



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

TEMA:

**Estudio del sistema VLC como solución a los cortes de
transmisión de datos en la red HFC ocasionados en el sector norte de
la ciudad de Guayaquil.**

AUTOR:

Concha Quisnancela, Grace Brigitte

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

TUTOR:

Ing. Romero Rosero, Carlos Bolívar

Guayaquil, Ecuador

15 de septiembre del 2020



**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 la Srta.
Concha Quisnancela, Grace Brigitte como requerimiento para la
obtención del título de **INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

Ing. Romero Rosero, Carlos Bolívar

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 15 días del mes de septiembre del año 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Concha Quisnancela, Grace Brigitte**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación “**Estudio del sistema VLC como solución a los cortes de transmisión de datos en la red HFC ocasionados en el sector norte de la ciudad de Guayaquil.**” 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 15 días del mes de septiembre del año 2020

EL AUTOR

CONCHA QUISNANCELA, GRACE BRIGGITTE



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

AUTORIZACIÓN

Yo, **Concha Quisnancela, Grace Brigitte**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Estudio del sistema VLC como solución a los cortes de transmisión de datos en la red HFC ocasionados en el sector norte de la ciudad de Guayaquil.”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

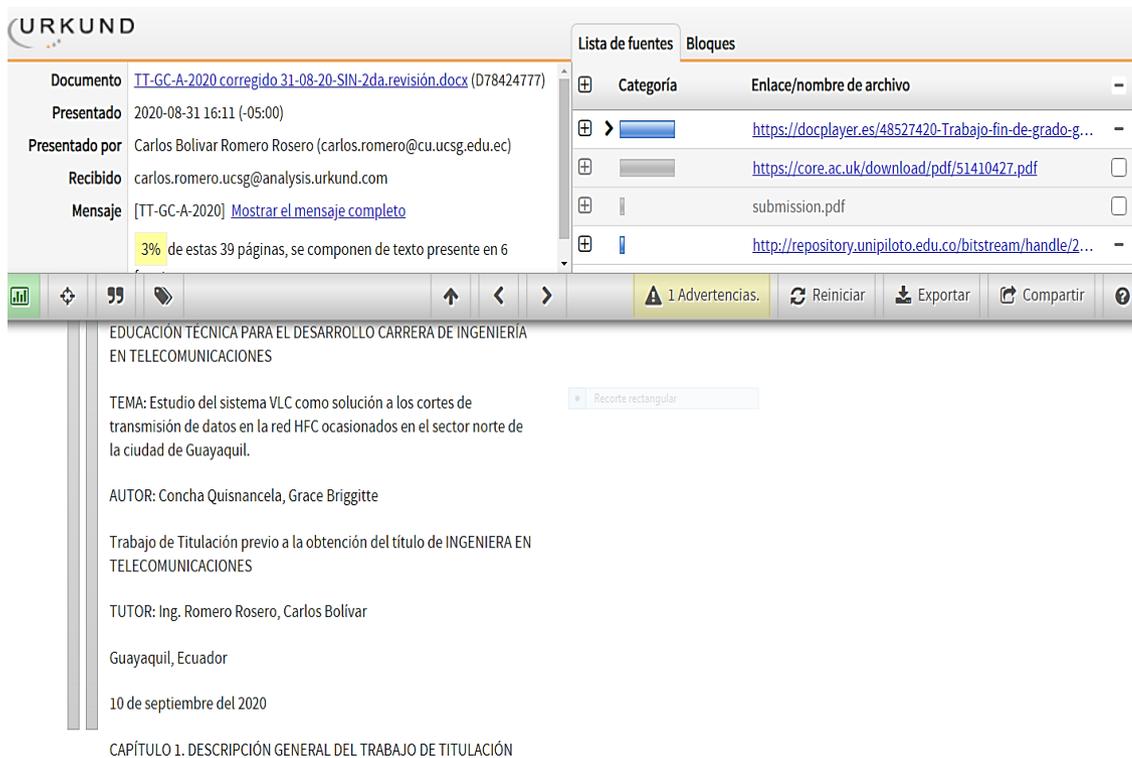
Guayaquil, a los 15 días del mes de septiembre del año 2020

EL AUTOR

CONCHA QUISNANCELA, GRACE BRIGGITTE

REPORTE DE URKUND

Informe del Trabajo de Titulación de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, con **3 %** de coincidencias perteneciente a la estudiante, **CONCHA QUISNANCELA GRACE BRIGGITTE**.



The screenshot displays the URKUND interface. On the left, a sidebar shows document details: 'Documento' (TT-GC-A-2020 corregido 31-08-20-SIN-2da.revisión.docx), 'Presentado' (2020-08-31 16:11), 'Presentado por' (Carlos Bolívar Romero Rosero), 'Recibido' (carlos.romero.ucsg@analysis.orkund.com), and 'Mensaje' (3% de estas 39 páginas, se componen de texto presente en 6). The main area shows a 'Lista de fuentes' (List of sources) table with columns for 'Categoría' and 'Enlace/nombre de archivo'. The table lists four sources with checkboxes. Below the table is a toolbar with icons for search, zoom, and other functions, along with a '1 Advertencias' (1 Warnings) indicator. The main content area displays the document text, including the title 'EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES', the topic 'TEMA: Estudio del sistema VLC...', the author 'AUTOR: Concha Quisnancela, Grace Brigitte', and the date '10 de septiembre del 2020'. The chapter title 'CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN' is also visible.

Categoría	Enlace/nombre de archivo
>	https://docplayer.es/48527420-Trabajo-fin-de-grado-g...
	https://core.ac.uk/download/pdf/51410427.pdf
	submission.pdf
	http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/2...

EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA: Estudio del sistema VLC como solución a los cortes de transmisión de datos en la red HFC ocasionados en el sector norte de la ciudad de Guayaquil.

AUTOR: Concha Quisnancela, Grace Brigitte

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

TUTOR: Ing. Romero Rosero, Carlos Bolívar

Guayaquil, Ecuador

10 de septiembre del 2020

CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Atentamente,
Ing. Carlos Romero Rosero.
Profesor Titular Principal
TUTOR

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación va dedicado en primer lugar a Dios porque sin él nada sería posible, por darme la vida, por darme día a día cosas buenas, por premiarme con la familia que tengo, por darme fuerzas y un propósito para seguir adelante día a día, por las pruebas que ha puesto a lo largo de mi vida, las cuales me han permitido crecer y me han dejado muchos aprendizajes.

A mi familia, por el apoyo incondicional que me han brindado, por confiar en mí y enseñarme que con esfuerzo y dedicación nada es imposible, por ser siempre unida y bondadosa, por los buenos y los malos momentos, gracias por su eterno amor.

EL AUTOR

CONCHA QUISNANCELA, GRACE BRIGGITTE

AGRADECIMIENTO

Mas que agradecer por mi trabajo de titulación, agradezco a quienes han ayudado a que culmine esta etapa de mi vida, quienes han aportado con uno o varios granitos de arena para que llegue a cumplir esta meta, quienes han confiado en mí y espero lo sigan haciendo por todo el camino que falta por recorrer.

Agradezco a Dios, por ser quien ha destinado cada uno de los pasos que he dado, por ser tan bueno y bondadoso conmigo, por mostrarme que siempre hay oportunidades para conseguir de manera correcta lo que nos proponemos, por darme inteligencia y fuerzas para llegar a cumplir esta meta.

A mis padres, por su apoyo incondicional, porque sin ellos nada sería posible, por su eterno amor y también por los regaños los cuales me han permitido ser una persona de bien, porque son mi claro ejemplo de que con esfuerzo y trabajo en conjunto todo es más fácil de conseguir.

A mis hermanos y cuñados, quienes en algunos años de mi vida han sido como mis padres y me han guiado y ayudado en cada momento que lo he necesitado, por sus buenos consejos y por la confianza que siempre han tenido en mí.

A mis sobrinos, por darme la alegría del día a día, por darme las ganas de salir adelante, por buscar un mejor futuro para mí y para ellos, por ser mi inspiración y mis fuerzas, esto es por ustedes, porque algún día lleguen mucho más lejos de lo que yo lo he hecho.

Al Ingeniero Carlos Romero Rosero, por su orientación y dedicación brindada desde el primer día, por su responsabilidad en cada reunión que hemos tenido, por las sugerencias y por todas las enseñanzas de forma desinteresada, muchas gracias por ayudarme a culminar con éxito mi trabajo de titulación.

EL AUTOR

CONCHA QUISNANCELA, GRACE BRIGGITTE



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

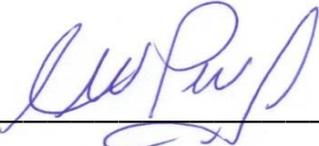
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS
DECANO

f. 

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
COORDINADOR DEL ÁREA

f. 

M. Sc. PHILCO ASQUI, LUIS ORLANDO
OPONENTE

Índice General

RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	2
1.1 Introducción.	2
1.2 Antecedentes.....	3
1.2 Definición del Problema.....	3
1.4 Justificación del problema.	4
1.5 Objetivos del Problema de Investigación.	5
1.5.1 Objetivo General.	5
1.5.2 Objetivos Específicos.....	5
1.6 Hipótesis.	5
1.7 Metodología de Investigación.	6
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
2.1 Historia de las redes HFC.	7
2.2 Elementos de la red HFC.	7
2.2.1 Cabecera o Headend	8
2.2.2 Red troncal.....	8
2.2.3 Red de distribución	9
2.2.4 Red de usuario o acometida	10
2.3 Cable coaxial	10
2.3.1 Parámetros de un cable coaxial	11
2.3.2 Interferencia en cable coaxial	11
2.4 Canal de retorno en la red HFC	12
2.4.1 Problemática en el canal de retorno de la red HFC.....	12
2.5 Normas DOCSIS, protocolos de señalización y aplicaciones	12
2.5.1 Evolución de DOCSIS y capacidades de servicio	12
2.6 CMTS.....	13
2.7 Historia de las redes VLC	13
2.8 Sistema VLC	14

2.9	Transmisor de VLC	14
2.10	Canal VLC	16
2.11	Receptor VLC.....	20
2.12	Estandarización VLC.....	22
2.13	Arquitectura de VLC.....	23
2.13.1	Capa MAC.....	23
2.13.2	Capa física.....	24
2.14	Transmisión de datos VLC.	26
2.15	Aplicaciones de VLC.....	27
2.15.1	Sistema de transporte inteligente (ITS).....	28
2.15.2	Ciudades y hogares inteligentes.	29
2.15.3	Li-Fi.....	30
2.15.4	Comunicación submarina.	31
2.15.5	Hospitales.	32
2.16	Interferencia de la luz ambiental.	32
2.17	Aspectos relevantes del espectro para la luz visible.....	34
CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....		35
3.1	Ubicación geográfica del estudio realizado.	35
3.2	Caracterizar los parámetros técnicos de las redes HFC (Hybrid Fiber-Coaxial) y VLC (Visible Light Communications).	36
3.2.1	Características técnicas de la red HFC.	36
3.2.2	Características técnicas de los sistemas VLC.....	37
3.3	Establecer las bandas de frecuencias en las que operan las redes a estudiar.	38
3.3.1	Bandas de frecuencias en la red HFC.	39
3.3.2	Bandas de frecuencias asignadas a los sistemas de comunicaciones por luz visible VLC.	39
3.4	Restricciones que presentan la red HFC (Hyber Fyber-Coaxial) como los sistemas de comunicaciones por luz visible (VLC).	40
3.5	Tabla comparativa del estudio realizado en las redes HFC y red de Comunicación por luz visible VLC.	41
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		47
4.1	Conclusiones	47
4.2	Recomendaciones.....	48

Bibliografía.....	49
Glosario de términos.....	53

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2.1 <i>Topología de una arquitectura de la red HFC</i>	7
Figura 2.2 <i>Cabecera de red</i>	8
Figura 2.3 <i>Red troncal</i>	9
Figura 2.4 <i>Red de distribución</i>	9
Figura 2.5 <i>Red de distribución</i>	10
Figura 2.6 <i>Espectro de la luz visible</i>	14
Figura 2.7 <i>Directed LOS</i>	17
Figura 2.8 <i>Non-directed LOS</i>	18
Figura 2.9 <i>Directed Non-LOS</i>	19
Figura 2.10 <i>Non-directed Non-LOS</i>	19
Figura 2.11 <i>Topologías MAC</i>	24
Figura 2.12 <i>Modelo típico de sistema de capa física de VLC</i>	25
Figura 2.13 <i>Modulación OOK</i>	25
Figura 2.14 <i>Estructura general de un enlace VLC</i>	27
Figura 2.15 <i>Sistema de transporte inteligente usando comunicaciones por luz visible.</i>	29
Figura 2.16 <i>Modo de operar UTROV</i>	31
Figura 2.17 <i>Robot HOSPI</i>	32

Capítulo 3

Figura 3.1 <i>Posición geográfica de la zona a tratar en el trabajo de titulación</i>	35
Figura 3.2 <i>Banda de frecuencia del sistema VLC</i>	40

Índice de Tablas

Capítulo 2

Tabla 2.1 <i>Características de los LEDs.</i>	15
Tabla 2.2 <i>Características de fotodetectores</i>	20

Capítulo 3

Tabla 3.1 <i>Características técnicas de la red HFC</i>	36
Tabla 3.2 <i>Características técnicas de los sistemas VLC</i>	37
Tabla 3.3 <i>Bandas de frecuencia red HFC</i>	39
Tabla 3.4 <i>Tabla comparativa entre las redes HFC y la red de comunicación por luz visible.</i>	42

RESUMEN

Mediante el presente trabajo de titulación se quiere dar a conocer a los sistemas de comunicaciones VLC como una solución óptima a los cortes de transmisión de datos ocasionados en la red HFC en el sector norte de la ciudad de Guayaquil.

Debido a las vulnerabilidades que presenta la red HFC, como son los problemas ocasionados en el canal de retorno, el ruido y las interferencias por ondas electromagnéticas, se busca un sistema de comunicación que permita que la transmisión de datos sea de manera más rápida y con mayores ventajas.

Los sistemas VLC son un tipo de comunicación inalámbrica la cual esta conformada por el transmisor, canal y receptor. Estos sistemas usan el diodo emisor de luz blanca (LED) como transmisor y se caracterizan por ser de corto alcance, alta velocidad y además pueden ser usados en lugares donde las ondas electromagnéticas generen interferencias. Adicional, usan el estándar IEEE 802.15.7 y algunas normas que regulan el parpadeo de la luz.

Palabras claves:

VLC, HFC, TRANSMISIÓN, INTERFERENCIAS, LED, IEEE, LUZ.

ABSTRACT

The present degree work, the aim is to make VLC communication systems known as an optimal solution to data transmission cuts caused in the HFC network in the northern sector of Guayaquil city.

Due to the vulnerabilities that the HFC network presents, such as issues in the return channel, noise and electromagnetic wave interference, a communication system is being sought that allows data transmission to be faster and more convenient. greater advantages.

