



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Análisis y estudio del uso de la tecnología Li-Fi en sistemas de
reproducción multimedia mediante streaming para la utilización a
mediano plazo en el Ecuador**

AUTORA:

Rosero Torres, Vanessa Nicole

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

M. Sc. Bohórquez Heras, Daniel Bayardo

Guayaquil, Ecuador

5 de marzo del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por
Rosero Torres, Vanessa Nicole como requerimiento para la obtención del
título de **INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

M. Sc. Bohórquez Heras, Daniel Bayardo

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 5 días del mes de marzo del año 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Rosero Torres, Vanessa Nicole**

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación “**Análisis y estudio del uso de la tecnología Li-Fi en sistemas de reproducción multimedia mediante streaming para la utilización a mediano plazo en el Ecuador**” previo a la obtención del Título de **Ingeniera en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 5 días del mes de Marzo del año 2018

EL AUTOR

ROSETO TORRES, VANESSA NICOLE



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Rosero Torres, Vanessa Nicole**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Análisis y estudio del uso de la tecnología Li-Fi en sistemas de reproducción multimedia mediante streaming para la utilización a mediano plazo en el Ecuador”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 5 días del mes de Marzo del año 2018

EL AUTOR

ROSERO TORRES, VANESSA NICOLE

REPORTE DE URKUND

The screenshot displays the URKUND web interface. At the top, the browser address bar shows the URL: <https://secure.orkund.com/view/35163715-576450-2208154q1bKjVayrYw1LfwitVko5MztdMyOvOcsrOvbyOomMwMOQzMTUOMjEzMQYzctWotWob>. The interface includes a navigation bar with 'URKUND' and a 'Lista de fuentes' (List of sources) panel on the right. The document details on the left are as follows:

- Documento:** Rosero_Vanessa_TI_Final.docx (095748727)
- Presentado:** 2018-02-19 10:37 (-05:00)
- Presentado por:** orlando.phico77@gmail.com
- Recibido:** orlando.phico.ucsg@analysis.orkund.com
- Mensaje:** Fwd: Trabajo de Titulacion - urkund [Mostrar el mensaje completo](#)

A progress indicator shows that 3% of the 50 pages are composed of text from 1 source. The 'Lista de fuentes' panel lists the following sources:

- [https://www.researchgate.net/publication/312410810_Li-Fi_\(light_Fidelity\)_the_fu](https://www.researchgate.net/publication/312410810_Li-Fi_(light_Fidelity)_the_fu) (100%)
- https://en.m.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11 (100%)

The bottom section of the page contains the following information:

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA: Análisis y estudio del uso de la tecnología Li-Fi en sistemas de reproducción multimedia mediante streaming para la utilización a mediano plazo en el Ecuador

AUTORA: Rosero Torres, Vanessa Nicole

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR: M. Sc. Bohórquez Heras, Daniel Bayardo

Guayaquil, Ecuador

AGRADECIMIENTO

A mi madre, Martha Torres, mi mejor ejemplo de superación, la que siempre me demostró que puedes ser profesional, ama de casa, esposa, maestra, madre, consejera, mejor amiga y mucho más, todo al mismo tiempo. Una grandiosa mujer que, a pesar de ver a su pequeña convertida en una adulta, siempre tendrá más lecciones de vida por enseñarme.

A mi padre, Milton Rosero, porque el sustento económico para los estudios siempre fue la prioridad en su vida para el desarrollo profesional y personal de su única y querida "niña preciosa".

A mi amado novio, Kirk Freire, quien, cuando sentía deseos de renunciar, siempre encontró mil y un formas de motivarme a continuar en este arduo camino con enfoque a un futuro prometedor juntos.

A mis profesores. Sus conocimientos combinados con sus inigualables anécdotas personales me ayudaron a adquirir la experiencia con la que cuento ahora. Sus consejos los llevaré en mi memoria a lo largo de mi vida profesional.

A mis queridos abuelos, ya que su insistencia por verme con una toga y birrete fue una involuntaria motivación para culminar mis estudios y ver una sonrisa iluminando sus rostros.

Y al ser más importante, a Dios, por darme esta grandiosa oportunidad y poner a todas estas personas tan importantes en mi vida.

EL AUTOR

ROSETO TORRES, VANESSA NICOLE



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ING. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS, M. Sc
DECANO

f. _____

ING. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO, M. Sc
COORDINADOR DE TITULACIÓN

f. _____

ING. VÉLEZ TÁCURI, EFRAIN, M. Sc
OPONENTE

Índice General

Índice de Figuras	X
Índice de Tablas	XI
Resumen.....	XII
Abstract.....	XIII
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Definición del Problema.....	3
1.4. Justificación del Problema.....	4
1.5. Objetivos del Problema de Investigación.....	4
1.5.1. Objetivo General.....	4
1.5.2. Objetivos Específicos.....	4
1.6. Hipótesis.....	5
1.7. Metodología de Investigación.....	5
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
2.1. Redes inalámbricas	6
2.1.1 Estándares de redes inalámbricas para corto y mediano alcance determinados por IEEE.....	7
2.1.2 Clasificación de redes inalámbricas según su rango de cobertura	13
2.1.3 Tecnologías de red inalámbrica más utilizadas.....	18
2.2. Tecnología Li-Fi	23
2.2.1 VLC	25
2.2.2 Componentes de transmisión y recepción de Li-Fi	26
2.2.3 Principios de funcionamiento de Li-Fi.....	28
2.2.4 Técnicas de Modulación y Demodulación de Li-Fi.....	30
2.2.5 Características de Li-Fi.....	34
2.2.6 Aplicaciones de Li-Fi.....	37

2.3.	Streaming.....	40
2.3.1	Arquitectura de streaming.....	41
2.3.2	Protocolos de streaming.....	48
2.3.3	Servicios ofrecidos a través de streaming.....	52
2.3.4	Formatos usados para reproducción de streaming.....	56
CAPÍTULO 3: ESTUDIO TÉCNICO PARA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍA LI-FI EN EL USO DE STREAMING EN ECUADOR..		59
3.1.	Actualidad de las redes inalámbricas y plataformas streaming de mayor demanda en Ecuador.....	59
3.2	Análisis de encuestas sobre uso de streaming.....	62
3.2.1	Entretenimiento preferencial.....	63
3.2.2	Calidad de video vía streaming.....	64
3.2.3	Ancho de banda promedio.....	66
3.2.4	Costo de planes de internet.....	67
3.2.5	Plataformas streaming más utilizadas.....	68
3.3	Factibilidad técnica para la implementación de Li-Fi en hogares y empresas.....	69
3.3.1	Cálculo del flujo luminoso total necesario en un área determinada.....	69
3.3.2	Cálculo del número de luminarias.....	70
3.3.3	Cálculo del coeficiente de utilización (C_u).....	71
3.3.4	Emplazamiento de las luminarias.....	75
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		78
4.1	Conclusiones.....	78
4.2	Recomendaciones.....	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		80
ANEXOS.....		85

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2.1: Tipos de redes inalámbricas ordenadas por su cobertura.....	14
Figura 2.2: Diagrama de una infraestructura BSS.	16
Figura 2.3: Pila de protocolos de Bluetooth.	19
Figura 2.4: Pila de protocolos del estándar 802.16.....	21
Figura 2.5: Pila de protocolos del estándar 802.11.....	23
Figura 2.6: Ubicación de la luz visible y las frecuencias de RF en el espectro electromagnético.	25
Figura 2.7: Chip transmisor y receptor de Li-Fi desarrollados dentro del proyecto UP-VLC.....	27
Figura 2.8: Esquema de funcionamiento de la tecnología Li-Fi.....	29
Figura 2.9: Técnicas de modulación de Li-Fi.	31
Figura 2.10: Arquitectura de streaming.	42

Capítulo 3

Figura 3.1: Estadística de pregunta 1.	64
Figura 3.2: Estadística de pregunta 2.	65
Figura 3.3: Estadística de pregunta 3.	66
Figura 3.4: Estadística de pregunta 4.	67
Figura 3.5: Estadística de pregunta 5.	68
Figura 3.6: Esquema de distribución de luminarias.	76

Índice de Tablas

Capítulo 2

Tabla 2.1: Cambios en las actualizaciones de 802.11..... 8

Tabla 2.2: Características de diferentes tecnologías de streaming. 48

Capítulo 3

Tabla 3.1: Proyección de población por años. 61

Tabla 3.2: Requisitos de iluminación para oficinas según la norma europea sobre iluminación de interiores..... 71

Tabla 3.3: Fórmulas para hallar el índice del local..... 72

Tabla 3.4: Coeficiente de reflexión de materiales y pinturas utilizadas en un inmueble. 73

Tabla 3.5: Coeficiente de mantenimiento proporcionado por el fabricante. . 74

Resumen

En la actualidad, el Internet se ha convertido en un servicio de primera necesidad que otorga libre acceso a diferentes tipos de contenido, donde se encuentra una variedad de tipos de multimedia a través de streaming, permitiendo que este tienda a convertirse en uno de los mercados más solicitado al distribuir películas, series y videos bajo demanda. Debido a la aparición de resoluciones de última generación para este contenido, es necesario que los usuarios cuenten con un ancho de banda apropiado que puede ser proporcionado por redes cableadas mas no por las redes inalámbricas actualmente disponibles, las cuales son las más utilizadas por las personas debido a su movilidad. En el presente trabajo se pretende plantear a la tecnología Li-Fi (Light Fidelity) como una opción fiable para ofrecer el ancho de banda deseado para los servicios de streaming en comparación con las tecnologías de redes inalámbricas que son más empleadas en Ecuador para uso residencial y corporativo; para esto se realiza un estudio del funcionamiento de esta nueva tecnología aplicable a nivel nacional describiendo los beneficios que puede brindar, donde resalta su alta velocidad para reproducir contenido multimedia a través de una infinidad de plataformas y sitios web que ofrezcan acceso vía streaming con calidad de video de última generación.

Palabras claves: LI-FI, REDES, COMUNICACIONES INALÁMBRICAS, TRANSMISIÓN, STREAMING, MULTIMEDIA.

Abstract

Currently, the internet has become a service of first necessity that grants free access to different types of content, where a variety of types of multimedia are found through streaming, allowing it to become one of the most requested markets when distributing movies, series and videos on demand. Due to the appearance of last generation resolutions for this content, it is necessary that users have an appropriate bandwidth that can be provided by wired networks but not by the wireless networks currently available, which are the most used by people due to its mobility. In the present work we intend to propose Li-Fi (Light Fidelity) technology as a reliable option to offer the desired bandwidth for streaming services compared to the wireless network technologies that are most used in Ecuador for residential and corporate use. For this purpose, a study of the functionality of this new technology applicable at a national level is being made, describing the benefits it can offer, highlighting its high speed to play multimedia content through an infinity of platforms and websites that offer access via streaming with last generation quality video.

Keywords: LI-FI, NETWORKS, WIRELESS COMMUNICATIONS, TRANSMISSION, STREAMING, MULTIMEDIA.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción.

Ecuador actualmente es uno de los países en América Latina en el cual tiende a crecer la demanda de acceso a Internet, mayormente provocado por el incremento de dispositivos inteligentes y los bajos precios de adquisición del servicio antes mencionado, lo que tiene como consecuencia que otros servicios que basan su funcionamiento en el uso de Internet tengan mayor impacto en los usuarios entre 16 y 24 años que representa casi el 30% de la población nacional, donde el mercado de streaming terminará consolidándose a mediano plazo en el Ecuador.

Más allá del contenido que un usuario desea acceder en la gran nube de información conocida como Internet, éstos siendo música, videos, documentos electrónicos en masa, o cualquier tipo de contenido multimedia que se encuentre digitalizado, ya sea para un uso residencial o corporativo, se requiere un ancho de banda que sea suficientemente amplio para abastecer la demanda de acceso a esta información cuando está basado en streaming, el cual permite el traslado de un archivo en la computadora de un usuario desde un servidor sin la necesidad de descargarlo completamente ya que éste es almacenado en un buffer que se va llenando y vaciando de contenido según la cantidad en bytes del mismo.

Wi-Fi es la tecnología más utilizada en el caso planteado, sin embargo, con la evolución del servicio de streaming a lo largo de la última década, el contenido multimedia que actualmente presenta es de una calidad superior y más realista, considerando especialmente a streaming de video. Siendo así, la situación amerita una velocidad de transmisión y recepción que sobresalga al que ofrece este servicio inalámbrico vigente.

La tecnología Li-Fi se postula como una opción variante para cubrir la demanda de mayor ancho de banda y con velocidades que, con un mejor desarrollo, podrían llegar a 100 Gbit/s, además de ser un tipo de conexión

accesible ya que se caracteriza por transmitir información a través de LED que pueden ser fácilmente instaladas en zonas residenciales, corporativas, e incluso en exteriores.

1.2. Antecedentes.

Los usuarios que adquieren servicios multimedia mediante streaming buscan que el contenido específicamente de video sea proyectado en resoluciones de última generación como 1080p, 2K y 4K, conocidos como formatos Full HD y Ultra HD, ya que los dispositivos como ordenadores, smartphones, y mayormente los Smart TV que se comercializan actualmente permiten reproducir los formatos antes mencionados dando al usuario una percepción de total realismo en lo que ve y escucha. Sin embargo, para satisfacer esta demanda, se requiere un gran ancho de banda debido a la velocidad de bits y el gran tamaño de fotogramas que conforman la señal de los videos actuales para transmisión vía streaming.

Basados en los resultados de un estudio realizado por Weplan (aplicación gratuita que examina llamadas y conexiones que los usuarios realizan desde su teléfono móvil inteligente) en el año 2016 se determina que 93,5% de consumo de Internet en varios dispositivos inteligentes es realizado mediante la tecnología Wi-Fi, y esto se debe mayormente al ahorro económico en comparación a un plan de datos. Sin embargo, la contraparte de esta tecnología es su tasa de transmisión tanto para upload y download que es considerablemente baja en comparación con la velocidad recibida por medio de un enlace óptico, además que, al funcionar en el espectro de radiofrecuencia, se estima que las ondas electromagnéticas pueden ser perjudiciales para la salud de las personas.

1.3. Definición del Problema.

Dada el incremento de la demanda de los servicios mediante streaming por parte de los usuarios en los últimos años los proveedores de estos servicios incrementan sus catálogos multimedia disponibles así como la

resolución y calidad de los mismos, requiriendo para ello un gran ancho de banda que actualmente los proveedores de internet lo pueden ofrecer únicamente mediante la tecnología FTTH basados en el uso de la fibra óptica, y donde esta señal es repartida para uso residencial y corporativo mediante un dispositivo de distribución de Wi-Fi, pero a un costo bastante elevado para la realidad económica actual del Ecuador.

1.4. Justificación del Problema.

Con el análisis y estudio a realizar se busca plantear una solución alternativa mediante el uso de una tecnología basada en un sistema de comunicación inalámbrico a través de la luz visible utilizando un sistema de transmisión y recepción compuesto mayormente por LED. Esta tecnología es capaz de transmitir de forma binaria la información en un rango de frecuencia donde la luz es imperceptible para el ojo humano, y ofrece una tasa de transmisión mucho más alta y segura que la ofrecida por Wi-Fi.

1.5. Objetivos del Problema de Investigación.

1.5.1. Objetivo General.

Realizar un análisis de la tecnología Li-Fi para la transmisión de datos multimedia a través de streaming en el Ecuador.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Explicar el funcionamiento de Li-Fi y su correspondiente estandarización a nivel residencial y corporativo.
- Analizar la situación actual del uso de streaming mediante Wi-Fi y su viable migración a Li-Fi a mediano plazo.
- Determinar las falencias de las redes inalámbricas más utilizadas en contraparte con los beneficios que otorga la tecnología Li-Fi.
- Especificar los formatos más utilizados en los servicios que proporciona streaming y su requerimiento de mayor ancho de banda.

1.6. Hipótesis.

La hipótesis propuesta es que por medio del uso de Li-Fi se pueda contrarrestar las desventajas brindadas por Wi-Fi al momento de utilizar los servicios de streaming en formatos de audio y video de última generación sin la latencia que podría ser ocasionada por un ancho de banda inferior al recomendado para este tipo de transmisiones en tiempo real para su aplicación a mediano plazo en el Ecuador.

1.7. Metodología de Investigación.

Los métodos que se utilizaron en la siguiente investigación fueron el descriptivo, documental y analítico, debido a que se realizará un estudio de la tecnología Li-Fi para el uso de streaming, que será propuesto con la finalidad de comprender la demanda de este tipo de servicio y dar sustento para ofrecer una solución alternativa que permita acreditar o desacreditar la hipótesis planteada en base al problema que se busca solventar.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En este capítulo se presentan los fundamentos teóricos relacionados con las redes inalámbricas más utilizadas en el país, lo cual será de utilidad para exponer los distintos aspectos de la tecnología Li-Fi, desde sus principios de funcionamiento hasta sus aplicaciones más comunes, dentro de las cuales se incluye el servicio streaming. Este estudio conceptual permitirá desarrollar un análisis de los beneficios que acarrea esta tecnología en comparación a las demás redes inalámbricas existentes, y cómo puede ser ventajoso para un mejor uso de ese servicio.

2.1. Redes inalámbricas

Las redes inalámbricas han tenido una gran influencia e impacto en el mundo desde su primer uso. Éstas han seguido creciendo y su utilización ha aumentado significativamente ya que ahora los dispositivos pueden estar conectados a la red por completo, incluso si no se encuentran físicamente conectados a los cables.

Tiempo atrás, algunas personas pensaban que las redes cableadas eran mucho más rápidas y seguras que las redes inalámbricas. Pero las continuas mejoras que se han dado en los estándares y tecnologías de dichas redes han puesto en evidencia estas diferencias en términos de velocidad y seguridad.

Según National Centre for Technology in Education (2008) una red inalámbrica conecta varios ordenadores a través de tecnología de radio utilizando reglas de red estándar o protocolos, evitando el uso de cables para conectar estos equipos. Se puede instalar como una red única en un solar o en una edificación, y también se emplea para extender una red cableada existente en áreas donde dicho cableado sería demasiado complicado o muy costoso de implementar. Por lo tanto, la diferencia más indiscutible entre las redes inalámbricas y las redes cableadas es que éstas últimas dependen de alguna clase de cable para conectar las computadoras entre sí. En cambio una red inalámbrica no necesita de eso ya que pueden configurarse para ofrecer la misma funcionalidad de red que las redes por cable.

2.1.1 Estándares de redes inalámbricas para corto y mediano alcance determinados por IEEE

El Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, conocido por sus siglas en inglés IEEE, ha estandarizado las redes inalámbricas LAN (redes de área local), PAN (redes de área personal) y MAN (redes de área metropolitana) utilizando una serie de protocolos creados a finales del siglo pasado. Los siguientes estándares inalámbricos, los cuales buscan transportar voz, audio y video, además de datos, están enfocados en las tecnologías inalámbricas más utilizadas y actuales.

2.1.1.1 IEEE 802.11

El grupo de estándares IEEE 802.11 se orienta completamente en la normalización de Redes de Área Local Inalámbricas (WLAN) enfocándose en la capa física (PHY) y la capa de enlace, los cuales son los dos niveles más bajos del modelo OSI. Este estándar y sus respectivas modificaciones proporcionan una base para los productos de redes inalámbricas que utilizan Wi-Fi.

Su primera versión fue publicada en junio de 1997 y corregida en 1999, la cual “define el protocolo y la interconexión compatible del equipo de comunicación de datos a través del aire, radio o infrarrojo, en una red de área local (LAN)” (IEEE, 2012, p.4). El control de acceso al medio (MAC), perteneciente a la capa de enlace, permite la operación bajo el control de un punto de acceso, así como entre estaciones independientes. Este protocolo incluye servicios de asociación, reasociación y autenticación, un medio de cifrado/descifrado, y una función de coordinación de puntos para la transferencia de datos. Utilizaba la transmisión de microondas en la banda de frecuencias ISM (Industrial Scientific Medical) a 2,4 GHz y especificó dos velocidades de bits de 1 o 2 megabits por segundo (Mbit/s). Con los años publicaron 3 actualizaciones del estándar mostrados en la Tabla 2.1, en donde se incluyen renovaciones en las frecuencias y velocidades de transmisión utilizadas.

Tabla 2.1: Cambios en las actualizaciones de 802.11.

Protocolo	Frecuencia (GHz)	Velocidad de transmisión de datos (Mbit/s)
802.11-1997	2.4	1 y 2
802.11-2007	2.4 y 5	Mayor a 54
802.11-2012	2.4 y 5	Mayor a 50
802.11-2016	2.4, 5 y 60	Mayor a 6000

Fuente: IEEE (2016)

La primera renovación de la versión de 1999 fue aprobada en marzo de 2007 y publicada en junio del mismo año, la cual cuenta con 8 correcciones junto con el estándar básico, llamándose 802.11-2007. En marzo de 2012 se publicó un segundo estándar nombrado 802.11-2012 que incluía 10 correcciones, el estándar base 802.11-2007, y una reorganización de las cláusulas correspondientes. La última revisión que se hizo incorpora 5 modificaciones y las funciones de las capas de enlace y física fueron mejoradas, siendo esta versión conocida como IEEE 802.11-2016.

