

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE TECNOLOGIA
CARRERA DE ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES



**“DISEÑO DE SISTEMA DE RED DE FIDELIDAD DE
LUZ PARA OPTIMIZAR EL SERVICIO DE
INTERNET EN LA ZONA DE VILLA ADELA DE LA
CIUDAD DE EL ALTO, GESTIÓN 2023”**

**Trabajo De Aplicación- Examen De Grado Presentado Para Obtener El Grado
Nivel Licenciatura**

POR:

Univ. AJATA GRAJEDA VICTOR RAUL

La Paz – Bolivia

2023

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado se lo dedico principalmente a mi familia que nunca me abandono, siempre estuvieron a mi lado apoyándome y dándome ánimos para que yo logre terminar de manera satisfactoria la carrera y la dedicatoria también es para los licenciados e ingenieros de la carrera que con su saber me guiaron para que yo pueda seguir.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento total a mis padres por haber puesto toda su confianza en mí y por haber luchado día a día para que yo tenga una buena educación, también agradezco a las autoridades de la Facultad y de la carrera por el apoyo brindado.

INDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCION	1
CAPITULO I: ANTECEDENTES DEL PROYECTO	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.2. OBJETIVOS.....	5
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
1.3. JUSTIFICACION.....	5
1.3.1. ALCANCES.....	6
1.3.2. LIMITES.....	6
1.4. DELIMITACION.....	7
1.4.1. DELIMITACION GEOGRAFICA.....	7
1.4.2. DELIMITACION TEMPORAL.....	7
CAPITULO II: MARCO TEORICO	8
2.1. COMUNICACIONES INALAMBRICAS	9
2.2. DEFINICION DE VLC.....	9
2.3. REDES LIFI.....	9
2.4. CARACTERISTICAS DE LA RED LI FI	11
2.4.1. CAPACIDAD DE ANCHO DE BANDA	11
2.4.2. DENSIDAD DE DATOS.....	11
2.4.3. ALTA VELOCIDAD.....	12
2.4.4. PLANIFICACION	12
2.4.5. EFICIENTE DE BAJO COSTE.....	12
2.4.6. ENERGIA	12
2.4.7. MEDIO AMBIENTE.....	12
2.4.8. SEGURIDAD.....	12
2.4.9. NO PELIGROSOS.....	12

2.4.10. SEGURIDAD CONTENCION.....	12
2.4.11. CONTROL.....	13
2.5. COMPONENTES DE LI FI (ELEMENTOS DE TRANSMISION)	13
2.5.1. DIODO LED	13
2.5.2. LAMPARA LED	13
2.5.3. MODULADOR.....	14
2.6. ELEMENTOS DE RECEPCION	14
2.6.1. FOTORECEPTORES	14
2.7. CAPA FISICA	15
1.2.5.1 MODELO PHY I	15
1.2.5.2 MODELO PHY II.....	17
1.2.5.3 MODELO PHY III.....	18
2.8 TECNOLOGIA LED	20
2.8.1. LARGA VIDA UTIL.....	21
2.8.2. ALTA EFICIENCIA ENERGETICA.....	21
2.8.3. ECOLOGICO.....	21
2.8.4. AUSENCIA DE INFRARROJOS Y ULTRAVIOLETAS	21
2.9 ESPECTRO DE LUZ VISIBLE	21
2.10. OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales).....	22
2.11. TIPOLOGIAS DE RED.....	23
2.12. PARAMETROS DE LAS ONDAS LI FI.....	24
2.12.1. TRANSMISION	24
2.12.2. PROPAGACION	25
2.12.3. REFLEXION.....	25
2.12.4. DIFRACCION	25
2.12.5. REFRACCION	26
2.12.6. ABSORCION.....	26
2.12.7. ATENUACION.....	26
2.12.8. DISPERSION.....	26
2.12.9 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UNA RED LIFI	26
2.12.9.1. VENTAJAS:.....	26
2.12.9.2. DESVENTAJAS:	27

2.13. ESQUEMAS DE MODULACIÓN DE DATOS.....	27
1.2.4.1. ON-OFF KEYING (OOK).....	27
1.2.4.2. MODULACIÓN VARIABLE DE POSICIÓN DE PULSO (VPPM).	28
1.2.4.3. MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE COLOR (CSK)	29
2.13. MARCO NORMATIVO.....	30
2.13.1. IEEE: INSTITUTO DE INGENIEROS ELÉCTRICOS Y DE ELECTRÓNICA.....	30
2.13.1. ESTANDAR DE COMUNICACIÓN IEEE 802.15.7.....	30
CAPITULO III: INGENIERIA DEL PROYECTO	32
3.1. DIAGRAMA DE BLOQUES	33
3.2. ANALISIS DEL SISTEMA.....	33
3.2.1. TRANSMISOR.....	33
3.2.2. RECEPTOR	34
3.3. FACTIBILIDAD.....	34
3.4. PROPUESTA TECNICA.....	35
3.4.1. CÁLCULO DEL FLUJO LUMINOSO TOTAL NECESARIO PARA UN ÁREA DETERMINADA.....	35
3.4.2. CALCULO DE NUMERO DE LUMINARIAS.....	36
3.4.3. PARAMETROS DEL LUGAR DE INSTALACION	37
3.4.4. CALCULO DEL COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN (CU)	37
3.4.4.1. CÁLCULO DEL ÍNDICE DEL LOCAL (K).....	37
3.4.4.2. CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE REFLEXIÓN.....	38
3.4.5 CAPA FISICA DE LA RED LI FI	39
3.4.6. ARQUITECTURA DE RED DE ACCESO	40
3.4.6 DISEÑO DENTRO DE UN HOGAR.....	40
3.4.7. CREACION DE VLAN	41
3.4.8. DIRECCIONAMIENTO IP	41
3.5. SELECCIÓN DE PROTOCOLOS	42
3.5.1. RSTP.....	42
3.5.2. VTP	42
3.5.3. AAA	42
3.6 MODELO A PEQUEÑA ESCALA DEL SISTEMA.....	42
3.6.1. PROTOTIPO DEL CIRCUITO TRANSMISOR	43

3.6.2. PROTOTIPO DEL CIRCUITO RECEPTOR.....	45
CAPITULO IV: ESTUDIO DEL MERCADO	47
4.1. ESTUDIO DE MERCADO	48
4.1.1. PURELIFI	48
4.1.2. OLEDCOMM	49
4.1.3. VLNCOMM.....	49
4.2. ANALISIS DE COSTOS.....	50
4.3. COSTOS DEL MODELO A PEQUEÑA ESCALA	51
V: CONCLUSIONES.....	51
VI: RECOMENDACIONES	52
VII: BIBLIOGRAFIA	53
ANEXOS	54

INDICE DE FIGURAS

Figura 1:Diagrama de bloques de un sistema Lifi	11
Figura 2:Diodo Led.....	13
Figura 3: Lampara Led.....	14
Figura 4: Modulador Li Fi.....	14
Figura 5: Receptor Li Fi.....	15
Figura 6: Diagrama de bloques de un Sistema utilizando modelo PHI I	16
Figura 7: Diagrama de bloques de un Sistema utilizando modelo PHY II	18
Figura 8: Diagrama de bloques de un Sistema utilizando modelo PHI III Estándar IEEE 802.15.7.....	19
Figura 9: Espectro de Luz Visible.....	22
Figura 10: Ecuación OFDM.....	22
Figura 11: Ecuación de portadoras OFDM	23
Figura 12: Señal OFDM.....	23
Figura 13: Topologías de red	24
Figura 14: Esquema de modulación OOK utiliza codificación Manchester	28
Figura 15: Modulación de pulso de posición variable (VPPM).....	29
Figura 16: LEDs RGB pueden combinar diferentes longitudes de onda para CSK	30
Figura 17: Diagrama en bloques del sistema Li Fi	33
Figura 18: Ecuación de Flujo luminoso	35
Figura 19: Ecuación de numero de luminarias.....	36
Figura 20: Medición de los parámetros.....	37
Figura 21: Medición de las alturas para la instalación.....	37

Figura 22: ARQUITECTURA DE RED DE ACCESO.....	40
Figura 23: Arquitectura dentro de un hogar	41
Figura 24: Esquema Del Prototipo Del Transmisor	43
Figura 25: Código Del Transmisor	44
Figura 26: Esquema Del Prototipo Del Receptor.....	45
Figura 27: Código Del Receptor	46

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comportamiento del modelo PHY I	17
Tabla 2: Comportamiento del modelo PHY III.....	20
Tabla 3: Tipologías de red.....	24
Tabla 4: Coeficiente de reflexión.....	39
Tabla 5: Tabla de Precios	50
Tabla 6: Tabla de precios del modelo a pequeña escala	51

RESUMEN

La idea del proyecto es mejorar una red de transmisión de datos para los hogares que existen dentro de la zona de Villa Adela de la ciudad de El Alto., por medio de una red Li-Fi, conocer como es el funcionamiento de la red y las ventajas que tendría ante redes Ethernet y Wi-Fi, muchas personas no conocen este tipo de tecnología que puede ser el futuro de las redes inalámbricas para mejoras en muchos procesos de transmisión de datos. Esta propuesta surge de la problemática que tienen actualmente las redes de alto tráfico de datos, las cuales tienen un bajo rendimiento y fallas, como lo es la lentitud en responder y ocasionalmente la no conectividad a la trama; analizando que el cableado es uno de los principales causantes del problema, debido al tramo que realiza y la continuidad del mismo. Este problema se puede evitar al implementar una red inalámbrica Lifi, ya que garantiza mejor navegación que la misma red alámbrica, por estética y aprovechamiento de recursos es más factible y económico implementar dicha tecnología de red. Para la mejora de esta red se plantea una idea de montar una red solo con la tecnología VLC en cada una de las casas donde se acepte su instalación en la localización del estudio de este proyecto, con esto se favorece a las personas de escasos recursos, utilizando lo que en toda locación actual es indispensable, y es la luz, utilizando el mismo recurso para dos funciones diferentes. Se enfoca en reubicación de puntos de emisión Lifi, mejorar la fluctuación de ruido entre el cableado de la trama y cableado de tensión, ya que se va a reducir el uso de cableado a un 80%. Por uso de red inalámbrica, no tendrá inconvenientes con dispositivos que manejan frecuencias de radio (una falla principal de la red wifi). Como resultado, generará prioridad de seguridad dentro de la red, mejorará la velocidad, la eficiencia, la capacidad de transmisión, ofreciendo una mayor calidad de servicio al cliente.

ABSTRACT

The idea of the project is to improve a data transmission network for homes that exist within the area of Villa Adela in the city of El Alto, through a Li-Fi network, to know how the network works and the advantages it would have over Ethernet and Wi-Fi networks, many people do not know this type of technology that may be the future of wireless networks for improvements in many data transmission processes. This proposal arises from the problems that currently have high data traffic networks, which have low performance and failures, such as slowness in responding and occasionally no connectivity to the frame; analyzing that the wiring is one of the main causes of the problem, due to the stretch that performs and the continuity of the same. This problem can be avoided by implementing a wireless Lifi network, since it guarantees better navigation than the same wired network, for aesthetics and use of resources it is more feasible and economical to implement this network technology. For the improvement of this network we propose the idea of setting up a network only with VLC technology in each of the houses where its installation is accepted in the location of the study of this project, this favors people of scarce resources, using what in any current location is indispensable, and that is the light, using the same resource for two different functions. It focuses on the relocation of Lifi emission points, improving the noise fluctuation between the wiring of the frame and voltage wiring, since it will reduce the use of wiring to 80%. By using wireless network, it will not have inconveniences with devices that handle radio frequencies (a main fault of the wifi network). As a result, it will generate security priority within the network, improve speed, efficiency, transmission capacity, offering a higher quality of service to the customer

INTRODUCCION

A lo largo del tiempo la tecnología inalámbrica ha sufrido cambios constantes que permiten mejorar la comunicación al momento de envío y recepción de información. Uno de estos avances está constituido por el WIFI, cuyo uso permite, de manera rápida, obtener los datos que deseamos de la red. El Wifi cambió la manera en que se usa el internet y se ha hecho indispensable para gran parte de las personas en todo el mundo, encontrándose disponible en diferentes lugares, tales como: hogares, centros comerciales, centros de salud, instituciones educativas, entre otros. No obstante, la búsqueda de la velocidad en la red y todas las ventajas posibles para los usuarios ha hecho que los desarrolladores de nuevas tecnologías encuentren innovaciones que superen las existentes. Una de las tecnologías más recientes en el uso del internet y que, según algunas teorías, promete el desplazo del Wifi o por lo menos convivirá con esta tecnología, se trata del LI-FI (Light Fidelity) o también conocido como comunicación por luz visible (VLC).