VLC systems are a type of wireless communication which is made up of the transmitter, channel and receiver. These systems use the white light emitting diode (LED) as a transmitter and are characterized by being short range, high speed and can also be used in places where electromagnetic waves generate interference. Additionally, they use the IEEE 802.15.7 standard and some standards that regulate the flickering of light.

Keywords:

VLC, HFC, TRANSMISSION, INTERFERENCES, LED, IEEE, LIGHT.

CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

1.1 Introducción.

A medida que ha pasado el tiempo, las personas han sentido la necesidad de comunicarse es por esta razón que las telecomunicaciones están presentes a lo largo de nuestras vidas. Hoy en día lo más utilizado por la sociedad es la internet ya que nos permite realizar diferentes funciones de nuestra vida cotidiana.

La demanda de los servicios de la internet ha hecho que las compañías de telecomunicaciones se esmeren en ofrecer diferentes formas de como transmitir información a una alta velocidad, anteriormente lo más común era usar instalaciones del cable de cobre, pero debido a que esta tecnología es muy limitada se sigue buscando realizar mejoras en las redes que van evolucionando.

Las redes HFC son la evolución de las redes CATV alrededor de los años 90, la cual es una combinación de la fibra con el cable coaxial y usan un estándar de internet denominado DOCSIS, el cual es el encargado de controlar todos los parámetros de esta red, desde el inicio hasta el fin de esta. Estas redes nacen por la búsqueda de unificar tres servicios como lo son telefonía, televisión e internet a través de una sola vía de comunicación. Además de que podemos aprovechar los beneficios de este medio de transmisión abarcando largas distancias con poca atenuación en su recorrido.

Por otro lado, existen otras maneras en las que se puede transmitir datos, sobre todo en áreas restringidas como pueden ser los hospitales, minas o lugares donde la interferencia electromagnética generaría un problema. Las comunicaciones por luz visible nos brindan la transmisión de datos de alta velocidad a través de LEDs, los cuales no implican riesgos para la salud y

tienen mayor duración, además de que no satura la red, gracias al uso de un gran ancho de banda.

1.2 Antecedentes.

Al igual de tener beneficios, se conoce que la red HFC está expuesta al ruido por corrientes inducidas, también es vulnerable a la interferencia electromagnética causada por otras fuentes como lo son radio, motores eléctricos, celulares. Todas estas fuentes juntas provocan la degradación de la señal.

Guayaquil, siendo una de las ciudades más pobladas del Ecuador presenta mayor demanda en la transmisión ya sea de datos, voz o video. La versatilidad que tiene la internet hace que este medio de comunicación sea de suma importancia hoy en día. A causa del confinamiento que se está viviendo en estos últimos meses ha obligado a que, los trabajos presenciales se modernicen a teletrabajo lo cual ha causado saturación y cortes en el servicio de transmisión por datos.

Es recurrente acudir a nuevas tendencias tecnológicas con el fin de dar beneficios al usuario para que este a su vez obtenga un mejor servicio y evitar problemas que se generen retrasos laborales, educativos o personales a causa de la insatisfacción que puede llegar a generar la red HFC. Con las comunicaciones por luz visible se busca mejorar el servicio de transmisión de datos dado que, tendrá un mayor alcance con calidad de servicio, evolucionando a una forma de comunicación más eficaz.

1.2 Definición del Problema.

Se están presentando cortes en los sistemas de comunicaciones de redes HFC en el sector norte de la ciudad de Guayaquil durante periodos de alta demanda.

Ante esta situación, nuestro problema de investigación es el siguiente:

¿Como incide la falta de un sistema de comunicación mediante luz visible, en los cortes de la red HFC en la ciudad de Guayaquil actualmente?

1.4 Justificación del problema.

Actualmente, existe mucha demanda en los servicios de internet debido al confinamiento que se está viviendo, estas interferencias se ven reflejadas cuando varios usuarios intentan conectarse al mismo tiempo ya sea en diferentes redes o en una sola, en una conferencia se puede ver claramente las consecuencias como son el corte de audio o video, pérdida total de la señal o una baja velocidad en la de transmisión de datos.

Esta investigación es muy conveniente, ya que nos brindaría una buena opción de comunicación continua a los usuarios sin cortes ni ruidos que generen interferencias. La relevancia del tema a investigar es que, se quiere demostrar una mejor calidad a escoger en el acceso de las redes de comunicación, mediante la comunicación por luz visible.

Los beneficios de esta investigación se verán reflejados en diferentes áreas como lo son el comercio, transporte, educación, salud, entre otras, ya que tendrían una red de comunicación fiable, continua y de calidad, así como también las plataformas que brindan servicios online no se verán afectadas bajo ninguna condición.

Este estudio permitirá que los estudiantes de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo accedan a realizar formas comparativas de estudio de diferentes medios de comunicación más fiables y de calidad con el propósito de brindar y mostrar nuevas tecnologías que mejoren el servicio brindado a la comunidad.

1.5 Objetivos del Problema de Investigación.

1.5.1 Objetivo General.

Estudiar el sistema de comunicaciones por luz visible como solución a las causas que provocan cortes en los sistemas de comunicaciones de la red HFC para determinar la mejor alternativa de red en transferencia de datos en el sector norte de la ciudad de Guayaquil.

1.5.2 Objetivos Específicos.

1. Caracterizar los parámetros técnicos de las redes HFC (Hybrid Fiber Coaxial) y VLC (Visible light communications).
2. Establecer las bandas de frecuencias en las que operan las redes a estudiar.
3. Analizar las restricciones que presentan la red HFC (Hybrid Fiber Coaxial) y VLC (Visible light communications).
4. Elaborar una tabla comparativa del estudio realizado a las redes HFC y red de comunicación por luz visible.

1.6 Hipótesis.

En el presente trabajo de titulación, se dará una propuesta de solución para evitar cortes en los sistemas de comunicaciones durante los periodos de alta demanda, mediante este estudio daremos a conocer los parámetros técnicos de la red HFC y de los sistemas de comunicaciones por luz visible con la finalidad de proveer la mejor calidad de servicio de transmisión por datos al usuario.

1.7 Metodología de Investigación.

El trabajo de titulación a realizar es de tipo explicativo y analítico porque se va a estudiar las causas que están ocasionando actualmente cortes en los sistemas de comunicaciones en busca de una mejor calidad en el servicio de internet. También es de tipo descriptiva ya que se toma en cuenta los problemas surgidos durante un periodo específico como el que estamos viviendo actualmente, que es el confinamiento.

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Historia de las redes HFC.

Las primeras redes de cable nacieron en los años 40, con la finalidad de repartir la señal de televisión en regiones de difícil acceso en Pensilvania. John Walson, quien era el dueño de un almacén de televisores debido a la necesidad de vender sus equipos y al problema que existía con la recepción de la señal, colocó una antena en la cima de una montaña para así poder transmitir la señal a través de un coaxial y amplificadores.

Más adelante, alrededor de 1950 Walson quiso expandir su negocio y comenzó a realizar ensayos con los sistemas microondas para así poder llegar a distancias más lejanas. En 1972, se desarrolló la TV pagada, esta creció de manera significativa, pero contaba con recursos muy limitados, en busca de proveer una mejor calidad y cobertura nacieron las redes HFC que son la unión de fibra y coaxial y tienen la finalidad de proveer mayor alcance, mayor ancho de banda mejorando el servicio de transmisión de datos.

2.2 Elementos de la red HFC.

La red HFC consta de 4 partes fundamentales que se muestran a continuación en la figura 2.1.

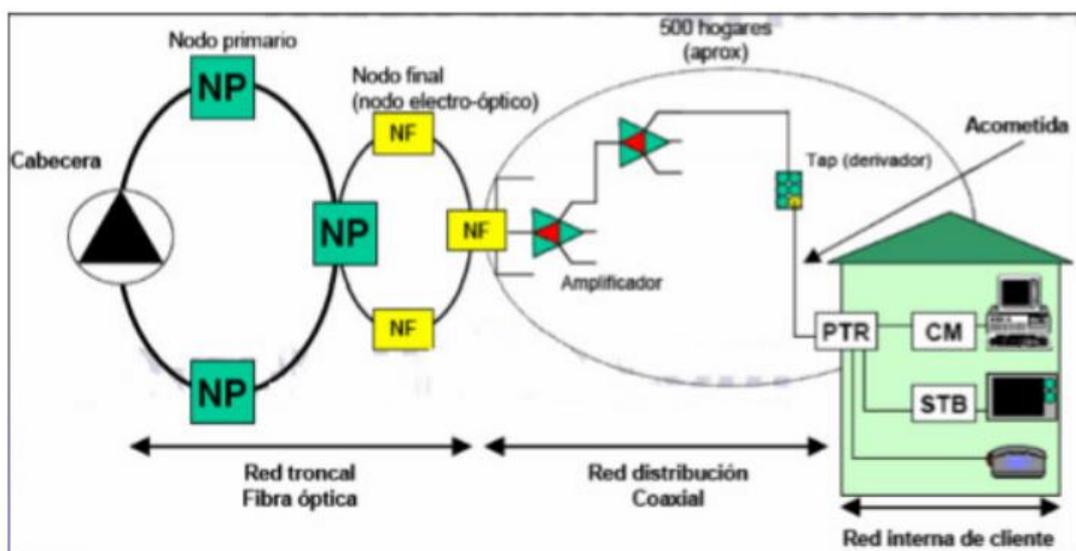


Figura 2.1 Topología de una arquitectura de la red HFC
Fuente: (Sánchez M., 2017)

2.2.1 Cabecera o Headend

Es donde nacen todas las señales a distribuir por la red, con destino a los diferentes HUBs que están desplegados interiormente en la ciudad como se aprecia en la figura 2.2. Es donde se monitorea el buen funcionamiento de la red que permite transmitir toda la información. Dentro de la cabecera se encuentra el receptor óptico, los cuales son necesarios para transmitir la señal eléctrica del canal ascendente hasta la cabecera, por eso se sitúan antes de la cabecera en el canal ascendente para así poder convertir las señales ópticas que reciben en señales eléctricas.



Figura 2.2 Cabecera de red

Fuente: (RC Micro, 2009)

2.2.2 Red troncal

Es la encargada de transportar las señales desde la cabecera hasta los nodos finales como se puede ver en la figura 2.3. Su medio de transmisión es la fibra óptica monomodo. Se distinguen normalmente varios niveles dentro de la red troncal:

- Red troncal primaria: enlaza punto a punto mediante fibra óptica la cabecera con cada uno de los nodos primarios. Normalmente se emplea tecnología óptica de tercera ventana.
- Red troncal secundaria: enlaza punto a punto cada nodo primario con cada uno de los nodos finales mediante fibra óptica. Normalmente se emplea tecnología óptica de segunda ventana, aunque se observa una clara tendencia hacia el uso de la tercera ventana (Sánchez M., 2017).

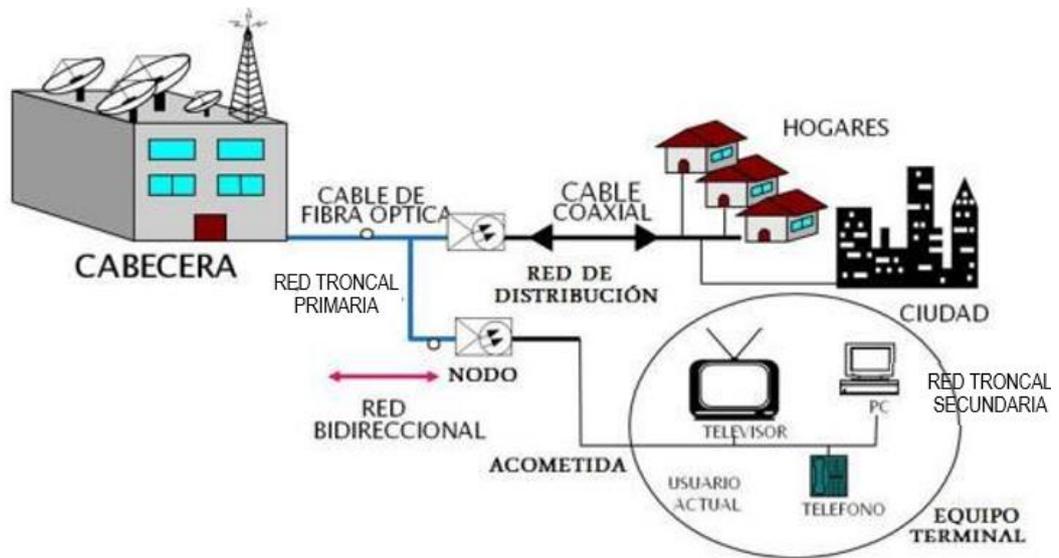


Figura 2.3 Red troncal

Fuente: (Crespo R. & Torres M., 2016)

2.2.3 Red de distribución

La red de distribución transporta la señal de banda ancha del sistema desde la troncal, nodos finales, hasta los abonados, es decir, se encarga de multiplexar la información proveniente de las cabeceras y las adapta para transportarlas al bucle de abonado, como se puede ver en la figura 2.4 (Sánchez M., 2017).

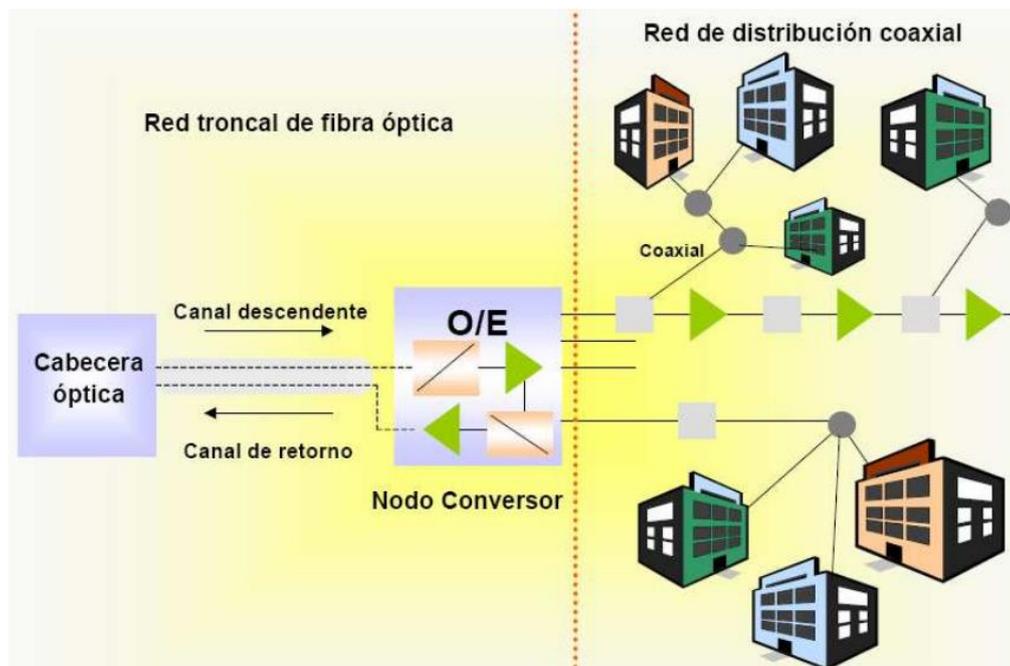


Figura 2.4 Red de distribución

Fuente: (Angulo B. & Polo O., 2011)

Red de distribución principal: Une el nodo final con cada uno de los derivadores o taps, a partir de los cuales se distribuye la señal hasta las distintas unidades inmobiliarias a las que se les da servicio. Normalmente se emplea cable coaxial de gran diámetro, que presenta poca flexibilidad y baja atenuación (típicamente se emplea QR-540 y, en menor medida, QR-715). En este tramo de red se colocan tanto elementos activos como elementos pasivos (Sánchez M., 2017).