Existen varios estándares 802.11 encontrados en la capa física:

- **802.11a:** El estándar 802.11a fue publicado en septiembre de 1999. Utiliza el espectro de 5.15 a 5.25, 5.25-5.35 y 5.725-5.825 GHz. Contiene una cláusula que declara la capa física para un sistema de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM), el cual proporciona una LAN inalámbrica con capacidades de comunicación a una velocidad de datos de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbit/s y un ancho de banda de 20 MHz. El sistema usa 52 subportadoras moduladas mediante modulación de desplazamiento de fase binaria (Binary phase shift keying, BPSK) o en cuadratura (Quadrature phase-shift keying, QPSK), modulación de amplitud de 16 cuadraturas (QAM) o 64-QAM. Los productos con 802.11a se encuentran habitualmente en grandes redes corporativas o con proveedores de servicios inalámbricos de Internet en redes troncales externas. Los rangos interiores y exteriores para este estándar son de 35 m a 120 m.

- **802.11b:** En 1995, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) se encargó de asignar varias bandas de espectro inalámbrico para uso sin licencia. Ya que el estándar 802.11 lanzado en 1997 ahora está obsoleto, en septiembre de 1999 se ratificó el estándar 802.11b, el cual proporciona una velocidad de datos de 11 Mbit/s (con un respaldo de 5.5, 2 y 1 Mbit/s) en la banda ISM de 2.4 GHz y un ancho de banda de 22 MHz. Utiliza solo la técnica de modulación DSSS (Espectro Ensanchado por Secuencia Directa), pero es propenso a interferencias ya que el rango de frecuencias de 2.4GHz se encuentra atestada de portadoras. Los rangos interiores y exteriores para este estándar son de 35 m a 140 m.
- **802.11g:** El estándar 802.11g fue ratificado en junio de 2003 y admite con una velocidad de datos máxima de 54 Mbit/s en la banda ISM de 2.4 GHz, y opera con un ancho de banda de 20 MHz. “A medida que la potencia de la señal se debilita debido a una mayor distancia, atenuación o alto nivel de ruido, la velocidad de datos se ajusta automáticamente a velocidades más bajas (54/48/36/24/12/9/6 Mbit/s) para mantener la conexión” (AIR802, 2008, p.1). Emplea los esquemas de modulación OFDM o DSSS, y sus rangos interiores y exteriores son de 38 m a 140 m. El estándar 802.11g es compatible mutuamente con el estándar 802.11b, por lo tanto, muchos enrutadores permiten clientes mixtos 802.11b/g. Es por esto que este estándar continúa siendo frecuentemente implementado.
- **802.11n:** El estándar 802.11n comenzó a trabajarse desde el 2004 y finalmente fue ratificado en octubre de 2009. Este estándar emplea la técnica de modulación OFDM. A su vez utiliza múltiples antenas inalámbricas para transmitir y recibir datos con una tecnología de Múltiple Entrada Múltiple Salida (Multiple-input Multiple-output, MIMO). Esta tecnología se refiere a la capacidad para coordinar múltiples señales de radio simultáneas, utilizando así más potencia eléctrica. 802.11n emplea una técnica que aumenta el ancho de banda de 20

MHz a 40 MHz. Admite una velocidad de datos máxima de 300 Mbit/s, y sus rangos interiores y exteriores son de 75 m y 250 m respectivamente.

- **802.11ac:** El estándar 802.11ac fue lanzado en diciembre de 2013. Tiene una frecuencia de funcionamiento de 5 GHz, y varios anchos de banda de 20, 40, 80, 160 MHz. Sus rangos de tasas de transmisión corresponden a los anchos de banda antes mencionados, siendo “7.2 - 96.3 Mbit/s para 20 MHz, 15 – 200 Mbit/s para 40 MHz, 32.5 - 433.3 Mbit/s para 80 MHz, y 65 - 866.7 Mbit/s para 160 MHz” (Abdelrahman, Mustafa, & Osman, 2015, p.28). Utiliza la técnica de modulación MIMO multiusuario, la cual permite que un conjunto de usuarios, con una o más antenas, se comuniquen entre sí. Su rango interior es de 35 m, y en rango exterior no hay un máximo registrado.
- **802.11ad:** El estándar 802.11ad fue publicado en diciembre de 2012. Tiene un soporte para velocidades de datos de hasta 7 Gbit/s, el cual se divide entre portadora única, portadora única de baja potencia y tecnología OFDM. Este estándar hace uso de la banda de espectro inalámbrico sin licencia de 60 GHz, evitando las bandas saturadas de 2,4 GHz y 5 GHz. Algunas de sus ventajas es que es compatible mutuamente con los estándares 802.11a/b/g/n, y supera la interferencia durante la transmisión en tiempo real.

2.1.1.2 IEEE 802.15

Muchas aplicaciones de redes inalámbricas tienen exigencias de rango mucho menor a un área local o metropolitana, por ejemplo, conectar periféricos como PCs o PDAs (asistente digital personal) de forma inalámbrica a un dispositivo móvil o que éstos puedan comunicarse y operar uno con el otro. El estándar 802.15 se enfoca básicamente en el desarrollo de estándares para redes tipo WPAN o redes inalámbricas de área personal, las cuales ofrecen rangos de señal de 1 m a 100 m, y una diversidad de velocidades de datos. La IEEE definió este estándar para que exista la interoperabilidad entre

las WLAN y las redes PAN. Una WPAN ejecuta sus funciones con canales síncronos para telefonía de voz y canales asíncronos para comunicación de datos, así una variedad de aplicaciones y de dispositivos pueden trabajar dentro de una WPAN.

Dentro de este estándar existen 10 áreas principales de desarrollo, sin embargo, solo algunas se encuentran activas:

- **802.15.1:** El estándar IEEE 802.15.1 es la base de la tecnología de comunicación inalámbrica Bluetooth. Trabaja con topología en estrella, y se perfila como una solución de conectividad de corto alcance (menos de 100 metros), bajo costo y baja potencia para el ahorro de energía, y para ser utilizada en aparatos portátiles y electrónicos como teléfonos móviles, PDA, impresoras, teclados, etc. Bluetooth emplea la banda libre ISM alrededor del rango de frecuencias de 2,4 GHz. Combina las técnicas de Modulación por Desplazamiento de Fase (Phase Shift Keying, PSK) y Modulación por Desplazamiento de Frecuencia Gaussiana (Gaussian Frequency Shift Keying, GFSK), y utiliza una trama rápida de Duplexación por División de Tiempo (Time Division Duplex, TDD) para permitir comunicaciones full dúplex.

- **802.15.4:** El estándar IEEE 802.15.4 fue lanzado a principios de 2003. “Esta norma está diseñada para su implementación en sistemas de larga duración con bajos requisitos de velocidad de datos, donde los dispositivos deben funcionar de manera autónoma durante meses o incluso años sin cargar la batería” (Hackmann, 2006, p.4). Su tecnología complementaria es conocida como ZigBee, que proporciona funciones de interoperabilidad similares a Bluetooth.

El estándar define las capas RF, física y MAC para enlaces de red de bajo consumo y potencia, con un transceptor PSK capaz de velocidades de hasta 250 kbit/s. Utiliza 27 canales disponibles en tres bandas ISM de 800, 900 y 2400 MHz. Permite que las redes formen una topología de estrella de un salto o una topología de red de pares de varios saltos.

Este estándar define dos tipos de dispositivos físicos: el dispositivo de función completa (FFD) puede comunicarse con un dispositivo de función reducida (RFD) u otros FFD, pero el RFD solo puede hablar con un FFD.

- **802.15.7:** El estándar IEEE 802.15.7 fue lanzado en el 2011 originalmente para las redes LAN y MAN (redes de área metropolitana), y se aplica en las comunicaciones por luz visible (VLC) que son de corto alcance. Trabaja con las capas de enlace MAC y física (PHY) y tiene la capacidad de enviar velocidades de datos para soportar servicios multimedia.

Este estándar se adhiere a las normas de seguridad aplicables al ojo, y define el canal de 7 colores para la capa PHY la cual se divide en PHY I, PHYII, PHY III. Los dos primeros utilizan la tecnología Una Entrada Una Salida (Single-Input and Single-Output, SISO), junto con la Modulación Digital de Amplitud (On-Off Keying, OOK) y la Modulación por Posición de Pulso Variable (Variable pulse position modulation, VPPM). Por su parte, PHY III emplea la comunicación MIMO, con una Modulación por Desplazamiento de Color (Color-Shift Keying, CSK).

El protocolo de VLC soporta la comunicación de alta velocidad de datos de luz visible hasta 96 Mbit/s, y el canal dentro del mismo se define por diferentes colores de banda de onda de luz visible entre la longitud de onda de 375 nm y 780 nm. Este estándar contiene las bases para el estudio de la tecnología Li-Fi.

2.1.1.3 IEEE 802.16

El Estándar IEEE 802.16, completado en octubre de 2001 y publicado en abril de 2002, detalla la especificación de interfaz aérea WirelessMAN para redes de área metropolitana inalámbricas (WMAN). Con la llegada de esta norma se abre las puertas al acceso inalámbrico de banda ancha como un nuevo instrumento útil para vincular hogares

y empresas a redes de telecomunicaciones centrales en todo el mundo (Eklund, et al, 2012, p.98).

Tal como se define actualmente a través del Estándar IEEE 802.16, la tecnología WMAN proporciona acceso a la red a los edificios a través de antenas exteriores que se comunican con estaciones base. Su tecnología más conocida es WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access).

Esta norma fue diseñada para desarrollarse como un conjunto de interfaces aéreas que se basan en un protocolo MAC común incluyendo especificaciones de capa física que dependen del espectro de uso. Utilizan una banda de frecuencia que se divide en tres categorías: bandas con amplio espectro en todo el mundo de 10 a 66 GHz, bandas con licencia inferiores a 11 GHz, y bandas exentas de licencia menores a 11 GHz. Estos dos últimos se incluyen dentro de la modificación 802.16a publicada en el 2003.

Como los demás estándares, éste también tuvo sus cambios a lo largo de los años. Por ejemplo, se realizó una revisión a las modificaciones denominadas 802.16-2001, 802.16a-2003 y 802.16c-2002, y su resultado fue el estándar 802.16-2004; previo a su publicación se realizó una revisión en septiembre de 2003 llamada 802.16d para permitir la compatibilidad del estándar de HiperMAN BWA (Internet de banda ancha inalámbrica) aprobado por la ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Ese estándar se considera como una alternativa europea a WiMAX.

Con el tiempo se vio la necesidad de incorporar mejoras en funciones de diversas partes de la tecnología, así que se publicó el estándar 802.16e, también conocido como 802.16-2005, basándose en modificaciones al estándar original 802.16-2004.

2.1.2 Clasificación de redes inalámbricas según su rango de cobertura

Una red inalámbrica es una conexión que se da entre en la que dos o más terminales, sean estos ordenadores portátiles o un teléfono móvil, los cuales se pueden comunicar haciendo posible la transferencia de información

sin la necesidad de utilizar un medio físico de transmisión como una red cableada. Con esta familia de redes, un usuario puede mantenerse conectado mientras se encuentre dentro de una determinada área geográfica.

En la Figura 2.1 se observa los 4 rangos de cobertura de las redes inalámbricas: WWAN (Redes Inalámbricas de Área Extensa), WMAN (Redes Inalámbricas de Área Metropolitana), WLAN (Redes Inalámbricas de Área Local) y WPAN (Redes Inalámbricas de Área Personal); se especifica también el protocolo con el que trabaja cada una y las principales tecnologías en las que se enfocan.

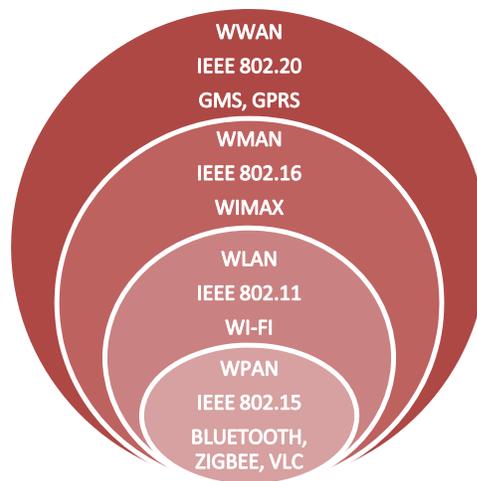


Figura 2.1: Tipos de redes inalámbricas ordenadas por su cobertura.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se detallará cada una de estas redes realizando un enfoque en las tres primeras, las cuales serán de utilidad para el análisis del trabajo.

2.1.2.1 Redes inalámbricas de área personal

En marzo de 1999, el Comité de Estándares de Redes de Área Local y Metropolitana, conocido como IEEE 802, fundó el Grupo de Trabajo del Proyecto 802.15 para redes inalámbricas de área personal (Wireless Personal Area Network, WPAN), el cual se encargaría de desarrollar estándares de comunicaciones para estas redes aplicadas en dispositivos informáticos

portátiles y móviles, entre los que se incluyen dispositivos de red, software y periféricos que son utilizados para mejores trabajos productivos y proporcionar entretenimiento. Este grupo de trabajo, también conocido como P802.15, se enfocó con otros grupos de interés especial como Bluetooth, dentro de un periodo de nueve meses después de su creación.

Las comunicaciones en una red de área personal (PAN) se limitan a una distancia de hasta 10 metros, partiendo desde una persona u objeto y repartiéndose en muchas direcciones envolviendo a dos o más objetos o personas, ya sea que se encuentren en un solo sitio o que estén en movimiento.

Una WPAN permite la comunicación de una cantidad de dispositivos de datos independiente por medio de un sistema inalámbrico de comunicaciones de datos ad hoc, o también llamada piconet. Ésta es una red inalámbrica que se crea de forma espontánea y discreta sin una infraestructura específica. Trabaja en un espacio y tiempo limitado, y ubica todos los dispositivos en igualdad de condiciones. Su extensión espacial y temporal limitada permite que crear y disolver la red sea sencillo y conveniente para usuarios que no tienen conocimientos técnicos sobre instalaciones de red.

WPAN se interesa en trabajar en la banda ISM a 2,4 GHz debido a su disponibilidad general en todo el mundo. Siendo capaces de operar en un área de hasta 10 metros de diámetro, la red PAN puede ampliar su alcance hasta llegar a 100 m para ser de utilidad en espacios mayores como en un entorno doméstico.

2.1.2.2 Redes inalámbricas de área local

Con la llegada de dispositivos portátiles a partir de la década de los 80, la gente quería acceder a Internet donde quiera que estuvieran, sea en aviones, automóviles, en el exterior o hasta dentro de su propia casa. Entonces se propuso conectarlos a Internet a través de un enlace de radio inalámbrico en lugar de usar cables: una red inalámbrica de área local (Wireless Local Area Network, WLAN). Este tipo de red ha sido ampliamente

desarrollada ya que permite movilidad y flexibilidad a las personas dentro de un área específica sin depender de cableado. Es así como el IEEE 802.11 se ha convertido en el protocolo que domina sobre las WLAN, destacándose la tecnología Wi-Fi.

Una WLAN vincula dos o más dispositivos utilizando un método de comunicación inalámbrico entre una estación móvil y al menos una estación fija. Este grupo de estaciones que se comunican entre sí se conoce como Basic Service Set (BSS), en donde la comunicación tiene lugar dentro de un área de servicio básico. Generalmente se encuentran tres tipos de BSS: redes independientes, redes de infraestructura y áreas de servicio extendido.



Figura 2.2: Diagrama de una infraestructura BSS.

Fuente: Elaboración propia.

La red más común en la práctica es la de infraestructura BSS, mostrada en la Figura 2.2, ya que ésta utiliza un Punto de Acceso (AP) que permite que haya comunicación entre nodos móviles en la misma área de servicio básico. Para que exista la comunicación entre dos estaciones la información realiza dos saltos comenzando en la primera estación hasta el AP y luego a la estación de destino.

Ya que WLAN permite la movilidad a los usuarios mientras comparten los recursos de la red dentro del área de servicio, esto se considera como una de las más importantes ventajas. Su flexibilidad e implementación rápida es también destacable puesto que su infraestructura es la misma ya sea que se encuentre conectado a uno o a varios usuarios, esto quiere decir que se admite una gran cantidad de dispositivos. La configuración de una WLAN es sencilla comparándose con las redes cableadas, y agregar un usuario a estas redes inalámbricas depende de una autorización que no requiere de mucho tiempo.

A pesar de las cualidades que presentan, estas redes son vulnerable a la interceptación externa, y es por esto que su seguridad debe ser mejorada a través del cifrado de datos. Para esto, “el estándar 802.11 incorpora criptografía de clave privada y utiliza un mensaje aleatorio de respuesta y desafío que confirma la integridad de cualquier computadora móvil” (ETHW, 2017, p.1). Por otro lado, las WLAN también se ven perjudicadas por interferencia inalámbrica que reduce la velocidad de transmisión de datos y afecta la estabilidad de la red.

2.1.2.3 Redes Inalámbricas De Área Metropolitana

Las redes inalámbricas de área metropolitana (Wireless Metropolitan Area Network, WMAN) están diseñadas para que su cobertura abarque ciudades enteras a través de cientos de kilómetros interconectado edificios, es por eso que se suele tratarlas como redes LAN extensas o redes WAN de menor tamaño permitiendo la conexión de un gran número de estas dos redes.

WiMAX es la tecnología más característica de las WMAN. Este estándar presenta una velocidad de transmisión superior a 75 Mbps, y admite una arquitectura punto a multipunto utilizando bandas de frecuencias encontradas entre los 2 GHz y 66 GHz.

Los endpoints del estándar correspondiente a WMAN son Estación base (BS) y Estación de abonado (SS). Las BS se encuentran situadas en el centro de los barrios donde proporcionan servicio de banda ancha a las SS.

En una tecnología WLAN equivalen a un punto de acceso Wi-Fi. Por otro lado las SS están ubicadas en el centro de los edificios para proporcionar multiplexación para el equipo de un abonado y su respectivo acceso a WAN de banda ancha. Esta estación equivale a un enrutador encontrado en un edificio comercial o un hub dentro de una casa.

Una WMAN puede sustituir a los cables digitales de alta capacidad o a la fibra óptica ya que provee un servicio rápido permitiendo a su vez que haya movilidad a los usuarios. Una ventaja muy destacada es que expande la WLAN pública, lo que implica que cubra todo un vecindario y permita que la banda ancha llegue a ciertas áreas que se encuentran desatendida (Land, 2010).

2.1.3 Tecnologías de red inalámbrica más utilizadas

Hoy en día es indispensable la necesidad de estar conectados con el mundo entero a través de Internet disponiendo de libertad de movimiento, ventaja que no puede ser brindada por las redes cableadas. Para esto surgen entonces las tecnologías inalámbricas, las cuales van teniendo un gran auge en velocidades de transmisión y permiten la conexión de usuarios existentes en distintos lugares del mundo,

Con los años se ha recurrido a muchas tecnologías inalámbricas al momento de transmitir datos, las cuales son elegidas de acuerdo a la aplicación que se necesite y el ancho de banda que pueden brindar.

2.1.3.1 Bluetooth

Su última versión, Bluetooth 5, contiene mejoradas opciones en donde se puede duplicar la velocidad (en Mbit/s) dependiendo del alcance, el rango aumenta cuatro veces más a expensas de la velocidad de datos, y se multiplica por ocho la capacidad de transmisión de datos.

Esta tecnología tiene como objetivo que las aplicaciones de distintos fabricantes puedan tener una comunicación fácil y fluida. Para esto existe una

pila de protocolos divididos entre protocolos específicos (propios de Bluetooth) y protocolos no específicos conocidos como “adoptados”.

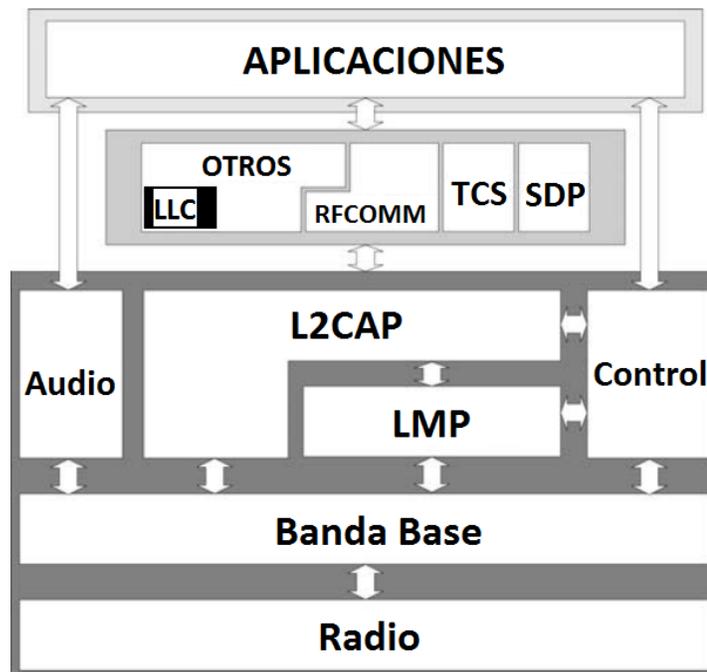


Figura 2.3: Pila de protocolos de Bluetooth.

Fuente: IEEE (2014).

La Figura 2.3 muestra la pila del protocolo Bluetooth, cuyo objetivo principal ha sido maximizar la reutilización de protocolos existentes para diferentes propósitos en las capas superiores. Esto también ayuda a adaptar aplicaciones existentes para trabajar con la tecnología inalámbrica Bluetooth y garantizar el funcionamiento sin problemas y la interoperabilidad de estas aplicaciones. Por lo tanto, muchas aplicaciones ya desarrolladas por los proveedores pueden aprovechar de inmediato los sistemas de hardware y software que cumplen con las especificaciones de esta tecnología.