Los sistemas de comunicación por luz visible o VLC por sus siglas en inglés Visible Light Comunicación se basa principalmente en la modulación de la intensidad de luz de una bombilla LED con el fin de transmitir información. Es un sistema de comunicación inalámbrica por el cual se puede transmitir y receptar información utilizando la luz. Esta tecnología emplea la luz generada por diodos LED (focos, lámparas) para enviar los datos y los recepta a través de un sensor que detecta los cambios de la luz. Dicha tecnología cuenta con varios factores en lo que respecta a la velocidad y la transmisión en la que se da la información, la distancia, e incluso sin dejar atrás la seguridad que se proporciona a los datos emitidos por cualquier medio tecnológico.

El espectro óptico podría ser una de las soluciones al gran problema de ancho de banda dado por los recursos de radio frecuencia, cada vez más saturados en un panorama con cada vez más conectividad masiva de usuario y unido al recientemente popularizado concepto del internet de las cosas (Iot, Internet Of Things) que pretende ofrecernos a los usuarios control de todos los dispositivos a nuestro alrededor a través de la conectividad, pero que se encuentra con limitaciones de banda e interferencia.

La solución que las comunicaciones por luz visible nos podrían proporcionar en este campo nos facilitarían rapidez y seguridad, ya que este tipo de comunicación se produce con visibilidad directa entre emisor y receptor, por tanto, ofrecerían alta velocidad y robustez frente a interferencias.

El propósito de llevar este tipo de comunicación a una gran escala más extendida y al nivel doméstico se ha visto ayudado del avance en los teléfonos móviles de los que disponemos hoy en día, que constan de un tipo de sensor de imagen que ha supuesto un gran avance en la recepción de señales de luz y que además cumpliría con grandes resultados los objetivos en cuanto a IoT ya que el teléfono inteligente es en concreto el objeto principal en el que se centra este concepto para su control porque es el dispositivo personal perfecto para el manejo de los demás dispositivos con los que podríamos intercomunicarnos en nuestra vida diaria, que a su vez constan en su mayoría de LEDs o de otros emisores de luz de bajo o alto coste.

CAPITULO I: ANTECEDENTES DEL **PROYECTO**

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema que existe es el nefasto servicio de internet a causa de un sistema que ya es muy obsoleto y que todavía se usa en nuestro territorio además de su elevado costo.

Las causas más evidentes de este problema son un sistema que a causa de ruidos e interferencias hacen que el servicio de internet en ciertas áreas sea muy lenta y entrecortada, además, de también su inaccesibilidad al costo que lo hace muchos más complicado pedir este servicio en estos tiempos de pandemia.

Este es problema por la situación de pandemia que está pasando el país ya que obligo a muchos habitantes a seguir con sus obligaciones de manera virtual y algunos por este problema no pueden hacerlo ya que algunas personas no tienen los recursos para poder ejercer su trabajo y sus estudios de manera óptima.

Mayormente los más afectados son las personas que necesitan este tipo de servicios ya que estudian en colegio, una carrera universitaria y también los que trabajan de manera virtual, este proyecto enfocado en un área de estudio que en este caso será la zona de Villa Adela de la ciudad de El Alto que es una de las muchas zonas afectadas por este problema y la que más necesita de este servicio.

El problema es grave ya que muchas personas están siendo desempleadas por esta situación lo que se espera es solo tratar de que eso pare.

De no resolver el problema lo más probable es que sea tanto el perjuicio de las personas afectadas en esta pandemia que haya conflictos de origen social que obligue a las personas a movilizarse para poder acceder a un servicio de calidad a un precio accesible teniendo en cuenta que en Bolivia el servicio de internet es uno de los más lentos y más caros de toda la región latinoamericana.

El contexto social es una parte de la sociedad que no puede acceder a un servicio de internet de una mejor calidad a un precio accesible teniendo en cuenta los niveles de desempleo en la región y algunos niños, adolescentes y jóvenes que abandonan la universidad o la escuela en la que estudian por no tener este servicio.

El contexto económico es el nivel de recursos que tiene esta parte de la sociedad para poder acceder a este servicio y es perjudicada por su calidad y el no poder a acceder a servicios mejores de internet.

El contexto geográfico, la zona de estudio es una de las más afectadas de este problema y es la zona de Villa Adela de la ciudad de El Alto ya que su población carece de recursos para acceder a altos servicios que igualmente son deficientes de internet en esta región.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de red de fidelidad de luz (Li Fi) con tecnología de comunicación visible (VLC) que permitirá optimizar el servicio de internet que presenta la zona de Villa Adela de la ciudad de El alto

1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ❖ Describir las características técnicas que tendrá el sistema de red Li Fi con tecnología VLC que permitirá mejorar el servicio de internet en la Zona de Villa Adela de la ciudad de El Alto.
- ❖ Diseñar un modelo de prueba a pequeña escala de un sistema de red Li Fi con tecnología VLC para mejorar el servicio de internet en la Zona Villa Adela de la ciudad de El Alto
- ❖ Construir un modelo de prueba a pequeña escala del sistema de red Li Fi con tecnología VLC para mejorar el servicio de internet en la Zona Villa Adela de la ciudad de El Alto.

1.3. JUSTIFICACION

- La implementación de la nueva tecnología para transmisión de datos garantiza resolver muchos de los problemas que presenta la tecnología actual, Las comunicaciones en general hacen parte de la vida de una persona, de igual manera utilizamos la luz como recurso para diferentes tareas las 24 horas del día. El unificar estos dos recursos se lograría, ahorrar energía, y transmitir datos, al mismo

tiempo que iluminamos un espacio cualquiera, para ello, requeriría cambiar las luces incandescentes (lámparas fluorescentes) que usamos, por la tecnología de luces LED, las cuales, son más eficientes, reciclables, de energía limpia y barata (ecológica y saludable). La eficiencia es mucho más grande porque la banda de frecuencia de la luz es mayor que la que se utiliza en radiofrecuencia para la transmisión de datos y a mayores velocidades, adicionalmente tiene beneficios en temas de seguridad, ya que la luz no atraviesa los objetos de un gran grosor como las paredes de una propiedad, por ende, no pueden entrar a la red interna de un hogar.

- Esta tecnología no solamente será beneficiosa en el ámbito del ahorro de energía, sino que también será un alivio económico para las personas de escasos recursos porque no solamente se busca reducir los costos en el manejo de datos de internet, sino que también se busca reducir los costos en el uso de energía eléctrica.
- En el ámbito social se busca beneficiar a las personas de escasos recursos y en el caso específico de este proyecto comenzar la implementación de esta nueva tecnología en una de muchas zonas afectadas por el mal servicio que dan las empresas de telecomunicaciones actuales, que es la zona de Villa Adela de la ciudad de El Alto.

1.3.1. ALCANCES

El alcance de este proyecto consiste en realizar un diseño de un sistema de red Li Fi que será aplicado en la zona de Villa Adela de la Ciudad de El Alto para que se permita mejorar la calidad del sistema de internet en esa zona y garantizar un mejor servicio a un costo bajo además del factor de ahorro de energía y seguridad que ofrece esta nueva tecnología, también se espera a largo plazo con este proyecto ir expandiendo su uso en relación a los resultados de este proyecto.

1.3.2. LIMITES

Las limitaciones de este proyecto son que las ondas de luz no son capaces de atravesar obstáculos opacos, como las paredes, por lo que tendrían límites de alcance.

Y este aspecto puede ser de mayor cuidado a la hora de conseguir un proveedor en la tecnología.

1.4. DELIMITACION

Esta propuesta surge de la necesidad de solucionar un problema común de la sociedad, pero también es una gran oportunidad de realizar estudios de nuevas tecnologías con base en comunicaciones inalámbricas.

1.4.1. DELIMITACION GEOGRAFICA

Sistema de red LI FI con tecnología VLC en la zona de Villa Adela de la ciudad de El Alto.

1.4.2. DELIMITACION TEMPORAL

Sistema de red LI FI con tecnología VLC en la zona de Villa Adela de la ciudad de El Alto, durante el año 2023.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. COMUNICACIONES INALAMBRICAS

Las comunicaciones inalámbricas consisten en transmitir información sin utilizar medio físico de propagación, empleando el espacio para la transmisión de ondas en un conjunto de frecuencias del espectro electromagnético. A continuación, se presentan los sistemas de comunicaciones inalámbricos más representativos: tecnología por radiofrecuencia, tecnología óptica inalámbrica o OWC y la tecnología por luz visible o VLC.

2.2 DEFINICION DE VLC

(Granda, 2017) Indica que la comunicación por Luz visible (VCL). Es un tipo de tecnología de comunicación inalámbrica óptica que emplea una fuente de luz visible como transmisor de la señal, utiliza el aire como medio de propagación de la señal y un fotodiodo utilizado como el receptor de la señal. Este tipo de tecnología es una nueva opción que se ha la evolución ha sido la tecnología Led (Light – Emitting Diode) que está sustituyendo las lámparas que comúnmente se utilizaban, debido a la capacidad de conmutación de estos dispositivos nos ha beneficiado debido a que aparte de iluminar diferentes lugares, se puede lograr transmitir información mediante ellos. Cambiando de estado de encendido a apagado a velocidades que no son perceptible para el ojo humano.

Teniendo en cuenta esta definición acerca de VLC nos da a conocer que este tipo de tecnologías es lo que nos va a ayudar a transmitir a una velocidad más alta para poder usarla dentro de la red Lifi que ya se dio a conocer en el proyecto.

2.3. REDES LIFI

La red LiFi fue presentada como tal por Harald Haas en la universidad de Edimburgo, Reino Unido, habló sobre esta nueva tecnología: "En el corazón de esta tecnología se encuentra una nueva generación de diodos emisores de luz de alto brillo". "Muy Sencillamente, si el LED está encendido, se transmite 1 digital, si está apagado transmite un 0" explicaba Haas. Rápidamente se comenzaron a buscar avances. Las técnicas de la Universidad de Oxford y la Universidad de Edimburgo se están centrando en transmisión de datos paralela usando matrices de LEDs, donde cada LED transmite un flujo de datos

diferente. Otro grupo está utilizando mezclas de rojo, verde y azul para alterar la frecuencia de la luz que codifica unos datos diferentes. Investigadores del Instituto Heinrich Hertz, en Berlín, Alemania, han alcanzado tasas de más de 500 Mbps utilizando un LED blanco estándar. En 2011 se fundó el Consorcio Li-Fi para promover la óptica de alta velocidad entre sistemas inalámbricos. Se cree posible conseguir más de 10 Gbps, lo que permitiría descargar una película de alta definición en 30 segundos.

A comparación del uso de radiofrecuencia, al usar luz visible se hace mejor uso de infraestructura ya realizada, es decir, en la mayoría de ciudades hay focos de luz por todo lado, se podría remplazar cada uno de los focos por leds adicionando el dispositivo lifi para tener transmisión de datos con una eficiencia enorme ya que solo para mantener una antena emitiendo y recibiendo información se genera un consumo de energía excesivo. Teniendo como marco histórico la investigación en comunicación con luz visible, demostró que los LEDs se pueden adaptar de manera electrónica para transmitir datos de manera inalámbrica, así como proporcionar luz. Además, se dio cuenta de que la comunicación con luz visible es más rápida, segura y barata en comparación con otras formas de conexión inalámbrica a Internet. Dichas ideas en mente fueron las que llevaron a Haas a desarrollar Li-Fi. Asimismo, los LEDs pueden manejar millones de cambios en la intensidad de la luz por segundo, actuando como un interruptor extremadamente rápido de encendido / apagado. De esta forma, grandes cantidades de datos binarios se transmiten a alta velocidad, siendo detectados por un receptor de luz instalado en un dispositivo.

(Ruiz, 2015) Dice que para Obtener esta tecnología es necesario una bombilla que posea un chip emisor, al unir estos dos elementos se convierte en un router luminoso capaz de emitir señales que serán receptadas en terminales como pueden ser ordenadores, televisores, celulares, etc.