2.2.4 Red de usuario o acometida

Esta red cubre el tramo existente entre los derivadores o taps y el punto de terminación de red, es la red en la cual se conecta directamente el equipo terminal del abonado como se puede ver en la figura 2.5. Anteriormente era instalada por el cliente. Los elementos que conforman la red de acometida son: taps (estos pueden ser de 2- 4-8 salidas), splitters y cable coaxial RG6.

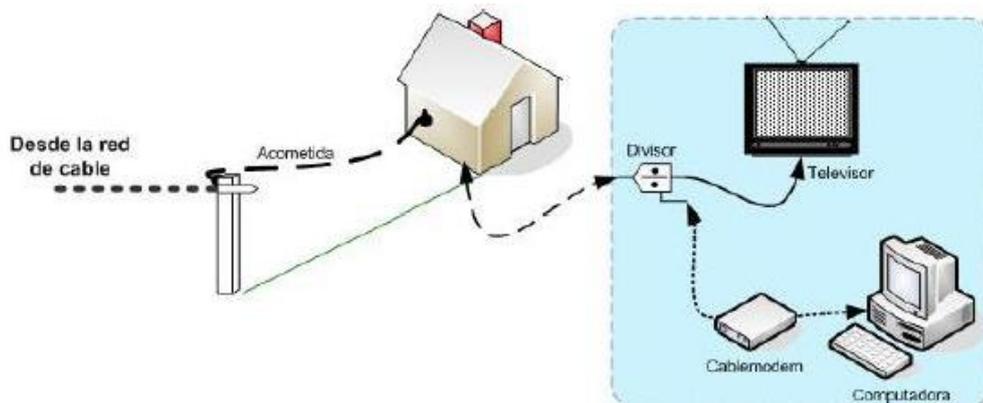


Figura 2.5 Red de distribución

Fuente: (Villacrés B., 2008)

2.3 Cable coaxial

Un cable coaxial está compuesto por un cable de cobre interno rodeado por un material dieléctrico, el cual a su vez es rodeado de nuevo por un segundo conductor. Finalmente, el cable es envuelto por un plástico protector.

El conductor interior tiene el propósito transportar la señal y cuanto mayor es su diámetro, menor es la atenuación resultante. Se compone de cobre desnudo, acero chapado en cobre o de cobre estañado, para facilitar la soldadura y proteger de la corrosión.

El dieléctrico es un material aislante colocado alrededor del conductor interno, con el fin de mantener el conductor exterior (pantalla) centrado con el anillo interior. Eso es generalmente constituido por polietileno compacto de espuma.

El segundo conductor es una malla de conductor, que sirve para la referencia a tierra del conductor interior, así como de una capa de protección frente a interferencias electromagnéticas. Este tipo de cable permite transmitir datos a mayor distancia que un cable de par trenzado y además es menos susceptible a las interferencias (Díaz P., 2014).

2.3.1 Parámetros de un cable coaxial

Existe una serie de parámetros que dividen el cable coaxial en diferentes categorías, los cuales son:

- Impedancia característica (Z_0): La cual indica la resistencia que presenta al flujo de electrones generados en la línea de transmisión. De este valor depende la geometría del cable, la calidad del conductor y la uniformidad del dieléctrico.
- Atenuación: La cual indica dos características importantes como lo son la depreciación de la amplitud y la distorsión de una señal a lo amplio del cable coaxial.
- Pérdidas de retorno: Este parámetro es el encargado de estudiar las ondas electromagnéticas reflejadas, se lo debe tomar en consideración ya que estas ondas debilitan la señal.

2.3.2 Interferencia en cable coaxial

Una de las dificultades más comunes para la red coaxial y precisamente en la vía de retorno es el ingreso de RF, o interferencia de señales de radio de fuentes externas. Esto se debe a la existencia de algún cable dañado, corroído o conectores defectuosos en la red. Se estima que un 80 % de ingreso de interferencia proviene desde la instalación interna del usuario. El ingreso de RF interrumpe el servicio de retorno, porque ocupa la misma frecuencia a niveles altos e interfiere con la recepción y demodulación de las señales. Una vez que la señal de interferencia ha ingresado al sistema, viajará

a través de toda la red hasta el Headend igual que cualquier otra señal de retorno. Cuando la señal de interferencia llega al Headend este puede obstruir el servicio para todos los usuarios y no solamente al usuario por donde ingresa (Montes S., 2016).

2.4 Canal de retorno en la red HFC

Este canal permite transportar información desde el usuario hasta la red principal, esta red irá direccionada hacia la cabecera o headend. Años atrás el canal de retorno era netamente un canal telefónico convencional, esta es la razón por la cual toda la información generada por el abonado era almacenada por quien controle el canal de retorno, cabe mencionar que no contaba con gran capacidad de almacenamiento de datos, por consiguiente, no se podía ofrecer servicios de banda ancha.

2.4.1 Problemática en el canal de retorno de la red HFC

Los siguientes problemas son los más comunes que existen en el canal de retorno, como lo son: (a) Efecto embudo, (b) Interferencias específicas del canal de retorno, y (c) Ruido de ingreso

2.5 Normas DOCSIS, protocolos de señalización y aplicaciones

Las especificaciones de la interfaz DOCSIS permitieron el desarrollo y el despliegue de datos por cable en un sistema no propietario, de múltiples proveedores, base interoperable para la transferencia bidireccional transparente de Internet. El tráfico de protocolo IP entre la cabecera del sistema de cable y los usuarios se realiza mediante una red híbrida de fibra y coaxial. El sistema consta de un CMTS situado en la cabecera, un medio HFC, y un CM situado en las instalaciones del usuario final, en combinación con las capas DOCSIS definidas que admiten la interoperabilidad y permiten futuros servicios de valor agregado (Grela, 2016).

2.5.1 Evolución de DOCSIS y capacidades de servicio

En una planta de CATV, el CMTS podría desplegarse tanto en el Hub como en la cabecera. Además, el router de banda ancha universal puede ser

equipado para conectividad de red troncal de una gran selección de adaptadores de puerto que van desde T1/E1 de serie para paquetes a través de SONET/POS de DPT (Transporte Dinámico de Paquetes) y Ethernet. A menudo se requiere conectividad a PSTN (Public Switched Telephone Network para apoyar a cualquiera de los servicios de acceso telefónico, a Internet o voz.

La norma evolucionó a DOCSIS 1.1, 2.0, 3.0 y 3.1, para apoyar servicios adicionales y aplicaciones futuras, que coinciden con las mejoras del producto para satisfacer las necesidades del mercado, para garantizar la confiabilidad de la red, y alta disponibilidad del sistema. Los servicios y aplicaciones actuales incluyen la telefonía basada en voz sobre protocolo de Internet (VoIP), vídeo sobre IP utilizando el formato de trama MPEG, calidad de servicio (QoS), y definiciones de seguridad mejoradas (Grela, 2016).

2.6 CMTS

CMTS son las siglas de (Sistema de Terminación de Cabledemods). Para entender lo que es un CMTS se puede pensar en un router que actúa como interfaz entre la red de datos y la red de RF o que posee conexiones Ethernet en un extremo y conexiones RF coaxiales en el otro, se utiliza para proporcionar servicios de datos de alta velocidad, como Internet por cable o VoIP a los abonados, compatible con normas DOCSIS 3.0. El cable módem es un tipo especial de módem diseñado para modular la señal de datos sobre una infraestructura de televisión por cable.

2.7 Historia de las redes VLC

En los años 1980, debido a la evolución de los diodos emisores de luz roja, naranja y amarilla de alta aptitud incitaron la noción de reemplazar la iluminación de estado sólido para fines de iluminación. Luego de algunos años, alrededor de 1996 fue cuando se sumergió en el mercado el primer LED blanco, las cuales se conoce hoy en día debido a sus cualidades como lo son su eficiencia, baja emisión de carbono y libre de mercurio. La historia de VLC se remonta años atrás cuando los romanos utilizaban placas metálicas pulidas para reflejar la luz solar y transmitir señales a larga distancia. En 1794, se

desarrolló un sistema de semáforo que consiste en una serie de torres equipadas para transmitir información. Al pasar de los años se siguió buscando sistemas para poder transmitir información y al inicio del siglo 20 se utilizó el heliógrafo para la comunicación a larga distancia.

2.8 Sistema VLC

Los sistemas de comunicación de luz visible (VLC) ocupan el espectro de 380nm a 750nm perteneciente a un espectro de frecuencia de 430 THz a 790 THz como se muestra en la figura 2.6. El problema de bajo ancho de banda en la comunicación de radiofrecuencia se resuelve en VLC debido a la disponibilidad del gran ancho de banda. El receptor VLC solo recibe señales si residen en la misma habitación que el transmisor, por lo tanto, los receptores fuera de la habitación de la fuente VLC no podrán recibir la señal, por ende, es inmune a los problemas de seguridad que ocurre en la RF de sistemas de comunicación.

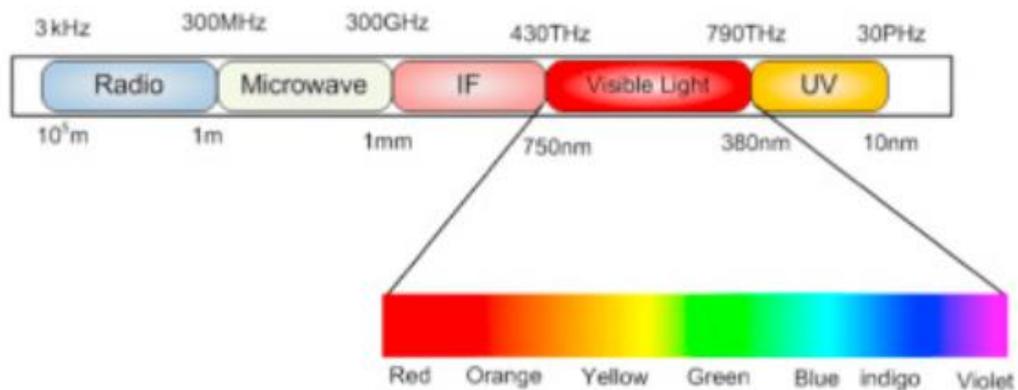


Figura 2.6 Espectro de la luz visible

Fuente: (Ullah K., 2017)

2.9 Transmisor de VLC

El transmisor VLC es diferente de los transmisores de otras comunicaciones convencionales, debido a su doble funcionalidad como transmisor de comunicaciones y dispositivo de iluminación simultáneamente. Por lo tanto, debemos tener en cuenta los siguientes dos requisitos. En primer lugar, el transmisor VLC, como su propio nombre indica, debe actuar para la comunicación. El transmisor requiere una fuente de radiación visible y este

suele ser un emisor de estado sólido. Hay ejemplos de luz fluorescente que se utiliza para comunicaciones.

Por lo general, la fuente de iluminación que se utiliza suele ser los LEDs y se debe considerar el ancho de banda de la modulación de los LEDs. Generalmente los LEDs que se necesitan son altos en brillos y los fabricantes de estos no los desarrollan con esta característica. Sin embargo, la mayoría de los LEDs con luz visible tienen un ancho de banda de modulación de alrededor de las decenas de megahercios

En segundo lugar, el transmisor VLC debe actuar también como fuente de iluminación, el requisito que se debe cumplir es que la iluminancia debe ser entre 200 y 1000 lx para la iluminación interior de la habitación donde se integra esta tecnología de acuerdo con la recomendación ISO.

Los LEDs de alto brillo operan con corriente directa mayor de 100 mA en comparación con los dispositivos de comunicación habituales es bastante alta. Por lo tanto, para modular los datos en los LEDs de alto brillo, manteniendo el nivel de iluminación, hace que el diseño del transmisor VLC sea más complejo que diseño convencional del transmisor de comunicación.

A continuación, en la tabla 2.1 se muestran algunas características en las que trabajan los LEDs.

Tabla 2.1 Características de los LEDs.

Color	Consumo	Longitud de onda	Diámetro
Infrarrojo	10 mA-20 mA	>760 nm	5 mm
Azul	10 mA-20 mA	450-500 nm	5 mm
Verde	10 mA-20 mA	500-570 nm	5 mm
Rojo	10 mA-20 mA	610-760 nm	3 y 5 mm
Naranja	10 mA-20 mA	590-610 nm	5 mm
Amarillo	10 mA-20 mA	570-590nm	10mm

Fuente: (Hernández T., 2019)

2.10 Canal VLC

Hoy en día, se han desarrollado activamente los LEDs en el rango visible de longitud de onda (380nm ~780nm) y se pueden utilizar como fuente de transmisión, mientras que como elemento receptor se utiliza un fotodiodo de silicio debido a que este material presenta una buena capacidad de respuesta. El canal de transmisión es el aire, ya sea en espacios interiores o al aire libre. Actualmente, los estudios sobre VLC se centran en aplicaciones interiores. Los canales en los sistemas de luz visible están clasificados según las comunicaciones convencionales por infrarrojos, ya que las configuraciones de enlace de VLC son similares a la comunicación por infrarrojos.

Las diferentes características provienen de operar en distinto rango de longitud de onda y a su vez, ésta depende del dispositivo (LED visible, fotodetector de silicio, etc.) y del hecho de que VLC tiene doble funcionalidad, comunicación e iluminación. Los otros principios físicos relacionados con la óptica se pueden aplicar de manera similar, incluyendo la transmisión de la luz y la reflexión. Las configuraciones de enlace se clasifican en cuatro tipos básicos, dependiendo de dos parámetros, uno de ellos es si se encuentra en línea de visión (LOS, Line Of Sight, Non-LOS) y el otro es según la direccionalidad del receptor al transmisor (directed, non-directed). Con estos dos criterios, los tipos de enlaces básicos son, directed LOS o línea de visión directa dirigida, línea de visión no dirigida o non-directed LOS, línea de visión no directa dirigida o directed Non-LOS, o línea de visión no directa y no dirigida o non-directed Non-LOS.

La decisión de que el enlace sea dirigido o no depende de si el transmisor tiene la dirección hacia el receptor o no. Mientras que la decisión que el enlace sea LOS o non-LOS depende de si existe un obstáculo que bloquee la transmisión de luz entre un transmisor y un receptor (Lorenzo G., 2016).