Entre los protocolos específicos encontramos a Banda base, LMP (Protocolo de Gestión del Enlace), HCI (Interfaz de Control de Host), y L2CAP (Capa de Adaptación y Control de Enlace Lógico). Entre sus funciones se encuentra permitir enlaces físicos de radiofrecuencia entre dispositivos, así como autenticación, encriptación y acceso a contenidos de varias fuentes heterogéneas.

Por otro lado, los protocolos no específicos son prácticamente aplicaciones basadas en lo que nos aportan los protocolos anteriores. En este grupo se encuentra la capa LLC (Control de enlace lógico) que puede estar encapsulada dentro de los paquetes antes de ingresar a las capas inferiores de protocolos específicos; la capa RFCOMM (Comunicación por radio frecuencia) que es una capa de emulación de puerto serie para habilitar aplicaciones heredadas a través de enlaces Bluetooth; TCS (Protocolo de control de telefonía) que funciona como control de telefonía y señalización para aplicaciones de telefonía avanzadas; y la capa SDP (Protocolo de descubrimiento de servicio) que permite a los dispositivos Bluetooth solicitar a otros dispositivos los servicios que pueden proporcionar. Dentro del cuadro de "Otros" se incluyen el Protocolo de Intercambio de Objetos (OBEX), el Protocolo Punto a Punto (PPP), el Protocolo de Aplicación Inalámbrica (WAP), entre otros.

2.1.3.2 WiMAX

La tecnología WiMAX permite el crecimiento de la infraestructura en mercados desatendidos y se considera el medio más rentable de proporcionar un ancho de banda seguro y confiable capaz de soportar aplicaciones comerciales críticas en tiempo real para empresas e instituciones.

WiMAX puede operar a mayores velocidades de bits o en distancias más largas, pero no en ambas. Por ejemplo, si se opera en un rango máximo de 15 km eso aumentaría la tasa de errores de bits y da como resultado una tasa de bits mucho más baja. Por el contrario, si se reduce el alcance (1 km o menos) eso permitiría que un dispositivo funcione con velocidades de bits más altas. Aun así puede cubrir distancias muy amplias abarcando ciudades con un rango de 50 km (Borkar, 2012).

Al igual que todos los sistemas inalámbricos, el ancho de banda disponible se comparte entre los usuarios en un sector de radio determinado, por lo que el rendimiento podría deteriorarse en el caso de encontrarse muchos usuarios activos en un mismo sector. Sin embargo, con una planificación adecuada de la capacidad junto con el uso de un mecanismo de

QoS (Calidad de Servicio) de WiMAX basado en las conexiones entre la estación base y el dispositivo del usuario, se puede implementar un rendimiento efectivo garantizado para cada abonado.

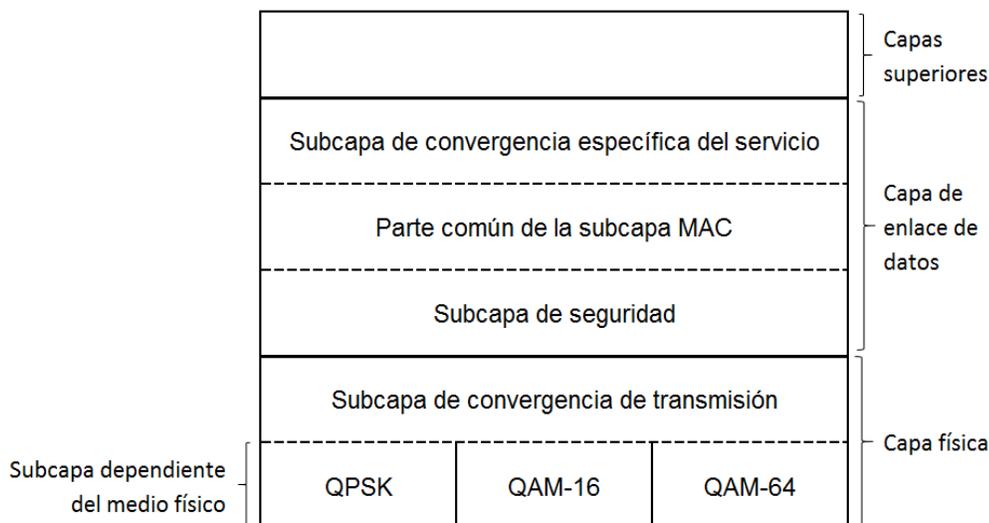


Figura 2.4: Pila de protocolos del estándar 802.16.

Fuente: Soto (2011).

La Figura 2.4 muestra la pila de protocolos del estándar 802.16 el cual encierra a la tecnología WiMax. La subcapa inferior tiene que ver con la transmisión. El radio de banda estrecha tradicional se utiliza con esquemas de modulación tradicionales. La capa de enlace de datos consta de tres subcapas, de las cuales la capa inferior se relaciona con la privacidad y seguridad de la información, esto es de mayor importancia para las redes externas públicas.

Esta tecnología define una capa MAC que soporta múltiples especificaciones de la capa física. Una de sus mayores características es que posee un sistema escalable para acoplarse con otras tecnologías, y cuenta con anchos de banda lo suficientemente flexibles para que se pueda utilizar en espectros bajo licencia (2.3GHz y 3.5 GHz) para transmisiones a larga distancia y los exentos de ella (5.8 GHz, 8 GHz y 10 GHz dependiendo de la región).

2.1.3.3 Wi-Fi

La tecnología relacionada a los estándares de IEEE 802.11 es Wi-Fi, la cual ha crecido rápidamente hasta convertirse en el estándar de LAN inalámbrica dominante. Los puntos de acceso a la red de área local conectan las computadoras de manera rápida y eficiente a los proveedores de servicios de Internet y a las LAN, respectivamente.

Wi-Fi (Wireless Fidelity) se refiere a una conexión por aire con un cliente inalámbrico y una base entre dos clientes inalámbricos, permitiendo a varios dispositivos enviar y recibir datos en interiores y exteriores, en cualquier lugar dentro del rango de una estación base.

Wi-Fi es más parecido a una red Ethernet tradicional y requiere configuración para establecer recursos compartidos y transmitir archivos. Debido a que opera en bandas de frecuencia sin licencia, cualquiera puede configurar una red Wi-Fi y cubrir un área típicamente de 100 metros. Utiliza las mismas frecuencias de radio que Bluetooth, pero con mayor potencia que da como resultado una conexión más fuerte. Proporciona conectividad de gran ancho de banda en un entorno LAN que es adecuado para la mayoría de las aplicaciones de datos.

La técnica de Acceso Múltiple Sensible a la Portadora (Carrier-Sense Multiple Access, CSMA) utilizada en el estándar de Wi-Fi proporciona un acceso justo y equitativo a todos los dispositivos. Es fundamentalmente un mecanismo que consiste de escuchar antes de hablar. La tasa de datos depende del rango de cobertura y utilización de los recursos de la red inalámbrica. Puede proporcionar una velocidad de datos de hasta 100 Mbps en un área limitada.

El Wi-Fi es más rentable en comparación con otras tecnologías inalámbricas debido a que existe mayor disponibilidad de sus productos en el mercado. Los datos se modulan por capa física usando modulaciones DQPSK y DBPSK para las velocidades de datos de 2 Mbps y 1 Mbps, respectivamente. La capa MAC proporciona una conexión lógica entre varias estaciones y determina cuándo se le permite a una estación transmitir y cuándo puede

recibir paquetes de datos a través del medio inalámbrico compartido. Esta capa es parte de la pila de protocolos del estándar perteneciente a esta tecnología, visualizado en la Figura 2.5.

Capa Superior					
LLC					
Subcapa MAC					
Infrarrojo	FHSS	DSSS	OFDM	HR DSSS	OFDM

Figura 2.5: Pila de protocolos del estándar 802.11.

Fuente: Shalini, Beniwal, & Sourabh (2016).

DSSS Y FHSS son técnicas de Espectro Ensanchado disponibles para las distintas versiones del estándar, de las cuales se prefiere la de Secuencia Directa (DSSS) en la modificación 802.11b ya que la de Saltos de Frecuencia (FHSS), utilizada en la versión base, no cumplía las regulaciones impuestas por la Comisión federal de comunicaciones FCC. La modulación OFDM se la puede encontrar desde la publicación del estándar 802.11a y 802.11g donde se propuso emplear la banda de 5 GHz y 2.4 GHz, respectivamente, para así alcanzar velocidades de hasta 54 Mbit/s. La capa LLC es propia para todos los estándares 802.

2.2. Tecnología Li-Fi

La transferencia de datos de un lugar a otro es una de las actividades más importantes del día a día. En la actualidad todo el mundo está interesado en usar su teléfono móvil y computadora portátil para comunicarse con otras personas a través de sistemas inalámbricos como Wi-Fi, y esta tecnología en especial se utiliza ampliamente en todas las áreas públicas tanto en interior como en el exterior.

Debido a la creciente demanda de comunicación de datos inalámbrica, el espectro de radio disponible por debajo de 10 GHz se ha vuelto insuficiente, trayendo como consecuencia que las redes inalámbricas actuales se vuelvan muy lentas cuando existan varios dispositivos conectados. A medida que aumenta el número de dispositivos que acceden a Internet, el ancho de banda fijo disponible hace que sea cada vez más difícil disfrutar de altas velocidades de transferencia de datos y conectarse a una red segura. Sin embargo, las ondas de radio son solo una pequeña parte del espectro disponible para la transferencia de datos.

Es por esto que la industria de la comunicación inalámbrica ha considerado el espectro de radio por encima de 10 GHz. Sin embargo, estas frecuencias altas implican un aumento de la pérdida de ruta y es por esto que los sistemas deben estar diseñados para mejorar la probabilidad de línea de vista (LoS) mediante el uso de técnicas de formación de haces y de reducción de celdas a 50 m de radio, una técnica ya comprobada al ser útil para un mejor rendimiento del sistema en las comunicaciones celulares actuales. Light Fidelity (Li-Fi) es una propuesta a la tendencia de moverse a frecuencias más altas en el espectro electromagnético.

Li-Fi utiliza diodos emisores de luz (LED) para la comunicación inalámbrica de alta velocidad, que varía en intensidad más rápido de lo que el ojo humano puede seguir. Emplea la luz visible como portadora de señal en lugar de la portadora de RF tradicional como en Wi-Fi, y se han demostrado velocidades de más de 3 Gbit/s de un solo micro diodo emisor de luz utilizando mayormente una modulación de corriente directa parcial OFDM (DCO – OFDM). Dado que existe un despliegue generalizado de iluminación LED en hogares, oficinas y alumbrado público debido a su eficiencia energética, existe un beneficio adicional para el despliegue celular de Li-Fi, ya que puede basarse en las infraestructuras de iluminación existentes.

La idea de esta tecnología fue presentada por un físico alemán experto en comunicaciones ópticas inalámbricas, Harald Haas, al que también se refirió como "datos a través de la iluminación". El término Li-Fi fue acuñado por Haas en su charla TED Global sobre Visible Light Communication,

demostrando cómo una bombilla de LED equipada con la tecnología de procesamiento de señal podría transmitir un video de alta definición a una computadora y mostró que una bombilla LED de un watt sería suficiente para proporcionar conectividad de red a cuatro computadoras. Según Haas, la luz, a la que se refirió como D-Light, se puede utilizar para producir velocidades de datos superiores a 10 Mbit/s, así que estableció una empresa privada llamada "Pure Visible Light Communication" para explotar esa tecnología.

Li-Fi puede desempeñar un papel importante en el alivio de las cargas pesadas que enfrentan los sistemas inalámbricos actuales, a la vez que puede proporcionar un futuro donde los datos para computadoras portátiles y teléfonos inteligentes se transmiten a través de la luz en una habitación de una manera segura.

2.2.1 VLC

En la actualidad existe un problema predominante en las comunicaciones inalámbricas: la falta de suficientes recursos de radiofrecuencia (RF). Hay una cantidad de tecnologías que brindan soluciones realistas y aplicables a este problema, y una de ellas es la transmisión de datos utilizando iluminación de luz visible, conocida como Visible Light Communication (VLC), y es la base para la tecnología Li-Fi.

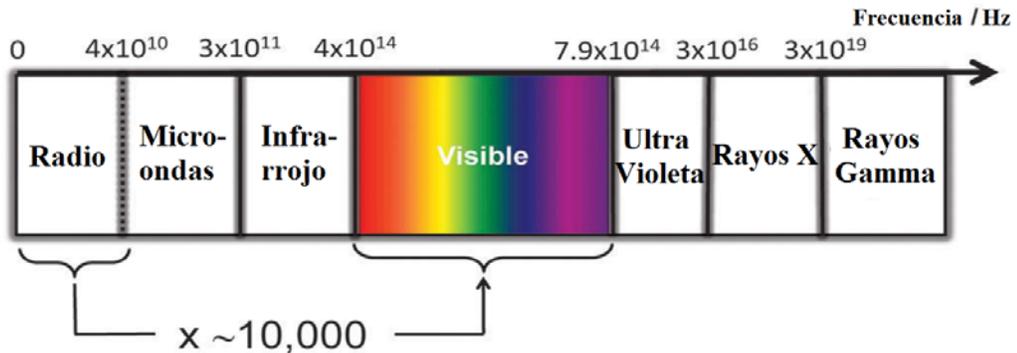


Figura 2.6: Ubicación de la luz visible y las frecuencias de RF en el espectro electromagnético.

Fuente: Egjam, et al (2015).

VLC es una tecnología de comunicación óptica que utiliza rayos de luz visibles, ubicados entre 400 y 800 THz, como un soporte óptico para la transmisión de datos por iluminación a través de pulsos rápidos de luz indetectables por el ojo humano. Este sistema se encuentra estandarizada dentro del Grupo de Trabajo de IEEE con respecto a las redes PAN (estándar IEEE 802.15.7). En la Figura 2.6 se ilustra la característica principal de VLC, que es proporcionar un amplio ancho de banda. El uso de la porción óptica del espectro propone garantizar un ancho de banda diez mil veces mayor del que se encuentra en las frecuencias de RF.

2.2.1.1 Comparación entre VLC y Li-Fi

VLC utiliza LED para transmitir datos de forma inalámbrica mediante el uso de la modulación de intensidad (IM). En el receptor, la señal se detecta mediante un fotodiodo (PD) mediante el uso del principio de detección directa (DD). VLC ha sido concebido como una técnica de comunicación de datos punto a punto, y su estandarización se está revisando para incluir la tecnología Li-Fi (Haas, et al., 2016).

Por el contrario, Li-Fi describe un sistema completo de redes inalámbricas a través de la comunicación multiusuario bidireccional, es decir, comunicación punto a multipunto y multipunto a punto. Este sistema también implica puntos de acceso múltiples para permitir la movilidad total del usuario y así formar una nueva capa dentro de las redes inalámbricas heterogéneas existentes.

2.2.2 Componentes de transmisión y recepción de Li-Fi

Una clave para la aceptación comercial de Li-Fi es la disponibilidad de tecnología de transceptores miniaturizados de bajo costo y potencia, así puede ser cómodamente utilizado en aplicaciones como el Internet de las Cosas (IoT), 5ta generación de sistemas celulares (5G), seguridad y defensa, comunicación subacuática e interconexiones inalámbricas en centros de

datos. Ya que Li-Fi basa su funcionamiento en el sistema VLC se puede afirmar que sus principales componentes son los siguientes:

a) un LED blanco de alto brillo que actúa como fuente de transmisión.

b) un fotodiodo de silicio con buena respuesta a la luz visible como elemento receptor.

El Consejo de Investigación de Ingeniería y Ciencias Físicas (Engineering and Physical Sciences Research Council, EPSRC) de Reino Unido ha desarrollado un chip transmisor y otro chip receptor, ambos formados por un circuito integrado de aplicación específica (Application-Specific Integrated Circuit, ASIC) que se basan en tecnología que utiliza un semiconductor complementario de óxido metálico (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor, CMOS). Los chips, mostrados en la Figura 2.7, tienen una medida de 3.3 x 3.3 cm², y son de utilidad para su estudio y uso en el desarrollo de Li-Fi como parte del proyecto “Comunicaciones de luz visible ultra-paralelas (Ultra-Parallel Visible Light Communications, UP-VLC)”.

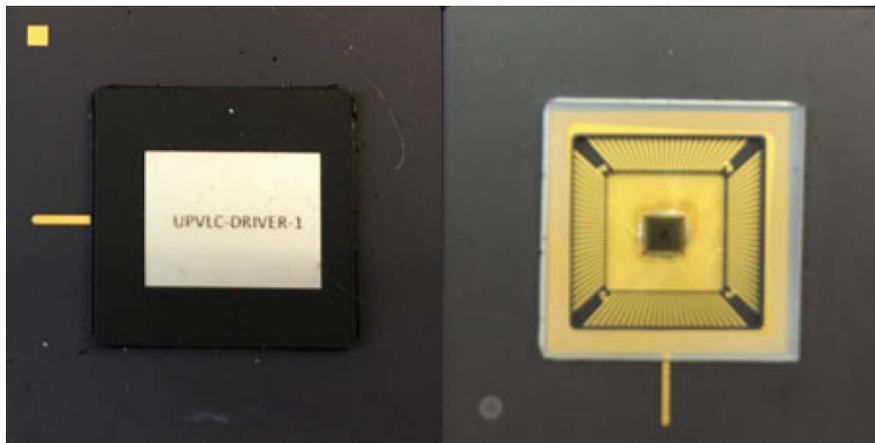


Figura 2.7: Chip transmisor y receptor de Li-Fi desarrollados dentro del proyecto UP-VLC.

Fuente: Haas, et al. (2016).

2.2.2.1 Transmisor

Los LED en el transmisor, siendo aquellos de alta velocidad, pueden encenderse y apagarse a una velocidad imperceptible por el ojo humano para

generar cadenas digitales de diferentes combinaciones de 1s y 0s, llegando a velocidades de comunicación superior a 100 Mbit/s a través de varias técnicas de multiplexación. Lo más óptimo es utilizar una matriz de LED para aumentar la velocidad de datos, y variando la velocidad de parpadeo de los LED se puede generar una nueva corriente de datos

El desarrollo del chip transmisor se basa en un convertor digital-analógico (DAC) que utiliza tecnología CMOS. Es capaz de controlar dos LED de colores diferentes a través de un disco óptico diferencial empleando dos ramas de dirección del DAC, para así duplicar el nivel de señal en comparación a cuando existe un enfoque hacia un solo extremo. El chip tiene cuatro canales separados capaces de conducir hasta dos LED que permitan una modulación CSK y un sistema de comunicación MIMO.

2.2.2.2 Receptor

Los sistemas Li-Fi se basan en el uso de la modulación de intensidad para una detección directa (IM/DD), y en consecuencia, la potencia de transmisión promedio es proporcional a la amplitud de la señal de transmisión. Para que se logre llegar a distancias razonables se requieren un dispositivo receptor basado en fotodiodos de avalancha (APD) ya que éstos cuentan con una sensibilidad suficientemente alta para conseguir una comunicación confiable.

Este chip receptor está compuesto por 49 detectores APD colocados en forma de matriz de 7x7 y conectados a un amplificador de transimpedancia integrado basado en una topología de realimentación con ganancia fija, alcanzando un ancho de banda de 90 MHz. Los APD que se encuentran fuera del núcleo central muestran sensibilidad a colores distintos.

2.2.3 Principios de funcionamiento de Li-Fi

Una nueva generación de diodos emisores de luz de alto brillo forma parte central de la tecnología de Li-Fi. Para su funcionamiento se necesita un emisor de luz en un extremo, que puede ser una matriz de LED, y un

fotodetector que actúa como sensor de luz en el otro. Los LED se pueden encender y apagar a una velocidad lo suficientemente sutil para que el ojo humano no los pueda detectar y da la apariencia de estar continuamente encendida, ya que la velocidad de operación de los LED es inferior a 1 μ s. Esta actividad invisible de encendido y apagado permite la transmisión de datos utilizando códigos binarios. Si el LED está encendido, se transmite un digital 1, y si el LED está apagado, se transmite un 0 digital. El fotodetector recibe la señal y la convierte nuevamente en datos originales. Debido a la gran cantidad de colores o longitudes de onda que se encuentran en el espectro de luz visible, muchos números de canales de Li-Fi están disponibles. Esto significa que se pueden transferir muchos datos simultáneamente usando múltiples canales; en la Figura 2.8 se identifica el proceso de envío, procesamiento y recepción de información procedente de un servidor mediante el uso de la tecnología Li-Fi.

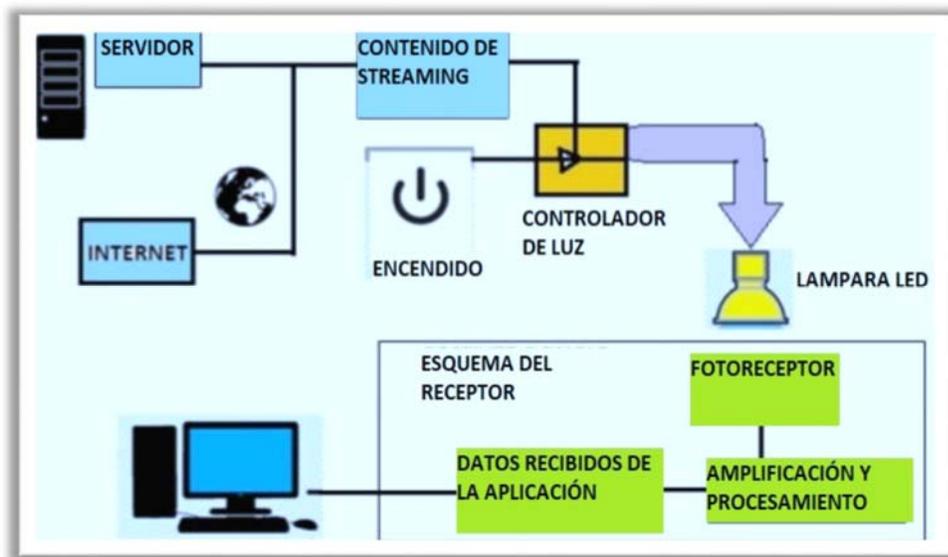


Figura 2.8: Esquema de funcionamiento de la tecnología Li-Fi.

