión bajo el agua, lo que las hace idóneas para aplicaciones de comunicación submarina. Además, es posible aprovechar las luces de los vehículos para establecer comunicación entre vehículos o con semáforos, lo que facilita la implementación de tecnologías de conducción autónoma.

2.2.4.1. Publicidad localizada

Al utilizar la iluminación de la pantalla de la tienda como un canal de transmisión Li-

Fi, es posible transmitir información publicitaria sobre los productos que se están viendo, así como ofertas especiales y cupones. Esto permitirá la fusión de la experiencia de compras en la calle y en línea, y permitirá que surjan nuevos modelos comerciales minoristas. La información del catálogo, los cupones de descuento y los videos publicitarios podrían proporcionarse a los compradores.

2.2.4.2. Comunicación submarina

Las ondas de radio se disipan rápidamente en el agua, lo que dificulta las comunicaciones por radio bajo el agua. Sin embargo, la luz tiene la capacidad de penetrar grandes distancias en este medio. Por lo tanto, la tecnología Li-Fi ofrece la posibilidad de establecer comunicaciones entre buzos, buzos y mini-submarinos, así como entre buzos y plataformas de perforación, entre otros ejemplos.

2.2.4.3. Sistemas de transporte inteligente

A medida que los faros y las luces traseras de los automóviles son constantemente reemplazados por versiones LED, se abre la puerta a la comunicación entre vehículos a través de Li-Fi. Esta tecnología permite la creación de sistemas anticolidión y el intercambio de datos sobre las condiciones de conducción entre los automóviles.. Además, dado que los semáforos también utilizan iluminación LED, se vislumbra la posibilidad de implementar sistemas de gestión del tráfico a nivel urbano. Esto permitiría a los vehículos acceder a información en tiempo real sobre las rutas óptimas a tomar, descargada de la red, y actualizar la red con base en las condiciones experimentadas recientemente por los vehículos individuales.

2.2.4.4. Manejo de información delicada

Los hospitales son un caso específico de un entorno en el que tanto la sensibilidad EMI como la seguridad de los datos son problemas. Li-Fi puede permitir una mejor implementación de instrumentos médicos en red seguros, registros de pacientes, etc.

2.2.4.5. Navegación interior

Al identificar cada luz (por ejemplo, mediante el uso de los códigos MAC ampliamente utilizados por los enrutadores de datos y las computadoras), es posible proporcionar un medio inteligente para navegar por los entornos urbanos. La identificación de cada código estaría vinculada a una ubicación específica. Por ejemplo, la luz recibida del dispositivo más cercano

puede indicar a un usuario móvil su posición exacta mientras se desplaza por un pasillo.

2.2.5. Particularidades del Li-Fi frente a Wi-Fi

Al comparar la tecnología Li-Fi con la tecnología Wi-Fi, se destacan algunas particularidades que la hacen única, como:

Modo de envío de datos

La distinción en la forma en que se transfiere la información entre dispositivos mediante Wi-Fi y Li-Fi. En el caso del Wi-Fi, los datos se transmiten a través de señales de radio que utilizan frecuencias de 2.4 o 5 GHz para la comunicación inalámbrica. Por otro lado, la tecnología Li-Fi transmite datos a través de señales de luz. Las bombillas LED desempeñan un papel fundamental al permitir la transmisión de información de manera inalámbrica sin necesidad de cables.

Distancia en la transmisión

La distancia juega un papel fundamental en la transmisión inalámbrica de datos y es aquí donde encontramos diferencias significativas entre distintas tecnologías. Si comparamos la capacidad de NFC, que se limita a unos pocos centímetros, con la del Bluetooth, notaremos claras disparidades.

Lo mismo sucede con Wi-Fi y Li-Fi. En el caso del primero, podemos lograr alcances de varias decenas de metros, dependiendo de la capacidad de las antenas y la presencia de posibles obstáculos. Por otro lado, Li-Fi tiene un alcance más limitado debido a que la interacción de los datos se realiza a través de luz visible, esto implica una distancia máxima de aproximadamente 10 metros. Además, la señal de Li-Fi no puede atravesar paredes u obstáculos sólidos, lo que puede restringir su aplicabilidad en ciertos escenarios.

Interferencias

Es esencial considerar las diferencias en cuanto a las interferencias que pueden impactar el rendimiento de ambas tecnologías. El Wi-Fi es susceptible a interferencias cuando hay múltiples dispositivos conectados en el mismo canal, lo cual puede resultar en una disminución en la velocidad de la conexión. Por otro lado, la tecnología Li-Fi no experimenta interferencias directas con otros dispositivos, aunque su desempeño puede ser afectado por factores como la iluminación ambiental. Por ejemplo, el uso de Li-Fi bajo luz solar directa se ve limitado debido a la interferencia con la transmisión de datos. No obstante, este problema se puede resolver

fácilmente mediante la implementación de filtros y modulaciones específicas adaptadas a cada entorno lumínico.

Uso real

Frecuentemente nos cuestionamos cuál es la finalidad principal de cada tecnología. En el caso del Wi-Fi, su utilidad abarca una amplia gama de aplicaciones. Además de brindarnos acceso a Internet desde diversos dispositivos, nos permite interconectar cámaras de vídeo, impresoras y otros dispositivos. El Wi-Fi se emplea tanto en entornos domésticos como en entidades empresariales y organizaciones, debido a su versatilidad y capacidad de adaptación.

Por otro lado, la tecnología Li-Fi todavía tiene limitaciones en cuanto a su uso. Actualmente, se utiliza principalmente en aerolíneas, operaciones submarinas y para fines de investigación y prueba. Aunque su capacidad para proporcionar una conexión de alta seguridad y su capacidad de comunicación en entornos hostiles hacen que esta tecnología sea una opción atractiva para futuras aplicaciones. Sin embargo, todavía no se ha adoptado ampliamente para uso doméstico.

Seguridad

En cuanto a la seguridad, existen diferencias notables entre ambas tecnologías. Las redes Wi-Fi suelen presentar ciertos problemas de seguridad debido a que los datos pueden ser interceptados desde una distancia mayor, lo que los hace vulnerables a ataques de hackers o espionaje. Por ejemplo, existen diferencias significativas entre la tecnología Wi-Fi y Li-Fi en términos de seguridad y alcance. Mientras que con Wi-Fi es posible que alguien intente acceder a una red sin estar físicamente presente en el lugar, Li-Fi ofrece una mayor seguridad en este sentido al utilizar la transferencia de datos por la luz visible. Para la información sea transferida en Li-Fi, se requiere un contacto visual directo entre el transmisor y el receptor, lo que dificulta la posibilidad de interceptación. Además, la señal de Li-Fi no puede atravesar obstáculos sólidos, lo que garantiza un mayor nivel de protección en entornos cerrados.

Por lo tanto, podemos concluir que mientras Wi-Fi es una tecnología ampliamente utilizada en nuestro día a día, Li-Fi se perfila como una alternativa futurista. Estas diferencias clave entre ambas tecnologías las distinguen en términos de seguridad y aplicabilidad.

Una vez realizado el análisis de las principales particularidades de la tecnología Li-Fi frente a la Wi-Fi, en la Tabla 1 se presentan las principales particularidades de las mismas:

Tabla 1. Principales diferencias entre las tecnologías Wi-Fi y Li-Fi

Parámetro	Li-Fi	Wi-Fi
Velocidad	Velocidades de transferencia muy rápidas (>1 Gbps)	150 Mbps
Medio de transferencia	Bombillas LED	Ondas de radio
Rango de espectro	Espectro visible de la luz tiene 10.000 veces más en comparación con el de radiofrecuencia.	El espectro de radiofrecuencia es muy escaso en comparación con el espectro de luz visible
Frecuencia de operación	100 Terra Hz	2,4 GHz, 4,9 GHz, 5 GHz
Costo	Mucho más barato que Wi-Fi ya que la banda gratuita no necesita licencia y usaba luz para transferir datos	Muy caro ya que las frecuencias de radio son escasas, con licencia y muy costosas.
Privacidad	Está bloqueada la luz por las paredes que ocasiona, que las transferencias de datos son más seguras.	Las señales de RF no pueden ser bloqueadas por paredes y, por lo tanto, deben emplear técnicas para transferencias de datos seguras.
Impacto ecológico	Bajo ya que se basa en LED y no tiene radiaciones dañinas.	Impacto medio ya que utiliza radiaciones dañinas.
Aplicaciones	Se puede usar en aerolíneas, exploraciones submarinas, hospitales, oficinas y hogares para el uso de Internet	Se utiliza para el uso de Internet con la ayuda de quioscos o puntos de acceso Wi-Fi

Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

2.3. Comparación de los rendimientos teóricos de las tecnologías Li-Fi y Wi-Fi

La tecnología Li-Fi y Wi-Fi tienen ciertas similitudes, ya que ambas utilizan la transmisión de datos de forma electromagnética. Sin embargo, mientras que la tecnología Wi-Fi, basa en la transferencia de datos mediante ondas de radio, la tecnología Li-Fi utiliza luz visible como medio de comunicación. Una red Li-Fi es un sistema de Comunicación por Luz Visible (VLC), que incluye un fotodetector para recibir las señales de luz y un elemento de procesamiento de señales para permitir la transmisión del contenido. Las pequeñas variaciones en la atenuación rápida de las bombillas LED se convierten en señales eléctricas por el receptor, y luego se vuelven a convertir en flujos de datos binarios que reconoceríamos como aplicaciones web, videos y audio que se ejecutan en dispositivos habilitados para Internet.