- Directed LOS: En este caso el transmisor y receptor tienen visibilidad directa sin ningún obstáculo que se interponga en la comunicación como se muestra en la figura 2.7. En este enlace, la luz se puede concentrar en un haz estrecho, consumiendo poca energía. Además, ofrece de entre los cuatro

tipos de enlaces mencionados, la más alta velocidad de transmisión y al no haber obstáculos entre el transmisor y receptor y al estar orientados el uno con respecto al otro, la señal no sufre distorsión y el ruido de las fuentes de luz es rechazado cuando el campo de visión (FOV, Field Of Vision) es estrecho. Como consecuencia, la velocidad está limitada por la pérdida de trayectoria en el espacio libre en vez de por la dispersión multitrayecto (Lorenzo G., 2016).



Figura 2.7 *Directed LOS*

Fuente: (Lorenzo G., 2016)

- **Non-directed LOS:** En esta configuración, mostrada en la figura 2.8, el transmisor y el receptor tienen visibilidad directa pero el transmisor no está dirigido hacia el receptor. Utiliza transmisores con un haz ancho y receptores con un FOV amplio. La tasa de transmisión que alcanza puede ser más alta que la que ofrecen los sistemas de RF.

Una ventaja que ofrece este tipo de sistema es que no necesita ni alineamiento ni seguimiento gracias a que se puede superar el problema de bloqueo utilizando las superficies reflectantes de los objetos. Por lo tanto, al fotodetector llegará una elevada proporción de luz transmitida procedente de un gran número de direcciones diferentes. Sin embargo, esto conlleva una

pérdida significativa de la trayectoria óptica y por lo tanto es necesaria una potencia de transmisión alta (Lorenzo G., 2016).



Figura 2.8 *Non-directed LOS*

Fuente: (Lorenzo G., 2016)

- **Directed non-LOS:** Como el propio nombre indica, entre el transmisor y el receptor hay un obstáculo. Este enlace se puede observar en la figura 2.9. Se suelen incorporar transmisores y receptores con un ángulo de emisión y campo de visión estrechos, por ello se intenta que el receptor apunte a una superficie reflectante que permita superar al obstáculo. En esta configuración se consigue superar un obstáculo gracias a que la señal recibida es la reflejada en la superficie a la que el transmisor apunta. Debido a esto se minimiza la dispersión multitrayecto. El problema central de esta topología es la dificultad de encontrar la alineación entre el transmisor y receptor.

En un sistema de VLC, el enlace no dirigido LOS es importante debido a que la iluminación general trabaja en el medio donde la transmisión transcurre, pero no es enfocada ni dirigida (Lorenzo G., 2016).



Figura 2.9 *Directed Non-LOS*

Fuente: (Lorenzo G., 2016)

- **Non-directed Non-LOS:** En esta configuración puede que haya obstáculos que bloquean la visión directa entre el transmisor y el receptor y, por lo tanto, para que haya intercambio de información se ayuda de las superficies reflectantes para crear trayectorias alternativas entre el transmisor y el receptor. En la figura 2.10 se muestra esta configuración. Normalmente, en esta configuración, el receptor apunta directamente hacia una pared o el suelo emitiendo un amplio haz de luz. Al contrario que el enlace anterior, esta topología no necesita una alineación tan cuidadosa. El gran problema de estos sistemas es la alta pérdida de la trayectoria. (Lorenzo G., 2016)

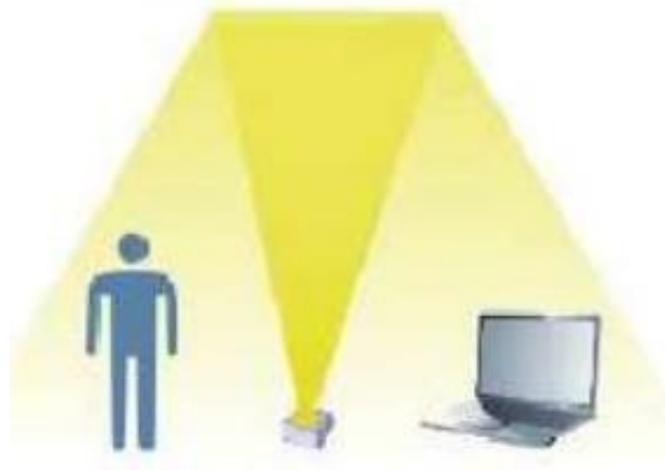


Figura 2.10 *Non-directed Non-LOS*

Fuente: (Lorenzo G., 2016)

2.11 Receptor VLC

La función del receptor es transformar la señal óptica en una señal eléctrica. Como existen muchos tipos de sensores, hay que encontrar cuáles son más adecuados para los sistemas de telecomunicaciones, para ello, hay que analizar tanto la velocidad de respuesta como la sensibilidad.

La velocidad de respuesta es el tiempo finito desde que se enciende una fuente de luz hasta que hay un valor constante de salida. La sensibilidad determina la relación entre la salida del sensor ante una entrada determinada, se mide mediante la relación entre la salida y la potencia lumínica incidente.

En general la sensibilidad aumenta en función de la superficie del sensor, sin embargo, la velocidad de respuesta disminuye. En la tabla 2.2 se muestra una comparación entre los distintos sensores que se pueden utilizar para un sistema VLC.

Tabla 2.2 Características de fotodetectores

	Foto- multiplicador	Foto- diodo	Foto- transistor	Célula Fotovoltaica	Foto- resistor	Fotosens o MSM
Velocidad de respuesta	Muy alta	Muy alta	Alta	Baja	Baja	Muy alta
Longitud de onda (µm)	0.2-0.4	0.2-2	0.4-1.1	0.4-0.7	0.4-0.7	0.4-0.8
Sensibilidad	Excelente	Muy alta	Alta	Alta	Baja	Alta
Rango Dinámico	Bueno	Excelente	Muy bueno	Bueno	Bueno	Muy Bueno
Estabilidad	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Pobre	Bueno	Muy bueno
Coste	Alto	Bajo	Muy bajo	Muy bajo	Bueno	Medio
Robustez	Pobre	Alto	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Tamaño	Grande	Pequeño	Pequeño	Pequeño	Pequeño	Medio

Fuente: (Lorenzo G., 2016)

De las tecnologías previamente mencionadas, todas se podrían usar como fotosensor en el receptor de un sistema de comunicaciones por luz

visible. Pero si se busca una mejor opción en reemplazo a las redes domésticas actuales, se debe analizar las características de cada uno de ellos.

Si se busca un fotosensor para aplicaciones con ancho de banda pequeño, una buena opción es la célula fotovoltaica y el fotorresistor, los cuales poseen una velocidad de respuesta baja. Al contrario de estos fotosensores, están los fotomultiplicadores los cuales presentan excelentes características, pero debido a su fragilidad, tamaño y alto costo no son los fotosensores más deseados.

Por otro lado, tenemos a los fototransistores, los cuales tienen una alta velocidad de respuesta y además cuentan con la ganancia del mismo.

Los fotosensores más utilizados son los fotodiodos, los cuales tienen buenas características y hay una gran variedad de estos. Se pueden fabricar en distintos materiales y dependiendo de esto presentan diferente respuesta espectral.

Los de silicio son los que mejor respuesta tiene en el rango visible además de tener un bajo costo. Los primeros fotodiodos se fabricaron con una unión P-N. Tras el desarrollo de esta industria, se llegó a una estructura más conveniente añadiendo un semiconductor intrínseco entre las capas P y N. Con esta estructura se consigue una mayor captación de fotones y una capacitancia menor, por lo tanto, tienen una mayor velocidad de respuesta y sensibilidad. Estos son conocidos como fotodiodos PIN.

Los fotodiodos de avalancha, también conocidos como APD (Avalanche Photodiode), tienen una estructura similar a los fotodiodos PIN pero optimizada para conseguir el efecto avalancha. Este efecto genera una ganancia interna, gracias a esto, se pueden medir niveles bajos de luz sin necesitar una etapa amplificadora.

Como desventaja, se necesita una gran tensión en inversa para conseguir este efecto, lo que provoca ruido adicional y una salida no lineal.

Los fotosensores MSM (Metal- Semiconductor- Metal), también conocido como diodo Schottky, tienen una conversión de luz a corriente similar a los fotodiodos con la diferencia de que no tienen unión P-N.

Tienen una capacitancia menor, lo que permite una mayor anchura de banda, en otras palabras, una velocidad de respuesta mayor; sin embargo, su estructura hace que su sensibilidad, comparando con los fotodiodos, sea baja. Por lo tanto, de todas las opciones posibles, la más conveniente para estos sistemas son los fotodiodos (Lorenzo G., 2016).

2.12 Estandarización VLC

La estandarización de VLC ha sido realizada por el Visible Light Communication Consortium en Japón e IEEE. El 802.15.7 es el estándar completado por el IEEE para capas físicas y MAC. Este estándar está dirigido a:

- Proporcionar acceso a varios cientos de bandas THz.
- Proporcionando inmunidad contra la interferencia electromagnética.
- Comunicación que complementa los servicios adicionales a la infraestructura de luz visible existente.
- Especificación de los esquemas FEC, técnicas de modulación y velocidades de datos para la comunicación VLC.
- Los mecanismos de acceso al canal, como el período de acceso de contención (CAP), el período libre de contención (CFP) y el soporte de visibilidad cuando también se describe el acceso al canal.
- También se explican las especificaciones de la capa PHY, como el mapeo óptico, el tiempo de respuesta TX-RX, el tiempo de respuesta RX-TX y la atenuación del parpadeo y la atenuación.

El IEEE 802.15.7 proporciona un punto de referencia mínimo para el desarrollo de nuevos productos. Las tres clases diferentes de dispositivos considerados para VLC son vehículo, móvil e infraestructura.

El estándar IEEE 802.15.7 tiene 2 características importantes las cuales son: la capa de acceso (MAC) y la capa física (PHY), las cuales poseen una velocidad de datos que es capaz de soportar audio, video y multimedia.

La capa de acceso al medio proporciona mecanismo de direccionamiento y control de acceso al canal que lo hace posible para varios terminales o dispositivos. El hardware que implementa la capa MAC se refiere al controlador de acceso al medio. Este canal puede proporcionar servicios de comunicación multicast, unicast o broadcast.

Las leyes físicas definen las especificaciones eléctricas y físicas para los dispositivos, es decir, la relación entre un dispositivo y el medio físico. Un dispositivo transmite datos al medio y otro dispositivo recibe los datos desde el medio basándose en las leyes físicas. Las funciones y servicios de la capa física son el establecimiento del enlace y la terminación de una conexión a un medio de comunicación (Peñafiel P., 2015).

2.13 Arquitectura de VLC

Las dos partes integrales del sistema VLC: el transmisor y el receptor generalmente consisten en tres capas comunes. Son la capa física, la capa MAC y la capa de aplicación. En IEEE 802.15.7, solo dos capas (como PHY y MAC) se definen por simplicidad.

2.13.1 Capa MAC

Las tareas realizadas por la capa de Control de acceso medio (MAC) incluyen:

- Soporte de movilidad
- Soporte de atenuación
- Soporte de visibilidad
- Soporte de seguridad
- Esquemas para mitigar el parpadeo
- Función de color de apoyo
- Generación de balizas de red si el dispositivo es un coordinador

- VPAN disociación y asociación de apoyo
- Proporcionar un enlace confiable entre entidades MAC pares

Las topologías soportadas por la capa MAC son punto a punto (peer-to-peer), broadcast y estrella (star) como se ilustra en la figura 2.11. La comunicación en la topología en estrella se realiza utilizando un único controlador centralizado. Todos los nodos se comunican entre sí a través del controlador centralizado. El papel del coordinador en la topología punto a punto es realizado por uno de los dos nodos involucrados en la comunicación entre sí.

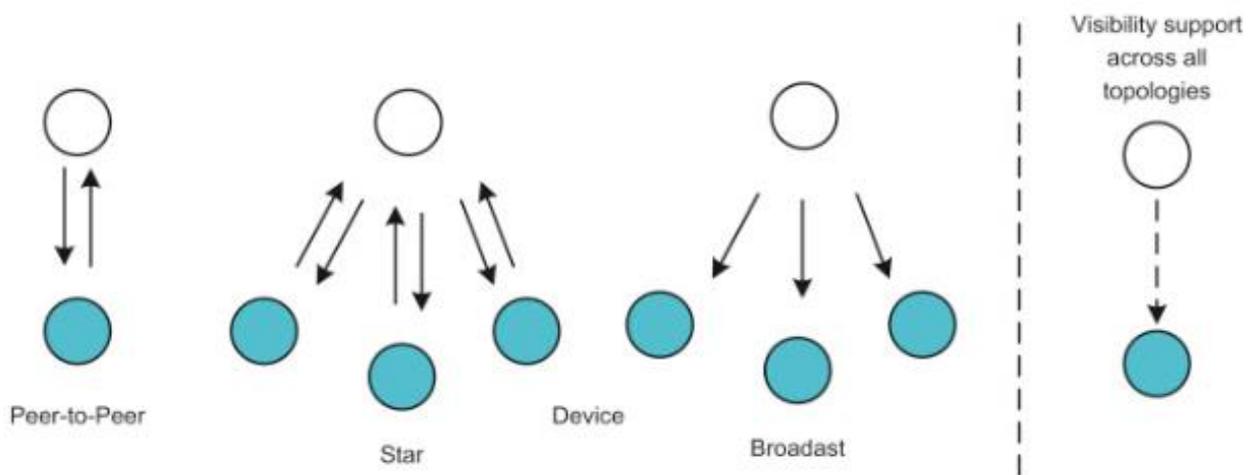


Figura 2.11 Topologías MAC

Fuente: (Ullah K., 2017)

2.13.2 Capa física

La capa física proporciona la especificación física del dispositivo y también la relación entre el dispositivo y el medio. La figura 2.12 muestra el diagrama de bloques de la implementación general de la capa física del sistema VLC. En primer lugar, el flujo de bits de entrada pasa a través del codificador de canal (opcional). Los códigos de bloque lineal, los códigos convolucionales y los códigos turbo de última generación se pueden utilizar para mejorar el rendimiento del sistema VLC. Luego, el flujo de bits codificado por el canal se pasa a través del codificador de línea para producir el flujo de bits codificado. Después de la codificación de línea, se realiza la modulación (como codificación ON-OFF, PPM y PWM, etc.) y finalmente, los datos se envían al LED para su transmisión a través del canal óptico.