Fuente: Sarkar, Agarwal, & Nath (2015).

El sistema de punto de acceso Li-Fi funciona mediante el uso de la iluminación existente en un solar y reemplazando las luces convencionales, con LED que sirvan como AP para esta tecnología. En una configuración típica, el transmisor estará conectado a la red de datos junto con un cable de

Ethernet que enviará señales a los dispositivos en la red y proporcionará iluminación para la habitación. La otra parte del AP que es el receptor recibe los datos a través de señales luminosas y los decodifica, que es entonces mostrado en el dispositivo conectado al receptor creando una conexión bidireccional full-dúplex, es decir, entre dos dispositivos Li-Fi al mismo tiempo.

Cuando el sistema arranca, se aplica una corriente constante a una bombilla LED y luego se emite una corriente constante de fotones que se denomina luz visible. Pero si la corriente se varía lentamente, la intensidad de salida de la luz se atenúa hacia arriba y hacia abajo.

2.2.4 Técnicas de Modulación y Demodulación de Li-Fi

Li-Fi también depende de la radiación electromagnética para la transmisión de información, y por eso, con modificaciones adecuadas, las técnicas de modulación generalmente utilizadas en la comunicación de RF son aplicadas de igual forma. Además, debido al uso de luz visible para la comunicación inalámbrica, Li-Fi también proporciona una serie de formatos de modulación únicos y específicos. Las técnicas de modulación con mayores eficiencias espectrales son elementos clave en el diseño de un sistema Li-Fi. En la Figura 2.9 se muestran las distintas técnicas de modulación que existen para esta tecnología.

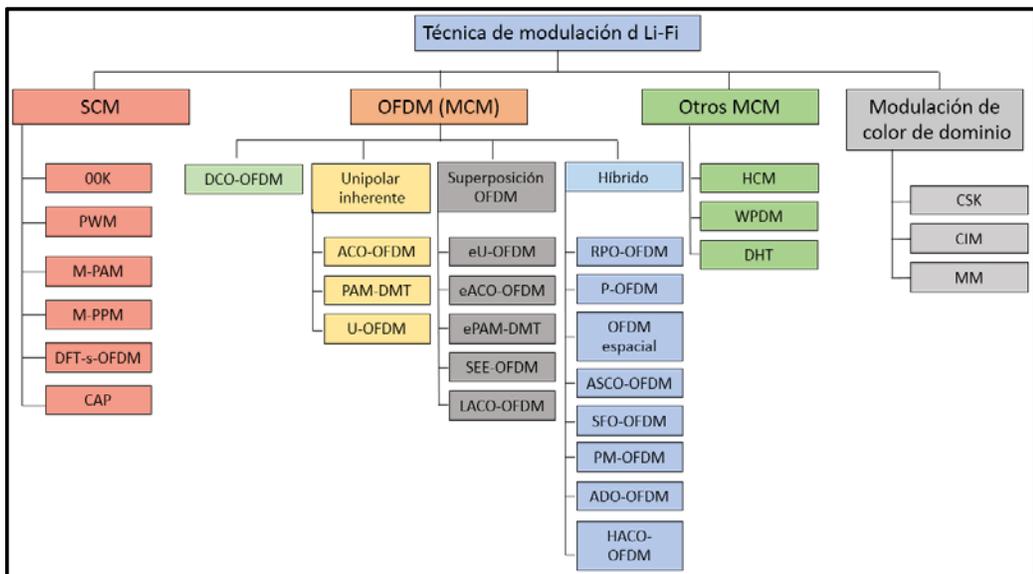


Figura 2.9: Técnicas de modulación de Li-Fi.

Fuente: Islim & Haas (2016).

2.2.4.1 Modulación de portadora única

Los esquemas SCM ampliamente utilizados para Li-Fi incluyen OOK, modulación por posición del pulso (Pulse Position Modulation, PPM) y modulación por amplitud del pulso (Pulse-Amplitude Modulation, PAM). OOK es uno de los esquemas de modulación más considerados dentro de esta categoría y, a pesar de la complejidad de su implementación, proporciona una buena compensación con el rendimiento del sistema. Se encarga del perfeccionando los niveles encendido y apagado secuencial del LED para transmitir datos, y así proporcionar soporte de atenuación. Este tipo de atenuación puede mantener la misma velocidad de datos, sin embargo, el rango de comunicación confiable disminuiría.

PPM es más eficiente en términos de energía comparado con OOK, pero tiene una menor eficiencia espectral. Su variante es VPPM, la cual puede proporcionar compatibilidad de atenuación al cambiar el ancho de los pulsos de señal, de acuerdo con un nivel de brillo específico. Por lo tanto, VPPM se puede ver como una combinación de PPM y modulación por ancho de pulso (Pulse-Width Modulation, PWM).

La Modulación espacial óptica, basada en el principio de modulación espacial, es un novedoso esquema SCM que demuestra ser eficiente tanto en potencia como en ancho de banda para la comunicación inalámbrica óptica en interiores. Como una variante de la modulación de amplitud en cuadratura (QAM) para sistemas de portadora única, la modulación de fase y amplitud sin portadora utiliza dos señales ortogonales, en lugar de las partes real e imaginaria del formato de señalización QAM, para transmisión de señal eficiente en el espectro en redes Li-Fi.

2.2.4.2 Modulación Multi-Portadora

A medida que se requiere un aumento en la velocidad de datos para las redes Li-Fi, los esquemas SCM comienzan a sufrir efectos no deseados

como distorsión de señal no lineal en el interfaz del emisor e interferencia causada por la selectividad de frecuencia en canales inalámbricos ópticos. MCM es la opción más óptima para la comunicación inalámbrica óptica de alta velocidad ya que es más eficiente en términos de ancho de banda pero menos eficiente en el consumo de energía.

OFDM es la modulación más común de MCM en redes Li-Fi, donde flujos de datos paralelos se transmiten simultáneamente a través de una colección de subportadoras ortogonales y se puede omitir la ecualización compleja. El uso de OFDM permite nuevas técnicas de carga de potencia en cada subportadora para que se logre un mejor rendimiento del sistema. Para implementar un modulador OFDM se necesita un bloque de transformada de Fourier discreto inverso, el cual puede realizarse utilizando la transformada rápida de Fourier inversa (Inverse fast Fourier transform, IFFT), seguida por un DAC. La señal OFDM generada por este proceso es compleja y bipolar, sin embargo, como la intensidad de la luz no puede ser negativa, la señal Li-Fi debe ser unipolar.

Se propusieron diferentes variantes de OFDM óptico para lograr una salida OFDM unipolar:

- DCO-OFDM utiliza un sesgo de corriente directa positiva para la generación de señal unipolar, lo cual hace que el consumo total de energía eléctrica aumente, pero no hay pérdida adicional de eficiencia espectral.
- OFDM óptico asimétricamente acortado (ACO-OFDM) es otro tipo de esquema de OFDM óptico más eficiente en energía que DCO-OFDM ya que solo requiere un pequeño sesgo de corriente continua. En este esquema las subportadoras impares se utilizan para la transmisión de datos y las subportadoras pares se establecen en cero; esto hace que su eficacia espectral se reduzca a la mitad.
- OFDM de corriente directa parcial asimétricamente acortado (ADO-OFDM) es una combinación de los dos sistemas antes mencionados,

donde DCO-OFDM se utiliza en las subportadoras pares y ACO-OFDM se usa en las impares. En ciertas ocasiones se evidencia que ADO-OFDM supera a los demás esquemas en el ámbito de eficiencia energética.

- OFDM óptico de polaridad inversa (RPO-OFDM) incorpora el soporte de atenuación en OFDM óptico. Este sistema combina la señal OFDM de alta velocidad con la señal PWM de baja velocidad, las cuales contribuyen a la iluminación general del LED. Como RPO-OFDM utiliza completamente el rango dinámico lineal del LED, la distorsión de señal no lineal se minimiza.
- Modulación multitono discreta PAM (PAM-DMT) es un esquema de modulación que recorta toda la señal negativa utilizando todas las subportadoras disponibles para la transmisión de información, pero solo las partes imaginarias de la señal se modulan en cada subportadora. De esta forma, la distorsión de la señal causada por el recorte asimétrico recae sobre el componente real, y es ortogonal a la señal portadora de información.
- OFDM óptico híbrido asimétrico (AHO-OFDM) es un esquema OFDM híbrido entre ACO-OFDM y PAM-DMT que utiliza subportadoras pares e impares para la transmisión de información. En este sistema la capacidad de atenuación está respaldada por una polarización de corriente continua y es capaz de asignar subportadoras a LED separados físicamente en una matriz para mitigar las distorsiones no lineales.
- Flip-OFDM y OFDM unipolar (U-OFDM) se presentan como una alternativa a ACO-OFDM ya que puede lograr un rendimiento de relación de error de bit (BER) comparable y eficiencia espectral. Del segundo se desprende OFDM unipolar mejorado (eU-OFDM), el cual permite una generación de señal unipolar sin pérdida de eficiencia espectral adicional.

2.2.4.3 Modulación específica de Li-Fi

Los transmisores Li-Fi pueden ser utilizados de forma dual para comunicación inalámbrica e iluminación. Para estas funciones se puede utilizar LED azules con recubrimiento de fósforo amarillo o mezclando LED de colores, lo cual permite proporcionar más posibilidades para la modulación y detección de señal.

La modulación CSK es un esquema descrito en el estándar IEEE 802.15.7, donde las señales se codifican en intensidades de color emitidas por LED rojos, verdes y azules (RGB). En CSK, los bits entrantes se asignan a las cromaticidades instantáneas de los LED de colores mientras se mantiene un color percibido constante. Dado que se garantiza un flujo luminoso constante, en CSK no habrá efecto de parpadeo en todas las frecuencias. Por otro lado, el flujo luminoso constante implica una corriente de conducción LED casi constante, lo que reduce la posible corriente de entrada en la modulación de la señal y esto hace que mejore la fiabilidad del LED (Haas, et al., 2016).

La modulación metamérica (MM) se desarrolló basándose en CSK, y puede lograr una mayor eficiencia energética y proporcionar un mayor control de la calidad del color. Sin embargo, requiere un LED verde adicional e independientemente controlado lo cual puede ser tomado como desventaja sobre otras modulaciones.

2.2.5 Características de Li-Fi

Li-Fi es ideal para cobertura de datos inalámbricos de alta densidad en áreas confinadas y para reducir problemas de interferencias de radio. Se infiere que con un mejor desarrollo podría llegar a presumir de velocidades de hasta 224 Gbit/s.

Sus características incluyen beneficios para la capacidad, eficiencia energética y seguridad de un sistema inalámbrico. La tecnología presenta una experiencia de usuario considerablemente similar a la del Wi-Fi, sin embargo

existen muchas características específicas que hacen que la tecnología Li-Fi sea única en el campo.

2.2.5.1 Ventajas

- El ancho de banda que utiliza es mucho más amplio dado que el espectro de luz visible es 10.000 veces más abundante en comparación con el espectro de RF, que actualmente es el más utilizado.
- Proporciona mucha seguridad a los usuarios debido a que las señales de Li-Fi no viajan a través de las paredes. Por lo tanto, si la luz no puede ser visualizada, no se podrá tener acceso a los datos.
- Cuenta con una velocidad de datos muy altas que puede alcanzar hasta 30 GB por minuto debido a la baja interferencia y a una salida óptica de alta intensidad. Esta velocidad de comunicación es más que suficiente para tener acceso a archivos multimedia a través de descargas o vía streaming en muy poco tiempo.
- Las innumerables bombillas existentes en todo el mundo solo necesitan ser reemplazadas por LED para transmitir datos, así cada dispositivo de iluminación sea luces para automóviles, luces de techo o farolas, sería un punto de acceso gratuito a datos. Esto ayudaría a reducir la arquitectura de costo para un punto de acceso.
- El sistema cuenta con un bajo costo debido al bajo precio de los LED y componentes digitales. El costo de instalación puede ser alto pero es compensado con un muy económico precio de mantenimiento.
- La iluminación del LED utilizado en Li-Fi es altamente eficiente porque consume menos energía, y la transmisión de datos no requiere energía adicional porque la mayor parte de la disipación de energía en los LED requiere poca cantidad de energía.

- Ya que la iluminación es un ámbito frecuente, casi natural, de la vida diaria, no hay problemas de salud asociados con su uso como medio de comunicación, es decir, no causa ningún efecto secundario dañino sobre ningún ser vivo, salvo en casos especiales donde exista intolerancia a la luz.
- Li-Fi puede ser de gran utilidad en carreteras para aplicaciones de control de tráfico, donde los automóviles pueden tener faros LED para comunicarse entre sí y evitar accidentes.

2.2.5.2 Desventajas

- Otras fuentes artificiales y naturales de luz, como la luz solar o bombillas normales, actúan como fuentes no moduladas en el receptor y crean interferencia que aumenta el ruido de disparo y podría causar la saturación del mismo. Para aminorar dicho ruido se puede utilizar la técnica de filtrado.
- La luz no puede pasar a través de los objetos y paredes, por lo que si el camino de transmisión se bloquea con materiales opacos, habrá interrupción inmediata en la comunicación.
- Para aplicar la tecnología Li-Fi las luces en distintos entornos deben estar necesariamente encendidas. Se puede lograr una transmisión de baja velocidad de datos haciendo que la luz emitida sea lo suficientemente baja para que no sea percibida por el ojo humano a través de chips LED infrarrojos en luminarias LED.
- Un enlace ascendente de luz visible (desde fotodiodo a luminaria LED) sería ineficiente para dispositivos portátiles que funcionan con baja potencia. Para esto se ha propuesto e investigado el uso de otros tipos de comunicación, donde la RF o el infrarrojo pueden usarse para transmitir datos de enlace ascendente.

- La velocidad de datos del enlace Li-Fi está limitada por el ancho de banda de modulación de los LED utilizados en artefactos de iluminación. Debido a la potencia de los LED que provee gran ancho de banda, las señales moduladas a altas frecuencias se atenúan fuertemente, por lo tanto, el ancho de banda de la modulación se limita a 2,5 MHz. El filtrado azul puede aumentar el ancho de banda de modulación hasta 20 MHz. Para lograr tasas de datos más altas se deben utilizar matrices de LED más pequeños y menos potentes o emplear la Multiplexación por división de longitud de onda (WDM) para transmitir flujos de datos independientes en LED de colores diferentes (Stevanovic, 2017).
- Para integrar un enlace descendente de Li-Fi, varias industrias deben trabajar juntas, como los fabricantes de iluminación para modificar apropiadamente la iluminaria, y los fabricantes de dispositivos móviles para instalar receptores de fotodiodos de alta velocidad en sus dispositivos. Estas nuevas integraciones suelen generar molestias tanto para las industrias como para los usuarios.

2.2.6 Aplicaciones de Li-Fi

El sistema Li-Fi encuentra una variedad de usos en muchos campos, desde el acceso a Internet en vías públicas haciendo uso de farolas en la calle, hasta lograr una comunicación entre automóviles a través de sus faros. Además, puede ser de utilidad en áreas como la medicina y el medio aéreo donde no es conveniente usar redes inalámbricas que trabajen en el espectro RF. A continuación, se enlistan algunas aplicaciones:

- **Seguridad:** Con la velocidad que trabaja Li-Fi es posible realizar una interconexión entre videocámaras de seguridad ubicadas en distintos sectores de la ciudad para transmitir los datos que se encuentren recopilando y enviarlos hacia las distintas autoridades, para que, en caso de existir algún percance, los servicios de emergencia puedan llegar al sitio requerido.

- **Gestión del tráfico:** Las farolas, señales de tráfico, y faros de automóviles están en transición a iluminación LED. Los semáforos pueden comunicarse entre ellos y con los autos para administrar el tráfico en la calle y reducir el número de accidentes. El semáforo puede desempeñar el papel del remitente de los datos para proporcionar información al automóvil sobre el estado de la carretera o sobre la situación de otros automóviles. También puede existir el intercambio de información entre los automóviles para alertar a los conductores cuando éstos se encuentren riesgosamente cerca de otros vehículos.
- **Gestión de desastres:** Li-Fi puede usarse como un poderoso medio de comunicación en momentos de desastre como terremotos o huracanes. Lugares como estaciones de metro y túneles que son zonas de conexión muerta para la mayoría de las comunicaciones de emergencia no representan una obstrucción para el Li-Fi.
- **Sistemas educativos:** Dado que Li-Fi puede proporcionar acceso a Internet de mayor velocidad, puede reemplazar a otras tecnologías en instituciones educativas y empresas. Las clases Smart se están convirtiendo en un imperativo para las escuelas y universidades, y Li-Fi proporciona numerosas ventajas para que exista una interconectividad en tiempo real entre varios dispositivos.
- **Navegación aérea:** Los pasajeros que viajan en aeronaves tienen acceso a Internet de baja velocidad a un ritmo muy elevado. Además en ciertos momentos se requiere apagar los teléfonos móviles para evitar la superposición de sus señales con las señales de navegación y control de los pilotos. Li-Fi se puede usar con seguridad para la transmisión de datos evitando estas interferencias por medio de las luces sobre los asientos o lámparas de lectura que existan en el avión.
- **Medicina:** Li-Fi podría usarse como alternativa en dispositivos médicos y hospitales, específicamente en lugares donde tecnologías de

radiofrecuencia estén prohibidas, porque afectarían el equipo médico, siendo éste el caso de ciertos quirófanos donde no debe existir ningún tipo de bloqueo de señal hacia los equipos de monitoreo. A través de una comunicación inalámbrica si interferencia se podría controlar cierta tecnología médica para utilizarse en cirugías robóticas y otros procedimientos automatizados.

- **Sistema para no videntes:** La navegación a través del interior de un inmueble debe ser un tema de suma importancia para las personas con discapacidad visual. La tecnología Li-Fi puede proporcionar un sistema de navegación para no videntes en donde las luces LED emiten datos de ubicación y son receptados por un Smartphone que comunica una ruta óptima por audio a través de un auricular.
- **Industrias y entornos sensibles:** Li-Fi proporciona una comunicación segura en plantas petroquímicas y de energía, ya que no causa interferencias electromagnéticas que puedan afectar el desempeño de las mismas. Estas industrias requieren integridad de la red y monitoreo constante, y Li-Fi podría ofrecer conectividad segura y abundante para todas las áreas de estos lugares sensibles.
- **Comunicaciones subacuáticas:** El uso de señales de RF no es práctico debido a la fuerte absorción de señal en el agua. Li-Fi proporciona una solución para comunicaciones subacuáticas de corto alcance. Como ejemplo de su utilidad, los submarinos podrían usar sus faros para comunicarse entre sí, procesar datos de manera autónoma y enviar sus hallazgos periódicamente a la superficie en vehículos operados a distancia bajo el agua. Esta aplicación está abierta también para operaciones militares.
- **Internet de las cosas:** IoT se refiere a las cosas o dispositivos empleados en la vida cotidiana que necesitan estar interconectados a internet, creando de cierta forma hogares y ciudades inteligentes. Li-Fi puede ser de apoyo para esta tecnología permitiendo una conexión

entre todos estos dispositivos, de forma sencilla y económica, a velocidades instantáneas.

- **Tecnologías de alta velocidad:** Li-Fi propone una tecnología de transferencia de datos inalámbrica rápida buscando competir con otras redes inalámbricas actualmente disponibles. Al ofrecer velocidades de transmisión efectivas de hasta 10 Gbit/s, pudiendo extenderse a varios 100 Gbit/s en el futuro, implica que se pueda realizar transferencias de archivos multimedia en cuestión de segundos. Resulta más beneficioso al tratarse del servicio de streaming ya que el usuario podría acceder al contenido de distintas plataformas y reproducirlos, sin necesidad de descargarlos, en la mejor calidad de audio y video que ofrezcan.

2.3. Streaming

Existen tres modos para la transmisión de contenido multimedia a través de Internet:

- **Modo de descarga:** se puede reproducir el archivo solo después de que esté completamente descargado desde un servidor a un dispositivo.
- **Modo de pseudo-streaming (descarga progresiva):** el contenido puede visualizarse segundos después de que se inicia la descarga dependiendo de la velocidad de conexión.
- **Modo de streaming:** el archivo no necesita descargarse, sino que se reproduce mientras se reciben y decodifican partes del contenido.

Tras el éxito de la radiodifusión y la transmisión televisiva, se llevaron a cabo investigaciones sobre cómo transmitir contenido en vivo a través de Internet hacia un ordenador. Los avances en las tecnologías de compresión de multimedia y la aceleración de la demanda del usuario han hecho que el desarrollo de la transmisión en tiempo real por Internet, principalmente de video, sea foco de atención a lo largo de los años.