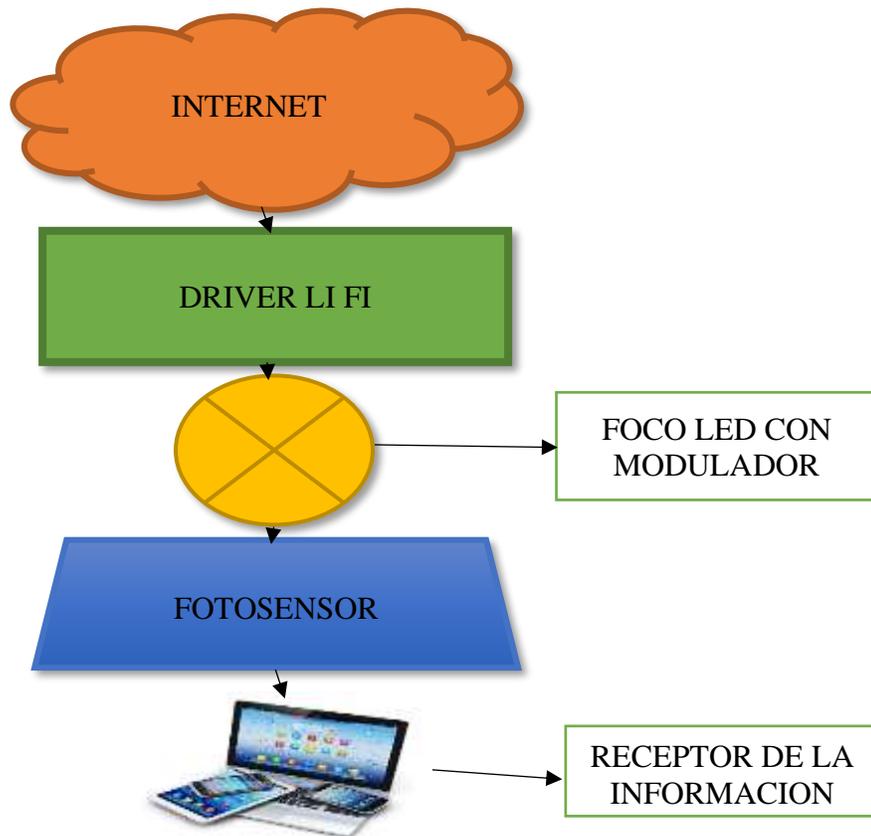


Figura 1: Diagrama de bloques de un sistema LiFi

FUENTE: El Autor

2.4. CARACTERISTICAS DE LA RED LI FI

2.4.1. CAPACIDAD DE ANCHO DE BANDA

Tiene un espectro de luz visible profuso y este es 10.000 veces más que el espectro de radiofrecuencia y no tiene una licencia por lo que permite una libertad para utilizarse.

2.4.2. DENSIDAD DE DATOS

Li Fi permite transmitir casi 1.000 veces la densidad de datos que Wi Fi, ya que la luz visible alcanza a ser debidamente implícita en un espacio de iluminación limitado, en tanto que, en radiofrecuencia llega a propagarse hacia fuera y esto hace que estos originen interferencias.

2.4.3. ALTA VELOCIDAD

Se alcanza altas velocidades de datos, debido a la disminución de la interferencia, anchos de banda elevados y alta densidad en la salida óptica. En el caso de esta tecnología una velocidad que llego a una velocidad de 10 Gbps.

2.4.4. PLANIFICACION

La disposición de capacidad es sencilla ya que procura ser el suministro de iluminación en el que las personas pueden comunicarse, con una favorable intensidad de la señal.

2.4.5. EFICIENTE DE BAJO COSTE

La tecnología Li-fi es mas eficiente a que debido debido a que necesitamos menos elementos que la técnica por radio frecuencia por lo que da ventajas en costos de equipamiento.

2.4.6. ENERGIA

El uso de la iluminación LED garantiza la eficiencia del sistema y se necesita de energía adicional mínima para la transmisión de datos.

2.4.7. MEDIO AMBIENTE

La transmisión de radiofrecuencia y propagación en agua es muy compleja, pero Li- fi trabaja muy bien en este ambiente.

2.4.8. SEGURIDAD

Este tipo de tecnología hasta el momento no ha presentado problemas de seguridad o salud.

2.4.9. NO PELIGROSOS

Debido al uso de la transmisión por medio de luz visible, se previene la utilización de frecuencias de radio que generan interferencias de señales electrónicas en determinados ambientes.

2.4.10. SEGURIDAD CONTENCION

La seguridad es uno de los puntos fuertes que presenta Li-fi, debido a que la luz es limitada a un área definida y no puede traspasar paredes ni objetos sólidos, lo que garantiza tanto la privacidad como la seguridad de la información.

2.4.11. CONTROL

Los datos son conducidos a partir de un dispositivo hacia otro y el usuario tiene la posibilidad de observar hacia donde se dirigen los datos.

2.5. COMPONENTES DE LI FI (ELEMENTOS DE TRANSMISION)

2.5.1. DIODO LED

El diodo led es un elemento cuya finalidad es emitir luz cuando es alimentado con energía eléctrica, el tamaño que tiene este elemento es pequeño y está constituido por materiales semiconductores lo cual al encender el led no produce calor aprovechando así toda la energía que recibe. (R., 2015).

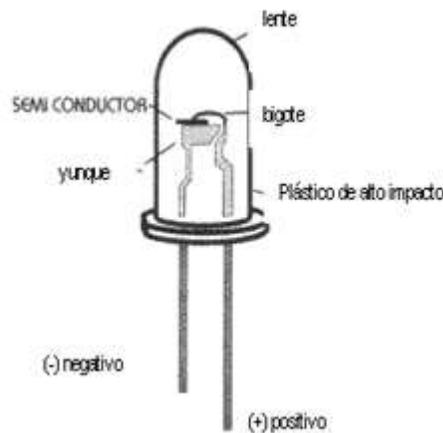


Figura 2: Diodo Led

Fuente: <http://www.fullcustom.es/guias/instalacion-diodos-led>

2.5.2. LAMPARA LED

Son elementos esenciales para el funcionamiento de esta tecnología, se basa en encender y apagar los leds generando así ondas de luz que son usadas para el envío de la información, el parpadeo de la luz que emite estas lámparas no es perceptible al ojo humano logrando enviar grandes cantidades de datos y ahorrando el consumo de energía eléctrica. (Sharma R. 2015).



Figura 3: Lampara Led

Fuente: <https://www.homedepot.com.mx/iluminacion/lamparas-de-techo/empotrables/luminario-led-flat-panel-extra-plano-redondo-niquel-12w-123652>

2.5.3. MODULADOR

Este dispositivo tiene como función variar las señales de luz que provienen de las lámparas led para poder enviárselas al receptor. (Sharma R. 2015).



Figura 4: Modulador Li Fi

Fuente: Datos de Investigación en internet

2.6. ELEMENTOS DE RECEPCION

2.6.1. FOTORECEPTORES

Estos elementos son capaces de captar las ondas luminosas y convertirlas en corriente eléctrica con el fin de recibir la información que será procesada desde cualquier terminal ya sea celular, laptop, computadora, etc. (Sharma R. 2015)



Figura 5: Receptor Li Fi

Fuente: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2019/01/lifimax-e-um-lampada-li-fi-que-transmite-internet-rapida-por-meio-da-luz-ces2019.ghtml>

2.7. CAPA FISICA

Al hablar de la capa más interna en el modelo OSI, hacemos referencia a la capa física. Esta capa es la encargada de la transferencia de los bits mediante un medio de comunicación. Su diseño como tal asegura que cuando se envíe un bit y este tome el valor de 1, al otro extremo el valor que se reciba sea exactamente el mismo y que no tome por equivocación un valor diferente del valor que fue enviado inicialmente. (S., 2016).

En LI-FI existen tres capas físicas las cuales son encargadas de realizar tareas determinadas, Es muy importante enfatizar que la velocidad máxima que se puede lograr con VCL no está definida por la arquitectura de sus capas y esto se debe a que con el pasar de los años la tecnología ha evolucionado positivamente obteniendo como resultado que su funcionamiento cada vez sea más óptimo.

1.2.5.1 MODELO PHY I

Este modelo está diseñado para aplicaciones de velocidad bajas de datos al aire libre.

Proporciona velocidades de datos en el rango de 12 - 267 kbit /s convolucionales y códigos Reed Solomen que se pueden utilizar para la corrección de errores hacia adelante, y OOK o VPPM que se utilizan para la modulación.

PHY I se dirige a aplicaciones que requieren tasas de datos bajas. Se enviará a 11,67 kb/s

si se selecciona la frecuencia de reloj óptico de 200 kHz o a 35,56 kb / s si la frecuencia de 400 kHz se selecciona la velocidad del reloj óptico. El reloj óptico es obligatorio porque da soporte para 11.67 kb / s a 200 kHz reloj óptico es obligatorio.

A continuación, en la Figura 6 se muestra el diagrama de bloques de un transmisor y receptor usando el modelo PHY I para una comunicación por luz visible en el que se explicará que se realiza en cada bloque.

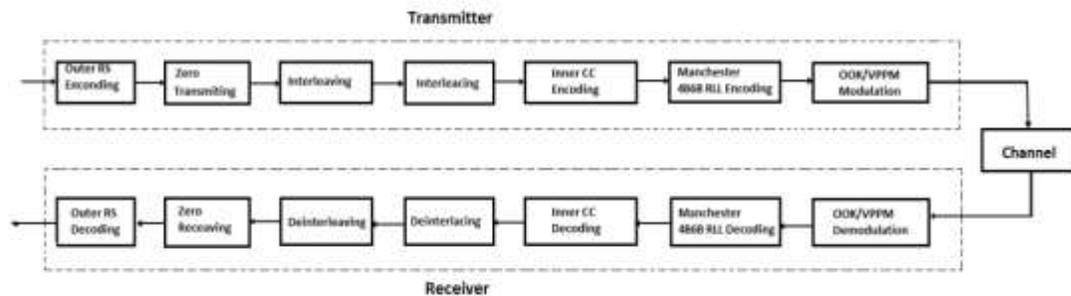


Figura 6: Diagrama de bloques de un Sistema utilizando modelo PHY I

Fuente: <http://UNACH-EC-ING-ELE-TEL-2017-0009.pdf>

Los bits de entradas son codificados utilizando la codificación denominada Reed Salomon (Rs), lo que hace es codificar K símbolos que son las palabras de código a mensajes teniendo como consecuencia n símbolos cada una, para posteriormente hacer un relleno de ceros utilizando Padang, teniendo como resultando un intercalador, los mismos que pasan por un codificador convolucional. Una vez hecho esto se pasa por un codificador (RLL) aplicando Manchester o 4B6B, teniendo a la salida un símbolo formado por 2,4 o 6 bits respectivamente. Finalmente pasa por el modulador OOK o VPPM y se envía por un canal con una sola fuente emisora de luz.

En el caso del receptor lo que sucede es que la información que pasa por el canal y para recuperar la información se utilizan un detector de umbral, dicha información es demodulada por OOK o VPPM dependiendo de lo que se utilizó en la modulación. Lo siguiente es realizar procesos inversos a los de la modulación es decir se pasa por un decodificador de RLL luego por un des intercalador, luego se proceder a eliminar Padang para finalmente pasar por un decodificador RS para recuperar y obtener la información enviada.

En la tabla 1, se indica el proceso descrito anteriormente con diferentes velocidades, diferentes modulaciones y se puede observar el comportamiento del modelo PHY I

Operating Mode	Data Rate	Modulation	RLL code	Optical clock rate	FEC	
					Outer code (RS)	Inner code (CC)
PHY La	11.67 kb/s	OOK	Manchester	200 kHz	(15.7)	1/4
PHY Lb	24.44 kb/s				(15.11)	1/3
PHY Lc	48.89 kb/s				(15.11)	2/3
PHY Ld	73.3 kb/s				(15.11)	None
PHY Le	100 kb/s				None	None
PHY Lf	35.56 kb/s	VPPM	4B6B	400 kHz	(15.2)	None
PHY Lg	71.11 kb/s				(15.4)	None
PHY Lh	124.4 kb/s				(15.7)	None
PHY Li	266.6 kb/s				None	None

Tabla 1: Comportamiento del modelo PHY I

Fuente: UNACH-EC-ING-ELE-TEL-2017-0009.pdf

1.2.5.2 MODELO PHY II

Este modelo está diseñado para su uso en interiores con velocidades de datos moderadas en el intervalo de 1,25 - 96 Mbit / s. Los códigos Reed Solomen se pueden utilizar para la corrección de errores hacia adelante, y OOK o VPPM se utilizan para la modulación. Tener en cuenta que para lograr 96 Mbit / s, se requiere una velocidad de reloj de 120 MHz óptica, que la mayoría de fuera de la plataforma dispositivos ópticos no apoyarán. A la velocidad de reloj más realista de 15 MHz una velocidad de datos de 9,6 Mbit / s se puede lograr.

De la misma manera se muestra un diagrama de boques donde se indica el modelo de un

sistema PHY II en el Estándar IEEE 802.15.7 Figura 7.

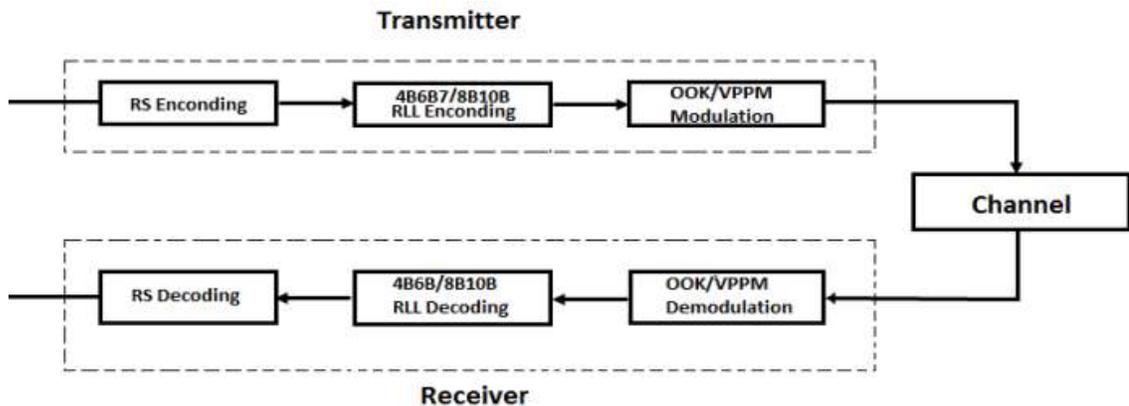


Figura 7: Diagrama de bloques de un Sistema utilizando modelo PHY II

Fuente: UNACH-EC-ING-ELE-TEL-2017-0009.pdf

1.2.5.3 MODELO PHY III

Este modelo está diseñado para aplicaciones en las fuentes y detectores de RGB, proporciona velocidades de datos que oscilan entre el 12 - 96 Mbit / s. Una vez más los códigos Reed Solomen se pueden utilizar para la corrección de errores hacia adelante y esta vez CSK con constelaciones de color 4, 8 o 16.