Detalles técnicos importantes de la tecnología Li-Fi

- **Espectro.** El espectro visible está aproximadamente en el rango de 400-700 nm a 430-750 THz. El espectro por encima de 3 THz no está regulado.
- **Ancho de banda.** LED BW está limitado a 20 MHz, pero el sistema BW de 180MHz con 512 subportadoras de forma de onda DMT ha sido posible. Eficiencia espectral de área: al menos $0,41 \text{ bits/s/Hz/m}^2$, que ya es 1000x de los sistemas de RF.
- **Modulación.** Métodos simples como OOK o PWM experimentan ISI a altas velocidades de datos. En cambio, OFDM o DMT se pueden usar para controlar la intensidad de la luz en lugar de solo encender y apagar los LED. Se han realizado importantes investigaciones para hacer que estos métodos sean unipolares.
- **Acceso múltiple.** OFDMA es un método adecuado y ya se usa en los estándares IEEE 802.11 y LTE. Un método alternativo es una opción destacada sería el acceso múltiple por división de longitud de onda (WDMA).
- **Duplexación.** La Duplexación por División de Longitud de Onda (WDD) es un método propuesto en el visible espectro, para la transmisión de datos en el enlace descendente, mientras que el espectro de infrarrojos o de radiofrecuencia se utiliza en el enlace ascendente.

A continuación, se describe una comparativa realizada por Gómez & Chacha (2017),

donde analiza el rendimiento de diferentes parámetros>

Tabla 2. Comparativa de diferentes parámetros de conectividad entre las tecnologías Wi-Fi y Li-Fi

Análisis	Eficiencia	Rendimiento (%)	Velocidad (t)
Chat Li-Fi	x	100	10 ms
Transmisión de paquetes Li-Fi	x	60	50 s
Chat Wi-Fi	x	100	2 s
Transmisión de paquetes Wi-Fi	x	90	30 s

Fuente: Gómez & Chacha (2017)

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

En este capítulo se detallan los enfoques metodológicos empleados para lograr los objetivos planteados en la investigación. Se brinda una descripción del tipo de estudio utilizado y se abordan los aspectos metodológicos relevantes, su alcance, diseño investigativo, definición y delimitación de las unidades de análisis, población y muestra. Además, se explicaron los principales métodos y técnicas empleadas para lograr los objetivos, y se detalló la operacionalización de las variables definidas.

3.1. Tipo de investigación

Este capítulo describe los componentes metodológicos utilizados para alcanzar los objetivos de la investigación. Para ello, se adoptó un enfoque mixto que combinó técnicas cuantitativas y cualitativas con un alcance descriptivo, que permitió caracterizar las particularidades de cada una de las tecnologías estudiadas y compararlas entre sí. Según Guevara, Verdesoto y Castro (2020), la investigación descriptiva tiene como propósito describir las características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos mediante criterios sistemáticos que establecen su estructura o comportamiento, brindando información sistemática y comparable con otras fuentes. En este sentido, se definieron las unidades de análisis, población y muestra, así como los métodos y técnicas utilizados para lograr los objetivos de la investigación y se operacionalizaron las variables definidas.

Por otra parte, se consideró de tipo propositiva, ya que, con base a los resultados de la investigación, se formuló una propuesta de red comunicacional Li-Fi para hogares del centro de la ciudad de Guayaquil. La investigación es de tipo propositiva por cuanto se fundamenta en una necesidad o vacío dentro de una realidad (Carranza & Lazo, 2019), una vez tomada la información descrita, se realizó una propuesta para superar la problemática actual y las deficiencias encontradas (Moreno-Acero, 2017).

3.2. Diseño de la investigación

La investigación se llevó a cabo utilizando un enfoque experimental, el cual permitió definir si la cantidad es óptima de las lámparas requeridas para hogares que tiene que mantener una conexión estable a Internet. Para lograr esto, se empleó un simulador que replicó las condiciones de una red Li-Fi en un entorno controlado.

3.3. Unidades del estudio, población y muestra

La investigación contó con dos unidades de estudio, por un lado, la unidad principal, que fueron los hogares del centro de la ciudad de Guayaquil, de los cuales se tomó una muestra de cincuenta viviendas y, por otro lado, quince profesionales conocedores de la tecnología a los cuales se les aplicó una encuesta para conocer su consideración acerca de la implementación de una red Li-Fi en la zona.

3.4. Métodos, técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Y luego, se exponen los métodos, técnicas e instrumentos utilizados durante todas las etapas de la investigación, las cuales permitieron cumplir con los objetivos planteados.

- **Analítico – sintético.** Este método permitió realizar un análisis y síntesis de las diferentes teorías revisadas sobre redes inalámbricas, el funcionamiento de las tecnologías Wi-Fi y Li-Fi, casos de uso, beneficios, seguridad, entre otros aspectos relevantes. Con base en estos hallazgos, fue posible definir los indicadores y dimensiones del tema abordado.
- **Inductivo-deductivo.** El uso de este método permitió aplicar un razonamiento lógico a las bases teóricas para poder responder a los objetivos planteados y llegar a conclusiones pertinentes.
- **Análisis bibliográfico.** Mediante el análisis bibliográfico se sintetizó y analizó la bibliografía obtenida a través de la técnica de revisión documental proveniente de múltiples fuentes como: libros, tesis, artículos, etc. En concordancia, este método permitió profundizar en las diversas teorías asociadas al tema investigado en función de determinar los componentes teóricos y metodológicos, su pertinencia, justificación y la propuesta de solución.
- **Sistémico – estructural.** A través de este método teórico se estableció la estructura y elementos de la propuesta presentada; así como su evaluación.
- **Encuesta.** La aplicación de esta metodología de recolección de datos proporcionó perspectivas y evaluaciones de expertos en el campo, lo que resultó en una evaluación más sólida de la viabilidad de implementar la red Li-Fi como una solución a las limitaciones de la red Wi-Fi, para hogares del Centro de la Ciudad de Guayaquil. Esto permitió obtener opiniones y valoraciones directas de aquellos con experiencia relevante en el tema, enriqueciendo así el análisis y las conclusiones de la investigación.
- **Estadística.** Se utilizó el análisis estadístico para procesar y examinar la información obtenida mediante la aplicación de otros métodos. Se emplearon medidas de frecuencia absoluta y relativa para obtener una comprensión más clara y precisa de los datos

recopilados.

3.5. Operacionalización de variables

A continuación, se describe la operacionalización de las variables objetivas de la investigación:

Tabla 3. Operacionalización de variables

Variable s de estudio	Definición conceptual	Indicador es	Escala
Uso de la tecnología Wi-Fi	Se refiere al uso de la tecnología Wi-Fi en hogares del centro de la ciudad de Guayaquil.	Rendimiento Conexión Cobertura Interferencias Seguridad	De acuerdo Medianamente de acuerdoDesacuerdo
Propuesta para el uso tecnología LI-FI	Se refiere a su viabilidad en el uso de tecnología Li-Fi como variante innovadora y factible a implementar en hogares del centro de Guayaquil.	Mejorías en rendimiento Necesidades de trabajo Conexión sin pérdidas Modelo de negocio rentable Bajo consumo de gastos Seguridad	De acuerdo Medianamente de acuerdoDesacuerdo

Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

CAPÍTULO IV.

DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA REDES WI-FI EN HOGARES DEL CENTRO DE GUAYAQUIL

El capítulo IV, realiza un análisis detallado del rendimiento de la red Wi-Fi en una muestra de hogares en el centro de Guayaquil. El objetivo principal es diagnosticar la situación actual de la red y identificar posibles limitaciones. Los resultados de una encuesta realizada a profesionales del campo para evaluar la viabilidad de implementar una red Li-Fi en la zona. Estos resultados forman la base de la propuesta de investigación, que busca ofrecer una solución alternativa y mejorada para abordar las limitaciones encontradas en la red Wi-Fi existente.

4.1.Resultados de las simulaciones realizadas a la red Wi-Fi en hogares del centro de Guayaquil

En la muestra de cincuenta hogares del centro de Guayaquil que formaron parte de la muestra se realizó un análisis de la red Wi-Fi que existente que permitió diagnosticar el comportamiento de la misma. Para ello, se llevó a cabo una simulación utilizando el software "WiFi Explorer" para analizar el espectro de la señal emitida por los puntos de acceso en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz. Esta simulación fue posible debido a que el dispositivo cuenta con dos radios y emite en ambas bandas. El estudio se centró en el uso del software mencionado para obtener información detallada sobre la intensidad de la señal y posibles interferencias en ambas bandas.

Se realizó el análisis de las frecuencias en el medio donde se verificó que existe una saturación de uso de canales que trae consigo una interferencia en la conexión y a su vez lentitud en la red. Además, tal como se aprecia en la figura 1 se tienen múltiples WLAN propagadas en las dos bandas. Asimismo, se observaron disminuciones en la calidad de la señal como resultado de la interferencia generada por los canales congestionados en la banda de frecuencia de 2.4 GHz.