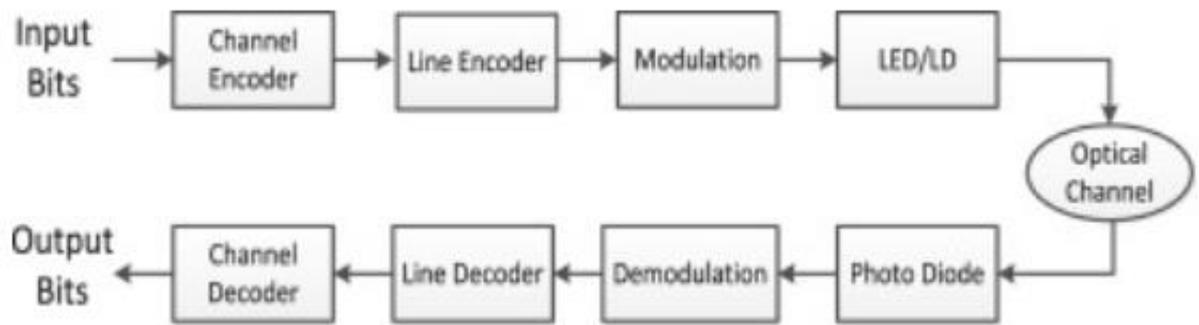


Figura 2.12 Modelo típico de sistema de capa física de VLC

Fuente: (Ullah K., 2017)

El estándar IEEE 802.15.7 presenta tres tipos de capa física diferentes, cada una con sus respectivas características. Estas son PHY I, PHY II y PHY III.

Generalmente las capas PHY I y PHY II tienen transmisión SISO, es decir, una única entrada y una única salida, con una sola fuente de iluminación y que normalmente utiliza la modulación OOK (On-Off Keying), la cual se muestra en la figura 2.13 VPPM (Variable Pulse Position Modulation) (Peñafiel P., 2015).

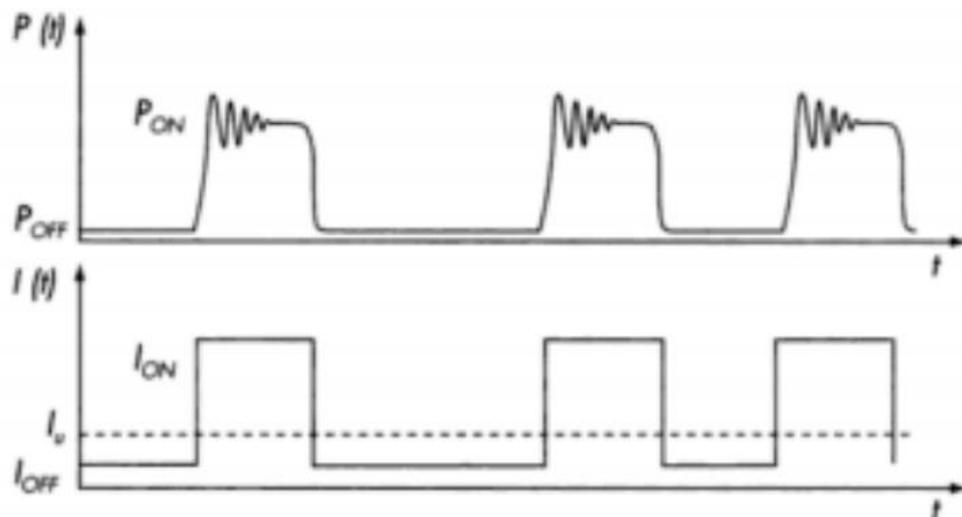


Figura 2.13 Modulación OOK

Fuente: (Peñafiel P., 2015)

Mientras que en la capa PHY III es una comunicación MIMO, múltiples entradas y múltiples salidas, por lo tanto, capaz de soportar múltiples fuentes ópticas generalmente utilizando modulación por desplazamiento de color CSK (Color-Shift Keying).

Modelo PHY I: Se utiliza generalmente en entornos exteriores donde no se necesita una velocidad muy elevada, en torno a las decenas a cientos de kb/s.

Modelo PHY II: Se utiliza en entornos internos en aplicaciones donde se requiere una velocidad media, en torno a las decenas de Mb/s. Este esquema es más sencillo y eficiente que el utilizado en el modelo PHY I. Al igual que en el caso anterior, los bits de entrada se codifican mediante el codificador Reed-Solomon (RS) y la salida pasa por un codificador RLL (Peñañiel P., 2015).

Finalmente, se modulará con la modulación deseada, generalmente OOK o VPPM. En el lado del receptor, se demodula con la modulación correspondiente la señal recibida, y pasa por los decodificadores RLL y RS, para así recibir la información enviada.

Modelo PHY III: Al contrario que los modelos anteriores, este modelo opera bajo una transmisión MIMO, es decir, múltiples entradas y múltiples salidas, por lo tanto, se puede utilizar en aplicaciones con muchas fuentes de luz por donde se enviará la información a múltiples receptores.(Lorenzo G., 2016)

2.14 Transmisión de datos VLC.

La función principal del transmisor VLC es convertir una señal eléctrica en una forma óptica y luego lanzar la señal óptica resultante en el enlace de espacio libre. Los LED se utilizan actualmente para la transmisión VLC como se puede ver en la figura 2.14, los LED blancos son disponibles a bajo costo y se consideran seguros para los ojos. Esto se debe a su área de superficie suficientemente grande que emite luz sobre un rango espectral amplio.

Los LED blancos comerciales emiten luz en semi ángulos en el rango de 12° a 70°. También son más asequibles y confiables en comparación con las bombillas incandescentes. Por lo tanto, los LED son una fuente recomendable de luz para aplicaciones en interiores. A pesar de que los LED tienen varias ventajas, también tienen algunos inconvenientes, que incluyen:

- Ancho de banda de baja modulación (generalmente decenas de MHz).
- Baja eficiencia de conversión de potencia electroóptica (típicamente del 10 al 40%).
- No linealidad

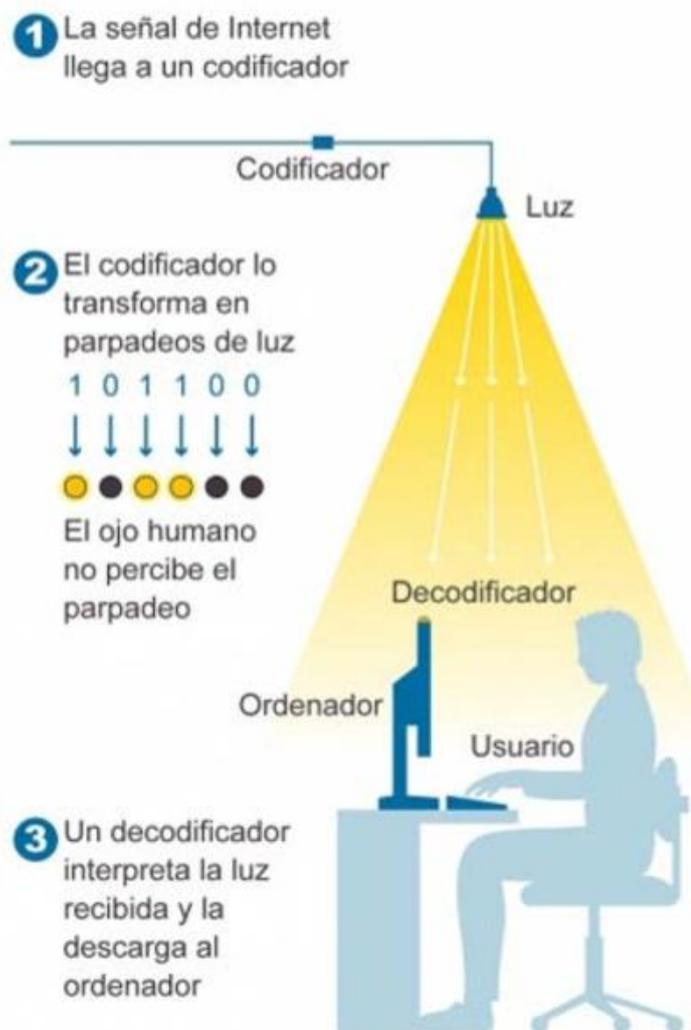


Figura 2.14 Estructura general de un enlace VLC

Fuente: (Sandoval R., 2018)

2.15 Aplicaciones de VLC.

El concepto de IoT expande la conectividad de red a la conexión inteligente de personas, datos, procesos, cosas, máquinas y todo. IoT requeriría

conectividad a Internet para miles de millones y trillones de sensores para proporcionar servicios ubicuos e ininterrumpidos a personas, máquinas, procesos y otras cosas. Todas estas aplicaciones tendrían un conjunto diferente de requisitos, como una alta velocidad de datos en Giga b/s, confiabilidad, disponibilidad y seguridad. La facilidad de disponibilidad, el bajo costo y las altas velocidades de datos de VLC podrían convertirlo en una tecnología de comunicación inalámbrica relevante que se adaptaría a todo tipo de aplicaciones futuras. Algunas de las posibles aplicaciones de VLC se analizan a continuación.

2.15.1 Sistema de transporte inteligente (ITS).

Casi 1.2 millones de personas mueren en un incidente relacionado con el tráfico cada año, y se estima que 50 millones resultan heridas. Los investigadores han demostrado que la mayoría de los incidentes se deben a la lenta respuesta y la incapacidad de los conductores de automóviles para tomar las medidas correctas en el momento adecuado.

En ITS, la comunicación de vehículo a vehículo y de infraestructura a vehículo garantiza la seguridad de las personas, el flujo de tráfico y la comodidad de los conductores, como se muestra en la figura 2.15. ITS se basa en una comunicación confiable, robusta y segura entre el vehículo y la infraestructura (tráfico) luces, vallas publicitarias. Se propone VLC para la comunicación ITS para complementar o reemplazar la comunicación basada en RF congestionada existente.

Todos los vehículos están equipados con luces delanteras y traseras que se pueden usar para transmitir información. Las luces de tráfico o las vallas publicitarias también se pueden utilizar para compartir información útil sobre la carretera, el tráfico y las condiciones climáticas. Estas fuentes de iluminación también se pueden usar para proporcionar conectividad de datos a los usuarios de IoT. El aumento del rango de comunicación, la mejora de la movilidad y las velocidades de datos son los requisitos principales para comunicación vehicular.

El logro de estos objetivos depende de la capacidad de los canales de comunicación para ser resistentes a la luz parasita. Los canales al aire libre están expuestos a diferentes tipos de luz parasita. Se observa que las capacidades de medición y localización de distancias de VLC podrían ser beneficiosas en aplicaciones de comunicación vehicular. Además, se sugiere que el desarrollo de sistemas heterogéneos consistentes en VLC y comunicación dedicada de corto alcance (o cualquier otro esquema basado en RF) podría conducir a un sistema confiable para comunicación vehicular, ya que cada una de estas tecnologías puede compensar cada otra deficiencia. A este respecto, se realiza una encuesta de VLC con respecto a comunicación dedicada de corto alcance de 5 GHz en una disposición híbrida.

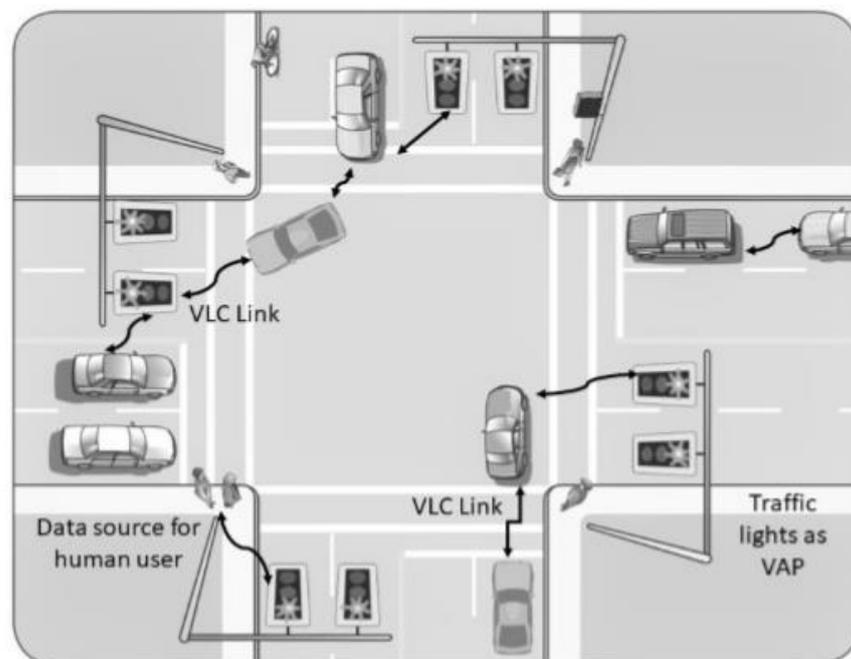


Figura 2.15 Sistema de transporte inteligente usando comunicaciones por luz visible.

Fuente: (Ullah K., 2017)

2.15.2 Ciudades y hogares inteligentes.

Las ciudades inteligentes están concebidas para proporcionar una conectividad confiable entre las personas, el gobierno, la infraestructura, la economía y el medio ambiente. La mayoría de las entidades funcionales de una ciudad inteligente ya están disponibles alrededor. Sin embargo, hay conectividad inalámbrica, sostenible, alta y de alta velocidad, es el cuello de botella para conectar todos los habilitadores.

La infraestructura de rayos ya disponible (alumbrado público, luces de estacionamiento, vallas publicitarias) se puede utilizar para proporcionar conectividad de red de alta velocidad, baja energía y sostenible para algunas aplicaciones (p. Ej., Servicios públicos) en ciudades inteligentes sin liberar el precioso espectro de RF para otras aplicaciones móviles. Las luces de la calle u otras fuentes de iluminación podrían usarse como un punto de acceso para proporcionar velocidades de datos extremadamente altas al usuario.

Han propuesto una arquitectura de comunicación basada en VLC de tres capas para integrar diferentes tecnologías en aplicaciones de ciudades inteligentes sin problemas. La capa uno usa VLC para permitir el acceso del usuario y una sensación de eventos. La capa dos proporciona comunicación entre diferentes LED y sub gateways. La última capa proporciona comunicación entre diferentes gateways y el gateway de servicio mediante comunicación óptica. Sobre la base de esta arquitectura, han demostrado varias aplicaciones (como la comunicación inteligente, la vigilancia de eventos y el seguimiento de objetos).

Han investigado algoritmos de optimización para proporcionar una potencia óptica recibida y una relación señal / ruido (SNR) consistentes en un solo plano receptor en hogares inteligentes. Existe un diseño de hardware y un protocolo de identificación de ubicación para un sistema de posicionamiento en interiores basado en VLC para supermercados inteligentes. El diseño del hardware considera el parpadeo de la iluminación, el brillo, la sincronización de la señal y el ruido en el ambiente interior. Se han utilizado varias condiciones prácticas de usuario para optimizar la implementación de hardware y software en términos de precisión de ubicación y rendimiento de error de bit.