Este a diferencia de los anteriores modelos trabaja bajo un sistema MIMO3 múltiples estradas con múltiples salidas. Este ofrece velocidades con un rango que va desde 12 Mb/s hasta 96 Mb / s. Este se puede utilizar en aplicaciones con muchas fuentes de luz, que se enviará la información al mismo tiempo que tendrá múltiples receptores de luz los captará y recibirán las señales emitidas.

Las bandas de frecuencia soportadas en todos los dispositivos PHY III de la red admiten una comunicación fiable de CSK, ésta es asegurar que la transmisión en dos bandas de frecuencia óptica del dispositivo de transmisión no caiga dentro una banda de filtro óptico del dispositivo de recepción para la operación de CSK, que conduce a errores de comunicación durante CSK.

En la siguiente Figura 8. Se muestra el comportamiento y los diferentes procesos que se realiza en el modelo PHY III.

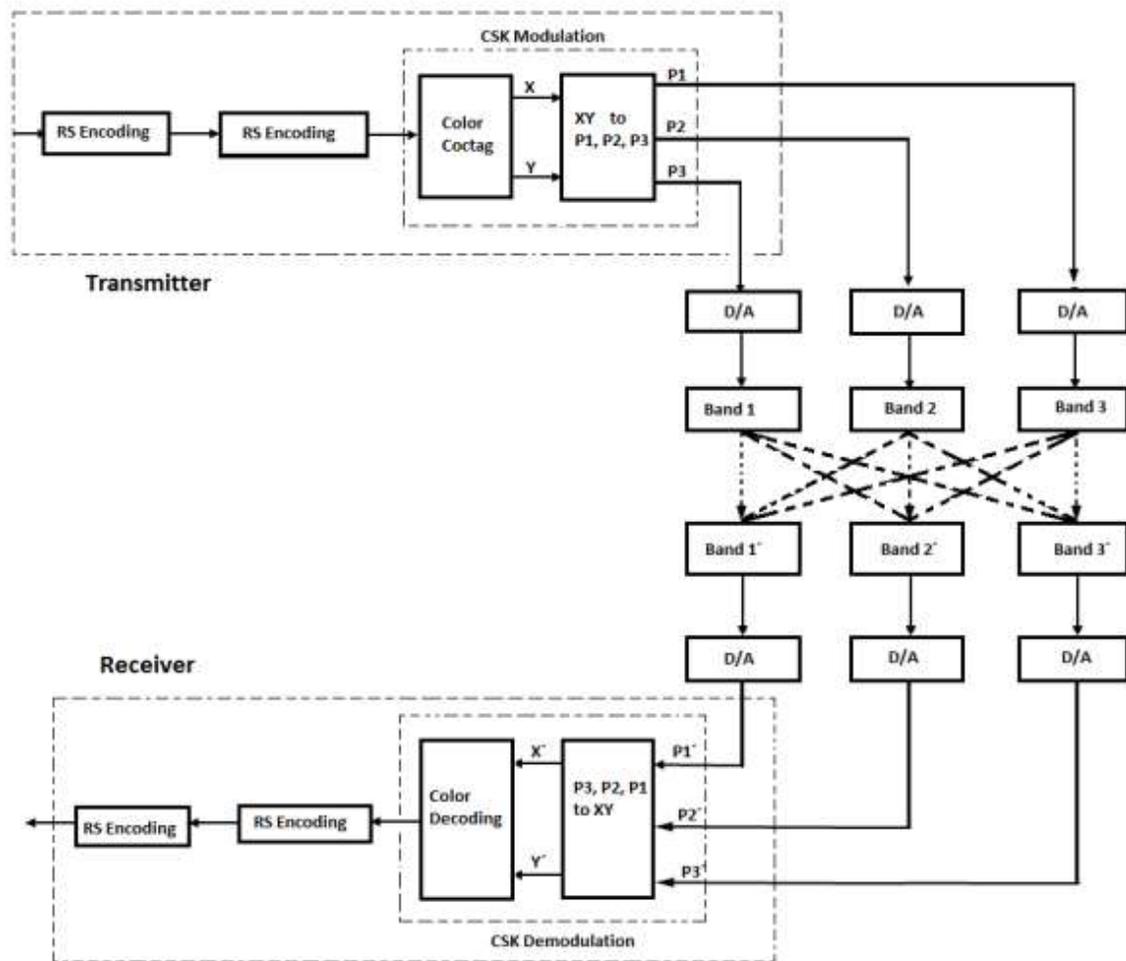


Figura 8: Diagrama de bloques de un Sistema utilizando modelo PHI III Estándar IEEE 802.15.7.

Fuente: <http://dSPACE.ups.edu.ec/handle/123456789/7770> / .jpg

De igual manera se pasa por un bloque de codificación de RS que servirá para convertir la cadena de bits en tramas largas en tramas más pequeñas y aleatorias. Para ser luego codificado nuevamente por un codificador RS. La diferencia y en punto clave está en la modulación CSK que es modulación mediante incrustación de color.

El espectro de luz visible se divide en 7 grupos, cada uno de ellos tiene un código específico, teniendo un valor en x - y respectivamente. La modulación CSK lo que hace es trabajar con 3 de estos 7 grupos, con los puntos respectivos en x-y, formar los vértices del triángulo y así formar las constelaciones que son necesarias.

Los datos que ingresan para ser modulados son primeros analizados en Log (M) donde M

representa el tamaño de la modulación. Cada uno de estos valores tiene una posición x-y cada 3 valores van formando los vértices del triángulo que son la constelación, para luego estos puntos ser pasados a valores RGB, se normalizan las intensidades de los Leds y se puede enviar la información.

Para la parte del receptor se tiene 3 foto receptores cada uno va a detectar un color diferente ya que tiene 3 longitudes de ondas distintas que da cada color. Entonces se procede a ser un trabajo inverso al transmisor es decir las intensidades receptadas son inversamente asignadas a los valores de x-y, con la ayuda de un detector de distancia mínima corregir y determinar los verdaderos símbolos de cada constelación y finalmente pasar por un decodificador RS y obtener la información enviada. (Communications, 2011) En la Tabla 2, se muestra al modelo PHY III, con diferentes tasas de velocidad y aplicando diferentes modulaciones CSK.

Operating Mode	Data Rate	Mdulation	Optical clock rate	FEC
PHY TTT.a	12 Mb/s	4-CSK	12 MHz	RS(64.32)
PHY TTT.b	18 Mb/s	8-CSK		RS(64.32)
PHY TTT.c	24 Mb/s	4-CSK	24 MHz	RS(64.32)
PHY TTT.d	36 Mb/s	8-CSK		RS(64.32)
PHY TTT.e	48 Mb/s	16-CSK		RS(64.32)
PHY TTT.f	72 Mb/s	8-CSK		None
PHY TTT.g	96 Mb/s	16-CSK		None

Tabla 2: Comportamiento del modelo PHY III

Fuente: UNACH-EC-ING-ELE-TEL-2017-0009.pdf

2.8 TECNOLOGIA LED

Esta tecnología se basa en el uso de bombillos led para varias aplicaciones en la industria. Y tiene varias ventajas de las cuales las ventajas son las siguientes:

2.8.1. LARGA VIDA UTIL

Los LEDs son diodos que emiten luz cuando la corriente pasa a través de los semiconductores. Se necesita un driver o fuente de alimentación para aportar con precisión la corriente que pasa a través del LED. Por otra parte, para asegurar su larga vida es muy importante el correcto estudio y diseño de la disipación del calor producido por el diodo dentro de la luminaria. Los LEDs, correctamente instalados, pueden llegar a más de 50 mil horas de vida conservando más del 70% del flujo lumínico original.

2.8.2. ALTA EFICIENCIA ENERGETICA

Gracias a las actualizaciones y estudios sobre esta tecnología, no se mide su eficiencia con watts, sino con los cálculos de lúmenes por watt o lúmenes por LED.

2.8.3. ECOLOGICO

Prácticamente la totalidad del LED es reciclable. Su diseño compacto reduce el volumen de la luminaria y del residuo. No contiene mercurio ni otros elementos perjudiciales para el medio ambiente. Además, su facilidad para ser “dimeable” permite reducir el consumo energético.

2.8.4. AUSENCIA DE INFRARROJOS Y ULTRAVIOLETAS

Los LEDs se basan en la frecuencia del espectro electromagnético de luz visible al ojo humano, lo que no va generar conflicto con las frecuencias infrarrojas y ultravioletas.

2.9 ESPECTRO DE LUZ VISIBLE

La forma en que opera LIFI, se basa en la transmisión de datos consiste en que estos se envían al agregar un microchip a cualquier LED, usando, por ejemplo, una técnica de modulación digital llamada Orthogonal Frequency División Multiplexing (OFDM).

La diferencia de un espectro electromagnético y el espectro de la luz radica en que este último es perceptible al ojo humano, formado por radiaciones electromagnéticas con longitudes de onda que van desde 380 hasta 700 nm. (ERAZO, 2016)

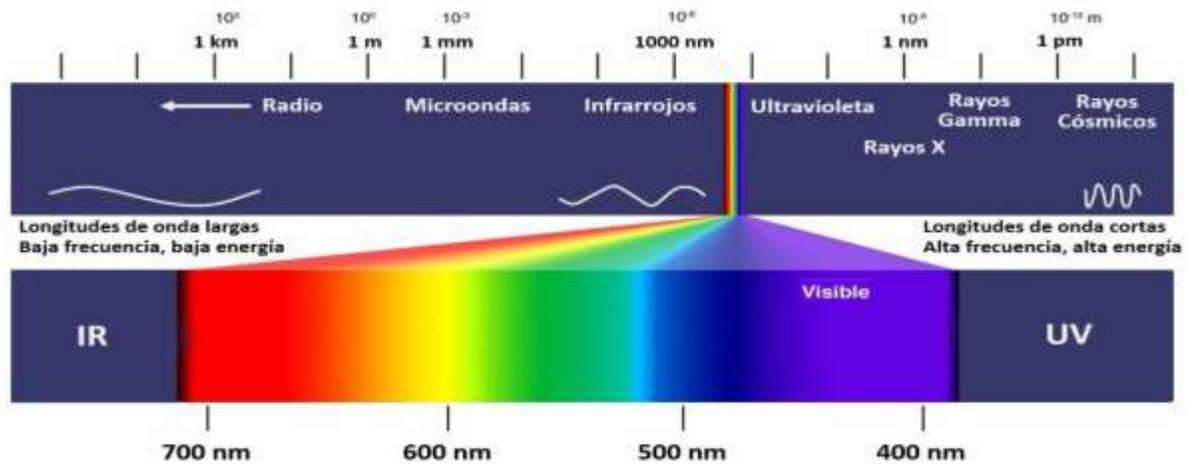


Figura 9: Espectro de Luz Visible

Fuente:

https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/91445/fichero/TFG_Daniel_Herrera.pdf

2.10. OFDM (Multiplexaci6n por Divisi6n de Frecuencias Ortogonales)

Es un esquema de modulaci6n digital en el cual se realiza la divisi6n del espectro disponible en varios sub canales (igual que FDM) pero en vez de dejar espacio de guarda entre subportadoras, en OFDM se encuentran cercanas y ortogonales entre s3, haciendo que su ancho de banda se sobreponga. Pero se preguntarán, ¿Las bandas no se solaparían y crearían interferencia? Ah3 es cuando toma importancia la palabra ortogonal. Si usamos una portadora una se1al sinusoidal, el 1rea de un periodo es 0 ya que la parte positiva de la se1al se cancela con la negativa, este concepto nos permite la transmisi6n simult1nea de informaci6n en un estrecho rango de frecuencias sin que se produzcan interferencias entre ellas llamada ISI. Si nos enfocamos en un 1mbito matem1tico, la manera de saber si dos se1ales son ortogonales entre s3, si su producto escalar es nulo.

$$f, g = \int_a^b f(x)g(x)dx = 0$$

Figura 10: Ecuaci6n OFDM

El principio b1sico de esta tecnolog3a es dividir la secuencia de datos digitales que se desean enviar a una velocidad de transmisi6n R_s, en N, cada uno operando a una tasa de bits de R_s/N s3mbolos por segundo. Cada canal modula una sub portadora de manera que

las frecuencias de cada una estén lo suficientemente espaciadas. Por ello se debe cumplir la siguiente ecuación:

$$\int_0^T \cos(\omega_i t) \cos(\omega_j t) dt = 0$$

Figura 11: Ecuación de portadoras OFDM

Donde el espacio entre sub portadoras debe ser menor que el ancho de banda de cada una (BWsp). Para realizar este espaciamiento es necesario que el ancho de banda total sea mayor al ocupado por la señal modulada en una única portadora. Para evitar este problema se superponen las sub portadoras en el dominio de la frecuencia aprovechando la ortogonalidad entre ellas.