Streaming es la única tecnología capaz de transmitir video y audio a través de Internet mientras están ocurriendo en el momento, es decir, en tiempo real, existiendo desde hace casi dos décadas. Para su desarrollo se lograron avances en algoritmos de compresión para audio y video, y para su difusión se alcanzaron mejoras en servidores de streaming y en redes de banda ancha. Un proveedor de servicio o contenido streaming requiere algunos equipos y modificaciones nuevas, como un servidor de streaming y un codificador/multiplexor. El costo de este equipo y el costo del ancho de banda de la red son a menudo obstáculos importantes al usar este servicio.

La mayoría de los sistemas de contenido streaming funcionan en el modelo cliente/servidor. Un cliente solicita datos de un servidor en una red informática, y el servidor entrega los datos. Los datos de audio y video del contenido están codificados en un formato especial que los reduce a un tamaño manejable. Una vez que el servidor entrega los datos, el cliente los puede reproducir como información visual o de audio.

Streaming se caracteriza por entregar contenido en vivo, como un partido de fútbol o un discurso político, sin ocupar espacio en el disco duro, a excepción tan solo de la URL y la configuración del usuario (volumen, tiempo del contenido, entre otros). Solo hace uso del ancho de banda de red exacto que realmente necesita. Si el contenido de transmisión excede la velocidad de conexión, como vídeos de calidades superiores, algunos paquetes de datos se pierden y el contenido puede romperse. Puede favorecerse del uso de enfoques de difusión y multidifusión (donde se puede enviar una transmisión a múltiples usuarios).

2.3.1 Arquitectura de streaming

Debido a su naturaleza en tiempo real, para realizar streaming, principalmente de video, los requisitos de ancho de banda, retraso y pérdida son muy altos.

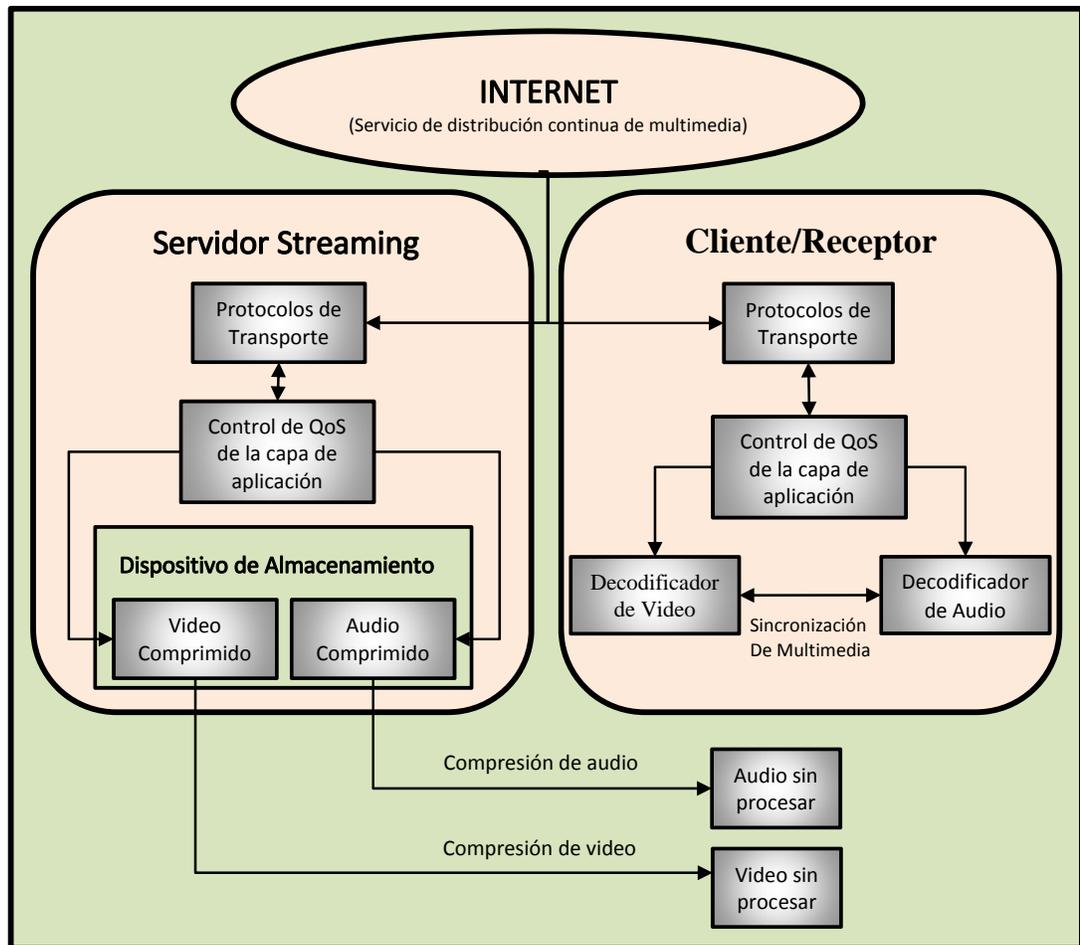


Figura 2.10: Arquitectura de streaming.

Fuente: Wu, et al. (2011).

La arquitectura de streaming cubre seis áreas clave mostradas en la Figura 2.10. El audio y video sin procesar son comprimidos a través de la función de compresión y codificación de audio/video, y luego son guardados en un dispositivo de almacenamiento. A petición del cliente, un servidor streaming recupera de los dispositivos de almacenamiento los datos de video y audio ya comprimidos, y luego el bloque de control de QoS de la capa de aplicación adapta los flujos de bits del contenido de acuerdo con el estado de la red y los requisitos de QoS. Después de la adaptación, los protocolos de transporte empaquetan los flujos de bits comprimidos y envían los paquetes multimedia a Internet. Para mejorar la calidad de la transmisión del contenido, los servicios de distribución continua de multimedia (almacenamiento en caché) se implementan en Internet. Los paquetes que llegan al receptor pasan

primero a través de las capas de transporte y luego son procesados por la capa de aplicación antes de decodificarse en sus respectivos decodificadores de audio y de video. Para lograr la sincronización entre presentaciones de video y audio, se requiere ciertos mecanismos de sincronización.

Las seis principales áreas que componen la arquitectura de streaming están estrechamente relacionadas y permiten un correcto funcionamiento de transmisión de contenido multimedia.

2.3.1.1 Compresión y codificación de multimedia

Para una transmisión efectiva, la velocidad de datos del contenido debe ser menor que la velocidad de conexión del usuario. Cuanto mayor es el nivel de compresión de los datos en internet, menor es la calidad subjetiva que se puede lograr. La calidad depende no solo de la velocidad de bits, sino también del contenido, la resolución de visualización, la velocidad de fotogramas y el algoritmo utilizado. Algunos compresores nos permiten configurar la tasa de datos objetivo la profundidad de color, la resolución de la imagen, la frecuencia de fotogramas y más. Los datos sin procesar deben ser comprimidos antes de la transmisión para lograr eficiencia.

Contenido como clips o películas se pueden transmitir desde el disco duro que posea el servidor. Para los eventos en vivo se necesita un broadcaster que recepta información a través de una cámara o micrófono, comprime esta información para transmitir a la velocidad de datos deseada y crea una transmisión de audio y video en tiempo real. Para transmitir a través de Internet, una emisora debe reenviar su salida a un servidor streaming que normalmente se encuentra cerca de la red troncal de Internet.

Existen ciertos requisitos impuestos por las aplicaciones streaming en un codificador y decodificador de video:

- **Ancho de banda:** los métodos de red inalámbrica actuales no proporcionan suficiente ancho de banda para soportar streaming de excelente calidad. Para streaming de video, el control de la congestión

toma la forma de control de velocidad, adaptando la velocidad de envío al ancho de banda disponible en la red.

- **Retraso:** si un paquete de video no llega a tiempo, el proceso de reproducción se detendrá. Un paquete de video que llega más allá de su límite de retardo es inútil y puede considerarse como perdido. Para proporcionar una emisión continua, generalmente se introduce un búfer en el receptor antes de la decodificación.
- **Pérdida:** ya que la pérdida de datos puede dañar el contenido es deseable que una transmisión de video se sobreponga a la pérdida de paquetes. La codificación de descripción múltiple es una técnica de compresión para tratar este inconveniente.
- **Complejidad de decodificación:** las aplicaciones de streaming de video en ciertos dispositivos deben tener una baja complejidad de decodificación para evitar un alto consumo de energía.

2.3.1.2 Control de QoS de la capa de aplicación

Para que exista una excelente calidad de servicio de streaming se debe tomar en cuenta que las pérdidas del contenido no deben superar el 5% y su latencia debe ser menor a 4 o 5 segundos. El ancho de banda requerido para la transmisión de audio y video dependerá del formato de codificación y la tasa de compresión del mismo.

Para hacer frente a las diferentes condiciones de red y a la calidad de presentación diferente solicitada por los usuarios, se han propuesto varias técnicas de control de QoS de la capa de aplicación entre las que se incluyen control de congestión y control de errores, siendo la primera técnica la encargada de evitar la pérdida de paquetes y reducir el retraso.

Por su parte, el control de errores trabaja en la capa de enlace o de transporte, y se encarga de que la información entre servidor y cliente llegue completa, sin pérdida de paquetes, con la mejor calidad de presentación de audio y video. En una transmisión de red se pueden encontrar errores de bit o errores de ráfaga, los cuales representan un cambio en un bit de datos o en

varios, respectivamente. El mecanismo más destacado es la técnica de control de errores hacia adelante (FEC).

2.3.1.3 Servicios de distribución continua de multimedia

Para proporcionar presentaciones multimedia de calidad, es fundamental contar con un soporte de red adecuado aparte de la capa de aplicación. Esto se debe a que el soporte de red puede reducir el retraso del transporte y la relación de pérdida de paquetes. La transmisión de video y audio se clasifican como contenido multimedia distribuido de forma continua porque consisten en una secuencia de medios de comunicación, que transmiten información significativa solo cuando se presentan en el tiempo esperado.

Construidos sobre el protocolo IP, los servicios de distribución continua de multimedia pueden lograr QoS y eficiencia para la transmisión de audio y video a través del Internet, y entre ellos se incluyen filtrado de red, multidifusión a nivel de aplicación y replicación de contenido.

2.3.1.4 Servidores streaming

Los servidores streaming desempeñan un papel clave en la provisión de servicios de transmisión de calidad, ya que para ofrecer estos servicios se requiere que dichos servidores procesen datos multimedia bajo restricciones de tiempo y admitan operaciones de control interactivo como pausar y reanudar, avance rápido y retroceso rápido. Los servidores streaming son responsables de brindar video, audio, diapositivas y muchos otros componentes multimedia de forma sincronizada. Normalmente constan de tres subsistemas: un comunicador (protocolos de transporte), un sistema operativo y un sistema de almacenamiento.

Un servidor streaming normalmente espera una solicitud RTSP (Protocolo streaming en tiempo real) de los espectadores. Cuando recibe una solicitud, el servidor busca en la carpeta correspondiente el nombre solicitado. Si se lo localiza en la carpeta, el servidor lo transmite al espectador mediante

transmisiones RTP (Protocolo de transporte en tiempo real). Un servidor streaming proporciona la entrega de transmisiones en vivo por Internet, transmisiones de material previamente grabado, y contenido multimedia interactivo bajo demanda.

Para servidores streaming alternativos se utiliza un servidor web con sus propios protocolos que serán explicados más adelante. Los servidores web convencionales solo pueden descargar un archivo multimedia a través de Internet, pero no son capaces de transmitirlo. Garantizan una entrega precisa, pero no se garantiza la entrega puntual de los paquetes. Utilizan HTTP para entregar páginas HTML y sus archivos de imágenes asociados. Sin embargo, el streaming de contenido multimedia requiere que la entrega se realice en tiempo real, pero se pueden tolerar niveles razonables de errores de transmisión, siempre que se pueda lograr la QoS requerida.

No habrá control sobre la velocidad de entrega del flujo de datos en un servidor web. Si la congestión de la red es alta, la velocidad de entrega será baja; pero si la capacidad de la red es alta, los paquetes pueden llegar en ráfagas. Por el contrario, un servidor streaming proporciona control de flujo de datos en tiempo real y navegación de contenido multimedia interactivo. Una de sus más importantes características es la protección contra saltos, en donde utiliza un exceso de ancho de banda para almacenar los datos en tiempo real en la máquina del cliente. Cuando se pierden paquetes, la comunicación entre el cliente y el servidor da como resultado la retransmisión de solo los paquetes perdidos, lo que reduce su impacto en el tráfico de la red.

2.3.1.5 Sincronización de multimedia en el lado del receptor

Una característica importante que distingue a las aplicaciones multimedia de otras aplicaciones de datos tradicionales es la integración de varios flujos de datos que deben presentarse de forma sincronizada. Por ejemplo, en el aprendizaje a distancia, la presentación de diapositivas se debe sincronizar con el flujo de audio anexo. De lo contrario, la diapositiva actual que se muestra en la pantalla puede no corresponder a la explicación del conferencista, lo cual puede causar molestias. Con la sincronización de

multimedia, la aplicación en el lado del receptor puede presentar varios flujos de datos de la misma manera en que fueron capturados originalmente por el servidor streaming.

Un ejemplo comúnmente encontrado en videos es que los movimientos de los labios de una persona coincidan con el audio reproducido y su diálogo correspondiente.

La sincronización multimedia se refiere a mantener las relaciones temporales dentro de un flujo de datos y entre varios flujos de audio y video. Hay tres niveles de sincronización:

- **Sincronización intra-stream:** la capa multimedia es la capa más baja de datos que dependen del tiempo (audio y video). Utiliza una unidad de datos lógicos, como un cuadro de video o audio, que se adhiere a restricciones temporales estrictas para garantizar una percepción aceptable del usuario durante su reproducción. Emplea la sincronización intra-stream, que mantiene la continuidad de las unidades de datos lógicos, ya que sin esa sincronización la presentación de la secuencia puede verse interrumpida por pausas o lagunas.
- **Sincronización inter-stream:** la capa de flujo es la segunda capa de datos dependientes del tiempo y su unidad es una secuencia completa. Su sincronización inter-stream mantiene relaciones temporales entre diferentes contenidos multimedia distribuido de forma continua, y sin esta sincronización entre audio y video la inclinación entre las transmisiones puede volverse intolerable.
- **Sincronización inter-objects:** la capa de objeto, siendo la capa más alta de contenido multimedia, integra flujos de información independiente del tiempo, como texto e imágenes fijas. Su sincronización inter-objects se encarga de iniciar y detener la presentación de los datos independientes del tiempo dentro de un intervalo de tiempo tolerable.

La parte esencial de cualquier mecanismo de sincronización de medios son las especificaciones de las relaciones temporales dentro de un medio y entre el contenido. Además de esto, es deseable que la sincronización sea soportada por cada componente en la ruta de transporte.

2.3.1.6 Protocolos para transmisión de medios

Los protocolos están diseñados y estandarizados para la comunicación entre clientes y servidores de transmisión. Los protocolos para transmisión de medios proporcionan servicios tales como direccionamiento de red, transporte y control de sesión. Según sus funcionalidades, los protocolos pueden clasificarse dentro de streaming tradicional o streaming alternativo.

2.3.2 Protocolos de streaming

Se han desarrollado y estandarizado varios protocolos específicamente para permitir la transmisión en tiempo real de contenido multimedia a través de Internet. Los protocolos de streaming están ubicados dentro de las respectivas capas donde trabajan, como se ve en la Tabla 2.2. Ciertos protocolos utilizan servidores streaming o servidores web según sus funciones.

Tabla 2.2: Características de diferentes tecnologías de streaming.

STREAMING		
	Streaming Tradicional	Streaming Alternativo
Protocolos de Aplicación	RTP, RTSP, RTCP	HTTP
Protocolos de Transporte	UDP	TCP
Protocolos de Red	IP	
Unicast	Sí	
Multicast	Sí	No
Calidad de Servicio	Sí	
Tipo de Servidor	Servidores Streaming	Servidores Web

Fuente: García (2013)

2.3.2.1 Protocolo de red (IP)

IP es el protocolo de comunicaciones principal a nivel de red, mas es un sistema de entrega poco confiable. La pérdida de paquetes es uno de sus principales inconvenientes además de la latencia variable de red. Estas complicaciones pueden ser corregidas por los protocolos de capa superior: capa de transporte y capa de aplicación. No hay ningún requisito para que cada paquete IP en una transmisión tenga la misma longitud.

Se debe señalar que los paquetes IP pueden integrarse en cualquier soporte físico de red, ya sea por cable o inalámbrico, también bidireccional (comunicación) o unidireccional (emisión). La capa de red que usa IP podría considerarse un punto de convergencia hacia el cual todas las redes pueden moverse efectivamente en el futuro.

2.3.2.2 TCP y UDP

Protocolo de control de transporte (TCP) y Protocolo de datagrama de usuario (UDP) son dos protocolos de la capa de transporte. A pesar de encontrarse en el mismo nivel, difieren fundamentalmente en la forma en que se trabajan. Es importante recalcar que TCP se encuentra en ambos tipos de streaming (tradicional y alternativo), pero lo que varía en ambos es la QoS.

TCP realiza una secuencia de bytes transmitidos e informa el destino del próximo byte que el destinatario debe recibir. Si un byte no se reconoce dentro de un período de tiempo especificado, la fuente lo retransmite. Esta característica permite a los dispositivos detectar e identificar paquetes perdidos y solicitar una retransmisión. La transmisión repetida se suma a la latencia, pero normalmente este no es un problema importante en la transmisión de datos generales.

Sin embargo, con audio y video el receptor requiere un flujo continuo en tiempo real. La retransmisión de paquetes agrega demoras y consume ancho de banda en el canal de datos. Si los errores de transmisión de la red son altos, el búfer de recepción en el reproductor de medios se vaciará y la transmisión se interrumpirá. Por lo tanto, la estrategia que utiliza UDP para

recibir las transmisiones es ignorar los paquetes perdidos. La pérdida de paquetes puede causar alteraciones en la calidad subjetiva de la transmisión recibida o incluso la pérdida de varios cuadros de video. Sin embargo, los reproductores multimedia a menudo están diseñados para ocultar estos errores.

2.3.2.3 HTTP

El Protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP) es un protocolo a nivel de aplicación que se encarga de transportar páginas HTML de manera efectiva y permite que los hipervínculos transfieran al usuario a otro documento o sitio web. Los paquetes HTTP están protegidos con sumas de comprobación. El servidor y las computadoras cliente tienen una conexión bidireccional, lo que significa que el cliente puede emitir una respuesta en caso de que existan paquetes perdidos o dañados y así se puedan retransmitir para restaurar los archivos completamente. HTTP también se puede usar para la descarga de contenido, especialmente si los archivos son pequeños y el número de usuarios simultáneos es limitado. Si la velocidad de conexión es más baja que la velocidad de datos del medio, el medio todavía puede pasar, pero es posible que no se reproduzca sin problemas. El tiempo de transferencia de la descarga del archivo depende del tamaño del archivo y la velocidad de la conexión.

Con este protocolo no hay garantía de QoS ya que para realizar un streaming de audio o video utiliza servidores web.

HTTP/1.1 incluye requisitos que garantizan la implementación confiable de sus características. Permite funcionalidades como recuperación, búsqueda, actualización del interfaz, y un conjunto abierto de métodos que indican el propósito de una solicitud. Se basa en la disciplina de referencia proporcionada por el Identificador de Recursos Uniforme (URI), como un localizador (URL) o un nombre (URN), para indicar el recurso al que se aplicará un método. HTTP también se utiliza como un protocolo genérico para la comunicación entre agentes de usuario y proxies a otros sistemas de

Internet. De esta forma permite el acceso básico de hipermedia a los recursos disponibles desde diversas aplicaciones.

2.3.2.4 RTP

El Protocolo de transporte en tiempo real (RTP) es el estándar de transmisión más importante, y se desarrolló específicamente para transmitir datos a través de redes IP. Todos los flujos de datos, independientemente de su formato y contenido, están encapsulados en paquetes RTP. Proporciona varios campos de datos que no están presentes en TCP, como una marca de tiempo y un número de secuencia. RTP se ejecuta en UDP y usa sus funciones de multiplexación y suma de comprobación. Permite el control del servidor para que específicamente el streaming de video se concrete a la velocidad correcta. El reproductor multimedia es capaz de volver a armar los paquetes RTP recibidos en el orden correcto y reproducirlos a la velocidad adecuada.

RTP transmite paquetes en tiempo real y los paquetes perdidos o dañados no se retransmiten. Existen estrategias para el software del cliente sobre la mejor forma de lidiar con los bits que faltan (por ejemplo, ocultamiento de errores, replicación de paquetes, etc.). Si la velocidad de conexión es menor que la velocidad de datos del medio, la transmisión se rompe y el medio funciona mal (o no se reproduce en absoluto).

2.3.2.5 RTCP

El Protocolo de control en tiempo real (RTCP) trabaja junto a RTP y utiliza TCP para la conexión bidireccional entre el cliente y servidor. Proporciona retroalimentación como respuesta al proveedor del servicio sobre la calidad de recepción de la red de cada participante en una sesión RTP. Esta respuesta incluye informes sobre la cantidad de paquetes perdidos y las estadísticas de fluctuación (tardanza de llegada). Esta información puede ser utilizada por aplicaciones de nivel superior para controlar la sesión y mejorar la transmisión; por ejemplo, la velocidad de bits de un flujo podría cambiarse para combatir la congestión de la red.