BSSID	Nombre del fabricante	Serial	Canal	Ancho	Banda	Modo	Tasa máxima	Seguridad
FC:0A:81:C4:09:C0	Zebra Technologies Inc	-83	11	20 MHz	2,4 GHz	b/g/n	130 Mbps	WPA2
FC:0A:81:7A:9F:10	Zebra Technologies Inc	-73	1	20 MHz	2,4 GHz	b/g/n	130 Mbps	WPA2
FC:0A:81:76:34:C0	Zebra Technologies Inc	-85	1	20 MHz	2,4 GHz	b/g/n	130 Mbps	WPA2
FC:0A:81:0F:4F:A0	Zebra Technologies Inc	-78	1	20 MHz	2,4 GHz	b/g/n	130 Mbps	WPA2
FC:0A:81:0F:4F:70	Zebra Technologies Inc	-79	11	20 MHz	2,4 GHz	b/g/n	130 Mbps	WPA2
FC:0A:81:0F:4D:A0	Zebra Technologies Inc	-84	6	20 MHz	2,4 GHz	b/g/n	130 Mbps	WPA2
FC:0A:81:06:07:90	Zebra Technologies Inc	-72	1	20 MHz	2,4 GHz	b/g/n	130 Mbps	WPA2
F8:D1:11:99:C7:98	TP-Link Technologies Co. Ltd.	-82	11	20 MHz	2,4 GHz	g	64 Mbps	WPA2
DC:9F:DB:34:5C:EB	Ubiquiti Networks inc.	-75	1	20 MHz	2,4 GHz	b/g/n	130 Mbps	WPA

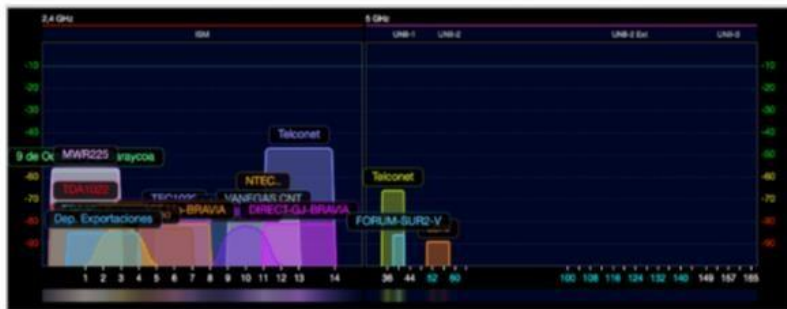


Figura 1. Uso de canales de las redes Wifi en las bandas 2.4 y 5 Ghz
Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

En cuanto a la velocidad de la red, se apreció que con la utilización de la conectividad mediante la red existente con tecnología Wi-Fi, los envíos de paquetes de datos tuvieron problemas, y los tiempos superaron los 18 segundos. Además, se detectaron problemas de seguridad en las redes analizadas.

4.2.Resultados de la encuesta aplicada

Además de las simulaciones realizadas, se preguntó a 15 especialistas en el tema de estudio: cinco expertos en redes, cinco profesionales en sistemas y cinco ingenieros eléctricos. El propósito de este cuestionario fue evaluar la factibilidad y el potencial innovador de la tecnología Li-Fi como una opción viable para implementar.

P1. ¿La tecnología Li-Fi mejoraría significativamente la transmisión de datos en comparación con Wi-Fi?

El 93,3% de los profesionales encuestados estuvo de acuerdo La tecnología Li-Fi ha demostrado proporcionar mejoras significativas en la velocidad y calidad de transmisión de datos en comparación con el Wi-Fi en los hogares situados en el corazón de la ciudad de Guayaquil. Además, indicaron que mientras que con la tecnología Wi-Fi no es posible añadir más routers cuando aumentan los usuarios, con la tecnología Li-Fi es posible añadir más dispositivos de luz. A pesar de que la Wi-Fi tiene un mayor alcance y no requiere línea de visión directa, la tecnología Li-Fi ofrece una velocidad de transmisión mucho mayor, hasta 1000 veces

más, y un mayor ancho de banda.

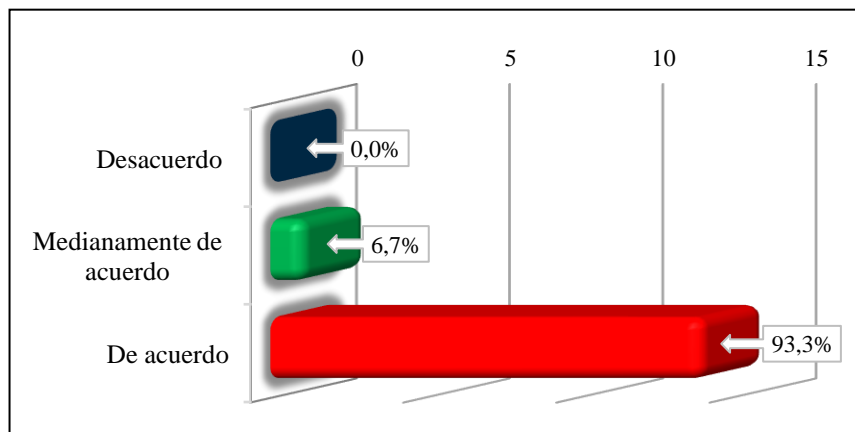


Figura 2. Mejorarías en el rendimiento con el empleo de Li-Fi
Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

P2. ¿Cree usted que las personas que viven en el centro de la ciudad de Guayaquil se beneficiarían del uso de Li-Fi para satisfacer sus necesidades de navegación, trabajo y estudio en línea?

Se presenta la encuesta con el 73,3% que indican estar completamente de acuerdo que la implementación de una red Li-Fi en hogares del centro de Guayaquil cumpliría con las necesidades de trabajo, un 20,0% se encuentra medianamente de acuerdo y solo un caso está en desacuerdo.

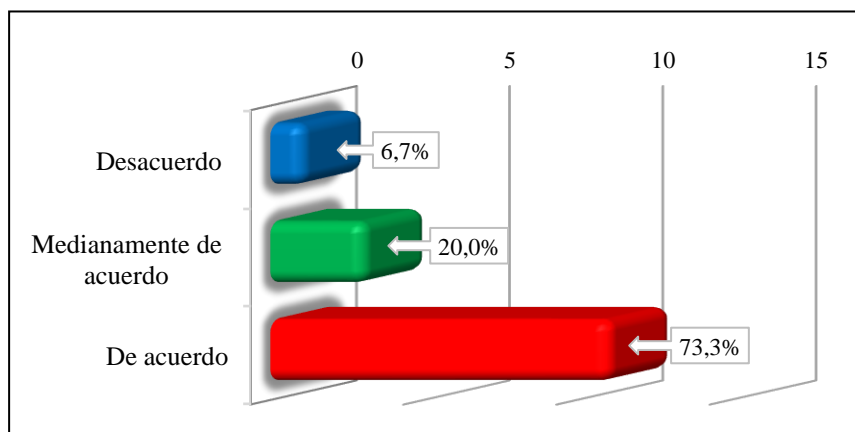


Figura 3. Cumple con las necesidades de trabajo
Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

P3. ¿Cree que una implementación de tecnología Li-Fi permitiría conectar más dispositivos a la red sin causar latencia o pérdidas?

Los resultados obtenidos, exponen que el 86,7% de los profesionales se encuentran de acuerdo en que un diseño de red Li-Fi, abarcaría mayor cobertura de conexión; y el 13,3% restante se encuentra medianamente de acuerdo.

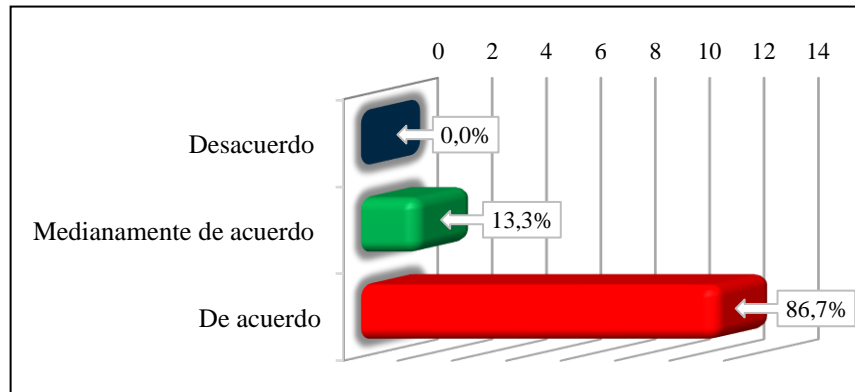


Figura 4. Conexión sin pérdidas ni interrupciones
Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

P4. ¿Cree que hacer uso de la transmisión de datos inalámbricos a través de la luz podría ser un modelo de negocio rentable?

Con respecto a la viabilidad de Li-Fi como modelo del negocio, los resultados de la encuesta indican que el 73,3% de los encuestados está de acuerdo, mientras que el 20,0% muestra una posición intermedia y el 6,7% en desacuerdo. Se destaca que el funcionamiento adecuado de Li-Fi implica la necesidad de mantener las luces emisoras constantemente encendidas, lo cual puede generar cierta preocupación en cuanto a los costos de energía eléctrica asociados.