Esto da como resultado una señal de mejores características y aprovechamiento de ancho de banda, optimizada con cada sub portadora.

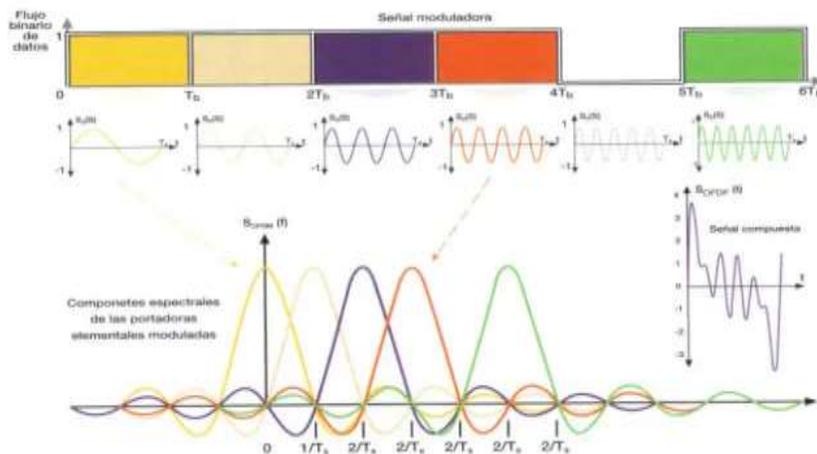


Figura 12: Señal OFDM

Fuente: <https://icolectiva.blog/2020/10/07/transmision-ofdm/>

2.11. TIPOLOGIAS DE RED

Existen tres tipos de dispositivos que se consideran en VLC: Infraestructura, Móvil y Vehículo y se lo explica de manera más detallada en la siguiente tabla.

CLASIFICACION DE DISPOSITIVOS

	INFRAESTRUCTURA	MOVIL	VEHICULOS
COORDINADOR FIJO	SI	NO	NO
FUENTE DE ALIMENTACION	SUFICIENTE	LIMITADA	MODERADA
FACTOR DE FORMA	SIN RESTRICCIONES	CON RESTRICCIONES	SIN RESTRICCIONES
FUENTE DE LUZ	INTENSA	DEBIL	INTENSA
MOVILIDAD FISICA	NO	SI	SI
COBERTURA	LARGO ALCANCE	CORTO	LARGO
TASA DE DATOS	ALTA-BAJA	ALTA	BAJA

Tabla 3: Tipologías de red

Fuente: UPS-GT003039

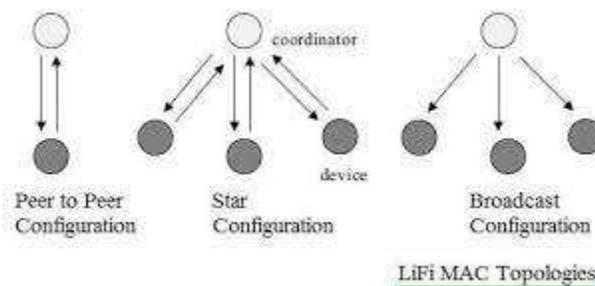


Figura 13: Topologías de red

Fuente: UPS-GT003039

2.12. PARAMETROS DE LAS ONDAS LI FI

2.12.1. TRANSMISION

Esta tecnología para transmitir necesita utiliza las ondas de luz visible que viajan por el espacio libre. Utiliza las frecuencias de 385-789 THz. Y su velocidad teóricamente es de 1 Gbps.

Para la emisión de la señal es necesario instalar un modulador junto a las bombillas LED, que se encargue de ir cambiando la señal para transmitir los datos. Por parte del dispositivo receptor necesitamos un fotodiodo receptor como otros emisores para que se pueda establecer una comunicación bidireccional. Además, presenta un ancho de banda ilimitado. Utiliza las modulaciones: OOK, VPPM, CSK y para hacer uso de estas dependen del tipo de capa física dependen del tipo de capa física que se está utilizando.

2.12.2. PROPAGACION

Para la propagación de las ondas LiFi se toma en consideración la luz ya que es el medio de transmisión. Para analizar este fenómeno se toma en cuenta la reflexión, difracción, refracción y absorción. La luz es una onda electromagnética que no requiere medio material para su propagación, consiste en una forma de energía, emitida por los cuerpos. La velocidad de propagación de la luz depende del medio, en el vacío es de 300 000 km/s; en cualquier otro medio su valor es menor. La propagación rectilínea de la luz forma sombras y penumbras que proyectan los objetos al ser iluminados.

2.12.3. REFLEXION

La luz se refleja cuando incide en un medio material. Se distinguen dos tipos de reflexión.

- Reflexión Especular: La luz se refleja sobre una superficie pulimentada, como un espejo.
- Reflexión Difusa: La luz se refleja sobre una superficie rugosa y los rayos salen rebotados en todas direcciones.

2.12.4. DIFRACCION

Se define como la modulación o redistribución de energía dentro de un frente de onda, al pasar cerca de la orilla de un objeto opaco. Es el fenómeno que permite que las ondas luminosas o de radio se propaguen en torno a esquinas.

2.12.5. REFRACCION

La refracción de la luz consiste en el cambio de dirección que experimenta el rayo luminoso al pasar de un medio a otro. Si la luz pasa de un medio al otro disminuyendo su velocidad, el rayo refractado se acerca a la normal si es al contrario se aleja.

2.12.6. ABSORCION

Cuando la absorción se produce dentro del rango de la luz visible, recibe el nombre de absorción óptica. Esta radiación, al ser absorbida, puede ser reemitida o bien transformarse en todo tipo de energía, como calor o energía eléctrica. En general todos los materiales absorben en un rango de frecuencias.

2.12.7. ATENUACION

Como se transmite por medio de la luz no existe atenuación ya que la transmisión es directa y siempre tiene que estar debajo de la luz, en caso de que este no se encuentre de esta manera, no habrá transmisión de información, además la luz no traspasa paredes es por eso que no existe atenuación.

2.12.8. DISPERSION

Es el fenómeno de separación de las ondas de diferente frecuencia al atravesar un determinado material, siendo estos mas o menos dispersivos, y la dispersión afecta las ondas de la luz que atraviesa el agua, el vidrio o el aire. La dispersión de la luz consiste en la separación de la luz en sus colores componentes por efecto de la refracción.

2.12.9 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UNA RED LIFI

Como todo sistema, el uso de LIFI presenta sus ventajas y desventajas:

2.12.9.1. VENTAJAS:

- Una de las principales ventajas es que el ancho de banda no se divide, independiente de los usuarios que ocupen servicio.
- No interfiere con otras señales como las de radio frecuencia.

- Es muy rápido, su velocidad de transferencia va desde los 15 Mb/s, hasta los 20 Gb/s.
- La dualidad, es decir que al mismo tiempo ilumina el ambiente y recibe internet lo que produce un ahorro de energía.
- Cualquier bombilla o farola puede convertirse en un hotspot o router luminoso de forma barata y sencilla, poniéndole un emisor LiFi.
- No requiere las cotizadas frecuencias radioeléctricas que requiere el Wi-Fi.
- LiFi es mucho más simple y utiliza métodos de modulación directas similares a las utilizadas en los dispositivos de comunicaciones de infrarrojos de bajo costo, tales como los mandos a distancia.
- Ausencia de cables.

2.12.9.2. DESVENTAJAS:

- No funciona bajo la luz solar directa.
- No atraviesa obstáculos o paredes.
- Solo funciona con aquellos dispositivos que tengan un receptor para tal tecnología, es decir, que cuenten con un receptor capaz de descodificar la señal luminosa.
- El alcance de haz de luz en los Leds no es muy amplio alcanzando hasta los 0.5 - 1 m.
- Si interfiere algún objeto entre el emisor o receptor, se corta la transferencia de datos, ya que las ondas de luz visible no traspasan objetos como si lo hacen las ondas de radio frecuencia.

2.13. ESQUEMAS DE MODULACIÓN DE DATOS.

1.2.4.1. ON-OFF KEYING (OOK)

Como su nombre indica los datos son transportados girando el LED de vez en cuando. En su forma más simple, un indicador digital de '1' está representado por la luz de estado "on" y un indicador digital de '0' está representado por un estado de la luz en "off". La belleza de este método es que es muy simple para generar y decodificar.

El estándar 802.15.7 utiliza codificación de Manchester para garantizar el periodo de impulsos positivos es el mismo que los negativos, pero esto también duplica el ancho de

banda requerida para la transmisión OOK. Por otra parte, las tasas de bits más altas para ejecutar codificación de longitudes limitadas (RLL) se utiliza, el de mayor eficiencia espectral. El oscurecimiento es apoyado por la adición de una extensión OOK que ajusta la producción agregada al nivel correcto. En la figura se puede observar una codificación Manchester que es el requerido para la transmisión OOK.

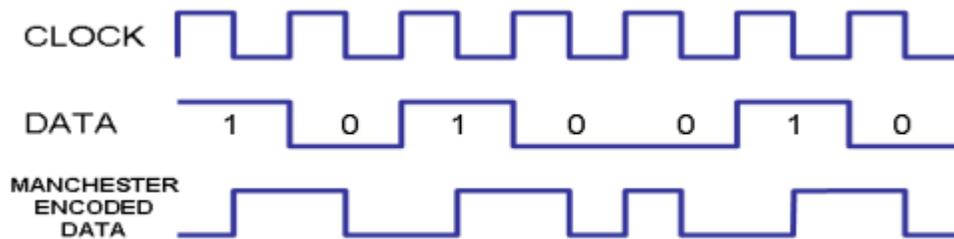


Figura 14: Esquema de modulación OOK utiliza codificación Manchester

Fuente: <http://visiblelightcomm.com/an-ieee-standard-for-visible-light-communications/.jpg>

1.2.4.2. MODULACIÓN VARIABLE DE POSICIÓN DE PULSO (VPPM).

Posición de la modulación de impulsos (PPM) codifica los datos utilizando la posición del pulso dentro de un período de tiempo establecido. La duración del período que contiene el 20 pulso debe ser lo suficientemente largo para permitir diferentes posiciones para ser identificados, por ejemplo, un '0' está representado por un pulso positivo al comienzo del período seguido por un pulso negativo, y '1' está representada una por un pulso negativo al principio del período seguido por un pulso positivo. VPPM es similar a PPM pero permite que el ancho de pulso para ser controlado por el apoyo de atenuación de luz como se muestra en la figura 15.

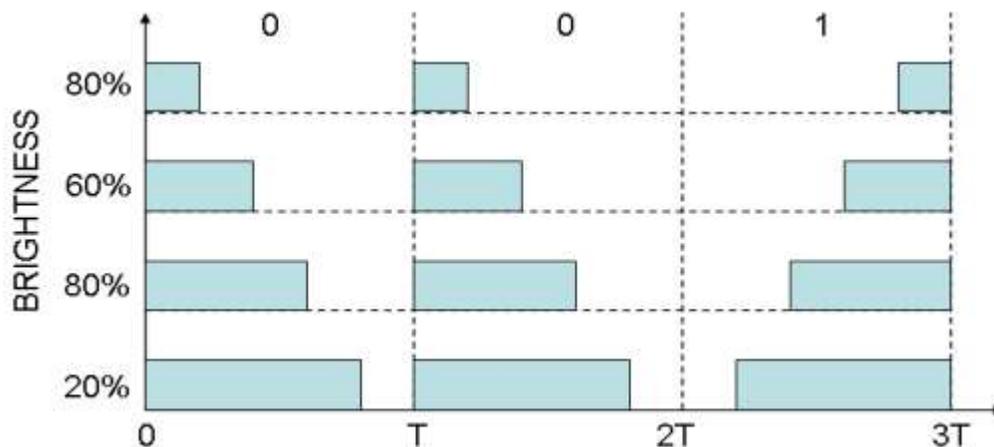


Figura 15: Modulación de pulso de posición variable (VPPM).