2.3.2.6 RTSP

El Protocolo de transmisión en tiempo real (RTSP) se encuentra en el nivel de aplicación para el control de datos de transmisión en tiempo real. Utiliza RTP como el protocolo subyacente de entrega de datos y ofrece un control de reproducción para el usuario con funciones de pausado, retroceso, repetición, entre otros. RTSP también ayuda al servidor a ajustar el ancho de banda de los medios a la congestión de la red para adaptarse a la capacidad disponible. Una de sus funciones primordiales es de elegir el canal de entrega óptimo para el cliente. Por ejemplo, en caso que no se pueda usar UDP el servidor de transmisión debe ofrecer una selección de protocolos de entrega como multidifusión UDP o TCP para adaptarse a diferentes clientes.

RTSP es similar a HTTP/1.1 en términos de sintaxis y operación, pero difiere en varios aspectos importantes. Con RTSP, tanto el cliente como el servidor pueden emitir solicitudes durante la interacción.

2.3.3 Servicios ofrecidos a través de streaming

El concepto de streaming tiene casi dos décadas y sigue experimentando un crecimiento impresionante. Mediante el uso de tecnologías streaming, la entrega de audio y video a través de Internet llega a millones de personas por medio de una variedad de dispositivos, ofreciendo deportes en vivo, música, noticias y entretenimiento.

El acceso en línea a distintos contenidos ha brindado acceso a bases de datos mundiales con información que en el pasado estaba reservada para pocos, requería una vida útil y requería largos viajes y estadías prolongadas en el extranjero. Hoy en día, es inmediatamente accesible y móvil, mientras que el costo principal es el costo de la atención y el tiempo dedicado a consultar el contenido.

El streaming multimedia suele referirse a la transferencia de datos de audio y video, aunque se pueden aplicar a casi cualquier otro tipo de datos, como imágenes estáticas y texto. Existen varios servicios basados total o

parcialmente en la transmisión y el acceso en línea al contenido. La característica común de estos servicios es que ofrecen acceso instantáneo a bases de datos con información y contenido sin precedentes.

2.3.3.1 Películas y videos

YouTube es uno de los sitios web más utilizados para que millones de personas descubran, miren y compartan videos. Actúa como una plataforma de distribución para creadores y anunciantes de contenido original. También tiene un programa de socios a través del cual las asociaciones de medios más grandes como la BBC o VEVO proporcionan su contenido en el sitio web recibiendo una parte de los ingresos generados por el mismo. Se aplican estrictas restricciones territoriales a la disponibilidad de contenido protegido por derechos de autor. Otros sitios similares son Vimeo y Dailymotion.

Netflix es una plataforma de streaming multimedia que ofrece a los clientes videos, películas y series bajo demanda por una tarifa de suscripción mensual. Los usuarios tienen acceso a los catálogos en línea de los servicios y pueden ver los títulos seleccionados en uno o varios dispositivos. Se considera a Netflix la plataforma más utilizada mundialmente, pero entre sus competencias se encuentran Hulu, HBO Go y Fox Play; los dos últimos, sin embargo, ofrecen contenido exclusivo de la cadena televisiva a la que pertenecen. Otras plataformas de temática similar que funcionan en Ecuador son CNT Play y Claro Video.

Facebook lanzó oficialmente su plataforma de video en 2007, permitiendo a los usuarios subir videos grabados o videos en directo. Con el éxito de esta aplicación se desarrolló Facebook Live, un servicio streaming disponible para todos los usuarios desde el 2016. Permite realizar transmisiones de video en vivo de hasta 90 minutos visibles para amigos, seguidores o el público deseado por el usuario. Una vez terminada la transmisión el video se encontrará en la página o perfil correspondiente para visualizarlo en cualquier momento. Se recomienda contar con una buena señal de Internet para este tipo de transmisiones.

iTunes fue un pionero del acceso en línea a contenido basado en el modelo patentado de adquisición de contenido y acceso multiplataforma. Ofrece películas y episodios de TV solo a través de streaming, venta o alquiler digital. Las tiendas de iTunes son nacionales y redirigen a los consumidores a la tienda correspondiente a la región donde se encuentre el usuario.

2.3.3.2 Música

Spotify es un servicio de streaming de audio que cuenta con más de 20 millones de pistas de música accesibles al instante, actualmente disponible América, Australia y ciertas regiones de Europa. Los usuarios pueden registrarse y acceder vía streaming a música desde el catálogo en línea de forma gratuita. Además, los usuarios pueden obtener una cuenta premium por una tarifa de suscripción mensual, que les permite a los usuarios tener acceso a música ilimitada y sin publicidad, tanto en línea como sin conexión. También ofrece la posibilidad de comprar y descargar pistas. Además de Spotify, existe Deezer y Google Play Music que ofrecen servicios similares y muestran ser competencia en el mercado de streaming de música.

Además de vender álbumes o canciones, iTunes ofrece una amplia biblioteca de muestras que se pueden consultar antes de comprar canciones y un acceso multiplataforma, que se limita al contenido que se ha adquirido en la plataforma de iTunes o se ha descargado en él. Las tiendas de música iTunes se manejan de la misma forma que la de videos.

2.3.3.3 Juegos

Xbox Live es un servicio de videojuegos en línea con costo de suscripción lanzado en el 2002 que da soporte a los videojuegos multijugador de las consolas Xbox con plataformas para Microsoft Windows. Cuenta actualmente con más de 50 millones de usuarios inscritos y está disponible en varios idiomas.

Por otro lado se encuentra Onlive, una red de juegos en la nube que permite que los juegos sean renderizados, almacenados y reproducidos

desde servidores remotos. Los usuarios pueden comprar un solo juego u obtener acceso ilimitado a los juegos en el catálogo pagando una tarifa mensual.

GameTree TV es la plataforma similar, a diferencia de que sus juegos se ofrecen a través de un Smart TV. Ofrece a los consumidores un catálogo de videojuegos a los que se puede acceder a pedido a través de un sistema de transacción, que presenta una variedad de modelos de precios facturados directamente a través del proveedor de cable.

2.3.3.4 Otros servicios

Google Books es la plataforma más utilizada para acceder a libros y artículos sin la necesidad de descargarlos. Nació con la intención de que la información fuera de línea pueda buscarse en la red. Google comenzó a digitalizar libros de bibliotecas de varias universidades estadounidenses desde el 2004, para que los usuarios de todo el mundo puedan buscarlas y los resultados se muestran en Google Books. El acceso al contenido es limitado, dependiendo del estado de copyright del libro respectivo. Los usuarios obtienen una vista completa de los libros que están fuera de los derechos de autor o si el editor ha aceptado que el libro sea accesible.

Google también ofrece servicios de e-Tourism (turismo electrónico) a través de Google Maps, el cual ofrece tecnología cartográfica e información comercial local, incluidas ubicaciones comerciales, información de contacto e instrucciones para llegar en automóvil. Los usuarios pueden consultar mapas, ver satélites, buscar direcciones e indicaciones para llegar en automóvil, encontrar información comercial e incluso ver imágenes a nivel de la calle. En este tipo de servicio es recomendable que existan varias redes inalámbricas públicas en la localidad para brindar una mejor experiencia a los turistas, que son quienes más utilizan esta aplicación.

Existen varias plataformas que brindan servicios de e-Learning, la mayoría siendo sin ánimos de lucro. MIT OpenCourseWare es un sitio web del Instituto de Tecnología de Massachussetts que proporciona contenido de

clases gratuitas, exámenes y videos de los cursos de MIT. Khan Academy es una organización que ofrece contenido educativo gratuito en línea de materias básicas y avanzadas. iTunes también tiene su propia plataforma llamada iTunes U, la cual proporciona materiales educativos de audio y video, archivos en formato .pdf y libros electrónicos.

2.3.4 Formatos usados para reproducción de streaming

Con las redes de banda ancha desplegadas en muchos países y las tecnologías de compresión de audio y video avanzando rápidamente, la calidad de los servicios de audio y video a través de Internet está aumentando de forma veloz.

Un formato de archivo es la estructura en la cual la información se almacena, quiere decir que se codifica, en un archivo de computadora. Para un video se requiere una gran cantidad de datos para almacenar una señal de video con precisión, esta información a menudo se comprime y se escribe en un archivo contenedor. Los archivos de video son mucho más complejos que los archivos de imágenes fijas, ya que incluyen una estructura compleja con una combinación de audio, video y otros componentes de datos con distintas combinaciones de señales en un mismo archivo. Si bien existe una amplia gama de formatos de video, en general, cada formato tiene las siguientes características.

- **Contenedor:** generalmente asociado con el formato de archivo, los contenedores encierran los diversos componentes de un video como la secuencia de imágenes y el sonido. Por ejemplo, puede tener múltiples bandas sonoras y subtítulos incluidos en un archivo de video, si el formato del contenedor lo permite. Ejemplo de contenedores populares son OGG, Matroska, AVI, MPEG, Quick Time Mov.
- **Señal de audio y video:** esta es la información real de video y audio.
- **Códec:** software que se utiliza para codificar y decodificar la señal de video. Comprime datos, y los descomprime al reproducirlos, para que se pueda almacenar y transmitir archivos con un tamaño menor.

La mayoría de los formatos de compresión de video tienen pérdidas ya que optan por minimizar el tamaño de los datos y mantener la calidad de la señal. Es similar a transmitir un video de resolución 1080p en varios niveles de calidad. Cada archivo de video tiene algunos atributos que describen de qué se compone la señal de video. Estas características incluyen:

- **Tamaño de fotograma:** esta es la dimensión de píxel del fotograma, y mientras más grande sea, tendrá mejor calidad pero implica más ancho de banda.
- **Relación de aspecto:** 16: 9 es el estándar HD más utilizado en la actualidad.
- **Velocidad de fotogramas:** velocidad a la que los fotogramas se capturan y se pretenden reproducir, que van desde 15 a 120 fps.
- **Frecuencia de muestreo de audio:** esta es la frecuencia con la que se muestrea el audio cuando se convierte de una fuente analógica a un archivo digital. Las velocidades de bits anteriores son solo para video. Audio agrega un ancho de banda adicional del orden de 128-256 kbps (suponiendo que está codificando como MP3 o AAC).
- **Velocidad de bits:** consta de la combinación de transmisión de video y transmisión de audio en un mismo archivo. Cuanto mayor sea la velocidad de bits, mejor será la calidad y mayor será el tamaño del archivo.

Para video existe una variedad de códecs entre los que se destacan H.264, H.263, VP6, VP8, MPEG-4, MPEG-2, MPEG-1/2, Windows Media Video (WMV), entre otros. Por otro lado se presentan varios códecs de audio como AAC (Codificación de audio avanzada), MP3, Vorbis y Windows Media Audio (WMA).

Los códecs de video están disponibles para trabajar con archivos de calidad Full HD, que representa a 1080p. Sin embargo, con la llega de la resolución Ultra HD, con videos 4K, se requiere el desarrollo de una nueva generación de códecs que puedan proporcionar videos de mayor calidad a menores tasas de bits.

HEVC (codificación de video de alta eficiencia), también llamado H.265, es desarrollado por el consorcio de compañías Moving Picture Experts Group (MPEG) como sucesor de H.264/MPEG-4; Apple incluyó este códec en sus dispositivos desde el iPhone 6. VP9 es un códec sucesor de VP8 desarrollado por Google y utilizado en la codificación de videos de YouTube.

Tanto VP9 como HEVC son códecs excelentes y están diseñados para hacer que el video de hoy sea más eficiente. Sin embargo, difieren en que “VP9 es gratuito, de código abierto y un desarrollo propietario, y HEVC es de pago pero se considera un desarrollo de colaboración entre múltiples empresas buscando el establecimiento de un verdadero estándar” (Intriago, 2016, p. 21).

CAPÍTULO 3: ESTUDIO TÉCNICO PARA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍA LI-FI EN EL USO DE STREAMING EN ECUADOR

En la última década se ha notado un crecimiento mayor de la población comprendida entre 15 y 35 años con respecto a las demás edades según estadísticas del INEC y su proyección de población por años en edades simples en el periodo 2010 a 2020, por lo que los servicios tecnológicos multimedia por internet tienden a ser más demandados en comparación con los servicios de entretenimiento tradicionales como televisión abierta y bajo suscripción (pagada). A su vez, los proveedores de servicios de internet (ISP) ofrecen una gama de prestaciones que contienen cada día mayor capacidad con menor costo para el usuario.

Por lo que en este capítulo se presentará un estudio técnico para la implementación de la tecnología Li-Fi en el uso de streaming en Ecuador, analizando su conveniencia de uso a mediano plazo con respecto a la tecnología Wi-Fi actualmente establecida y ampliamente utilizada. También se desea ver el grado de conformidad con los servicios prestados por los ISP en la actualidad por su capacidad y precio a través de datos obtenidos mediante encuestas de tipo cuantitativa y datos estadísticos de censo correspondientes al INEC, con lo que se medirá la factibilidad de cambio de tecnología inalámbrica a nivel residencial y corporativo.

3.1. Actualidad de las redes inalámbricas y plataformas streaming de mayor demanda en Ecuador

Hoy en día uno de los mayores retos de las telecomunicaciones es proveer servicios con una calidad aceptable, pero a medida que se incrementa la demanda de estos servicios por parte de los usuarios, se presenta saturación en la red establecida. Con el avance de las tecnologías actuales, el ancho de banda que provee una red inalámbrica Wi-Fi no abastece los requerimientos de los mismos. Además, este tipo de red no tiene cobertura en ciertos sectores del país debido al alto costo para proveer un ancho de banda extenso. La tecnología Li-Fi por su parte puede ofrecer cobertura en puntos

remotos, debido a la instalación económica de su transmisor que funciona con LED en proporción al ancho de banda brindado.

Uno de los retos a afrontar al implementar esta tecnología, ya sea para establecer puntos de acceso públicos a internet tal y como se ha efectuado en la ciudad de Guayaquil mediante Wi-Fi o para comunicaciones inalámbricas en ambientes cerrados como oficinas o domicilios, es que se requiere una modernización del sistema eléctrico permitiendo una mejora tanto de la continuidad como de la calidad de la redes de todo el país, ya que tiene a la luz como componente primario de transmisión. Sin embargo se pueden presentar problemas de transmisión en el contraste de luminancia al ocurrir los conocidos “apagones”, donde se comparte un problema similar que con las cocinas de inducción como una pieza del cambio de la matriz energética, en donde las empresas proveedores del suministro eléctrico deben garantizar una continuidad y calidad del servicio brindado. Si llegase a ocurrir racionamientos eléctricos, las redes Li-Fi deben ser convergentes con otras tecnologías inalámbricas como Wi-Fi o las redes móviles.

Por otro lado, la velocidad final recibida en el dispositivo que vaya a utilizar Li-Fi dependerá de gran manera de la calidad del LED a utilizar en la transmisión. Una lámpara LED de última generación podría alcanzar una tasa de transmisión de hasta 100 veces mayor a la obtenida mediante Wi-Fi, mientras que un LED estándar, que normalmente se adquiere para el hogar, podría proveer de dos a tres veces mayor velocidad que la proveída en la actualidad. Por lo tanto se requiere un punto de equilibrio entre el costo de dispositivos a utilizar con su correspondiente implementación y velocidad de transmisión a ofrecer al usuario, donde se podría producir un reemplazo de las luminarias tradicionales, ya que esta tecnología puede funcionar como valor agregado en las luminarias de tipo LED permitiendo así un ahorro energético considerable.

Las redes inalámbricas ofrecidas tanto para residencias como para empresas sufren de un problema en común: una limitada tasa de transmisión. A pesar que un proveedor de internet ofrezca una misma tasa, ya sea ésta en la escala de muchas decenas o centenas de Mbits/s, no puede ser

aprovechada en su totalidad. Sin importar que sea transportada por cobre, fibra óptica o por enlaces microondas, éstas llegan a un receptor que solo puede distribuir hasta 54 Mbit/s, la cual es una velocidad que actualmente pueden abastecer la demanda de distintos servicios de streaming. Sin embargo, a mediano y largo plazo esta demanda tiende a incrementarse y llegará a un punto donde lo demandado será mayor a lo ofrecido debido al vertiginoso avance tecnológico en los sistemas multimedia.

Tabla 3.1: Proyección de población por años.

Edades	2017	2018	2019	2020
16	318.704	321.867	324.759	327.453
17	314.622	318.090	321.236	324.116
18	310.229	313.926	317.381	320.515
19	305.630	309.488	313.171	316.614
20	300.888	304.855	308.695	312.363
21	296.050	300.093	304.047	307.868
22	291.097	295.259	299.287	303.227
23	286.063	290.361	294.505	298.509
24	281.016	285.387	289.672	293.794
25	276.039	280.406	284.765	289.036
Total	2.980.338	3.019.732	3.057.518	3.093.495
Total de población	16.776.977	17.023.408	17.267.986	17.510.643

Fuente: INEC (2010).

La Tabla 3.1 hace una predicción del aumento de población entre los años 2017 y 2020 de adolescentes y adultos jóvenes entre 16 y 25 años que actualmente corresponden al 18% de la población nacional según los datos del INEC, quienes tienen tendencia a crear mayor demanda en tecnología y servicios multimedia.

En Ecuador, el servicio streaming cada vez tiene mayor acogida ya que éste compite abiertamente tanto con la televisión de señal abierta como con la pagada debido a la amplia variedad de plataformas como Netflix o CNT Play. Es por esto que cada vez más telespectadores cancelan sus suscripciones a paquetes de televisión por cable y optan por las opciones antes mencionadas, por lo que se convierte en un mercado con tendencia al alza a corto plazo.

El streaming no solamente incide en los cambios de paradigmas al integrarse tecnologías nuevas al mercado de visualización de películas y videos, sino que también tiene un impacto en la industria musical tanto a nivel nacional como internacional. Por medio de aplicaciones como Deezer o Spotify que son muy publicitadas en gestores de descargas de aplicaciones como Google Play, permite tener acceso a una variedad inmensa de contenido musical únicamente con un smartphone y conexión a internet. Esto provoca una evolución de las tradicionales ventas de CDs en las casas disqueras a aplicaciones que ofrecen un acceso a mayor contenido por un bajo precio en comparación al precio promedio de cada CD en la actualidad, lo que favorece a una reducción del robo de derechos de autor y se publicitan los artistas de mejor manera por medios digitales que por medios físicos. Las aplicaciones antes mencionadas pueden ser descargadas y utilizadas por cualquier persona en el mundo sin restricciones, y se han convertido en una tendencia enfocada más que nada en la población de adolescentes y jóvenes adultos.

Por otro lado, la televisión pagada comienza a quedar de lado en algunas circunstancias frente al streaming debido a que, para el primer caso antes mencionado, requiere hardware de instalación y personal técnico para su posterior configuración inicial, mientras que la contraparte del mismo requiere únicamente un computador o un smartphone. Haciendo un análisis retrospectivo a años anteriores, el servicio de suscripción de televisión pagada alcanzó en el Ecuador un pico de 31,6% de penetración en el mercado durante el 2015, y a partir de ese momento ese negocio comenzó a sufrir un decrecimiento en el número de suscriptores, por lo que para el 2016 la penetración tuvo un descenso a 30,5%, y en el primer semestre del año 2017 descendió a 29,9%. Por lo tanto se prevé que esta cifra siga disminuyendo en el año 2018.

3.2 Análisis de encuestas sobre uso de streaming

Se realizó un estudio de recolección de datos con el propósito de determinar la preferencia de cierto grupo de personas en relación a tipo de

entretenimiento vía streaming que tienden a usar y la calidad deseada. También se recopila información sobre la velocidad de los planes de internet que poseen actualmente junto con el valor de pago mensual promedio.

Sabiendo de antemano que, para disfrutar de una excelente calidad de contenido streaming en internet se necesita un ancho de banda lo suficientemente amplio, con los resultados obtenidos se puede plantear a la tecnología Li-Fi como una alternativa que provee mayor velocidad de datos con una instalación económica en comparación a otros tipos de redes inalámbricas actualmente empleados, los cuales se ofrecen en paquetes de costo elevado si se requiere mayor velocidad.

Para la recolección de datos se empleó una encuesta que consiste en cinco preguntas cortas en las cuales se evitó el uso de terminología técnica excesiva para que sean sencillas de entender, y no se solicita información personal para no generar incomodidad.

El grupo focal a ser encuestado consiste de 150 personas entre 18 a 30 años de edad, de las cuales se sabe que tienden a utilizar con más frecuencia distintos servicios streaming y conocen ampliamente sobre esta tecnología. La mayoría de las personas encuestadas son estudiantes universitarios de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Universidad Politécnica Salesiana y Universidad Estatal de Guayaquil, ubicados en carreras de telecomunicaciones, de electrónica y similares.

Mediante la aplicación de la encuesta, encontrada en la sección de Anexos, se recaudó información concerniente a la preferencia de contenido multimedia y los planes de internet con los que actualmente cuentan estas personas. A través de las respuestas se pudo realizar análisis estadísticos a través de gráficas, permitiendo plantear varias conclusiones.

3.2.1 Entretenimiento preferencial

En la Figura 3.1 se presenta que el contenido multimedia mayormente elegido por las personas encuestadas es el entretenimiento visual, obteniendo una aceptación del 59% de los encuestados, en donde se engloba películas y

distintos tipos de series. La música tiene un segundo lugar en difusión global obteniendo un 31% de preferencia, ubicando a distintos tipos de videojuegos en tercer lugar. El resto de contenido de entretenimiento más buscado en internet incluye documentales e imágenes, sea para uso recreacional o informativo.



Figura 3.1: Estadística de pregunta 1.

Fuente: Elaboración Propia

Este contenido no se limita únicamente a streaming pero sirve como base para conocer las preferencias de un grupo de personas en cuanto al tipo de servicio streaming que se utiliza con más frecuencia.