2.15.3 Li-Fi.

En 2011, Harald Haas fue el primero en acuñar el término Light Fidelity (Li-Fi) un sistema de comunicación inalámbrica bidireccional de alta velocidad, completamente conectado, con luz visible y es análogo al Wi-Fi, que utiliza radiofrecuencia para la comunicación . Las señales de Wi-Fi tienen

el problema de la interferencia con otras señales de RF, como su interferencia con las señales de los equipos de navegación del piloto en los aviones. Por lo tanto, en las áreas que son sensibles a la radiación electromagnética (como los aviones), el Li-Fi puede ser una mejor solución. Un Li-Fi también presta apoyo a Internet de las cosas (IoT). Se obtiene una velocidad de hasta 10 Gbits/s utilizando Li-Fi, que es 250 veces más que la velocidad de banda ancha super rápida.

2.15.4 Comunicación submarina.

La comunicación VLC debe usarse en redes de comunicación subacuáticas. El vehículo operado de forma remota sin amarres (UTROV) es otra aplicación del VLC en la comunicación subacuática. Los **diferentes** trabajos que se pueden realizar con UTROV incluyen el mantenimiento del observatorio de los océanos y la oportunidad de despliegue desde los barcos. La figura 2.16 describe el funcionamiento del UTROV. El panel derecho muestra la comunicación del UTROV utilizando el óptico a una infraestructura fija en el fondo del mar. En el centro, la comunicación se logra mediante UTROV utilizando un canal óptico con una infraestructura de retransmisión basada en el barco. El panel de la izquierda muestra la comunicación del UTROV utilizando comunicaciones subacuáticas de bajo ancho de banda.

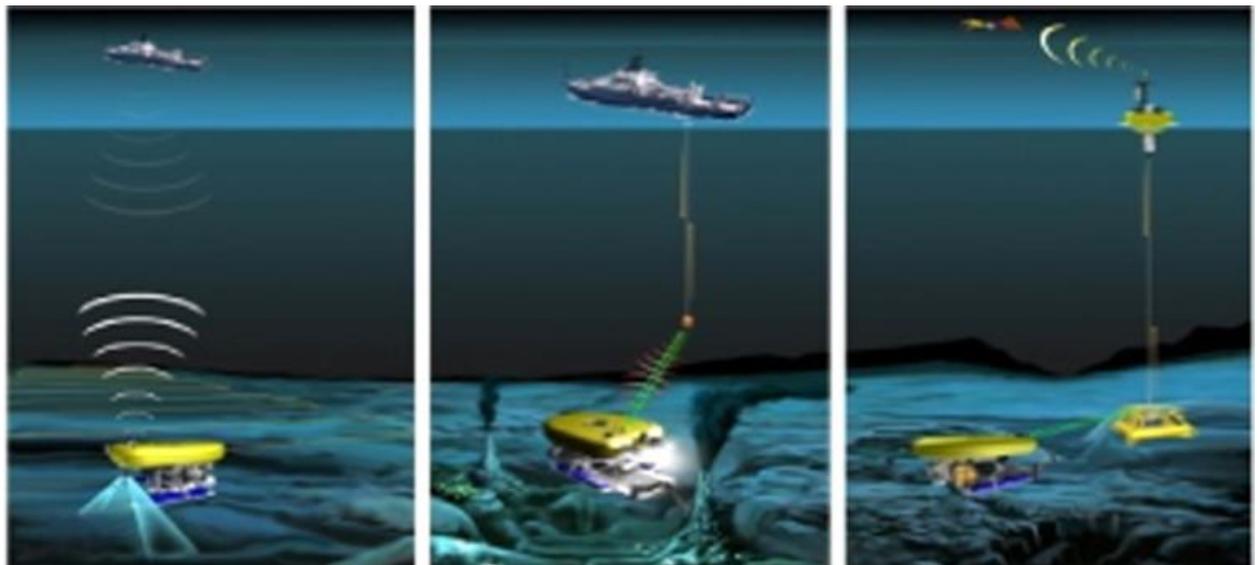


Figura 2.16 Modo de operar UTROV

Fuente: (Ullah K., 2017)

2.15.5 Hospitales.

En los hospitales, es probable que las áreas sensibles a las ondas electromagnéticas, como lo son **los** escáneres de resonancia magnética, cambien a VLC porque no interferiría con las ondas de radio de las otras máquinas. En el 2015, se propuso un robot llamado HOSPI, el cual se muestra en la figura 2.17, que se utilizó para el transporte en hospitales. Las mejoras del sistema de control en HOSPI se realizaron utilizando VLC instalado en un edificio y sensores de navegación del robot.

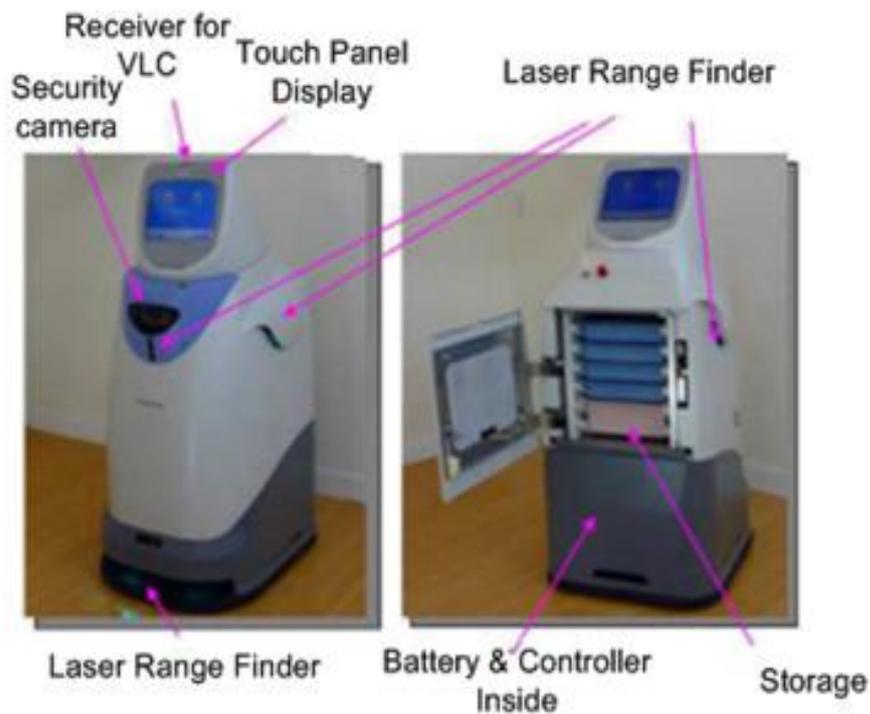


Figura 2.17 Robot HOSPI

Fuente: (Ullah K., 2017)

2.16 Interferencia de la luz ambiental.

La interferencia de la luz ambiental puede tener importantes efectos en los canales ópticos inalámbricos. El ruido "natural" de la luz proviene de la luz solar, que induce fotocorriente y depende de la longitud de onda particular detectada. Esta **fotocorriente** suele ser bloqueada por el acoplamiento de corriente alterna del receptor, aunque perturbaciones atmosféricas y cambios transitorios pueden causar alguna variación en la fotocorriente recibida.

Sin embargo, el espectro eléctrico blanco del ruido de disparo que esta luz contribuye no está bloqueado, y también existe la posibilidad de saturación

del fotodetector de los altos niveles de luz. El modelo indica que solo se pueden obtener modestas ganancias de SNR (varios dB) utilizando un filtro de pasa banda que maximiza el SNR mediante el filtrado típico de luz ambiental debido a la luz del día, lo que indica los efectos de la interferencia es pequeña.

Amplias caracterizaciones y modelados de ruido de fuentes incandescentes y fluorescentes han sido reportadas. Las fuentes incandescentes crean ruido de disparo debido al nivel promedio de la iluminación, y componentes de interferencia eléctrica a 100Hz y armónicos superiores de la frecuencia de red de 50Hz debido a la señal del variador de frecuencia. Sin embargo, estos suelen ser pequeños por encima de 1 kHz, lo que deja la mayor parte del ancho de banda de modulación LED disponible no ha sido tocado.

Las fuentes fluorescentes utilizan lastres que crean interferencia fotocorriente con componentes espectrales hasta 1MHz, dependiendo del tipo de lastre. Estos armónicos eléctricos requieren un cuidadoso filtro eléctrico. Generalmente hay una frecuencia de colocación óptima para la respuesta del filtro de paso alto del receptor, si esto es demasiado se pierde energía significativa de señal de baja frecuencia, causando vagabundeo basal, pero una frecuencia demasiado baja causa señal corrupción debido a la interferencia. Una alternativa es usar modulación de subportadora, que aleja la energía de la señal de frecuencias de interferencia. Además, técnicas de espectro extendido también se han utilizado con éxito.

La intensidad de la fuente de iluminación de interferencia, y el grado en que está acoplado al receptor, es también otro factor determinante, y esto depende del entorno particular. VLC tiene diferentes restricciones de interferencia en comparación con las comunicaciones inalámbricas IR, desde longitudes de onda visibles que normalmente se clasificarían ya que la interferencia está en la misma región espectral que la señal.

2.17 Aspectos relevantes del espectro para la luz visible.

Los sistemas VLC están sujetos a características de propagación sustancialmente diferentes en relación con las frecuencias en el espectro de radiofrecuencia. Como resultado, la probabilidad de interferencia es pequeña y ligera, no es necesario que las comunicaciones sean gestionadas por los reguladores del espectro. IEEE 802 cree que las operaciones de comunicaciones ligeras deben clasificarse como exentas de licencia y no sujeto a licencia exclusiva.

Este punto de vista fue confirmado por un estudio encargado por la Agencia de comunicaciones por radio de los Países Bajos, una de las conclusiones de este estudio fue: "Aún quedan desafíos por superar antes de ser implementado comercialmente, recomendamos concentrarse más en los esfuerzos de estandarización de la UIT o IEEE en lugar de las reglas gubernamentales y los límites de regulación, principalmente a los límites con respecto a los riesgos para la salud, la huella de carbono, y la competencia comercial. La estandarización aumentará no solo la compatibilidad entre productos industriales sino también compatibilidad con tecnologías ya implementadas ". (ITU, 2018)

La normativa sobre seguridad y sensibilidad del ojo humano es esencial, dispositivos que usan VLC u OWC debe cumplir con las regulaciones locales sobre emisiones de RF irregulares y debe evitar causar interferencia en bandas de espectro de RF. Las frecuencias para comunicaciones ópticas generalmente se expresan en su longitud de onda. Mientras 1550 nm es la longitud de onda más utilizada para las comunicaciones de fibra óptica debido a la absorción y características de dispersión del vidrio, esta limitación no se aplica a VLC en aire normal. El rango de frecuencia utilizado es 1.4-2.5 THz o 400-700 nm.

CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

La problemática de esta investigación son los cortes que existen en la red HFC durante periodos de alta demanda, como el que actualmente se está viviendo en la ciudad de Guayaquil, durante el confinamiento por la pandemia del COVID-19. En el presente capítulo se busca dar respuesta a esta problemática, particularmente en la zona norte de Guayaquil, realizando un estudio de comparación entre las redes HFC y los sistemas de comunicaciones por luz visible (VLC) mediante la consecución de los objetivos específicos previamente mencionados en el capítulo 1.

3.1 Ubicación geográfica del estudio realizado.

El estudio por realizar en el presente trabajo de titulación se delimita en la zona norte de Guayaquil; en los sectores detallados en la figura 3.1 se pueden encontrar algunas radiodifusoras en AM como lo son Radio Huancavilca, Radio Ecuantena, Radio Sucre y el Aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo.



Figura 3.1 Ubicación geográfica de la zona a tratar en el trabajo de titulación

Elaborado por: Autor.

Según investigaciones previamente realizadas indican que si las señales que emiten las radiodifusoras o aparatos electrónicos tienen un nivel de potencia alto y estas ingresan a la red pueden causar problemas denominados ruido de ingreso.

3.2 Caracterizar los parámetros técnicos de las redes HFC (Hybrid Fiber-Coaxial) y VLC (Visible Light Communications).

A continuación, en la tabla 3.1 se detallan las características técnicas tanto como de las redes HFC como de los sistemas de comunicaciones por luz visible. La información para mostrar ha sido obtenida de diferentes fuentes bibliográficas de páginas de investigación como lo son IEEE, ResearchGate y tesis actualizadas en base al tema del trabajo de titulación.

3.2.1 Características técnicas de la red HFC.

Tabla 3.1 Características técnicas de la red HFC

Características	Red HFC
Frecuencia Downstream	54-862 MHz con canales de 6 MHz
Frecuencia Upstream	5-42 MHz en Estados Unidos con canales de 6.4 MHz 5-65 MHz en Europa
Modulación Ascendente	64 QAM para transmisiones simétricas
Modulación Descendente	256 y 64 QAM
Multiplexación	TDMA, SCDMA, OFDM
Ancho de banda del canal de retorno	Entre 5 y 55 MHz
Distancia del cable coaxial troncal	100 y 150m entre el transmisor y el ultimo amplificador
Distancia de cable coaxial de distribución	50 y 150 metros entre el último amplificador y la terminación de red coaxial
Ancho de banda de cables coaxiales	1GHz
Impedancia	75 ohmios
Fibra óptica	Monomodo según recomendación de UIT-T G.652, G.653, G.654 o G.655.

Fuente: Autor

Debido a que las redes deben estar preparadas para poder ofrecer una amplia gama de aplicaciones y servicios a sus abonados requieren de la red la capacidad de establecer comunicaciones bidireccionales entre la cabecera y los equipos terminales de abonado y, por tanto, exigen la existencia de un canal de comunicaciones para la vía ascendente o de retorno, del abonado al headend. El cable coaxial troncal que se debe de usar en las redes de acceso HFC-C con longitudes comprendidas entre 100 y 500 metros entre el transmisor y el último amplificador es de 1 GHz de ancho de banda, 12,7 mm (1/2 pulgada) o 19,05 mm (3/4 pulgada) de diámetro del conductor exterior y 75 ohmios de impedancia.

Por otro lado, el cable coaxial de distribución a usar en las redes de acceso HFC-C con longitudes de enlace típicas entre 50 y 150 metros entre el último amplificador y la terminación de red coaxial es de 1 GHz de anchura de banda, tipos normalizados RG-11 y RG-6 y 75 ohmios de impedancia.

3.2.2 Características técnicas de los sistemas VLC.

El propósito de esta tecnología es añadir a las lámparas basadas en diodos emisores de luz (LED), que se están imponiendo como una fuente de iluminación nueva, capacidades como dispositivos emisores de información, con el fin de utilizarlos como transmisores en redes de comunicaciones, sin perder su funcionalidad básica que es ser lámparas de iluminación, en la tabla 3.2 se mencionan algunas de sus características.

Tabla 3.2 Características técnicas de los sistemas VLC

Características	VLC
Frecuencia de longitud de ondas	3 Hz-300 GHz
Distancia de longitud de onda	1mm-10000km
Factores de atenuación	Lluvia, nieve, niebla, relámpagos y luz solar
Estandarización	IEEE 802.15.7
Modulación	Óptica y espacial de luz
Coste	Bajo
Fuente de ruido	Fuente de iluminación

Transmisión de datos	Por tramas de luz existentes
Seguridad	Más segura

Fuente: *Autor*

El ancho de banda, la interferencia y la tasa de datos son unas de las ventajas más significativas de VLC. El ancho de banda en la tecnología VLC no se tiene que restringir, por esa razón la velocidad de transmisión es alta, del orden de los cientos de Mbps o Gbps.