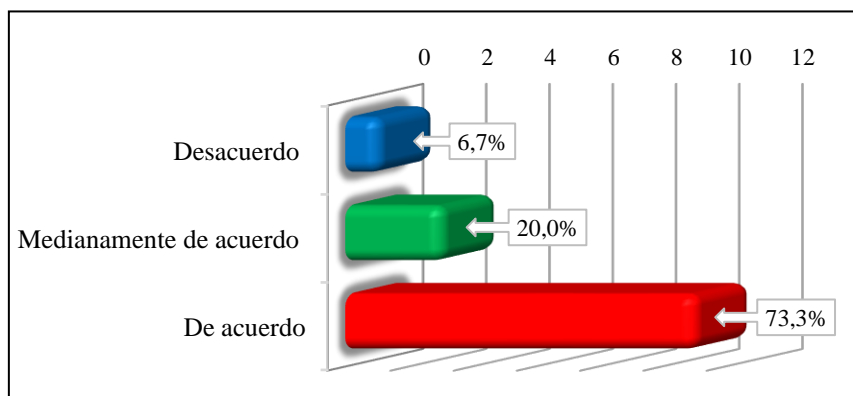


Figura 5. Modelo de negocio rentable
Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

P5. ¿Cree que el uso de dos recursos, como la luz eléctrica y la transmisión de datos, reduciría los costos?

Alineada a las respuestas anteriores, el 80,0% de los profesionales están de acuerdo que al usarse recursos de luz eléctrica junto a la transmisión de datos habría un ahorro económico en los hogares. Por otro lado, el 13,5% se encuentra medianamente de acuerdo y un solo caso en desacuerdo.

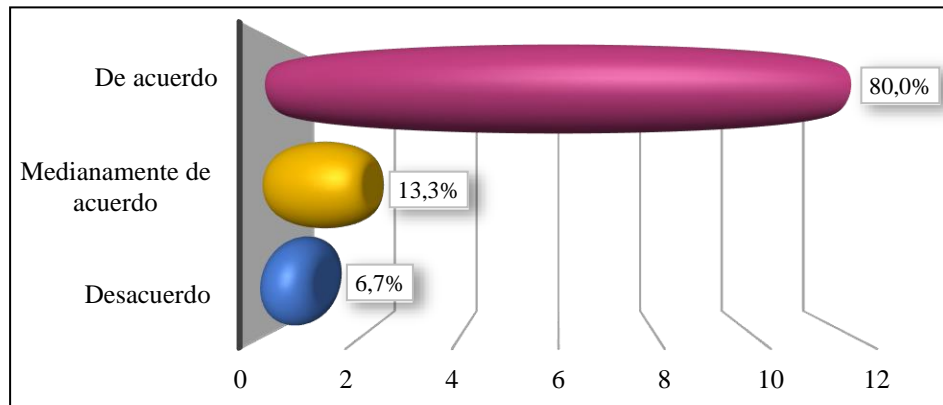


Figura 6. Bajo consumo de gastos
Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

P6. ¿Cree usted que el sistema se vería afectado por la combinación de transmisión de datos y recursos eléctricos?

Respecto a esta pregunta, un 93,3% de los profesionales encuestados están de acuerdo en que Li-Fi evitaría interferencias que se presentan en las redes Wi-Fi. Los encuestados señalan que tanto la red Li-Fi como la Wi-Fi utilizan espectros diferentes, lo que significa que no hay interferencias entre las comunicaciones. Por lo tanto, un trabajo actual y futuro podría ser la unificación de ambas tecnologías en un sistema híbrido, que aproveche las ventajas de cada sistema para lograr una mejor calidad de conexión.

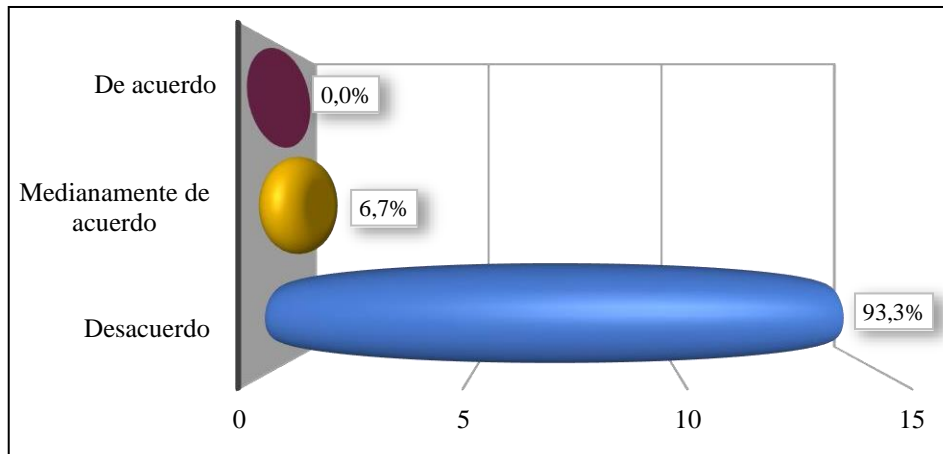


Figura 7. Interferencias en el uso de la tecnología Li-Fi
Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

P7. Considerando que la comunicación por luz visible no traspasa las paredes, ¿la tecnología Light Fidelity ayudaría mucho en la seguridad de la información?

La eficiencia y la seguridad de internet son los temas dominantes en este momento. En cuanto a ello, el 93,3% de los encuestados se encuentran de acuerdo que la tecnología Light Fidelity es más segura en función de la propagación de la señal, puesto que la luz no puede atravesar la pared, teniendo una comunicación más segura.

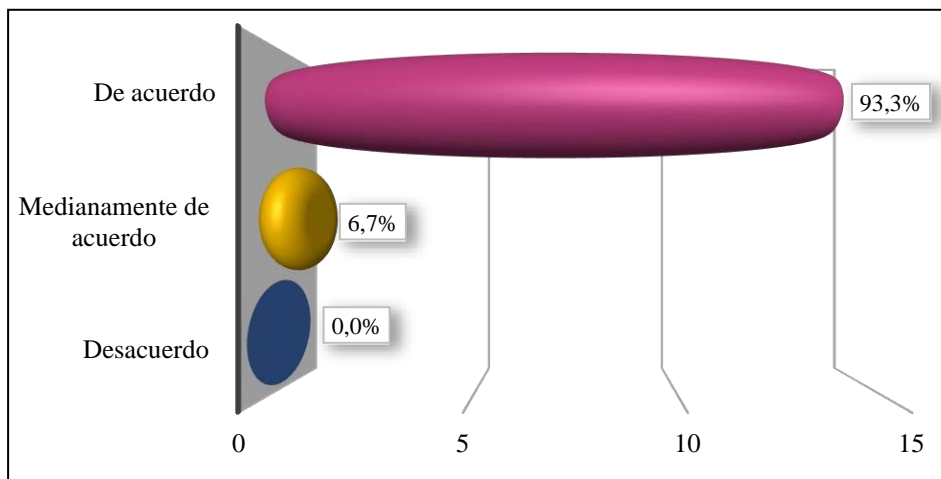


Figura 8. Seguridad
Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

CAPÍTULO V.

PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UNA RED LI-FI

Este capítulo tiene como objetivo presentar la propuesta de implementación de una red Li-Fi para hogares, la cual está diseñada en base al diagnóstico previo realizado. Asimismo, se describe la factibilidad de la propuesta y se presenta la validación por parte de expertos, en cumplimiento del cuarto objetivo de la investigación (Pérez, 2022).

5.1. Descripción de la propuesta

El objetivo de este trabajo es diseñar una red de comunicaciones inalámbrica con Li-Fi, que logrará mejoras sustanciales en la transferencia de datos en comparación con las redes Wi-Fi convencionales.

Para diseñar la red, se empleó el software DIALux para Windows, una herramienta que facilita la planificación y cálculo de los dispositivos de iluminación necesarios para transmitir datos a través del espectro de luz (García, 2018). Este software permitió visualizar la propagación de la luz y determinar la cantidad de luminarias requeridas para establecer una conexión estable para los lugares que se pretenden cubrir con esta red.

El diseño de la red es efectivo, ya que ofrece la alternativa innovadora a los sistemas de transmisión de datos por radiofrecuencia (RF), como los utilizados en las redes Wi-Fi convencionales. Mediante la simulación realizada, se comprobó que la implementación de la tecnología Li-Fi generará beneficios significativos para los usuarios de esta área. La red Li-Fi proporciona un rendimiento óptimo en la transmisión de datos sin saturar el ancho de banda y, a diferencia del Wi-Fi, no supone riesgos para la salud humana. La tecnología Wi-Fi puede ocasionar efectos adversos, como un mayor riesgo de cáncer, afectaciones en la fertilidad y el ADN, reacciones alérgicas, debilitamiento del sistema inmunológico y alteraciones en los neurotransmisores, entre otros (Sánchez, 2019).

5.2. Justificación de la propuesta

La tecnología Wi-Fi no puede manejar la enorme demanda de transmisión de datos porque depende de las ondas electromagnéticas que tienen menos espectro para transferir el flujo de datos. Sin embargo, la tecnología Li-Fi depende de Visible Light Communication

(VLC) como portador. El procedimiento operativo es simple; cuando el LED está encendido, transmitimos un uno digital, si está apagado, transmitimos un cero. El LED debe estar prendido y cuando se apaga funciona como el ojo del ser humano no puede notarlo, y esto forma un flujo de bits que luego un receptor decodifica. Esto implica una capacidad mucho mayor en la transmisión de flujos de bits, debido a que la luz visible del espectro es 10.000 veces mayor que las ondas del espectro electromagnéticas (Gómez, 2020).