Fuente: <http://visiblelightcomm.com/an-ieee-standard-for-visible-light-communications/.jpg>

1.2.4.3. MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE COLOR (CSK)

Esta modulación puede ser usada si el sistema de iluminación utiliza LED de tipo RGB. Mediante la combinación de los diferentes colores de la luz, los datos de salida pueden ser transportados por el color mismo y así la intensidad de la salida puede ser casi constante. El diagrama de cromaticidad xy muestra el espacio de color y longitudes de onda asociadas en texto azul (las unidades son nm). Mezcla de las fuentes primarios roja, verde y azul produce los diferentes colores que se codifican como bits de información. La desventaja de este sistema es la complejidad de tanto del transmisor como del receptor. En la figura se puede observar las diferentes longitudes de onda para CSK en un LED

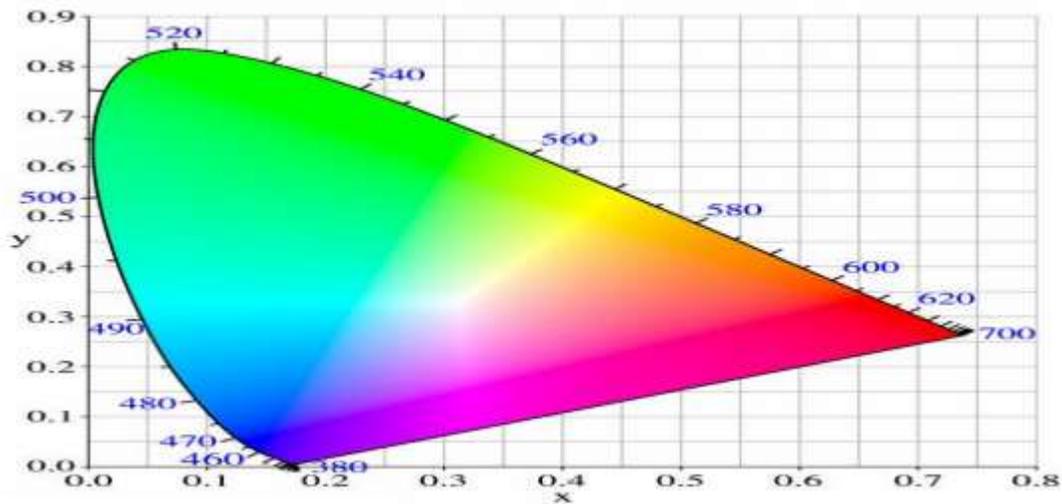


Figura 16: LEDs RGB pueden combinar diferentes longitudes de onda para CSK

Fuente: <http://visiblelightcomm.com/an-ieee-standard-for-visible-light-communications/.jpg>

2.13. MARCO NORMATIVO

2.13.1. IEEE: INSTITUTO DE INGENIEROS ELÉCTRICOS Y DE ELECTRÓNICA

Instituto de Ingenieros Eléctricos y de Electrónica. Es una asociación técnica profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas. Es la mayor asociación internacional sin fines de lucro formada por profesionales de las nuevas tecnologías, como ingenieros electricistas, ingenieros en electrónica, científicos de la computación, ingenieros en informática, ingenieros en biomédica, ingenieros en telecomunicación e Ingenieros en Mecatrónica. Cuando ingresa las redes Ethernet, decidieron estandarizar los parámetros a medida del pasar de los tiempos, le pusieron el número; para el protocolo sobre red inalámbrica más específico en wifi, habla el 802.11 con sus diferentes actualizaciones.

2.13.1. ESTANDAR DE COMUNICACIÓN IEEE 802.15.7.

IEEE 802.15.7. es un estándar que define la capa física y control de acceso al medio para las comunicaciones inalámbricas de pequeño alcance que utilizan luz visible en entornos ópticos transparentes. Es capaz de proporcionar velocidades de datos que soporten

servicios multimedia, pueden presentarse alteraciones debido al ruido e interferencias que producen las fuentes de luz.

La transmisión de datos se produce a través de la intensidad en la modulación de fuentes ópticas como los diodos LED o LDs más veloz que la percepción del ojo humano. VLC realiza la combinación de la iluminación con los datos en aplicaciones como: iluminación de una zona, carteles, medios de transporte, señales de tránsito, etc.

Este estándar contiene las siguientes características:

- Opera con tres topologías de red: estrella, peer to peer, transmisión (Broadcast).
- Transmisiones programadas: por medio de técnicas de acceso aleatorias con prevención de colisión.
- Transmisión de datos segura: uso de protocolo de confirmación.
- Indicación de la calidad de longitud de onda (WQI).
- Soporte para el control de oscurecimiento (Dimming).
- Soporte para la visibilidad.
- Soporte para la función del color.

CAPITULO III: INGENIERIA DEL **PROYECTO**

3.1. DIAGRAMA DE BLOQUES

El diagrama propuesto en el proyecto es un elemento que nos permite ver la red en un usuario, pero como este trabajo trata de determinar un sistema para varios usuarios, como el Wi fi un sistema punto multipunto.

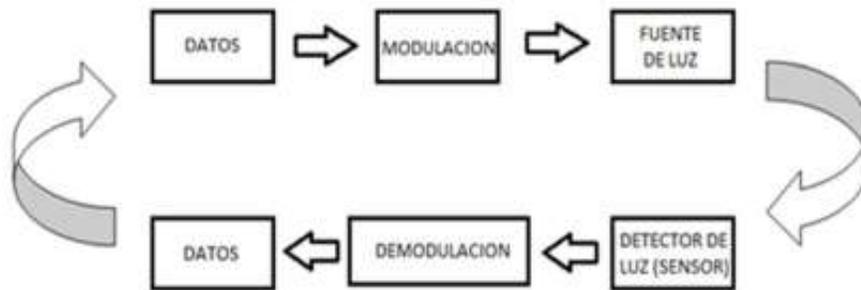


Figura 17: Diagrama en bloques del sistema Li Fi

Fuente: UPS-GT003039

3.2. ANALISIS DEL SISTEMA

Para poder utilizar la tecnología Li-Fi es necesario hacer un cambio en el sistema de iluminación de la locación a la cual se le va a aplicar dicha tecnología, aprovechando toda la infraestructura previamente instalada para la iluminación del lugar, es decir, simplemente hacer el cambio en el efector final, esto sería cambiar todas las lámparas fluorescentes por iluminación LED, el cual tendrá instalado Al lado un modulador encargado de variar la onda de la señal.

Si se habla de tecnología Li-Fi es necesario conocer los componentes y etapas del procedimiento que realiza para cumplir la funcionalidad que es transmitir datos por medio del espectro luz visible.

3.2.1. TRANSMISOR

El que emite la transmisión de datos, por lo general se basan en sistemas de multiplexación por divisor de frecuencia (OFDM), la característica principal de estos sistemas es enviar un conjunto de ondas portadoras que llevan información a diferentes frecuencias, trabajan en tiempo discreto. Se modulan con QAM o PSK, para luego pasar del dominio de la

frecuencia a dominio del tiempo con la transformada inversa de Fourier (IIFT). En este principio se basa varios métodos de modulación que se puede analizar dependiendo la necesidad de transmisión que se desee, ya se para ahorrar memoria, velocidad, combatir interferencias inter símbolos, etc.

Después de ser modulada, se aplica la transformada inversa de Fourier (IFFT), ya que gracias a la propiedad de la dualidad que existe entre el dominio de frecuencia y tiempo, esta transformada permite obtener a la salida valores en el dominio del tiempo.

3.2.2. RECEPTOR

En este procedimiento se realiza la parte final del sistema OFDM, de sus variantes ópticas y espaciales, que fueron analizados anteriormente, es el proceso de demodulación QAM o PSK según es el caso, es decir se realiza el proceso inverso, pero teniendo en cuenta la modulación que se utiliza en el transmisor.

Como llegan los datos del emisor en el dominio del tiempo, se aplica la transformada rápida de Fourier para pasar nuevamente al dominio de la frecuencia.

Al igual que el emisor, se basa en un led foto receptor capaz de captar la variación de la intensidad de la luz y convertirlos a corriente eléctrica.

Una foto receptora de luz, convierte la corriente a voltaje y es directamente proporcional a la cantidad de luz que reciba el fotodiodo a la salida de voltaje que se obtiene, entonces entre mayor cantidad de luz más voltaje y viceversa.

3.3. FACTIBILIDAD

Se efectuó una metodología de investigación en donde se recolectó datos de manera justificada la cual proporcionó como resultado las necesidades que tiene la población en la parte de transferencia de datos por conexiones inalámbricas que los encuestados desean mejoramiento de la conexión a internet a través de una nueva tecnología inalámbrica que permita a la población transmitir datos a través de la luz, dando una solución de seguridad, velocidad a la transferencia de datos dentro de cada una de las casas del lugar de estudio. Aprovechando la metodología de campo dio como efecto que los usuarios de la zona están

de acuerdo con el proyecto ya que cubre las necesidades y soluciona la poca cobertura de las conexiones inalámbricas dentro de las casas de la zona de Villa Adela de la ciudad de El Alto.

Se estableció un análisis de la tecnología LI-FI dando como resultado que se obtendrá una reducción de costo energético de entre 50% a 60% aproximadamente, y se obtendrá ventajas como la reducción de la saturación de espectro electromagnético, mayor velocidad de transferencia y una alta disponibilidad.

Determinando la factibilidad operacional de la tecnología LI-FI debemos tomar en cuenta muchos aspectos y riesgos que pueden aparecer al momento que se desee implementar esta tecnología. El principal aspecto que se debe tomar en cuenta es que LI-FI es una tecnología en desarrollo y que por lo tanto los equipos que se recomienda implementar aun no desarrollan su máxima capacidad de transferencia de datos como se estima en los estudios que en un futuro llegará a tener velocidades de Gbps.

3.4. PROPUESTA TECNICA

3.4.1. CÁLCULO DEL FLUJO LUMINOSO TOTAL NECESARIO PARA UN ÁREA DETERMINADA

Para determinar el flujo luminoso en un área determinada se utiliza la siguiente formula:

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

Figura 18: Ecuación de Flujo luminoso

Fuente: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/17099/1/UG-FCMF-B-CINT-PTG-N.90.pdf>

Dónde:

E_m = nivel de iluminación medio (en LUX)

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

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

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

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

Esta fórmula nos da a conocer el flujo de luz que será el medio de comunicación para la transmisión de datos.

3.4.2. CALCULO DE NUMERO DE LUMINARIAS

Para el cálculo del número de luminarias tenemos que tener en cuenta la siguiente formula:

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

Figura 19: Ecuación de numero de luminarias

Fuente: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/17099/1/UG-FCMF-B-CINT-PTG-N.90.pdf>

Dónde:

NL = número de luminarias

Φ_T = flujo luminoso total necesario en la zona o local

Φ_L = flujo luminoso de una lámpara (se toma del catálogo)

n = número de lámparas que tiene la luminaria

Esta fórmula nos mostrara cuantas luminarias son necesarias para tener una mejor cobertura en una determinada área o espacio donde se requiera este tipo de tecnología para la transmisión de datos.

3.4.3. PARAMETROS DEL LUGAR DE INSTALACION

En este punto se verán los parámetros que son necesarios para poder analizar la mejor manera de realizar la instalación de la tecnología LI FI, y para poder hacerlo es necesario medir el área, la altura, una aproximación de alcance de trabajo del espacio en la casa donde se quiere instalar la tecnología y estos datos nos permitirán ver la fidelidad y la calidad del servicio.

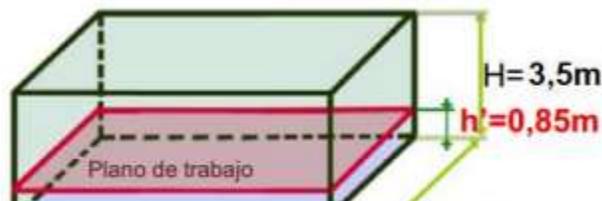


Figura 20: Medición de los parámetros

$b=7,6m$

Fuente: rarellanoTFG0619memoria.

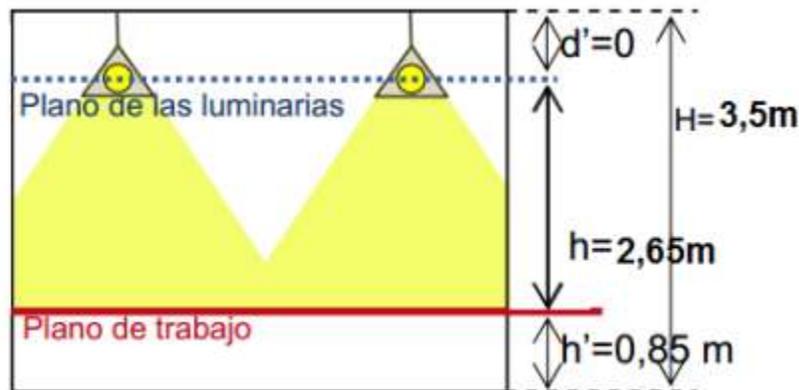


Figura 21: Medición de las alturas para la instalación

Fuente: rarellanoTFG0619memoria.

3.4.4. CALCULO DEL COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN (CU)

3.4.4.1. CÁLCULO DEL ÍNDICE DEL LOCAL (K)

El índice del local (k) se realiza a partir de la geometría de este utilizando dimensiones de la habitación o del espacio de la casa donde se realizará la instalación de tecnología propuesta para un mejor de servicio.