3.2.2 Calidad de video vía streaming

Cuando las personas desean visualizar cualquier tipo de video, sea éste algún largometraje, serie, documental o video de cualquier tema, se tiende a elegir la mejor calidad existente para que se pueda apreciar con mejores detalles su contenido.

Para la segunda pregunta se presentó un conjunto de opciones de distintas calidades de video encontradas en varias plataformas en internet. Como se aprecia en la Figura 3.2, la preferencia entre las personas encuestadas se inclina por la resolución 1080p que representa una excelente

calidad de video. Esta opción fue elegida por el 40% de los encuestados sin que exista gran diferencia con la resolución inferior (720p).

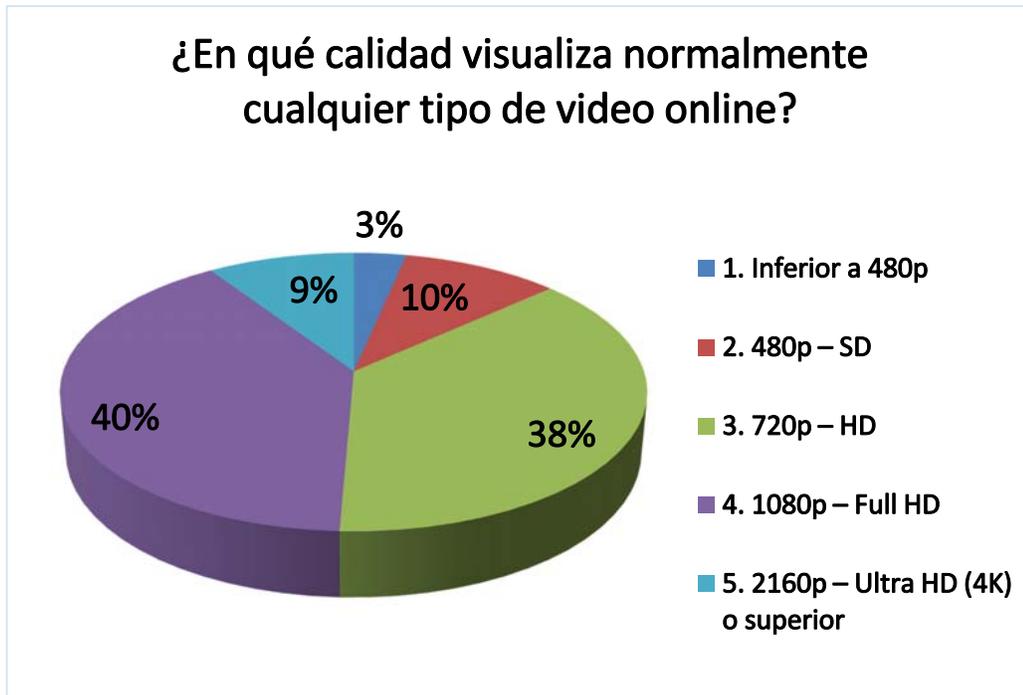


Figura 3.2: Estadística de pregunta 2.

Fuente: Elaboración propia

Los dispositivos de reproducción de video comercializados en la actualidad, específicamente los Smart TV debido a su tamaño, permiten visualizar contenido de calidad superior y más realista a la preferida en esta pregunta, siendo ésta la opción 2160p. Sin embargo, esta resolución no se encuentra estandarizada completamente en nuestro país. Además, dado que los televisores de mayor tamaño no son los más comercializados en el mercado por varias razones, los jóvenes optan por utilizar sus ordenadores o smartphones para disfrutar de distintos tipos de videos, más que nada por la accesibilidad de los mismos, y estos dispositivos no exigen una calidad mayor.

De todas formas se infiere que las resoluciones preferidas por muchos usuarios deben ser de alta definición o superior. No existe inconvenientes con el contenido previamente descargado o almacenado, pero para que este mismo contenido se presente de excelente calidad vía streaming debe existir un ancho de banda suficientemente amplio.

3.2.3 Ancho de banda promedio

En nuestro país actualmente existen varios proveedores de servicios de internet los cuales ofrecen distintos planes de velocidad. Con el paso de los años la velocidad otorgada por estos proveedores va en aumento, pero esto se refiere en su mayoría al servicio de internet al hogar vía cobre o fibra, es decir, alámbrica.

La Figura 3.3 demuestra que 39% de los encuestados cuenta con una velocidad de datos de 10 a 50 Mbit/s en promedio a través de cables. Sin embargo, la velocidad inalámbrica suele ser inferior debido a la falta de dispositivos emisores y, más que nada, receptores con atributos adecuados al máximo de la velocidad contratada con el proveedor.

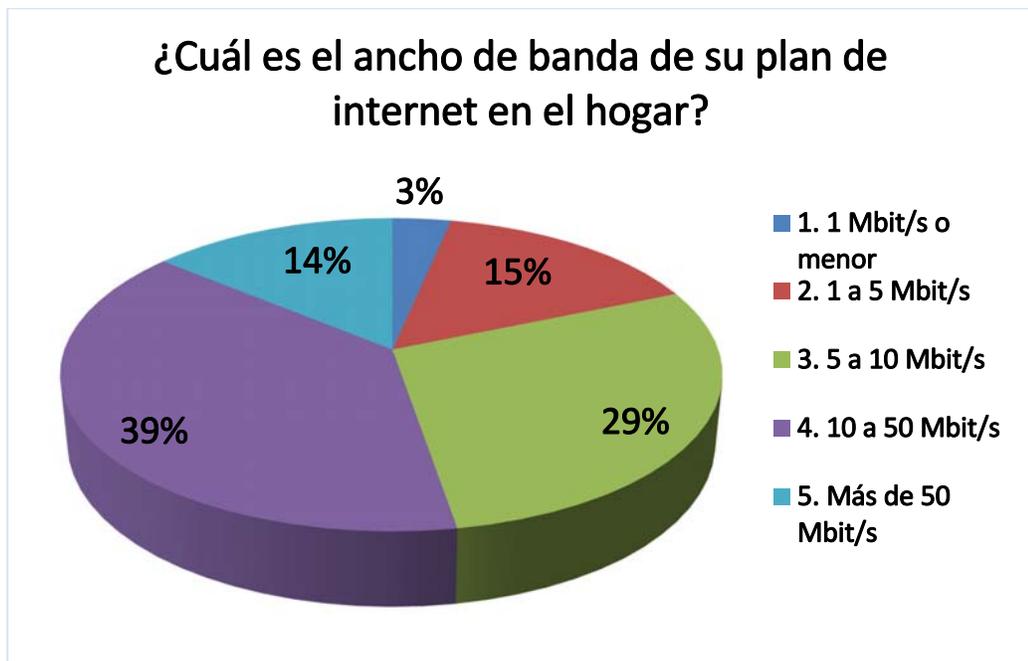


Figura 3.3: Estadística de pregunta 3.

Fuente: Elaboración propia

Ya que la velocidad contratada por medio de un plan no es reflejada en la velocidad inalámbrica recibida a través de Wi-Fi, el desperdicio de ancho de banda es evidente. Sin embargo, se considera que Li-Fi, con una correcta instalación de dispositivos emisores y receptores, es capaz de ofrecer una

velocidad de datos vía inalámbrica incluso superior a la que se obtiene a través de fibra, superando en grandes cantidades al resto de redes.

3.2.4 Costo de planes de internet

Para la cuarta pregunta se recopila información sobre el precio que se paga en promedio por los planes de internet más contratados según la pregunta anterior. De tal forma se obtiene que el 32% de los encuestados debe pagar mensualmente entre 26 y 35 dólares por su plan de internet, en el que incluye red cableada para el hogar y red inalámbrica por Wi-Fi. Incluso existe un porcentaje similar que paga más de este precio, como se ve en la Figura 3.4.

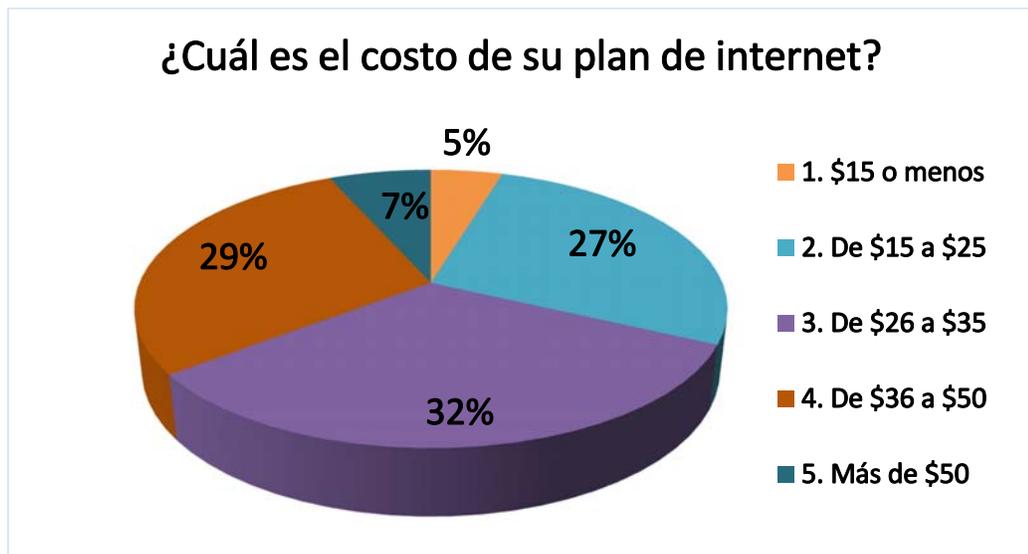


Figura 3.4: Estadística de pregunta 4.

Fuente: Elaboración propia

Técnicamente se considera un precio razonable si se refiere a la velocidad obtenida a través de fibra directo al hogar o cualquier tipo de inmueble, pero si se habla de velocidad inalámbrica, la cual en ciertos casos no llega ni a la mitad de lo que ofrece la red cableada, no resulta conveniente este gasto.

Sin embargo, si la velocidad de datos inalámbrica fuese igual o superior a la velocidad a través de cable se consideraría un gasto bien empleado y se garantizaría un servicio satisfactorio.

3.2.5 Plataformas streaming más utilizadas

El servicio streaming al que se le da más uso en el país y en todo el mundo no puede ser otro que video, como se refleja en los resultados de las encuestas en la Figura 3.5. Este servicio supera al streaming de audio con un 77% de aceptación. Esto se puede deber a que existe una gran variedad de plataformas que ofrecen distintos tipos de video a través de streaming, siendo las más populares YouTube y Netflix, ésta última enfocada en largometrajes y series bajo demanda.

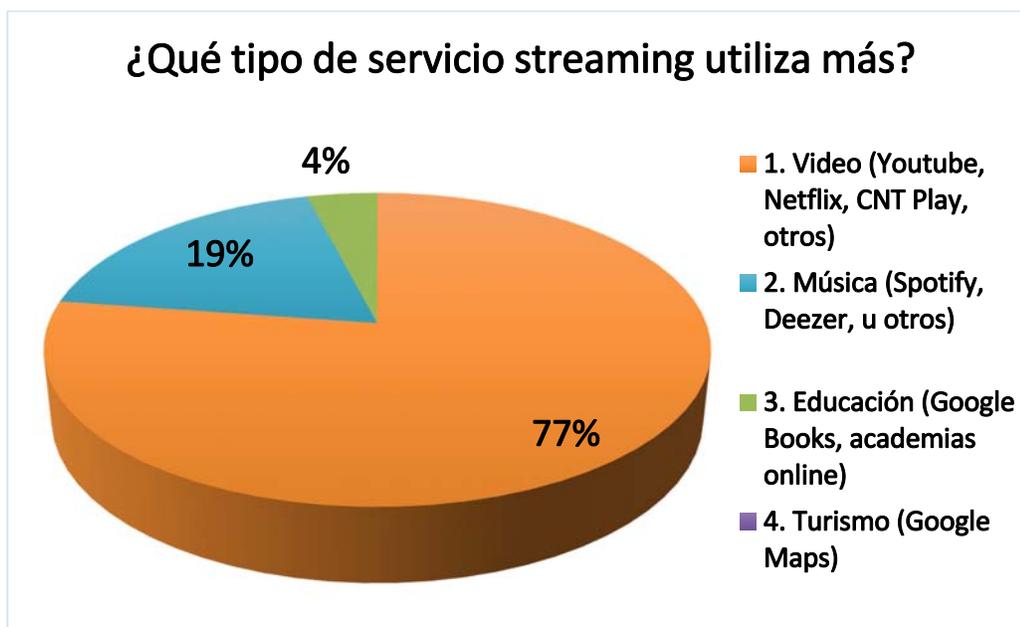


Figura 3.5: Estadística de pregunta 5.

Fuente: Elaboración propia

Para satisfacer la demanda de este servicio se debe contar con una velocidad de datos lo suficientemente elevada que permita su reproducción en una calidad aceptable. En puntos de acceso inalámbricos públicos no se puede adquirir esa velocidad deseada, y debido a esto muchos usuarios prefieren hacer uso de estas plataformas en dispositivos con conexión a una red cableada lo cual no permite completa movilidad para el usuario. Otra opción es a través de datos móviles, si se cuenta con ese servicio, los cuales llegan a una velocidad de cuarta generación (4G) pero en muchos casos suelen ser igual de costosos que un plan de internet para un domicilio.

3.3 Factibilidad técnica para la implementación de Li-Fi en hogares y empresas.

Al momento de desarrollar un diagrama donde se visualicen las dimensiones del sitio donde se pretende dar el servicio de transmisión de datos mediante la tecnología Li-Fi, como a su vez, la instalación de los componentes físicos necesarios para ello, es imperioso cumplir con los parámetros técnicos de iluminación necesarios para poder abastecer con el servicio deseado con una calidad aceptable. El uso y los valores de estos parámetros varían según las medidas del sitio a aplicar, así como el fabricante que provee el hardware necesario para su funcionamiento, por lo que para este estudio se tomará como elemento de implementación una oficina estándar con 2.75 m de altura, 3.55 m de ancho y 3.70 m de largo, donde se aplicarán los cálculos necesarios de la misma forma como se lo haría con las habitaciones u oficinas que contendrían una residencia o una empresa respectivamente.

3.3.1 Cálculo del flujo luminoso total necesario en un área determinada

La mayor parte de las fuentes emisoras de luz produce energía electromagnética segmentada en una gama de longitudes de onda. Al utilizar Li-Fi para transmitir información se usarán diodos LED que emitirán energía radiante donde, para calcular el flujo luminoso que se necesita para abarcar la habitación a tomar como ejemplo, se procederá a utilizar la ecuación (1)

$$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m}$$

Dónde:

Φ_T = flujo luminoso que un determinado local o zona necesita (en Lúmenes)

E_m = nivel de iluminación medio (en Lux)

S = superficie a iluminar (en m²). Este flujo luminoso se ve afectado por unos coeficientes de utilización (C_u) y de mantenimiento (C_m), que se definen a continuación:

C_u = Coeficiente de utilización. Es la relación entre el flujo luminoso recibido por un cuerpo y el flujo emitido por la fuente luminosa. Lo proporciona el fabricante de la luminaria.

C_m = Coeficiente de mantenimiento. Es el cociente que indica el grado de conservación de una luminaria.

3.3.2 Cálculo del número de luminarias

Para conocer el número de luminarias necesarias en relación al flujo luminoso disponible, se utilizará la ecuación (2).

$$NL = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L}$$

Dónde:

NL = número de luminarias

Φ_T = flujo luminoso total necesario en la zona o local

Φ_L = flujo luminoso de una lámpara (brindado por el fabricante)

n = número de lámparas que tiene la luminaria

Los distintos valores de luminancia para distintos tipos de establecimientos según su actividad se encuentran fijados en la Norma Europea UNE-EN 12464-1. Los tipos de establecimientos están clasificados de la siguiente manera:

- Establecimientos sanitarios.
- Establecimientos educativos.
- Oficinas.
- Establecimientos minoristas.
- Lugares de pública concurrencia.
- Áreas de transporte.
- Actividades industriales y artesanales.
- Zonas de tráfico y áreas comunes de edificios.

Por lo que para este escenario será escogido el apartado donde se muestran los valores de nivel de iluminación en la superficie (E_m), límite de índice de deslumbramiento unificado (UGR) y el índice de rendimiento de colores (R_a). Estos parámetros, descritos en la Tabla 3.2, básicamente buscan satisfacer tres necesidades humanas, las cuales son:

- Confort visual, el cual ofrece una sensación de bienestar, que de cierto modo indirecto aporta a un elevado nivel de la productividad.
- Prestaciones visuales, el mismo que permite que las personas sean capaces de realizar sus tareas visuales, sin importar las difíciles circunstancias durante un tiempo más prolongado.
- Seguridad.

Tabla 3.2: Requisitos de iluminación para oficinas según la norma europea sobre iluminación de interiores.

Tipo de interior, tarea y actividad	E_m lux	UGR	R_a
Archivo, copias, etc.	300	19	80
Escritura a mano y máquina, lectura	500	19	80
Dibujo técnico	750	16	80
Puestos de trabajo	500	19	80
Salas de conferencias y reuniones	500	19	80
Mostrador de recepción	300	22	80
Archivos	200	25	80

Fuente: Philips Electronics (2012).

3.3.3 Cálculo del coeficiente de utilización (C_u)

El coeficiente de utilización muestra la relación existente entre el número de lúmenes emitidos por la lámpara a utilizar y los que llegan de forma efectiva al área de trabajo o habitación, donde para ello es necesario conocer los siguientes índices.

3.3.3.1 Cálculo del índice del local (k)

El índice del local (k) es obtenido a partir de la geometría de éste, el mismo que es un resultado adimensional en cuanto a unidades de medida, usando las dimensiones de la oficina o habitación. Las fórmulas para hallar k se encuentran en la Tabla 3.3. Para este estudio se ha considerado los siguientes datos del área determinada:

- a = ancho (en m) = 3,55 m
- b = largo (en m) = 3,70 m
- h = alto (en m) = 2,75 m

Tabla 3.3: Fórmulas para hallar el índice del local.

Sistema de iluminación	Índice del local
Iluminación directa, semi directa, directa-indirecta y general difusa	$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$
Iluminación indirecta y semi indirecta	$k = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (h + h') \cdot (a + b)}$

Fuente: Naranjo y Casillas (2016).

Para este caso de estudio el tipo de iluminación será directa por lo que será aplicada la ecuación (3), de la siguiente manera:

$$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

$$k = \frac{3,55 \cdot 3,70}{2,75 \cdot (3,55 + 3,70)}$$

$$k = \frac{13,16}{19,94}$$

$$k = 0,66$$

3.3.3.2 Cálculo de los coeficientes de reflexión

El coeficiente de reflexión se encuentra descrito por la intensidad de una onda reflejada con respecto a una onda incidente, donde la reflexión de

la luz varía según el tipo de material o superficie en el que incide. Dichos coeficientes de reflexión correspondientes al techo, paredes y suelo se hallan tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabado, por lo que para ellos se utilizará la Tabla 3.4.

Tabla 3.4: Coeficiente de reflexión de materiales y pinturas utilizadas en un inmueble.

Pintura/color	Coeficiente de reflexión	Material	Coeficiente de reflexión
Blanco	0,70 – 0,85	Mortero claro	0,35 – 0,55
Acústico blanco	0,50 – 0,65	Mortero oscuro	0,20 – 0,30
Gris claro	0,40 – 0,50	Hormigón claro	0,30 – 0,50
Gris oscuro	0,10 – 0,20	Hormigón oscuro	0,15 – 0,25
Negro	0,03 – 0,07	Arenisca clara	0,30 – 0,40
Crema, Amarillo claro	0,50 – 0,75	Arenisca oscura	0,15 – 0,25
Marrón claro	0,30 – 0,40	Ladrillo claro	0,30 – 0,40
Marrón oscuro	0,10 – 0,20	Ladrillo oscuro	0,15 – 0,25
Rosa	0,45 – 0,55	Mármol blanco	0,60 – 0,70
Rojo claro	0,30 – 0,50	Granito	0,15 – 0,25
Rojo oscuro	0,10 – 0,20	Madera blanca	0,30 – 0,50
Verde claro	0,45 – 0,65	Madera oscura	0,10 – 0,25
Verde oscuro	0,10 – 0,20	Espejo de vidrio plateado	0,80 – 0,90
Azul claro	0,40 – 0,55	Aluminio mate	0,55 – 0,60
Azul oscuro	0,05 – 0,15	Aluminio anodizado	0,80 – 0,85
		Acero pulido	0,55 – 0,65

Fuente: Naranjo y Casillas (2016).

Para esto, el área determinada usada en este estudio cuenta con los siguientes coeficientes de reflexión:

- Techo (acústico blanco) = 0,50 – 0,65
- Paredes (Crema)= 0,50 – 0,75
- Suelo (Blanco) = 0,70 – 0,85

Una vez que ya haya sido establecido el índice del local, el cual dio como resultado 0,66 y los coeficientes de reflexión de las superficies del área, es posible averiguar el coeficiente de utilización (C_u) según ciertos datos que

debe proporcionar el fabricante de las lámparas LED. Para este caso el coeficiente de utilización (C_u) es 0,78.

Posteriormente se debe determinar el coeficiente de mantenimiento (C_m), el cual dependerá de la frecuencia con la que se proceda a realizar la limpieza de la luminaria y de la suciedad del ambiente al que se encuentre expuesto. Al suponer que se realizar una sola limpieza anual se consideran los valores de la Tabla 3.5.