Esta tecnología tiene algunas limitaciones, una de ellas es que debemos tener las luces encendidas siempre para seguir recibiendo la señal de internet, al mediodía podemos bajar la intensidad de luz, aunque se reciba una conexión más lenta y por la noche aprovechar la velocidad al tener las luces siempre encendidas.

5.3. Objetivos de la propuesta

Establecer los componentes esenciales para implementar una red de hogares basada en la tecnología Li-Fi en el Centro de la Ciudad de Guayaquil.

Diseñar una propuesta para la implementar la red de comunicación basada en la tecnología Li-Fi en hogares del centro de la ciudad de Guayaquil.

5.4. Red comunicacional Li-Fi para hogares del centro de la ciudad de Guayaquil

La propuesta de red Li-Fi para hogares del centro de la ciudad de Guayaquil se elaboró considerando el diagnóstico realizado y los referentes teóricos descritos.

5.4.1. Requisitos técnicos

Para el desarrollo de nuestra propuesta tecnológica, utilizamos la versión evo 4 del software libre DIALux. Este nos brindó la capacidad de crear un modelo 3D de la estructura óptima de la red que deseamos diseñar, lo que nos permitió determinar con la evaluación la cantidad de luminarias necesarias para las casas del centro de Guayaquil, según sea el caso. Para instalar y ejecutar el software, es necesario contar con los siguientes requisitos técnicos mínimos:

- ✓ Procesador Intel 3 o más, 1.4 GHz o más
- ✓ Mínimo en memoria RAM 1GB, Tarjeta gráfica de OpenGL – o compatible con DirectX
- ✓ Resolución 1280 x 1024 pixeles

✓ Windows 10

Para iniciar el diagrama, se fundamentó contar con la idea precisa que tienen las dimensiones de las casas en el área definida para el desarrollo de la tesis. En caso de que no fuese posible obtener esta información, se consideró un esquema estándar para el diseño.

La tabla 4 muestra las características de varios equipos disponibles en el mercado, los cuales podrían ser utilizados para implementar la propuesta. Luego de evaluar los factores técnicos relevantes, se puede concluir que la lámpara Downlight 1400 D-4-140 sería la opción más conveniente debido a su bajo consumo de energía. Sin embargo, si se considera el ángulo de apertura como un factor crítico, el panel LED cuadrado A-1 sería una excelente alternativa ya que permitiría una mayor transmisión de datos al tener un alcance más amplio (López, 2021).

Tabla 4. Características de los equipos Li-Fi

Equipos Li-Fi	Velocidad (Mbps)	Temp color (°K)	Flujo luminoso (lúmenes)	Dimensiones	Apertura(°)
Lámpara LED rectangular E-1	20 – 350	3000 - 4000	3300	96 x 40 x 1200 mm	10 - 130
Lámpara LED Downlight 1400 D-4-140	20 – 390	3000	1070	∅168x51x5mm	45
Panel LED Cuadrado A-1	20	4000	3892	60 cm ancho x60	135

Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

5.4.2 Diseño de la propuesta

Como se había mencionado previamente, se utilizó un simulador para crear una red con tecnología Li-Fi. Este simulador permitió determinar la cantidad de lámparas necesarias para garantizar una conectividad a Internet confiable dentro de los hogares. Para lograr esto, se empleó el software DIALux, el cual permitió calcular la cantidad óptima de luminarias para la red y visualizar la iluminación de manera profesional.

Para el desarrollo de la propuesta se tomó como referente hipotético un hogar de los 50 que forman parte del estudio del sector del centro de la ciudad de Guayaquil, que cuenta con sala, cocina, un dormitorio y baño con divisiones de paredes. Continuación se describe para cada una de las habitaciones la cantidad de lámparas necesarias para lograr una conectividad a internet sin latencias.

En la Figura 9 se presenta un prototipo de una de las viviendas evaluadas en la investigación, que muestra claramente las distintas áreas que la componen. Según los resultados de las simulaciones realizadas, se determinó que se requieren seis lámparas de panel para alcanzar el nivel de iluminación necesario que garantice una conexión a internet sin latencia. A continuación, se proporciona una descripción detallada de cada área de la casa y la cantidad de lámparas Li-Fi utilizadas, acompañadas de una explicación pormenorizada de su distribución.

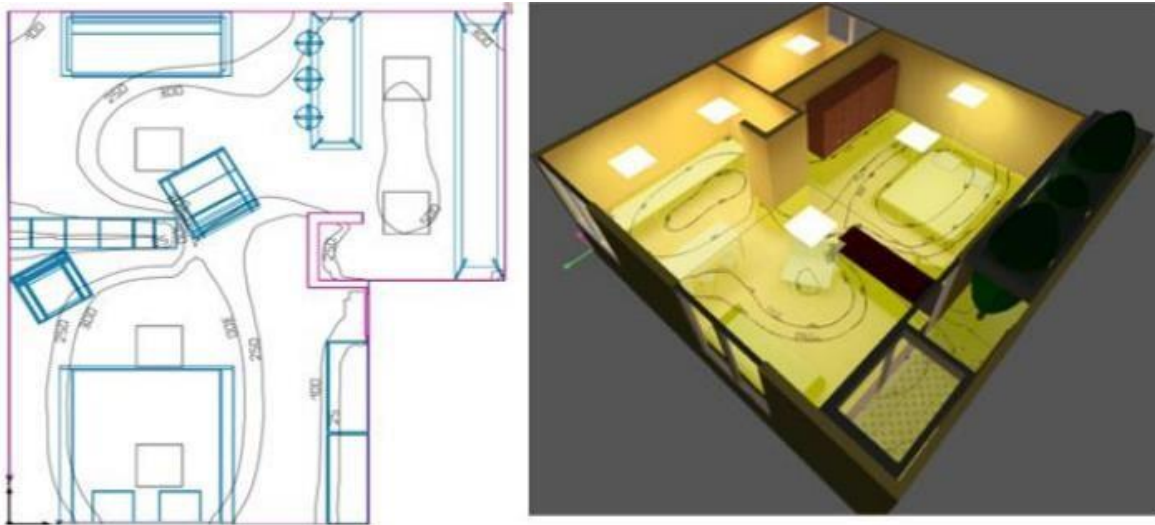


Figura 9. Prototipo de vivienda en la que se implementará la red propuesta

Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

Descripción del área de la cocina: Esta área cuenta con una superficie de construcción de 2.89 m x 2.28 m, con un área total de 6.59 m².

2.89 m



Figura 10. Descripción de las dimensiones de la cocina

Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

Para cubrir el área de la cocina, se propone utilizar dos lámparas led panel Cuadrado A-1, mismas que tendrán las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 5. Especificaciones de las lámparas led panel Cuadrado A-1 a instalarse en la cocina de la vivienda.

Características	Unidad	Descripción
Velocidad	Mb	20 bidireccional
Voltaje de entrada	V	120-277
Temperatura de color	°K	4 000
Distancia	M	1 a 3
Eficiencia luminosa	lm/W	100
Flujo luminoso	Lm	3 892
Watts	W	40
Índice de protección	IP	54
Ángulo de apertura	°	135
Tiempo de vida	Horas	50 000
Ancho	cm	60
Altura	cm	60

Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

Al emplear dos (2) lámparas en la cocina, se puede garantizar una cantidad adecuada de luxes en cada zona, con un mínimo de 250lx entre ambas lámparas.

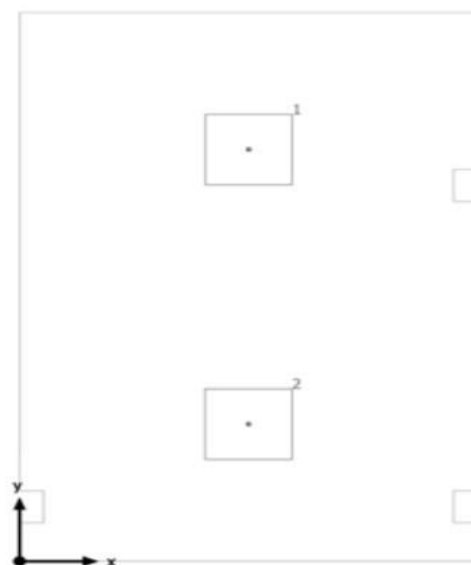
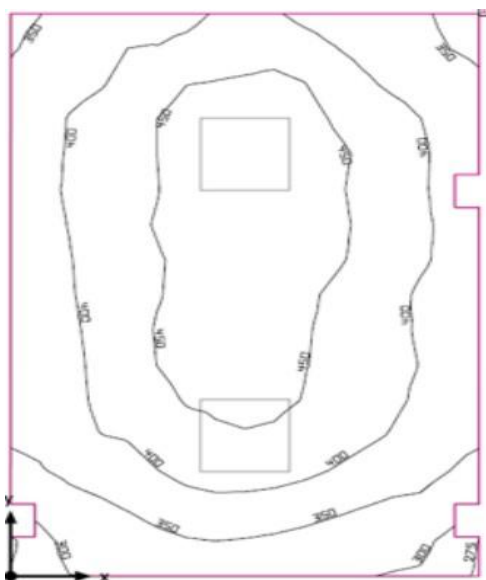


Figura 11. Cantidad de luces utilizadas en la cocina

Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

La Fig. 12, indica como los dispositivos se deben utilizar a una altura de 1.20 m.