Se elige esta fórmula ya que nuestra iluminación será de manera directa, con vista de arriba hacia abajo.

3.4.4.2. CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE REFLEXIÓN

La reflexión de la luz depende el tipo de material o superficie en el que incide. Los coeficientes de reflexión de techo, paredes y suelo se encuentran normalmente tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabado.

PINTURA/COLOR	COEFICIENTE REFLEXION	MATERIAL	COEFICIENTE REFLEXION
BLANCO	0.70 - 0.85	HORMIGON CLARO	0.30 - 0.50
AZUL OSCURO	0.05 - 0.15	HORMIGON OSCURO	0.15 - 0.25
GRIS CLARO	0.40 - 0.50	ARENISCA CLARO	0.30 - 0.40
GRIS OSCURO	0.10 - 0.20	ARENISCA OSCURO	0.15 - 0.25
NEGRO	0.03 - 0.07	LADRILLO CLARO	0.30 - 0.40
CREMA, AMARILLO CLARO	0.50 - 0.75	LADRILLO OSCURO	0.15 - 0.25
MARRON CLARO	0.30 - 0.40	MARMOL BLANCO	0.60 - 0.70
MARRON OSCURO	0.10 - 0.20	GRANITO	0.15 - 0.25
ROSA	0.45 - 0.55	MADERA CLARO	0.30 - 0.50

ROJO CLARO	0.30 - 0.50	MADERA OSCURO	0.10 - 0.25
ROJO OSCURO	0.10 - 0.20	ESPEJO	0.80 - 0.90
VERDE CLARO	0.45 - 0.65	MORTERO CLARO	0.35 - 0.55
VERDE OSCURO	0.10 - 0.20	MORTERO OSCURO	0.20 - 0.30
AZUL CLARO	0.40 - 0.55	ACERO PULIDO	0.55 - 0.65

Tabla 4: Coeficiente de reflexión

Fuente: rarellanoTFG0619memoria.

Una vez establecido el índice del local y los coeficientes de reflexión de las superficies del aula, ya se puede averiguar el coeficiente de utilización (Cu).

3.4.5 CAPA FISICA DE LA RED LI FI

La capa física PHY definido por el estándar IEEE-802.3, es una abreviatura para la capa física del modelo de Interconexión de sistemas abiertos (OSI), y generalmente también es la más compleja. Es especial porque es la única capa del modelo OSI donde los datos se mueven físicamente a través de la interfaz de la red. Se refiere a los circuitos subyacentes requeridos para implementar las funciones de capa física dentro de una red. Esta capa fundamental es la columna vertebral de las estructuras de datos lógicos para la función de red de nivel superior y está diseñada para consolidar los requisitos de hardware de una red.

La función principal de la capa física es la transmisión a nivel de bits y recepción de datos entre diferentes dispositivos a través de un medio físico dentro de una red. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el medio físico en sí no está incluido en la capa física. Los detalles de la operación de los cables, conectores, pins, transeptores y otros dispositivos de hardware son una función de la capa física. Proporciona la señalización y codificación de datos necesarios para transformar los datos de los bits que residen dentro de una computadora en señales que pueden enviarse a través de la red.

Después de codificar los datos correctamente, la capa transmite y recibe los datos. Esto aplica tanto a las redes cableadas e inalámbricas, incluso si no existen cables tangibles.

3.4.6. ARQUITECTURA DE RED DE ACCESO

Para este proyecto se utilizará el mismo sistema FTTH con tecnología G PON que se usa para la instalación de tecnología Wi Fi haciendo el uso de Fibra óptica para la conexión de la nube a los usuarios que tendrán instalado el sistema LI FI.

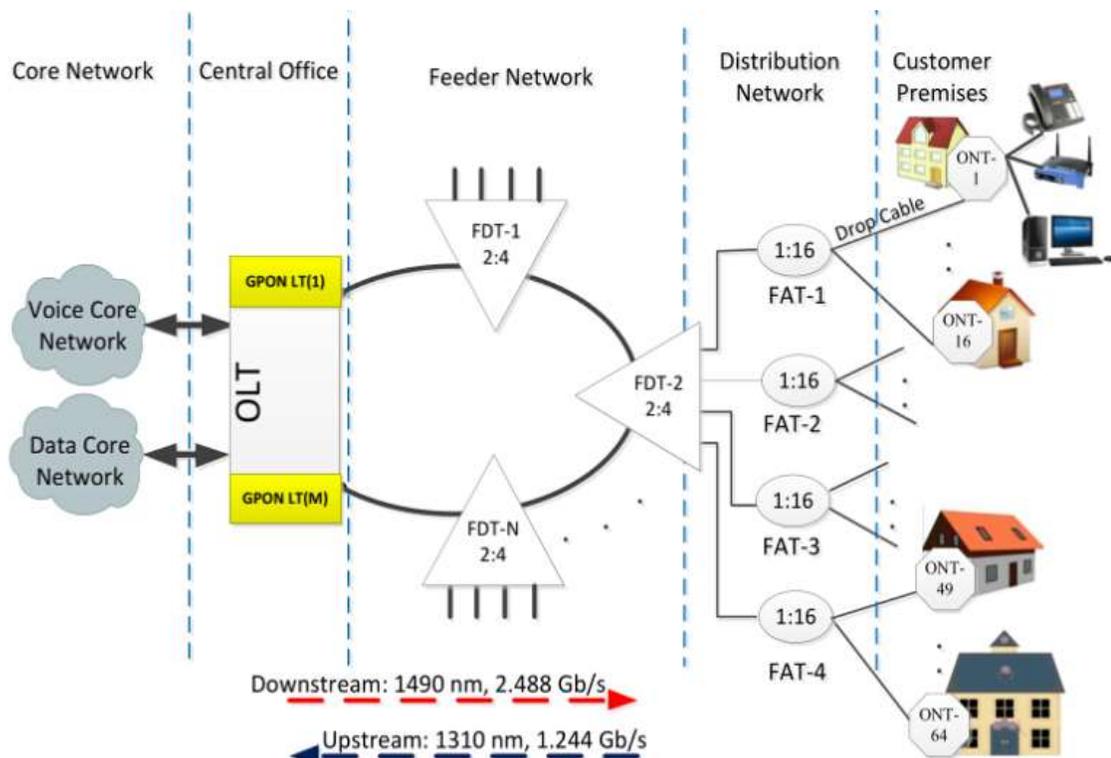


Figura 22: Arquitectura De Red De Acceso

Fuente: <https://community.fs.com/es/blog/components-and-architecture-of-gpon-ftth-access-network.html>

3.4.6 DISEÑO DENTRO DE UN HOGAR

En el caso de este proyecto para muestra de como se hace el diagrama dentro de un hogar tomando de muestra el diagrama de un primer piso de una oficina ya que las instalaciones son para caracterizar el cómo se haría dentro de una casa en la zona.

La implementación de la red es muy semejante a la de cualquier otra estructura de red, partiendo de un modem con salida UTP o la red FTTH que se conecte al router de información y este a un Switch y este enviara la señal a los distintos dispositivos Leds, estos ya mencionados que internamente poseen los integrados necesarios para recibir y emitir la señal. Existe una instalación cableada que esta bajo la normativa IEEE 802.15.7. Que regula la utilización de transmisión para dar acceso a la red al usuario.

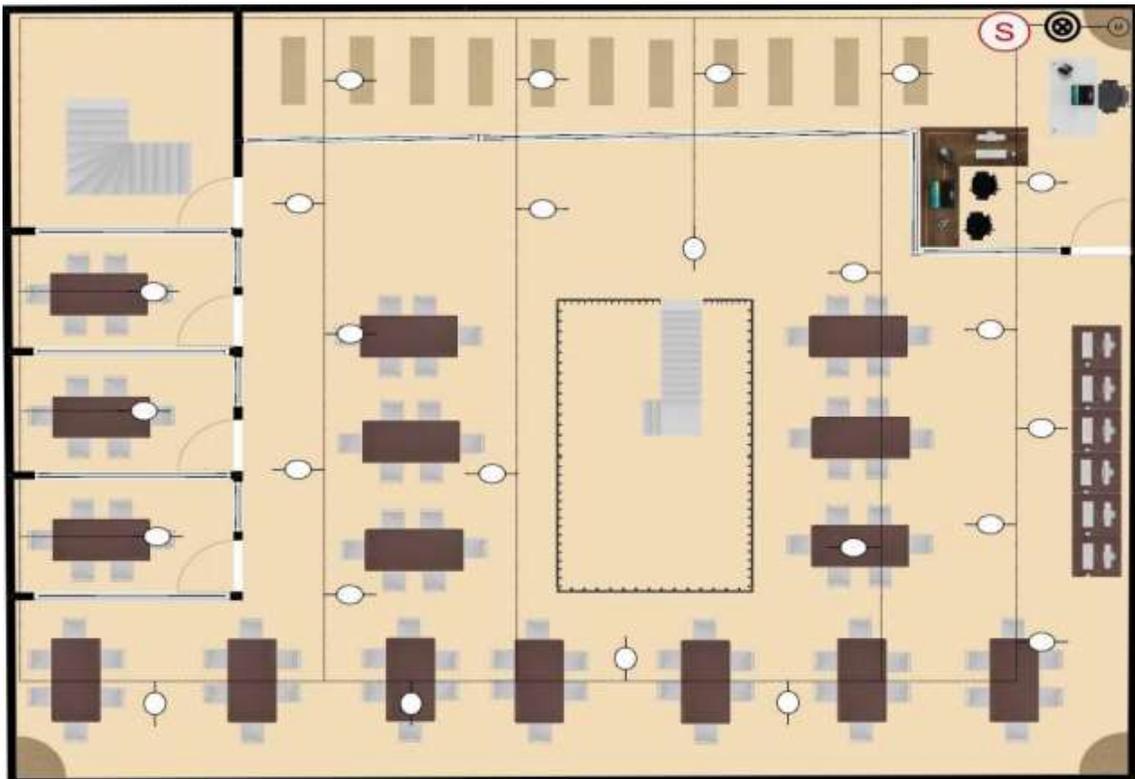


Figura 23: Arquitectura dentro de un hogar

Fuente: UNACH-EC-ING-ELE-TEL-2017-0009.

3.4.7. CREACION DE VLAN

Se crearán Vlan para que las redes de las distintas casas de la zona tengan una gestión el tráfico de red y mejorar la seguridad ya evitar que los usuarios de distintos departamentos accedan a sus recursos de red por motivos de seguridad.

3.4.8. DIRECCIONAMIENTO IP

Cada casa se le aplicará una red, se aplicará VLSM a la red aplicada para mejorar la eficiencia y la administración de las direcciones de red, también se mejorará factores importantes como la capacidad de crecimiento de la red, al no contar con subredes las direcciones IP que tiene actualmente los equipos están próximas a agotarse.

3.5. SELECCIÓN DE PROTOCOLOS

3.5.1. RSTP

Se usará este protocolo que opera mediante el estándar IEEE 802.15.7. para gestionar los enlaces redundantes que se encuentre en la topología de red que se muestra en el diseño de red planteado, de tal manera que aumente la velocidad de convergencia de la red en caso que se requiere modificar la topología existente con la ubicación de un nuevo dispositivo de red.

3.5.2. VTP

Este protocolo tiene como finalidad administrar y centralizar las vlans de la red de esta manera que se podrá gestionar de la forma más eficiente la red en 87 el caso que se requiere implementar nuevas vlan en el diseño de red.

3.5.3. AAA

Al usar este protocolo nos brinda la posibilidad de autorizar, autenticar y contabilidad los usuarios que acceden a la red con la finalidad de proveer una mayor seguridad a la red de posibles usuarios no autorizados que quieran acceder a los diferentes recursos de la red.

3.6 MODELO A PEQUEÑA ESCALA DEL SISTEMA

Para la elaboración del prototipo se utilizó los módulos emisor y receptor infrarrojo junto con el micro controlador Arduino, estos estarán programados para que puedan comunicarse de manera unidireccional al transmitir la información al transmitir la información, esto siendo plasmado por los dos foto-transmisores dando la idea de que la comunicación fluye de un lado a otro.

El prototipo del sistema contara con un teclado matricial 4x4 y una pantalla LCD, en donde se escribirá y mostraran los mensajes que se enviaran a través de los módulos emisores de infrarrojo.

3.6.1. PROTOTIPO DEL CIRCUITO TRANSMISOR

En la presente fase se detallará la función y los componentes que se requieren para la construcción del prototipo, de esta manera se observa el circuito a través de un diagrama en el cual se puede visualizar cada una de las partes importantes del diseño para la transmisión de datos inalámbricos usando tecnología LI FI, para el diseño de los circuitos, se utilizo el Proteus, y para la alimentación se utilizó una batería de nueve voltios para que alimente cada etapa del transmisor, lo cual va a conectarse con el Arduino y este alimenta cada circuitería con cinco voltios.