Tabla 3.5: Coeficiente de mantenimiento proporcionado por el fabricante.

Ambiente	Coeficiente de mantenimiento (C_m)
Pulcro	0,8
Desaseado	0,6

Fuente: Naranjo y Casillas (2016).

Para la oficina será considerado un ambiente pulcro por lo que se tomará el valor de 0,8 como coeficiente de mantenimiento.

Al obtener los datos anteriores, se puede calcular el flujo luminoso mostrado anteriormente en la ecuación (1), donde se procederá a realizar el reemplazo de los valores hallados.

$$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m}$$

$$\Phi_T = \frac{500 \cdot (3,55 \cdot 3,70)}{0,78 \cdot 0,8}$$

$$\Phi_T = \frac{6567,5}{0,62}$$

$$\Phi_T = 10592,7 \text{ lúmenes}$$

Ahora se procede a hallar el número de luminarias que se necesitan para obtener el nivel de iluminación adecuado mostrado en la ecuación (2).

$$NL = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L}$$

$$NL = \frac{10592,7}{1 \cdot 1900}$$

$$NL = 5,57$$

En resumen, si se redondea el resultado, entonces serán necesarias colocar 6 luminarias para esta oficina.

3.3.4 Emplazamiento de las luminarias

Una vez que se ha encontrado el número de luminarias necesarias, se debe distribuir las luminarias por el área de la oficina. Para esto se necesita averiguar cómo distribuir las luminarias en filas y columnas para que la iluminación se pueda repartir uniformemente. En los sitios que disponen de una planta rectangular, aplicable a este caso de estudio, es necesaria una iluminación uniforme, por ellos las luminarias se reparten de forma uniforme en filas paralelas a los ejes de simetría del local. Para calcular el número de filas de luminarias se utilizara la ecuación (4).

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{N_{\text{total}}}{b} \cdot a}$$

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{6}{3,70} \cdot 3,55}$$

$$N_{\text{ancho}} = 2,4$$

Observando este resultado significa que pueden ser 2 o 3 luminarias. Para este caso se utilizarán 2, es decir, dos es el número de filas de luminarias que se colocarán a lo ancho del local. Para calcular el número de columnas de luminarias se utilizará la ecuación (5), en donde el N_{ancho} debe mantener su valor real.

$$N_{\text{largo}} = N_{\text{ancho}} \cdot \left(\frac{b}{a}\right)$$

$$N_{\text{largo}} = 2,4 \cdot \left(\frac{3,70}{3,55}\right)$$

$$N_{\text{largo}} = 2,5$$

De la misma forma que la ecuación anterior existe la posibilidad de que sean 2 o 3 luminarias. Para que concuerde con el resultado del número de luminarias a utilizar NL se escoge que sean 3 columnas de luminarias que deberán ser colocadas en el área. Por lo tanto, el esquema de colocación de luminarias en filas y columnas para el área determinada es mostrado en la Figura 3.6.

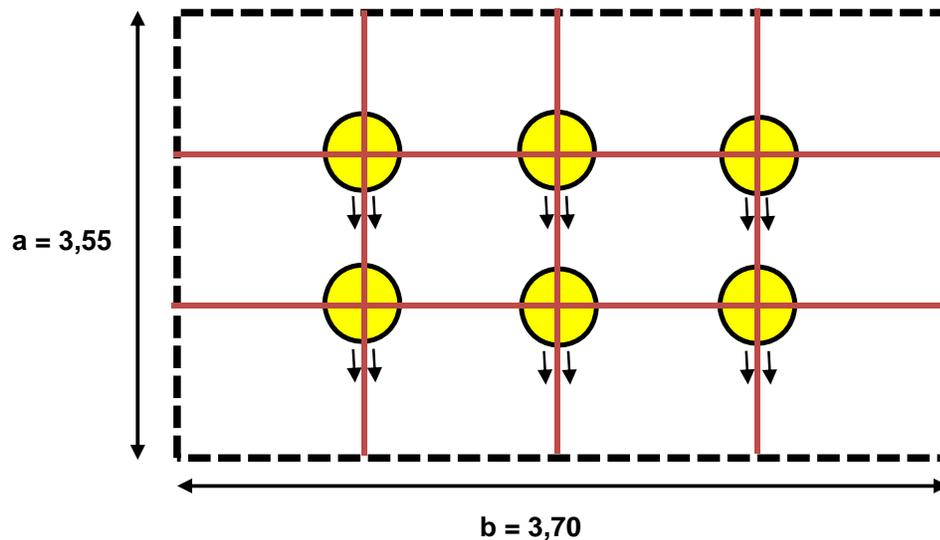


Figura 3.6: Esquema de distribución de luminarias.

Fuente: Elaboración propia

El sitio determinado como objeto de estudio cuenta con un área total de 13.14 metros cuadrados, y con la cantidad de luminarias existentes es posible proporcionar una conexión inalámbrica más que aceptable a través de Li-Fi.

Para realizar una instalación adecuada de un sistema inalámbrico con luz visible es necesario realizar este tipo de cálculos, los cuales pueden

efectuarse en distintos tipos de escenarios sea a nivel residencial, corporativo, e incluso en el exterior.

Los elementos a utilizar deben ser de igual calidad que los dispositivos transmisores empleados en una red Li-Fi, ya que de esta forma se garantiza la entrega de un servicio inalámbrico sin interrupciones y de mayor velocidad, lo cual es ideal para utilizarse en varias aplicaciones cotidianas como, en el caso de este estudio, servicios streaming de excelente calidad. Una gran cantidad de empresas encargadas de difusión de contenido vía internet pueden beneficiarse de la tecnología Li-Fi, innovando sus recursos y brindando un mejor servicio a los usuarios de distintas edades.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1 Conclusiones

Mantenerse conectado a la web es una necesidad de muchas personas en la actualidad, mucho más en jóvenes, sea para estar comunicados con otras personas o hacer uso de la infinidad de servicios que ofrece internet. El crecimiento en la demanda de estos servicios implica que se pida una velocidad de datos cada vez mayor. A través del presente estudio se concluye que Li-Fi puede ser una alternativa ideal para conexiones inalámbricas por razones de velocidad, instalación, movilidad, entre otros.

Teniendo una tasa de transmisión de 10 Gbit/s se puede afirmar que este tipo de red inalámbrica puede ser empleado en varias aplicaciones. Una de ellas es el servicio streaming. El cálculo para realizar una instalación de Li-Fi en sitios residenciales y corporativos es sencillo, y no requiere mayor cambio ya que se puede basar en la infraestructura de iluminación que se utiliza a diario.

Se ha determinado que Wi-Fi, la tecnología inalámbrica vigente en el país, es más rentable en la actualidad debido a la gran disponibilidad de sus productos ya estandarizados. Sin embargo, su limitada tasa de transmisión es una falencia que se debe considerar a futuro debido al crecimiento de la demanda de muchos servicios que requieren una mayor velocidad de datos. El análisis realizado en este trabajo determina que Li-Fi lleva la ventaja en comparación a otras redes inalámbricas, especialmente en cuanto a velocidad de transmisión. Por lo tanto se determina que una migración de una tecnología a otra a mediano plazo es viable si se toma en cuenta varios aspectos como su instalación y fabricación de equipos transmisores y receptores.

El servicio de streaming continua utilizándose desde hace casi 20 años, y a lo largo del tiempo las industrias que ofrecen estos servicios han experimentado un gran crecimiento y aceptación entre las personas. A través de la recopilación de datos realizada se concluye que, en cuanto a entretenimiento visual, los usuarios tienden a elegir la mejor calidad disponible. Como se sabe, cuanto mejor será la calidad de un archivo, su

tamaño será mayor al igual que su requerimiento de ancho de banda. Si se juntan todos los beneficios que puede ofrecer la tecnología Li-Fi, junto con la demanda en aumento de servicios streaming, se puede concluir que esta tecnología inalámbrica es viable en el país como alternativa, no como un reemplazo, a otras redes existentes tanto a nivel residencial como corporativo con una estimación a mediano plazo.

4.2 Recomendaciones

Con el desarrollo de la tecnología Li-Fi en países extranjeros se espera que en cierto periodo se comience a implementar en Ecuador y otros países latinoamericanos. Por lo tanto se recomienda que se tomen las medidas necesarias para innovar la infraestructura de inmuebles residenciales y corporativos para que exista una mejor recepción de esta red inalámbrica y que su proceso de migración sea eficiente. Entre los detalles a tomar en cuenta sería el cambio de luminarias compatibles y la realización del cálculo del número necesario de las mismas para los lugares donde se piensa instalar.

También es necesario que se establezca a nivel nacional el ancho de banda mínimo necesario para el buen funcionamiento de cada tipo de plataforma streaming, especialmente de las más utilizadas por los ecuatorianos, como medio informativo.

Es de gran importancia que los distintos proveedores de internet a nivel nacional cuenten con los recursos necesarios para una pasiva migración de un medio inalámbrico a otro, con la capacidad de que de Li-Fi pueda ser utilizado como una alternativa eficaz para el uso de Wi-Fi y de otras redes que trabajen en el espectro de radiofrecuencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelrahman, R., Mustafa, A., & Osman, A. (2015). *A Comparison between IEEE 802.11a, b, g, n and ac Standards* (p. 28). USA: International Organization Of Scientific Research (IOSR). Recuperado a partir de <http://www.iosrjournals.org/iosr-jce/papers/Vol17-issue5/Version-3/D017532629.pdf>
- AIR802. (2008). IEEE 802.11 a/b/g/n Wi-Fi Standards and Facts. Recuperado a partir de <https://www.air802.com/files/802-11-WiFi-Wireless-Standards-and-Facts.pdf>
- Borkar, P. (2012). Comparative Study of IEEE 802.11, 802.15, 802.16, 802.20 Standards for Distributed VANET (p. 116). Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/publication/261360736_Comparative_Study_of_IEEE_80211_80215_80216_80220_Standards_for_Distributed_VANET
- Egjam, A., Zarka, N., Tarbouche, S., & Dlaikan, S. (2015). Overview Li-Fi Technology, 6. Recuperado a partir de <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1440.0080>
- Eklund, C., Marks, R. B., Stanwood, K. L., & Wang, S. (2012). IEEE standard 802.16: a technical overview of the WirelessMAN/sup TM/ air interface for broadband wireless access. *IEEE Communications Magazine*, 40(6), 98. Recuperado a partir de <https://doi.org/10.1109/MCOM.2002.1007415>
- ETHW. (2017). Wireless Local Area Networks (WLANs). Recuperado 7 de diciembre de 2017, a partir de [http://ethw.org/Wireless_Local_Area_Networks_\(WLANs\)](http://ethw.org/Wireless_Local_Area_Networks_(WLANs))
- García, M. (2013). La realidad actual del streaming de video. El streaming tradicional vs alternativas actuales (p. 292). Presentado en EST 2013 - 16° Concurso de Trabajos Estudiantiles, XLII Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa. Recuperado a partir de <http://42jaiio.sadio.org.ar/proceedings/simposios/Trabajos/EST/19.pdf>

- Haas, H., Yin, L., Wang, Y., & Chen, C. (2016). What is LiFi? *Journal of Lightwave Technology*, 34(6), 1-4. Recuperado a partir de <https://doi.org/10.1109/JLT.2015.2510021>
- Hackmann, G. (2006). *802.15 Personal Area Networks* (p. 4). ResearchGate. Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/publication/229020058_80215_Personal_Area_Networks
- IEEE. (2012). IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. *IEEE Std 802.11-1997*, 4. Recuperado a partir de <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.1997.85951>
- IEEE. (2014). IEEE Standard for Telecommunications and Information Exchange Between Systems - LAN/MAN - Specific Requirements - Part 15: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs). *IEEE Std 802.15.1-2002*, 26. Recuperado a partir de <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2002.93621>
- INEC. (2010). Proyección de población por años en edades simple, periodo 2010-2020. Recuperado a partir de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
- Intriago, E. (2016). *Análisis de tecnologías de streaming: evaluación de protocolos y diseño de un caso de estudio*. Universidad Politécnica de Madrid, España. Recuperado a partir de http://www.dit.upm.es/~posgrado/doc/TFM/TFMs2015-2016/TFM_Erika_del_Rocio_Intriago_Acuna_2016.pdf
- Islim, M., & Haas, H. (2016). Modulation Techniques for Li-Fi. *ZTE Communications*, 14(2), 30. Recuperado a partir de http://www.zte.com.cn/endata/magazine/ztecommunications/2016/2/articles/201605/t20160512_458048.html

- Khandal, D., & Jain, S. (2014). Li-Fi (light Fidelity): the future technology in wireless communication. *Int. J. Inf. Comput. Technol.*, 0974-2239. Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/publication/312410810_Li-Fi_light_Fidelity_the_future_technology_in_wireless_communication
- Kozamernik, F. (2012). Media Streaming over the Internet — an overview of delivery technologies. *EBU Technical Department*, 1-15. Recuperado a partir de https://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev_292-kozamernik.pdf
- Kumar, K. (2016). Li –Fi (Light Fidelity) Technology: A Future Technology in Wireless Communication. *Journal of Advance studies*, 3, 149-151. Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/publication/314136920_Li-Fi_Light_Fidelity_Technology_A_Future_Technology_in_Wireless_Communication
- Land, M. (2010). *IEEE 802.16 Wireless Metropolitan Area Network (wMAN)*. Hadassah College. Recuperado a partir de <http://cs.hadassah.ac.il/staff/martin/Wireless/slide05.pdf>
- Li, B., Wang, Z., Liu, J., & Zhu, W. (2013). Two Decades of Internet Video Streaming: A Retrospective View. *ACM Trans. Multimedia Comput. Commun. Appl.*, 9(1s), 33:1–33:20. Recuperado a partir de <https://doi.org/10.1145/2505805>
- Maciejewski, M., Fischer, N. I. C., & Roginska, Y. (2014). Streaming and online access to content and services. Recuperado a partir de <http://www.europarl.europa.eu/studies>
- Naranjo Peña, O. V., & Casillas Salazar, F. I. (2016). *Estudio de Factibilidad de la Implementación de la Tecnología LI-Fi en la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Universidad de Guayaquil*. Recuperado a partir de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/17099>

- National Centre for Technology in Education. (2008). Wireless Networks. Recuperado a partir de http://www.eoiniosagain.ie/iosagain/sites/default/files/ncte_wireless_networks.pdf
- Philips Electronics. (2012). *Norma Europea sobre Iluminación para Interiores*. Unión Europea. Recuperado a partir de <http://ocw.uji.es/material/825687/raw>.
- Philips Electronics. (2014). *Catálogo de lámparas y luminarias LED*. Recuperado a partir de www.philips.com/led-product-info
- Sarkar, A., Agarwal, S., & Nath, A. (2015). Li-Fi Technology: Data Transmission through Visible Light. *IJARCSMS*, 3, 3. Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/publication/279530585_Li-Fi_Technology_Data_Transmission_through_Visible_Light
- Shalini, Beniwal, P., & Sourabh, K. (2016). A Review: Bluetooth, Wi-Fi & Wi-MAX. *International Journal of Technical Research (IJTR)*, 5(2), 60. Recuperado a partir de <http://www.omgroup.edu.in/downloads/files/n57b42c6b9da40.pdf>
- Sharma, R. R., Raunak, & Sanganal, A. (2014). Li-Fi Technology: Transmission of data through light. *Int.J.Computer Technology & Applications*, 5(1), 150-154. Recuperado a partir de <https://pdfs.semanticscholar.org/11d9/bd7a32c6c96647461caaff0e1d221aba02eb.pdf>
- Soto, O. (2011). *Comparación de la eficiencia volumétrica entre redes inalámbricas WiFi y WiMAX*. Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado a partir de http://132.248.9.195/ptb2011/noviembre/0674882/0674882_A1.pdf
- Stevanovic, I. (2017). Light Fidelity (LiFi). *Federal Office of Communications OFCOM*, 5. Recuperado a partir de <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21460.30082>

Wu, D., Hou, Y., Zhu, W., Zhang, Y.-Q., & Peha, J. (2011). Streaming Video over the Internet: Approaches and Directions. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 11(3), 283. Recuperado a partir de <https://doi.org/10.1109/76.911156>

ANEXOS

1) *Formato de encuesta*

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
USO DE STREAMING EN ECUADOR

Solicitamos su colaboración para responder las siguientes preguntas. Marque con un X al lado de la respuesta que desea.

¿Qué tipo de contenido de entretenimiento busca más en internet?

- Películas y series
- Música
- Juegos
- Otros. Especifique:

¿En qué calidad visualiza normalmente cualquier tipo de video online?

- Inferior a 480p
- 480p – SD
- 720p – HD
- 1080p – Full HD
- 2160p – Ultra HD (4K) o superior

¿Cuál es el ancho de banda de su plan de internet en el hogar?

- 1 Mbit/s o menor
- 1 a 5 Mbit/s
- 5 a 10 Mbit/s
- 10 a 50 Mbit/s
- Más de 50 Mbit/s

¿Cuál es el costo de su plan de internet?

- \$15 o menos
- De \$15 a \$25
- De \$26 a \$35
- De \$36 a \$50
- Más de \$50

¿Qué tipo de servicio streaming utiliza más?

- Video (Plataformas como Youtube, Netflix, CNT Play, y similares)
- Música (Spotify, Deezer, u otros)
- Educación (Google Books, academias online)
- Turismo (Google Maps)

2) Resultados de las encuestas

Muestra	150
----------------	-----

Pregunta 1:

1. ¿Qué tipo de contenido de entretenimiento busca más en internet?		
Valores	Respuestas	Conversión a %
1. Películas y series	89	59%
2. Música	46	31%
3. Juegos	8	5%
4. Otros	7	5%

Pregunta 2:

2. ¿En qué calidad visualiza normalmente cualquier tipo de video online?		
Valores	Respuestas	Conversión a %
1. Inferior a 480p	5	3%
2. 480p – SD	15	10%
3. 720p – HD	56	37%
4. 1080p – Full HD	60	40%
5. 2160p – Ultra HD (4K) o superior	14	9%

Pregunta 3:

3. ¿Cuál es el ancho de banda de su plan de internet en el hogar?		
Valores	Respuestas	Conversión a %
1. 1 Mbit/s o menor	5	3%
2. 1 a 5 Mbit/s	23	15%
3. 5 a 10 Mbit/s	43	29%
4. 10 a 50 Mbit/s	58	39%
5. Más de 50 Mbit/s	21	14%

Pregunta 4:

4. ¿Cuál es el costo de su plan de internet?		
Valores	Respuestas	Conversión a %
1. \$15 o menos	7	5%
2. De \$15 a \$25	41	27%
3. De \$26 a \$35	49	33%
4. De \$36 a \$50	43	29%
5. Más de \$50	10	7%

Pregunta 5:

5. ¿Qué tipo de servicio streaming utiliza más?		
Valores	Respuestas	Conversión a %
1. Video (Youtube, Netflix, CNT Play, otros)	116	77%
2. Música (Spotify, Deezer, u otros)	28	19%
3. Educación (Google Books, academias online)	6	4%
4. Turismo (Google Maps)	0	0%



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Rosero Torres, Vanessa Nicole** con C.C: # 0930643432 autor del Trabajo de Titulación: **Análisis y estudio del uso de la tecnología Li-Fi en sistemas de reproducción multimedia mediante streaming para la utilización a mediano plazo en el Ecuador** previo a la obtención del título de **INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, 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 titulación 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 SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 5 de Marzo de 2018

f. _____

Nombre: Rosero Torres, Vanessa Nicole

C.C: 0930643432

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	ANÁLISIS Y ESTUDIO DEL USO DE LA TECNOLOGÍA LI-FI EN SISTEMAS DE REPRODUCCIÓN MULTIMEDIA MEDIANTE STREAMING PARA LA UTILIZACIÓN A MEDIANO PLAZO EN EL ECUADOR		
AUTOR(ES)	ROSETO TORRES, VANESSA NICOLE		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. BOHÓRQUEZ HERAS, DANIEL BAYARDO		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniera en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	5 de Marzo de 2018	No. DE PÁGINAS:	99
ÁREAS TEMÁTICAS:	Comunicaciones inalámbricas, Fundamentos de comunicación, Sistemas de Transmisión		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Li-Fi, Redes, Comunicaciones Inalámbricas, Transmisión, Streaming, Multimedia.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	<p>En la actualidad, el Internet se ha convertido en un servicio de primera necesidad que otorga libre acceso a diferentes tipos de contenido, donde se encuentra una variedad de tipos de multimedia a través de streaming, permitiendo que este tienda a convertirse en uno de los mercados más solicitado al distribuir películas, series y videos bajo demanda. Debido a la aparición de resoluciones de última generación para este contenido, es necesario que los usuarios cuenten con un ancho de banda apropiado que puede ser proporcionado por redes cableadas mas no por las redes inalámbricas actualmente disponibles, las cuales son las más utilizadas por las personas debido a su movilidad. En el presente trabajo se pretende plantear a la tecnología Li-Fi (Light Fidelity) como una opción fiable para ofrecer el ancho de banda deseado para los servicios de streaming en comparación con las tecnologías de redes inalámbricas que son más empleadas en Ecuador para uso residencial y corporativo; para esto se realiza un estudio del funcionamiento de esta nueva tecnología aplicable a nivel nacional describiendo los beneficios que puede brindar, donde resalta su alta velocidad para reproducir contenido multimedia a través de una infinidad de plataformas y sitios web que ofrezcan acceso vía streaming con calidad de video de última generación.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4-2499317 +593-9-92367189	E-mail: vaniroto@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-6-8366762		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			