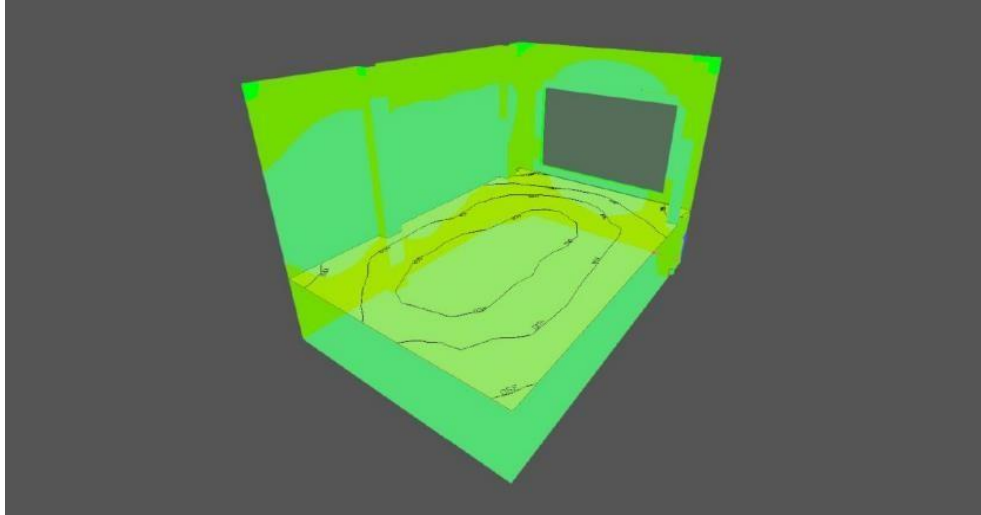


Figura 12. Demostración de colores falsos en el área de la cocina

Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

Descripción del área del dormitorio: A continuación, se muestra la Figura que detalla las medidas de construcción del dormitorio en cuestión.

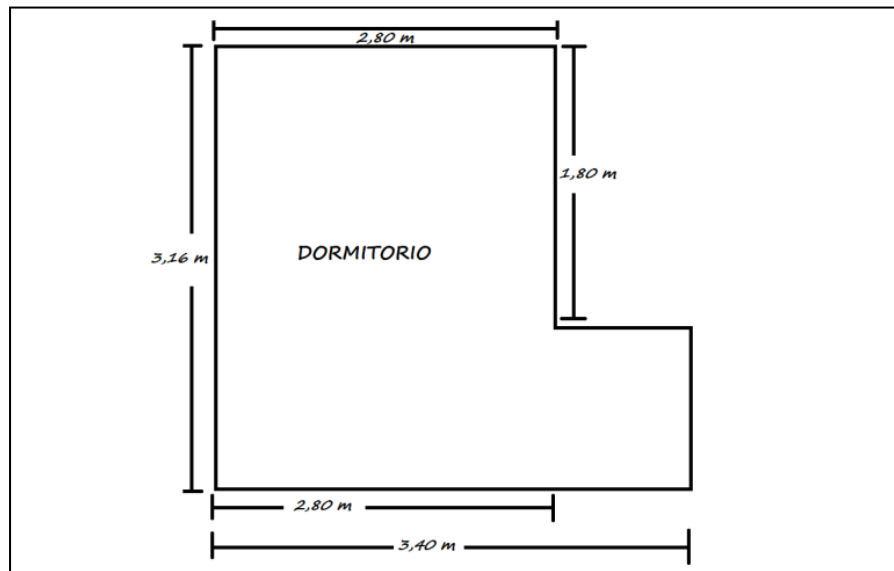


Figura 13. Dimensiones de la superficie del dormitorio

Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

En la siguiente figura se presenta la representación de las zonas cubiertas por las lámparas a ubicarse en el dormitorio:

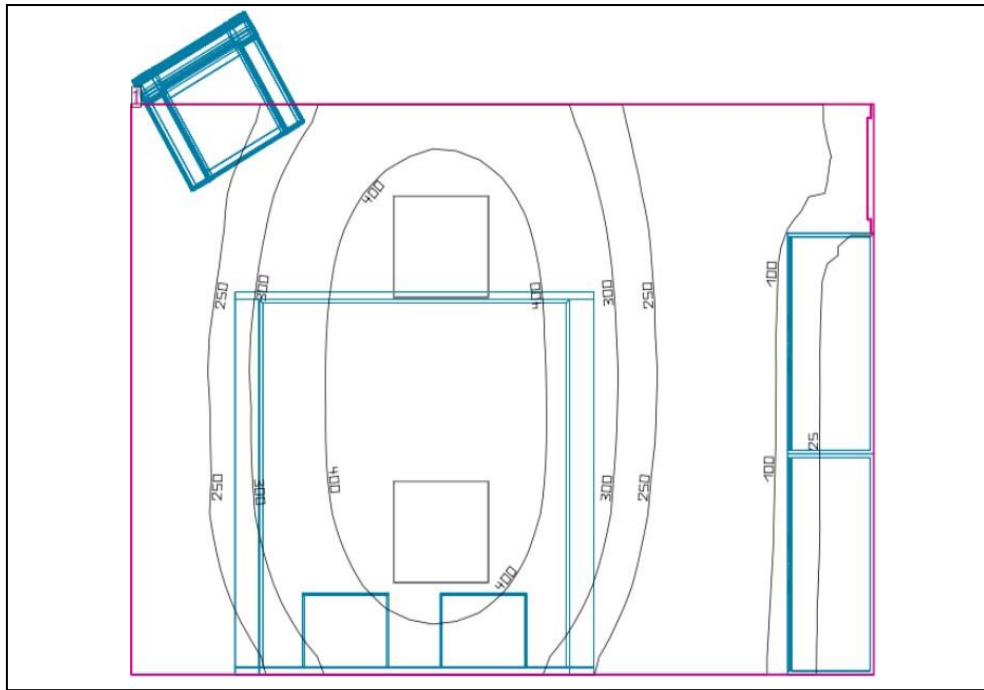


Figura 14. Representación de áreas del dormitorio cubiertas por la luz

Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

Se propone la utilización de dos lámparas Led Panel Cuadrado A-1:

Tabla 6. Especificaciones las lámparas led panel Cuadrado A-1 a instalarse en el dormitorio de la vivienda.

Características	Unidad	Descripción
Velocidad	Mb	20 bidireccional
Voltaje de entrada	V	120-277
Temperatura de color	°K	4 000
Distancia	M	1 a 3
Eficiencia luminosa	lm/W	100
Flujo luminoso	Lm	3 892
Watts	W	40
Índice de protección	IP	54
Ángulo de apertura	°	135
Tiempo de vida	Horas	50 000
Ancho	cm	60
Altura	cm	60

Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

En la siguiente figura se pueden apreciar los colores falsos que indican las áreas con menor luminosidad en las cuales se garantiza conectividad a internet estable.

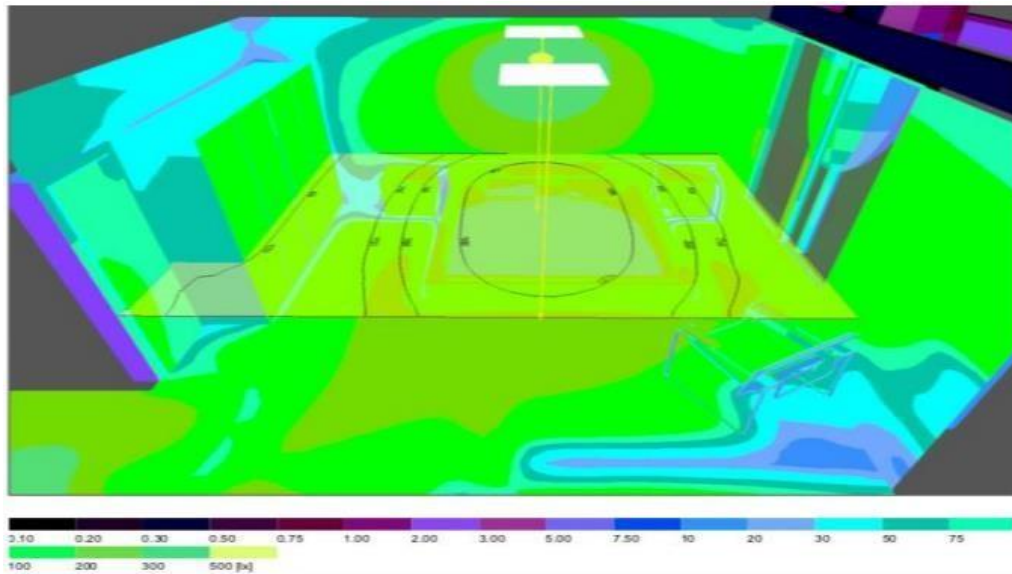


Figura 15. Demostración de colores falsos en la habitación

Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

La siguiente figura 16, muestra la dimensión de lúmenes que proyectan en el área del dormitorio, indica hasta que lugar los usuarios tener acceso con sus dispositivos y mantener una conexión estable

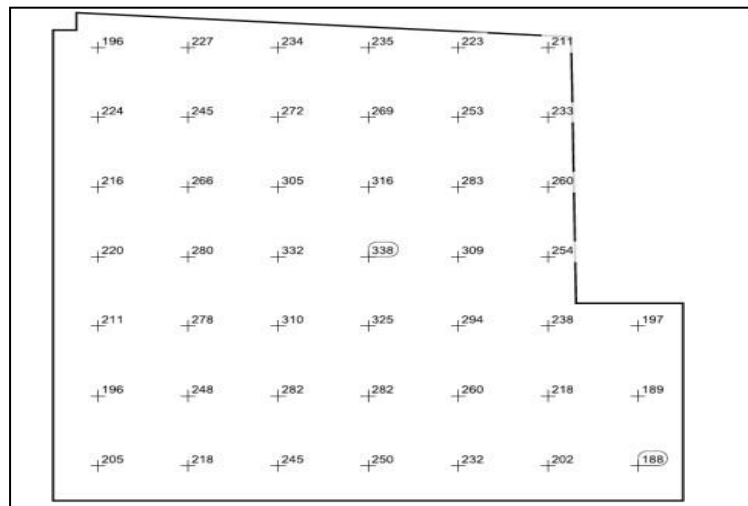


Figura 16. Rango de lúmenes en dormitorio

Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

Descripción del área de la sala: se presenta la cantidad de luminarias necesarias para garantizar una conexión estable en toda la sala, en función del número de bombillas requeridas.