En los sistemas de comunicación por luz visible la banda de frecuencias del espectro visible no está regulada, algunos de los factores de atenuación presentes en VLC son la lluvia, la nieve, la niebla, los relámpagos y la luz solar, entre otros, por lo que estos sistemas son más eficientes en lugares cerrados donde no estén expuestos a condiciones climáticas que no son favorables en la comunicación (Villacrés B., 2008).

3.3 Establecer las bandas de frecuencias en las que operan las redes a estudiar.

El espectro radioeléctrico es el medio físico por el cual se transmiten las ondas electromagnéticas que son las que permiten que se den las telecomunicaciones. Se considera que el rango de frecuencias asignado debe generar un rendimiento satisfactorio, pero también generará una distorsión aceptable. El rango de frecuencias asignado va desde muy baja frecuencia hasta extremadamente alta frecuencia, las cuales si bien es cierto se caracterizan unas a otras porque las bajas frecuencias presentan menor coste en los equipos a utilizar, mayor cobertura, pero asimismo la capacidad para transmitir información es baja y mientras que en las de altas frecuencias se caracterizan por tener menor cobertura y su volumen de transmisión es mayor.

3.3.1 Bandas de frecuencias en la red HFC.

La menor relación señal/ruido de la señal ascendente se debe a dos razones, en la tabla 3.3 se muestran las bandas de frecuencias de las redes HFC:

Tabla 3.3 *Bandas de frecuencia red HFC*

Servicios	Frecuencia
Internet descendente	750-862 MHz
Internet ascendente	28-65 MHz
Televisión digital	606-750 MHz
Televisión analógica	96-606 MHz

Fuente: *Autor*

El rango de frecuencias utilizada es más ‘vulnerable’ desde el punto de vista electromagnética, es decir está más sujeta a interferencias externas de todo tipo. En el sentido ascendente los amplificadores recogen la señal de todos los abonados de la zona; una manipulación incorrecta de un abonado en su televisor puede introducir ruido en la red que será amplificado y afectará a todos los usuarios de la zona. Esto se conoce como efecto ‘Embudo’.

Las redes CATV antiguas (coaxiales puras) no llegaban generalmente a frecuencias tan elevadas como las redes HFC por dos razones:

- Los equipos antiguos funcionaban a frecuencias más bajas.
- Las frecuencias altas son vulnerables a una mayor atenuación en cable coaxial, por lo tanto, el número de amplificadores necesarios aumenta.

3.3.2 Bandas de frecuencias asignadas a los sistemas de comunicaciones por luz visible VLC.

Las velocidades de datos de acceso inalámbrico óptico de luz visible que van desde unos pocos b/s hasta un exceso de 10 Gbit/s son posible a niveles de iluminación interior estándar. VLC tiene la capacidad potencial de aliviar la congestión con bandas de espectro de baja frecuencia de radio (RF) ya que el espectro de luz se puede usar como un adicional recurso de espectro para

comunicaciones de banda ancha. El rango de frecuencias de VLC es hasta diez mil veces mayor, como se puede ver en la figura 3.2, las frecuencias disponibles son mucho mayores en la tecnología por comunicación visible.

VLC utiliza el espectro visible (longitudes de onda entre 390 y 750 nm) y puede proporcionar conexión inalámbrica comunicaciones utilizando elementos de iluminación y visualización.

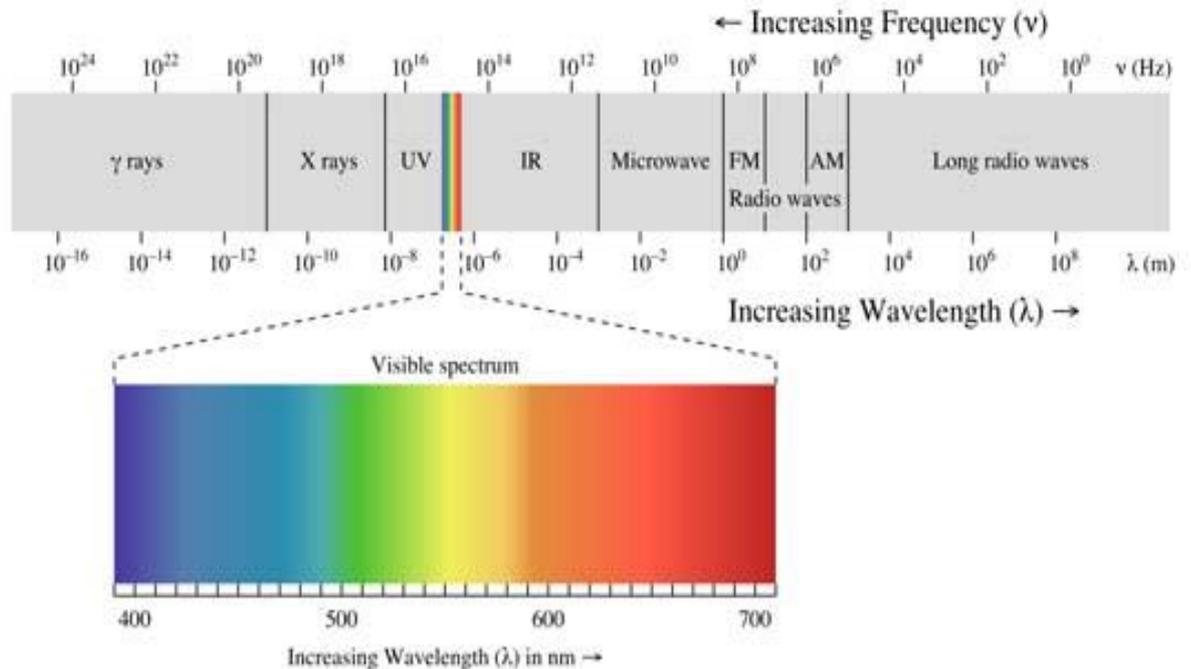


Figura 3.2 Banda de frecuencia del sistema VLC

Fuente: (“Comunicaciones de Luz Visible VLC análisis”, 2015)

3.4 Restricciones que presentan la red HFC (Hyber Fiber-Coaxial) como los sistemas de comunicaciones por luz visible (VLC).

Conforme al tercer objetivo específico, en cuanto a las restricciones que presentan las redes HFC y VLC en el análisis realizado se encontraron algunas de ellas que ocasionan vulnerabilidades en estas redes. A continuación, se detallan las restricciones encontradas en la red HFC, las cuales se encuentran en el canal de retorno.

- **Efecto embudo:** Toda la información transportada llega a un nodo final con dirección a la cabecera, durante este camino recorrido puede existir congestión y también puede ocasionar una interferencia que si

de algún modo no es atenuada durante el trayecto puede generar problemas a los abonados.

- **Interferencias específicas del canal de retorno:** La existencia de ruido de ingreso (impulsivo y no impulsivo) y de la distorsión por camino común ("CPD") que pueden llegar a imposibilitar la comunicación en sentido ascendente si no son debidamente tenidos en cuenta.
- **Ruido de ingreso:** Debido a que el espectro de frecuencias es usado por un gran número de servicios de difusión radioeléctrica, está expuesto a que la frecuencia de algunos de estos aparatos que tienen un gran nivel de potencia ocasionará que la señal llegue con problemas hacia el usuario.
- **Ruido blanco:** Por lo general en las partes de una red HFC donde más se inserta ruido es en las conversiones, cuando el nodo hace la conversión de óptico a eléctrico se inserta ruido, también cuando se amplifica la señal de RF también se amplifica el ruido por estas razones se está eliminando las topologías N+1 y solo permitiendo topologías N+0 solo nodo sin amplificador.(Sánchez M., 2017)

Una de las desventajas principales de VLC es la cobertura, ya que VLC no llega a más de los pocos metros y debido a que esta red no atraviesa los obstáculos, es necesario para que exista comunicación la visión directa. Otro de los inconvenientes enunciados es que VLC sufre de desvanecimiento y atenuación atmosférica. Esto limita las aplicaciones de alta velocidad de datos a enlaces de comunicación de corta distancia. Sin embargo, teniendo un enlace de corta distancia, con suficiente potencia de transmisión este ya no es un problema (Villacrés B., 2008).

3.5 Tabla comparativa del estudio realizado en las redes HFC y red de Comunicación por luz visible VLC.

En la tabla 3.4 se presentan los parámetros técnicos de las redes HFC y los sistemas de comunicación por luz visible VLC, con la finalidad de compararlos y proponer una mejor opción de red de servicio de transmisión de datos al usuario y así, evitar cortes en los sistemas de comunicaciones

durante los periodos de alta demanda en la zona norte de la ciudad de Guayaquil.

Tabla 3.4 *Tabla comparativa entre las redes HFC y la red de comunicación por luz visible.*

Parámetro técnico	Red HFC	Red VLC	Observaciones
Velocidad de transmisión de datos	10 Gbps en el canal de bajada y 1 Gbps en el canal de subida.	15 Mbps-20 Gbps. (indicar en base a que es esta velocidad)	La velocidad de transmisión dada para la red HFC es según el estándar DOCSIS 3.1.
Ancho de banda	Mayor a 300 THz	400 a 800 THz	VLC ocupa el espectro visible entre 380 nm y 780 nm.
Tasa de transmisión de datos	US 171.52 Mbps DS 122.88 Mbps Usando en DS 256 QAM una tasa de transmisión de 42.88 Mbps por canal y en US una velocidad de 30.72 Mbps para 64 QAM (Bustamante T., 2015).	Depende del LED, generalmente mayor a 100 Mbps según estándar IEEE 802.15.7.	En VLC mientras más alejado sea del blanco cálido, se podrá usar un mayor espectro de frecuencia.
Medio de transmisión	Alámbrico	Inalámbrico	
Modulación	QPSK y QAM	OFDM	
Cobertura	Según diseño de la red.	Corto alcance.	
Interferencia	Ruido, interferencias electromagnéticas.	Lluvia, nieve, niebla, relámpagos y luz solar.	VLC no es vulnerable a interferencias electromagnéticas.
Aplicaciones	Distribución de televisión. Telefonía a larga distancia. Conexión con periféricos a corta distancia.	Iluminación Comunicaciones Sistema de transporte de inteligentes Hospitales Ciudades y hogares inteligentes. Comunicaciones submarinas.	
Seguridad	Mejoras de Firmware. Control de dispositivos	Al no existir ondas electromagnéticas de por medio, la	

	asegurados por el proveedor de servicios. Encriptación de Datos.	interceptación de la señal es casi imposible. La comunicación es a través de luz directa.	
Estándares	DOCSIS	IEEE 802.15.7	El estándar DOCSIS es diseñado para el tratamiento de cables, por otro lado, IEEE 802.15.7 es un protocolo utilizado para comunicaciones por luz visible.

Fuente: Autor

A continuación, se detalla cada parámetro técnico mencionado en la tabla 3.4

Velocidad de transmisión: Como se menciona en la tabla 3.4 la velocidad de transmisión para la red HFC está dada según el estándar DOCSIS 3.1 pero en la práctica es muy difícil llegar a esos valores debido a las interferencias y a las atenuaciones que sufre el cable coaxial, en cambio los sistemas VLC pueden transmitir grandes cantidades de información a muy alta velocidad.

Ancho de banda: VLC al tener el ancho de banda tan amplio y que no se comparte, tampoco se tiene que restringir. Permite una gran capacidad de comunicación, un claro ejemplo es que, si nuestro paquete de servicios nos ofrece 75Mbps, cada usuario que se encuentre en la habitación dispondrá dicha cantidad. Con las redes HFC no tenemos las mismas características, ya que la señal es dividida entre los dispositivos que se encuentren conectados a la red.

Tasa de transmisión de datos: La tasa de transmisión en VLC depende del LED debido a que mientras más alejado sea al blanco cálido, se podrá usar un mayor espectro de frecuencia y esto hará que la transmisión sea más rápida. La tasa de transmisión de datos en redes HFC va a depender mucho del número de canales que existan y este a su vez del ancho de banda que

se encuentre disponible, es decir se maneja bajo un límite dado a diferencia de las comunicaciones VLC.

Medio de transmisión: Al ser VLC una comunicación inalámbrica es una ventaja que ésta posee debido a que no necesita una infraestructura como la necesita la red HFC y de esta manera el costo para las comunicaciones VLC sería inferior.

Modulación: El estándar DOCSIS permite dos técnicas de modulación QPSK y QAM. La modulación QPSK tiene una mayor inmunidad contra el ruido y una alta seguridad de los datos. Cuando el nivel de QAM aumenta existe un incremento en la velocidad de transmisión de datos. Las técnicas de modulación usadas en el sentido ascendente son más robustas que en el descendente, esto se debe a la mayor presencia de ruido en el canal de retorno. En el canal descendente se usan modulaciones de 64 QAM y 256 QAM. Las comunicaciones por luz visible utilizan la modulación OFDM, la cual permite dividir un canal de frecuencias en varias bandas de frecuencias equilibradas, cada una de ellas lleva una cierta cantidad de información manteniendo la ortogonalidad en la frecuencia, que es un punto muy importante ya que permite que la información no se sobre monte una con otra y que no haya interferencia.

Cobertura: Una de las desventajas principales de VLC es la cobertura, ya que no llega a más de los pocos metros. Como VLC se transmite por la luz, esta no atraviesa los obstáculos, es necesario para que exista comunicación la visión directa. Por esa razón, la comunicación por luz visible alcanza poco rango de distancia. Bajo el diseño de la red HFC, se busca agrupar alrededor de 500 a 1500 casas por nodo a distribuir lo que indica que su cobertura es mayor en comparación a VLC.

Interferencia: Las redes HFC son susceptibles a las interferencias electromagnéticas y a medida que abarca más longitud el cable coaxial sufre pérdida de señal a lo largo de la red, VLC presenta cierta interferencia en su sistema cuando se encuentra expuesto a la lluvia, niebla, relámpagos, pero

puede ser usado sin ningún problema en minas, aviones, hospitales ya que no emite ninguna interferencia electromagnética, de esta manera se podrá mantener a mayor cantidad de usuarios conectados sin problemas.

Aplicaciones: Las aplicaciones que presenta VLC son múltiples debido a sus características que incluyen alto ancho de banda, no presenta riesgos para la salud, bajo consumo de energía, son las siguientes:

Li-Fi, que es un sistema de comunicación inalámbrico de luz visible bidireccional de alta velocidad, similar a Wi-Fi. Las señales de Wi-Fi tienen el problema de interferencia con otras señales de RF. Por lo tanto, en las áreas que son sensibles a la radiación electromagnética (como los aviones), el Li-Fi puede ser una mejor solución.