Tabla 7. Especificaciones de las dos lámparas led panel Cuadrado A-1

Características	Unidad	Descripción
Velocidad	Mb	20 bidireccional
Voltaje de entrada	V	120-277
Temperatura de color	°K	4 000
Distancia	M	1 a 3
Eficiencia luminosa	lm/W	100
Flujo luminoso	Lm	3 892
Watts	W	40
Índice de protección	IP	54
Ángulo de apertura	°	135
Tiempo de vida	Horas	50 000
Ancho	cm	60
Altura	cm	60

Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

Fig. 17 representa el rango de lúmenes para cubrir con la conexión en la zona de la sala.

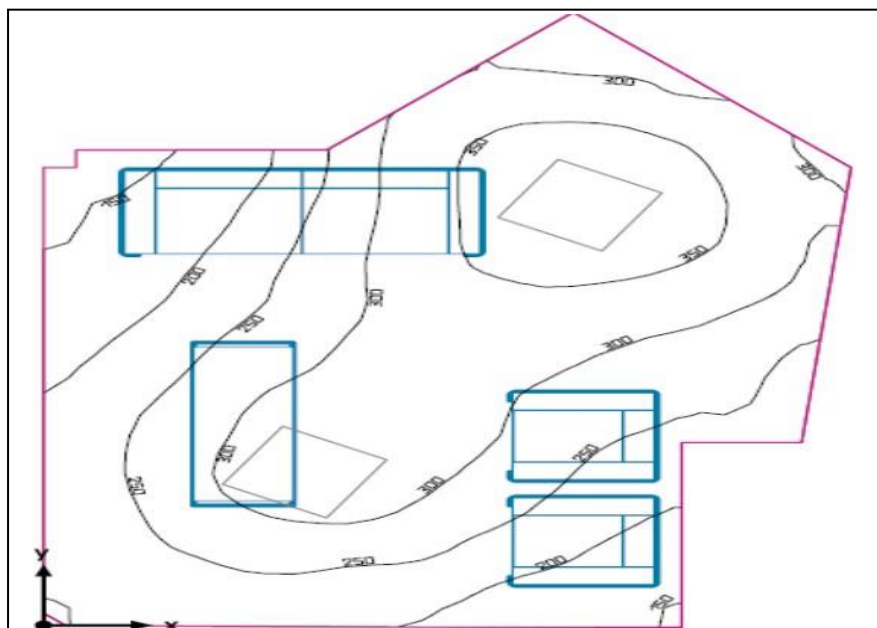


Figura 17. Representación de áreas de la sala iluminadas

Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

Descripción del área del baño: De igual manera, se muestran las características de las luces que se requieren para este escenario.

Tabla 8. Especificaciones de las dos lámparas led panel Cuadrado A-1 a instalarse en el baño de la vivienda

Características	Unidad	Descripción
Velocidad	Mb	20 bidireccional
Voltaje de entrada	V	120-277
Temperatura de color	°K	4 000
Distancia	M	1 a 3
Eficiencia luminosa	lm/W	100
Flujo luminoso	Lm	3 892
Watts	W	40
Índice de protección	IP	54
Ángulo de apertura	°	135
Tiempo de vida	Horas	50 000
Ancho	cm	60
Altura	cm	60

Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

Con las luminarias se revisa en que zonas cubrirá la conexión estable por medio de la luz.

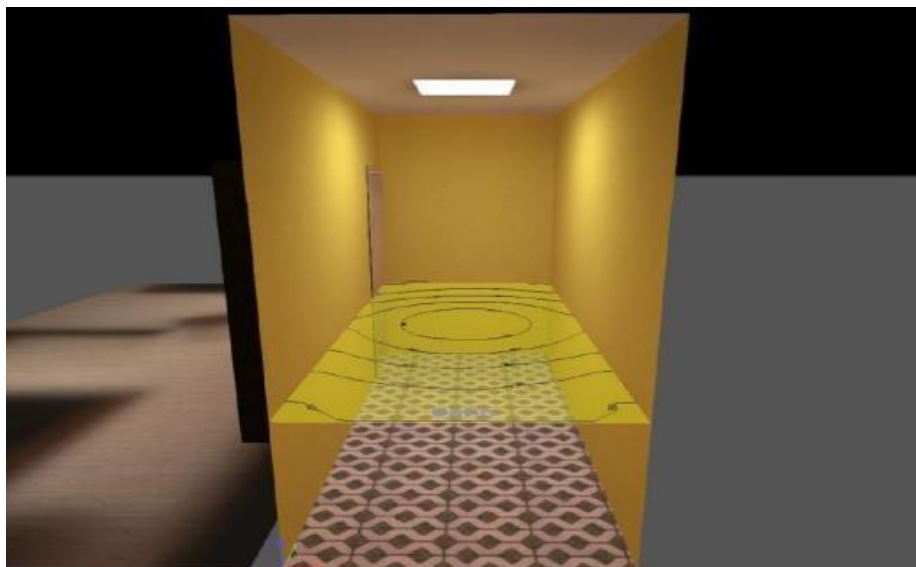


Figura 18. Representación de áreas iluminadas en el baño de una casa
Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

5.4.3 Análisis económico

Se ha establecido un presupuesto para los componentes necesarios para la futura implementación del prototipo durante el proceso de diseño de la red de comunicación utilizando tecnología Li-Fi. En el caso específico que se describe, basado en la lámpara LED Downlight 1400 D-4-140 como referencia, el desglose presupuestario de los componentes requeridos para una posible implementación de este estudio:

Lámparas LED Downlight 1400 D-4-140: \$X por unidad (Cantidad requerida: Y unidades)

Descripción: Estas lámparas son el componente principal para el transporte de datos por medio tecnológico Li-Fi. Ofrecen un rendimiento óptimo y eficiente en la comunicación inalámbrica mediante la modulación de la luz.

Otros elementos necesarios: \$Z (Costo total estimado)

Descripción: Además de las lámparas LED, se requieren otros elementos para implementar de forma exitosa Li-Fi, como dispositivos de control, cables y conectores, entre otros.

Es importante tener en cuenta que estos costos son estimados y pueden variar según los proveedores y las condiciones del mercado. Asimismo, se recomienda realizar un análisis detallado de los requerimientos específicos de cada implementación para obtener un presupuesto preciso.

Tabla 9. Lista de materiales y precios para el establecimiento de la propuesta de red comunicacional con tecnología Li-Fi

Rubros	Unidad	Cantidad	Precio unitario(\$)	Costototal (\$)
Led driver	Unidad	7	17.25	120.75
Luminaria led Philips Green Space Power 2 DN284 / DN285	Unidad	7	15.00	105.00
Modulo receptor infrarrojo ky-022	Unidad	5	5.20	26.00
Cable UTP cat 6 50	Metro	50	0.60	30.00
Conectores rj45	Unidad	20	1.30	26.00
Router Li-Fi	Unidad	1	326.75	326.75
TP-Link 16 Port Gigabit Ethernet NetworkSwitch (TL-SG116)	Unidad	1	60.80	60.80
Canaletas	Metro	50	1.20	60.00
Total				755.30

Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

Para implementar una red de comunicación Li-Fi en hogares básicos del centro de la ciudad de Guayaquil, se requeriría una inversión en materiales estimada en aproximadamente \$755.30 por cada vivienda. Es importante tener en cuenta que este valor no incluye los costos asociados a la mano de obra requerida. Sin embargo, es posible reducir los costos al adquirir los equipos al por mayor o importarlos.

Un aspecto fundamental para lograr una instalación exitosa de la red de comunicación Li-Fi es contar con personal capacitado para ubicar cada uno de los componentes en los lugares indicados, siguiendo las pautas establecidas por la tecnología previamente analizada. Esto implica la instalación de las lámparas, la conexión de los equipos eléctricos y la instalación de los adaptadores necesarios.

Tabla 10. Recursos humanos necesarios para el establecimiento de una red comunicacional con tecnología Li-Fi

Rubros	Unidad	Cantidad	Precio unitario (\$)	Costo total(\$)
Ingeniero del proyecto	Personal	1	800.00	800.00
Técnicos	Personal	2	450.00	900.00
Total				1700.00

Elaborado por: Robert Jair Moreno Ruíz

El costo total estimado, que incluye tanto materiales como mano de obra, para implementar la red de comunicación Li-Fi en una vivienda básica del centro de Guayaquil asciende a \$2455.30. Es importante tener en cuenta que el costo puede variar dependiendo de la cantidad de dispositivos instalados. Además, es posible reutilizar algunos materiales sobrantes en futuras instalaciones en otras viviendas del sector, lo que contribuiría a reducir los costos. La decisión final sobre la viabilidad financiera del proyecto recae en la persona encargada de su ejecución, considerando las múltiples ventajas que ofrece la implementación de esta tecnología.

CONCLUSIONES

Aunque Li-Fi se destaca como una tecnología eficiente, rápida y rentable, todavía hay áreas que requieren mayor investigación y desarrollo antes de obtener una solución totalmente flexible. Con el aumento de la demanda de datos de alta velocidad, diversas tecnologías inalámbricas están evolucionando y emergiendo. En este sentido, Li-Fi tiene un gran potencial debido a su eficiencia y bajo costo.

Los beneficios ofrecidos por Li-Fi son significativos. Sin embargo, esto no implica que Wi-Fi sea menos importante, ya que ha desempeñado un papel fundamental en la mejora de la calidad de vida al permitir una comunicación más rápida y mejorar las funciones sociales. A pesar de esto, Wi-Fi ha enfrentado ciertas limitaciones, como la congestión, interferencia con otras funciones y saturación del ancho de banda, lo que claramente muestra sus deficiencias como tecnología.

Debido a la disponibilidad generalizada de productos estandarizados, la tecnología inalámbrica Wi-Fi es ampliamente accesible en el mundo actual. Sin embargo, a medida que aumenta la demanda de servicios que requieren velocidades de datos más altas, su limitada velocidad de transmisión es una limitación significativa. Por lo tanto, se reconoce que Li-Fi ofrece ventajas significativas, especialmente en términos de velocidad de transmisión.

RECOMENDACIONES

En la actualidad, es importante tener en cuenta que Li-Fi no cuenta con la misma infraestructura que Wi-Fi, por lo que no se puede considerar como un reemplazo ideal, sino más bien como un complemento para mejorar la tecnología existente.

En un futuro cercano, se espera que la tecnología Li-Fi se implemente en Ecuador y otros países de Latinoamérica. Por lo tanto, es fundamental implementar los cambios necesarios en la infraestructura de conjuntos residenciales y corporativos, a fin de lograr una recepción óptima de esta red y una migración eficiente hacia esta tecnología.

Asimismo, es esencial que los proveedores de servicios de Internet estén equipados con los recursos necesarios para realizar una migración efectiva entre tecnologías, permitiendo que Li-Fi sea más eficiente y pueda trabajar con Wi-Fi y otras redes en el espectro de radiofrecuencia. Es esencial tener en cuenta esta evolución tecnológica y planificar cómo la Li-Fi se integrará adecuadamente en el ámbito de las comunicaciones inalámbricas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badeel, R., Subramaniam, S., Hanapi, Z., & Muhammed, A. (2021). A Review on LiFi Network Research: Open Issues, Applications and Future Directions. *Appl. Sci*, 1-35.
- Benalcázar, M. J., Cumbajin, O. D., & Rubio, J. B. (2020). Experimentación en un prototipo de tecnología Li -Fi para medir su capacidad de alcance en ambientes con luz artificial. *RECIAMUC*, 69-79.
- Carranza, P., & Lazo, E. (2019). Diseño de un sistema de gestión de la calidad para la empresa Luguensi E.I.R.L. *Universidad San Pedro. Chimbote – Perú. 128 p.*
- Choez, J. (2018). Estudio de factibilidad para la utilización de redes lifi a través de un laboratorio en las carreras de ingeniería en sistemas computacionales y tecnología de la información de la Universidad Estatal del Sur de Manabí. *Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa-Ecuador. 116 p.*
- Espin, R., Jaramillo, B., Montalvo, A., Yupa, C., & Vivas, N. (2022). Las tecnologías Power Line Communications y LiFi como una alternativa de acceso a Internet para las zonas rurales de Ecuador. *GEEKS* , 7-14.
- Gómez, F., & Chacha, A. (2017). Diseño e implementación de una red de comunicación a través de LiFi para comparar el rendimiento con la red WiFi para entornos cerrados. *Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 101 p.*
- Guevara, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento 4(3): 163-173.*
- Haas, H., Yin, L., Wang, Y., & Chen, C. (2016). What is LiFi? *Journal of Lightwave Technology*, 1533 – 1544.
- Idwan, H., & Syarifuddin. (2021). Analysis of Light Fidelity (LiFi) Network Implementation. *Jurnal Mantik*, 5(3), 1982-1987.
- López, M., & Maldonado, K. (2022). Internet a través de la luz luminosa con tecnología Li-Fi. *UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria 6(3): 119-126.*
- Miller, S. (2016). *Profesional Wifi Security*. New York: McGraw-Hill Networking.
- Moreno-Acero, I. (2017). La investigación social, un acercamiento a lo cotidiano. *Revista Electrónica de Investigación Educativa 19(4): 145-148.*
- Moreno-Iza, G. (2018). Prototipo de comunicación vía luz Li-Fi, para la transmisión de datos mediante un web service. *Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga-Ecuador. 62 p.*

- Naranjo, O., & Casilla, F. (2016). Estudio de factibilidad de la implementación de la tecnología Li-Fi en la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. *Universidad de Guayaquil. Guayaquil-Ecuador. 137 p.*
- Peñañiel, J. (2015). Análisis de la tecnología Li-Fi: Comunicaciones por luz visible como punto de acceso a internet, una alternativa a la transmisión de datos en las comunicaciones inalámbricas. *Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca. Cuenca-Ecuador. 104 p.*
- Perwej, Y. (2017). The Next Generation of Wireless Communication Using Li-Fi (Light Fidelity) Technology. *Journal of Computer Networks*, 20-29.
- Ponce, H., Cervantes, D., & Anguiano, B. (2021). Análisis de calidad de artículos educativos con diseños experimentales. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo 12(23): e03.*
- Reza, M. (2022). LiFi and Hybrid WiFi/LiFi Indoor Networking: From Theory to Practice. *Research Square*, 1-38.
- Shetty, A. (2016). A Comparative Study and Analysis on Li-Fi and Wi-Fi. *International Journal of Computer Applications*, 150(6), 43-48.
- Swami, K., & Moghe, A. (2020). A Review of LiFi Technology. *5th IEEE International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering*, 1-5.
- Wu, X., Dehghani, M., Zhou, L., Safari, M., & Haas, H. (2021). Hybrid LiFi and WiFi Networks: A Survey. *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, 23(2).
- Yarbrough, P., Welker, T., Silva, D., Islam, R., & Vardhan, V. (2022). Analyzing Li-Fi Communication Benefits Compared to Wi-Fi. *Int. J. Communications, Network and System Sciences*, 15, 67-77.
- Smith, J. (2010). Wireless Security Protocols: WEP, WPA, and WPA2. *Journal of Network Security*, 8(2), 45-58.
- Johnson, R. (2012). Enhancing Wi-Fi Security Using WPA2-PSK. *International Journal of Computer Networks and Communications Security*, 2(4), 128-134.
- Brown, A. (2015). Comparison of WPA and WPA2 Security in Wireless Networks. *International Journal of Computer Science and Information Security*, 13(4), 24-30

ANEXOS

Anexo 1. Encuesta a profesionales

P1. ¿La tecnología Li-Fi mejoraría significativamente la transmisión de datos en comparación con Wi-Fi?

- a) De acuerdo
- b) Medianamente de acuerdo
- c) Desacuerdo

P2. ¿Cree usted que las personas que viven en el centro de la ciudad de Guayaquil se beneficiarían del uso de Li-Fi para satisfacer sus necesidades de navegación, trabajo y estudio en línea?

- a) De acuerdo
- b) Medianamente de acuerdo
- c) Desacuerdo

P3. ¿Cree que una implementación de tecnología Li-Fi permitiría conectar más dispositivos a la red sin causar latencia o pérdidas?

- a) De acuerdo
- b) Medianamente de acuerdo
- c) Desacuerdo

P4. ¿Cree que hacer uso de la transmisión de datos inalámbricos a través de la luz podría ser un modelo de negocio rentable?

- a) De acuerdo
- b) Medianamente de acuerdo
- c) Desacuerdo

P5. ¿Cree que el uso de dos recursos, como la luz eléctrica y la transmisión de datos, reduciría los costos?

- a) De acuerdo
- b) Medianamente de acuerdo
- c) Desacuerdo

P6. ¿Cree usted que el sistema se vería afectado por la combinación de transmisión de datos y recursos eléctricos?

- a) De acuerdo
- b) Medianamente de acuerdo
- c) Desacuerdo

P7. Considerando que la comunicación por luz visible no traspasa las paredes, ¿la tecnología Light Fidelity ayudaría mucho en la seguridad de la información?

- a) De acuerdo
- b) Medianamente de acuerdo
- c) Desacuerdo