Sistema de transporte inteligentes, VLC se puede utilizar para la comunicación vehicular debido a la presencia de las luces del vehículo y la infraestructura de semáforos.

Hospitales, es probable que las áreas sensibles a las ondas electromagnéticas como los escáneres de resonancia magnética cambien a VLC porque no interferirá con las ondas de radio de las otras máquinas.

Las aplicaciones que brinda HFC son más limitadas y se concentran en telefonía, televisión e internet.

Seguridad: Es una de las ventajas de en la red VLC, ya que no se puede interceptar información, a menos que se esté en el lugar donde se produce ese intercambio de información, es imposible conseguir los datos que se transmiten de esta manera ninguna información podrá ser interceptada sin previo consentimiento (Villacrés B., 2008).

La red HFC por su lado también ofrece seguridad en donde indica que la CMTS puede disponer de un filtrado tanto para protegerse contra robos de servicios como para protegerse de piratas informáticos, produciendo una

denegación de los servicios que ésta ofrece, pero se debe considerar que la información ya se encuentra expuesta.

Luego de haber estudiado los sistemas de comunicaciones por luz visible y la red HFC, se puede destacar a los sistemas de comunicaciones por luz visible ya que nos ofrece un futuro brillante, debido a sus múltiples aplicaciones, unas de las más importantes se mencionan a continuación.

Como primer punto VLC ofrece doble funcionalidad, iluminar y conectar, a una alta velocidad de transmisión de datos, mediante un LED que además de consumir menos energía tiene mayor durabilidad, la funcionalidad de los LED es transmitir a través de parpadeos no visibles para el ojo humano, la emisión de datos a alta velocidad en código binario que indican un encendido y apagado de la luz.

Además, VLC usa el espectro visible, el cual cuenta con disponibilidad y es fácil de ser modulado usando el LED y no el espectro electromagnético el cual ya se encuentra usado por otros sistemas de comunicación. También se puede implementar en áreas donde otras redes son vulnerables a interferencias electromagnéticas como lo son las minas.

VLC, por el hecho de ser una tecnología nueva, busca brindar al usuario una mejor experiencia en su conectividad, además se puede complementar con otras comunicaciones inalámbricas como WI-FI y así en situaciones donde exista mayor demanda del servicio de transmisión de datos, el usuario no se vea afectado por interferencias externas.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Mediante la investigación previamente realizada, se alcanzó a determinar mediante una tabla los parámetros técnicos de las redes HFC (Hybrid Fiber Coaxial) y VLC (Visible Light Communications), la cual se puede observar en el capítulo 3.2. y nos permitió conocer detalladamente las características de ambos sistemas y así mismo trabajar con el siguiente objetivo relacionado a las bandas de frecuencias.
- Se establecieron los rangos de las bandas de frecuencia que son recomendaciones de los estándares con los cuales trabajan cada una de estas redes, para la red HFC el estándar DOCSIS y para el sistema VLC el estándar IEEE 802.15.7, además se concluyó que VLC es superior a HFC dado que la última mencionada, no cumple con lo que indica el estándar DOCSIS 3.1 debido a que el trayecto que recorre cable coaxial es vulnerable a interferencias.
- De acuerdo con las tablas de operación realizada con los parámetros técnicos de las redes HFC y VLC se analizaron las ventajas y desventajas técnicas de ambas y se concluye que la red HFC presentan como vulnerabilidad en su canal de retorno que este a su vez afectará a toda la transmisión, mientras que la mayor restricción encontrada en VLC es la cobertura, debido a que no atraviesa obstáculos.
- Se diseñó una tabla comparativa que nos permitió con facilidad el estudio realizado en las redes HFC y VLC, llegando a la conclusión de que VLC es una alternativa y solución a los cortes o interferencias que ocurren en las redes HFC debido a que poseen un gran ancho de

banda, no son vulnerables a las ondas electromagnéticas y además tienen una velocidad de transmisión mayor que las redes HFC.

4.2 Recomendaciones

Mediante la investigación realizada sobre la red HFC y los sistemas VLC se recomienda los sistemas VLC por presentar varias características favorables, una de las más importantes es que no es nociva para la salud ya que trabaja en otras bandas de frecuencias, de esta manera se los puede implementar en hospitales, ya que, al contrario de otras redes, esta no produciría interferencias en espacios adyacentes y debido a que un hospital es un lugar concurrido al usar VLC cada persona o cada dispositivo que se encuentre conectado a la red tendrá una alta tasa de transmisión de datos lo que no sucede hoy en día con la red HFC. VLC, además brinda seguridad debido a que, si no existe visibilidad directa, la transmisión de datos es imposible.

Bibliografía

AC-TELECOMUNICACIONES-ESPE-033679.pdf. (s/f). Recuperado el 9 de julio de 2020, de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5589/1/AC-TELECOMUNICACIONES-ESPE-033679.pdf>

Angulo B., F. D., & Polo O., H. (2011). *DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO HFC (HIBRIDO FIBRA COAXIAL) PARA LA PRESTACIÓN DE SERVICIO TRIPLE PLAY*. 76.

Bravet G., V. (2009). *Diseño de red Híbrida Fibra Coaxial (HFC) para la Cayería Norte de la provincia Villa Clara* [Universidad Central "Marta Abrell" De Las Villas]. <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/4950/Vismar%20Bravet%20G%C3%B3mez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bustamante T., A. C. (2015). *Análisis de la transmisión de banda ancha en redes HFC: LIMITACIONES TECNOLÓGICAS, REVISIÓN DE STÁNDARES*. 8.

Comunicaciones de Luz Visible VLC análisis. (2015, mayo 26). *Smart Lighting*. <https://smart-lighting.es/comunicaciones-de-luz-visible-vlc-factores-de-demanda-beneficios-y-oportunidades/>

Crespo R., W., & Torres M., L. (2016). *ANÁLISIS PARA BRINDAR EL SERVICIO DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE DIRIGIDO A LOS HABITANTES DE LA ZONA URBANA CÉNTRICA DE LA CIUDAD DE BABAHOYO, PROVINCIA DE LOS RÍOS* [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL]. <https://docplayer.es/81196608-Escuela-superior-politecnica-del-litoral-informe-de-materia-integradora-previa-a-la-obtencion-del-titulo-de.html>

Díaz P., S. (2014). *Diseño y comparativa de redes HFC y FTTH* [Escuela Superior de Ingeniería].

http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12222/fichero/PFC_Sergio_Diaz.pdf

Dieter, L., K. (2015, octubre). *Visible-Light Communications*. https://www.researchgate.net/profile/Klaus_Dieter_Langer/publication/280733585_Visible-Light_Communications/links/5624dddb08ae93a5c92d2f8a.pdf

Grela, A. A. (2016). Evolución de las redes de CATV hacia la transmisión de datos. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 3, 55. <https://doi.org/10.30972/eitt.302775>

Hernández T., C. A. (2019). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS VLC Y FSO COMO GUÍA PARA LA TOMA DE DECISIONES DE INGENIEROS QUE PLANIFICAN REDES DE ACCESO [UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA]*. [http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5197/An%C3%A1lisis%20comparativo.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%20VLC%20\(Visible%20Light,%2C%20PC%20de%20mesa%2C%20etc.](http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5197/An%C3%A1lisis%20comparativo.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%20VLC%20(Visible%20Light,%2C%20PC%20de%20mesa%2C%20etc.)

Hussein, A. T. (s/f). *Visible Light Communication System*. 309.

“Identificación y análisis de la tecnología VLC/Li-Fi desde la perspectiva de su ciberseguridad-ciberprivacidad”—Conectores-Redes-Fibra óptica-FTTh-Ethernet. (s/f). Recuperado el 12 de agosto de 2020, de <https://www.conectronica.com/tecnologia/seguridad/identificacion-y-analisis-de-la-tecnologia-vlcli-fi-desde-la-perspectiva-de-su-ciberseguridad-ciberprivacidad>

ITU. (2018). *Visible light for broadband communications*.

Lorenzo G., B. (2016). *Estudio del Estado del Arte de los sistemas de comunicaciones por luz visible (VLC)*.

- Montañana, R. (1997). *Acceso residencial de banda ancha*.
http://www.aulawiki.info/ampliacion/T3-acceso-resid_B_A.pptx
- Montes S., A. (2016). *ANALISIS PARA MEJORAR LAS TÉCNICAS QUE SE APLICAN EN EL SEGUIMIENTO DE RUIDO PARA UNA RED COAXIAL QUE AFECTA LOS SERVICIOS DEL GRUPO TVCABLE DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL* [UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL].
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/20387/1/MONTES%20SANTOS%20ALEKSEYEVICH%20IV%20C3%81N.pdf>
- Peñañiel P., E. J. (2015). *Análisis de la tecnología Li-Fi: Comunicaciones por luz visible como punto de acceso a Internet, una alternativa a la transmisión de datos en las comunicaciones inalámbricas*.
- RC Micro. (2009, agosto). *Instrumentación para medir la calidad de redes CATV/HFC - Conectores-Redes-Fibra óptica-FTTh-Ethernet*.
<https://www.conectronica.com/fibra-optica/instrumentos-para-fibra-optica/instrumentacion-para-medir-la-calidad-de-redes-catvhfc>
- Rehman, S., Ullah, S., Chong, P. H. J., Yongchareon, S., & Komosny, D. (2019). Visible Light Communication: A System Perspective—Overview and Challenges. *Sensors*, 19, 1153. <https://doi.org/10.3390/s19051153>
- Rodriguez, P. (2013, febrero 5). *Comunicaciones por luz visible: Cuando los bits nos lleguen de las bombillas*. Xataka Smart Home.
<https://www.xatakahome.com/la-red-local/comunicaciones-por-luz-visible-cuando-los-bits-nos-lleguen-de-las-bombillas>
- Sánchez M., J. (2017). *Diseño e implantación de redes híbridas HFC basadas en la combinación y transmisión de señales de televisión e internet*. [Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación].
http://oa.upm.es/52959/1/TFG_JAVIER_SANCHEZ_MARTINEZ.pdf
- Sandoval R., S. (2018). *TRANSMISIÓN-RECEPCIÓN DE AUDIO VÍA LUZ VISIBLE*. 128, 13.

Ullah K., Latif. (2017). *Visible light communication: Applications, architecture, standardization and research challenges*. 3(2),

Villacrés B., M. (2008). *DISEÑO DE UNA RED DE TELECOMUNICACIONES HFC MULTISERVICIOS PARA LA EMPRESA GREEN TV EN LA CIUDAD DE ESMERALDAS*. <https://docplayer.es/59963287-Escuela-politecnica-del-ejercito-departamento-de-electrica-y-electronica-carrera-de-ingenieria-en-electronica-y-telecomunicaciones.html>

Glosario de términos

- APD:** (Avalanche Photodiode) Fotodiodo de avalancha.
- CAP:** (Containment access period) Período de acceso de contención.
- CATV:** (Community Antenna Television) Televisión por cable.
- CFP:** (Containment-free period.) Período libre de contención.
- CMTS:** (Cable Modem Termination System) Sistema de terminación de cable modem.
- CPD:** (Common Path Distortion) Distorsión por camino común.
- CSK:** (Color-Shift Keying) Teclado por cambio de color.
- DOCSIS:** (Data Over Cable Service Interface Specification) Especificación de la interfaz de servicio de datos por cable.
- DPT:** (Dynamic Package Transport) Transporte Dinámico de Paquetes.
- FEC:** (Forward Error Correction) Corrección de errores hacia adelante.
- FOV:** (Field Of Vision) Campo visual.
- IEEE:** (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
- IM/DD:** (Intensity Modulation / Direct Detection) Modulación de intensidad / Detección directa
- IoT:** (Internet of Things) Internet de las cosas.
- ITS:** (Intelligent Traffic Systems) Sistema de tráfico inteligente.
- JEITA:** (Japan Electronics and Information Technology Industries Association) Asociación de Industrias de Electrónica y Tecnología de la Información de Japón.
- LED:** (Light Emmiting Diode) Diodo emisor de luz.
- LUX:** (Luminance unit.) Unidad de luminancia.
- MPEG:** (Moving Picture Experts Group) Grupo de expertos en imágenes en movimiento.
- OFDM:** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) Multiplexación por división de frecuencia ortogonal.
- OWC:** (Optical Wireless Communications) Sistema de comunicaciones ópticas.
- PHY:** (Physical Layer) Capa física.

PSTN: (Public Switched Telephone Network) Red Telefónica Conmutada Pública

QAM: (Quadrature Amplitude Modulation) Modulación de amplitud en cuadratura.

QoS: (Quality of Service) Calidad de servicio.

QPSK: (Quadrature Phase Shift Keying) Codificación por cambio de fase en cuadratura.

RF: (Radio frequency) Radiofrecuencia.

SONET/POS: (Synchronous Optical Network/ Packet Over) Red óptica Síncrona/paquetes sobre Sonet.

UIT: (International Telecommunication Union) Unión Internacional de Telecomunicaciones

V2V: (Vehicle to vehicle) Vehículo a vehículo.

VLCC: (Visible Light Communication Consortium) Consorcio de comunicación de luz visible.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Concha Quisnancela, Grace Brigitte** con C.C: # 094078286-5 autor del Trabajo de Titulación: **Estudio del sistema VLC como solución a los cortes de transmisión de datos en la red HFC ocasionados en el sector norte de la ciudad de Guayaquil** 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, 15 de Septiembre del 2020

f. _____

Nombre: Concha Quisnancela, Grace Brigitte

C.C: 094078286-5



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



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

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Estudio del sistema VLC como solución a los cortes de transmisión de datos en la red HFC ocasionados en el sector norte de la ciudad de Guayaquil.		
AUTOR(ES)	Concha Quisnancela, Grace Brigitte		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Romero Rosero, Carlos Bolívar		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	15 de Septiembre del 2020	No. DE PÁGINAS:	54
ÁREAS TEMÁTICAS:	Fundamentos de Comunicaciones, Comunicaciones Ópticas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	VLC, HFC, Transmisión, Interferencias, Led, Ieee, Luz.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>Mediante el presente trabajo de titulación se quiere dar a conocer a los sistemas de comunicaciones VLC como una solución óptima a los cortes de transmisión de datos ocasionados en la red HFC en el sector norte de la ciudad de Guayaquil. Debido a las vulnerabilidades que presenta la red HFC, como son los problemas ocasionados en el canal de retorno, el ruido y las interferencias por ondas electromagnéticas, se busca un sistema de comunicación que permita que la transmisión de datos sea de manera más rápida y con mayores ventajas. Los sistemas VLC son un tipo de comunicación inalámbrica la cual está conformada por el transmisor, canal y receptor. Estos sistemas usan el diodo emisor de luz blanca (LED) como transmisor y se caracterizan por ser de corto alcance, alta velocidad y además pueden ser usados en lugares donde las ondas electromagnéticas generen interferencias. Adicional, usan el estándar IEEE 802.15.7 y algunas normas que regulan el parpadeo de la luz.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593991044817	E-mail: gracebri05@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-67608298		
	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):			