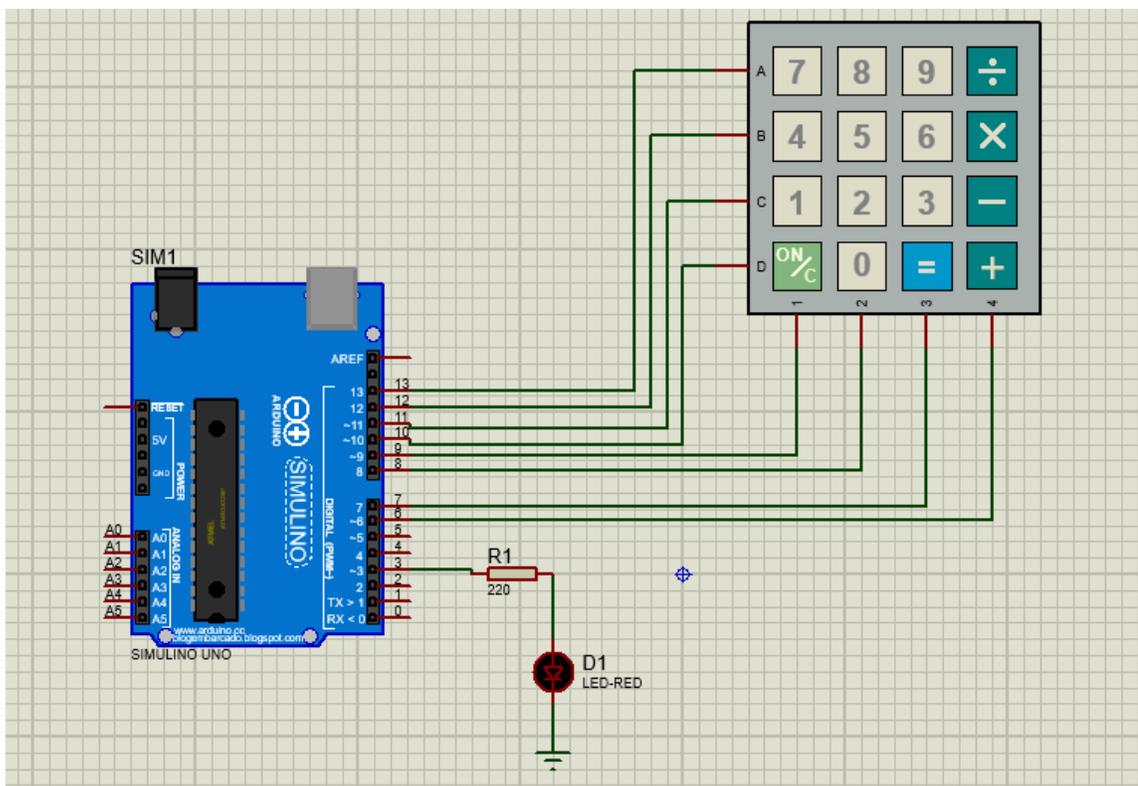


Figura 24: Esquema Del Prototipo Del Transmisor

Fuente: El Autor

Antes de proceder a construir la etapa del transmisor del prototipo se comprobó que los componentes estén en buen funcionamiento, para verificar el estado del teclado matricial se utilizó un multímetro para probar la comunicación de las pistas, el estado y funcionamiento del Arduino UNO R3 con una batería de 9 voltios por lo que no tuve ningún inconveniente en trabajar con ese voltaje, se verifico cada puerto y por ultimo diodo LED emisor infrarrojo, asegurándome de que cada uno de los componentes que estén en buenas condiciones.

En el proceso de construcción de la etapa del emisor del prototipo, en esta parte se encuentra el micro controlador Arduino conectado a un teclado matricial en donde junto con el modulo emisor infrarrojo se enviará una información efectuada por el teclado trabajando a una frecuencia de 38 KHz. Y una velocidad de 9600 Bits/segundo, la idea de esto es que viaje la información por el LED y llegue el mensaje a su destino.

A continuación, se procede a programar las líneas de códigos para que el Arduino pueda interpretar los datos provenientes del teclado y enviarlos por el teclado y enviarlos por el puerto correspondiente al emisor del LED infrarrojo, utilizando como herramienta de programación el software IDE. Para que haya una comunicación a través del emisor y receptor infrarrojo es necesario utilizar librerías o protocolos de transmisión para codificar las señales enviadas por el emisor.



```
PROYECTO_TRANSMISOR.ino
1 #include <SerialTerminal.h>
2 #include <Keypad.h>
3 #include <IRlib.h>
4 #include <IRlibMatch.h>
5 #include <IRlibTimer.h>
6
7 IRsend irsend;
8
9 const byte Filas = 4;
10 const byte Cols = 4;
11
12 byte Pines_Filas[] = {13, 12, 11, 10};
13 byte Pines_Cols[] = {9, 8, 7, 6};
14 char Teclas [Filas][Cols] =
15 {
16   {'1', '2', '3', 'A'},
17   {'4', '5', '6', 'B'},
18   {'7', '8', '9', 'C'},
19   {'*', '0', '-', '0/1'}
20 }
```

Output

El Sketch usa 6874 bytes (21%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 bytes.
Las variables Globales usan 664 bytes (32%) de la memoria dinámica, dejando 1384 bytes para las variables locales. El máximo es 2048 bytes.

Figura 25: Código Del Transmisor

Fuente: El Autor

3.6.2. PROTOTIPO DEL CIRCUITO RECEPTOR

En este prototipo, que es la etapa de recepción de los datos, los componentes de esta etapa son: Arduino UNO R3, receptor infrarrojo, pantalla LCD 16x2 y un potenciómetro de 10 KOhms para mejorar la nitidez del backlight en la pantalla LCD.

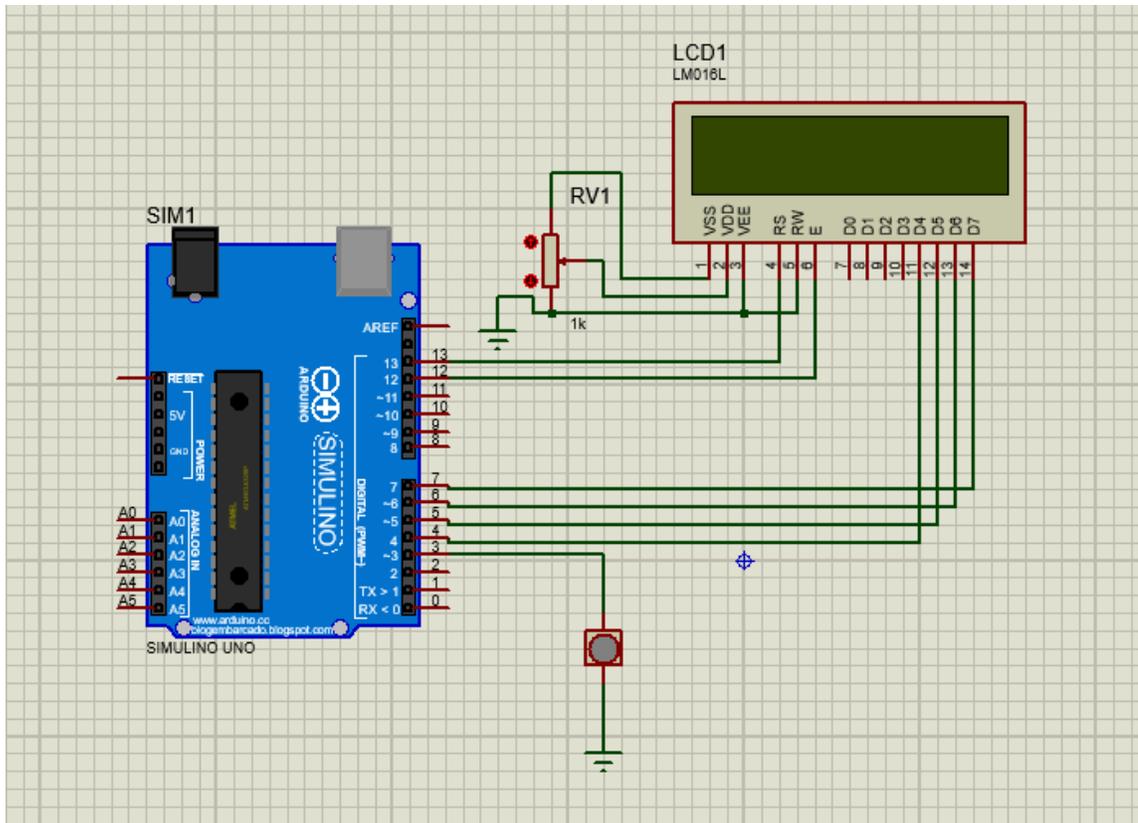


Figura 26: Esquema Del Prototipo Del Receptor

Fuente: El Autor

En esta sección se procede a programar las líneas de códigos para que el Arduino pueda interpretar los datos provenientes del circuito emisor, recibida por el puerto 3 del Arduino y mostrar la información en la pantalla LCD

```
PROYECTO_RECEPTOR.ino
1 #include <IRremote.h>
2 #include <LiquidCrystal.h>
3 #include <SerialTerminal.h>
4
5 int RECV_PIN = 3;
6
7 const int rs= 13, en= 12, d4= 4, d5= 5, d6= 6, d7= 7;
8 LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);
9
10 IRrecv irrecv(RECV_PIN);
11 decode_results results;
12 int tecla;
13
14 void setup(){
15   lcd.begin(16, 2);
16   irrecv.enableIRin();
17 }
18 void loop(){
19   Serial.println("Inicio de ejecucion");
20 }
```

Output

El Sketch usa 7978 bytes (24%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 bytes.
Las variables Globales usan 632 bytes (38%) de la memoria dinámica, dejando 1416 bytes para las variables locales. El máximo es 2048 bytes.

Figura 27: Código Del Receptor

Fuente: El Autor

CAPITULO IV: ESTUDIO DEL **MERCADO**

4.1. ESTUDIO DE MERCADO

El hecho de que las comunicaciones VLC se basen en la infraestructura de iluminación ya instalada hace más atractiva la inversión, como puede ser el caso de Philips Lighting, que recientemente ha rediseñado su estructura y ha cambiado su nombre por el de Signify. Otras empresas como PureLiFi, Oledcomm o VLNComm, han nacido como startups enfocados directamente al desarrollo de soluciones Li-Fi. De hecho, todas ellas han puesto en el mercado (o lo harán en breve) diferentes productos que se estudiarán a continuación. Se compararán los productos de estas tres empresas, con el objetivo de ver la evolución que se ha seguido y dar una imagen descriptiva de en qué fase de desarrollo se encuentra la tecnología Li-Fi en la actualidad. Finalmente, se hace referencia a SiSoft, empresa mexicana pionera en Latinoamérica, y también se considerarán de forma resumida otras empresas que están inmersas en la investigación y desarrollo de productos VLC, aunque aún no hayan lanzado nada estable al mercado.

4.1.1. PURELIFI

Con la base de LiFi-X, sacaron al mercado a finales de 2017 su evolución natural, el LiFi XC, que es el que se encuentra actualmente disponible. Este pack es una ligera evolución del modelo anterior, ya que aumenta el rango de LEDs compatibles, aumenta ligeramente la velocidad de los enlaces y la cantidad de usuarios que se pueden conectar, reduce su tamaño y mejora la regulación de intensidad. Entrando en características técnicas, las más relevantes son las siguientes:

- ✓ El sistema funciona para distancias entre transmisor y receptor superiores a 1 metro, pero inferiores a 6 metros.
- ✓ La fuente a utilizar es LuciCup II, cuya potencia nominal son 15 W, proporcionando una luminosidad de 1.400 lúmenes. Su ángulo de irradiancia para la mitad de luminosidad es 66°.
- ✓ El campo de visión del receptor es de 60°.
- ✓ Compatibilidad con los sistemas operativos clásicos (Windows, Linux, Mac OS).
- ✓ Conexión del receptor mediante USB 2.0.

Por último, faltaría hablar de su precio, pero es muy complicado dar una cifra puesto que PureLiFi nunca ha hecho públicos los precios de sus productos. La única estimación que puede realizarse es que, si el pack de iniciación cuesta en torno a 2.800 Euros, un pack sencillo rondaría los 1.400 Euros. Salta a la vista que se trata de un precio acorde a una tecnología emergente y aún en fase de desarrollo.

4.1.2. OLEDCOMM

Oledcomm es la integración que han conseguido entre hardware y software, ya que tienen una aplicación móvil que permite regular y configurar ampliamente la lámpara. Además, no sería extraño que en pocos meses lancen productos más rápidos, dado que se encuentran en fase de desarrollo de nuevas soluciones. Otras características destacables del pack de MyLiFi son:

- ✓ Funciona para distancias del receptor comprendidas entre 0.45 metros y 5 metros.
- ✓ La potencia nominal son 13 W, proporcionando una luminosidad de 800 lúmenes.
- ✓ Tiene un modo de desconexión, en el cual sigue funcionando la transmisión de datos, pero con una cantidad de luz imperceptible para el ojo humano.
- ✓ También es compatible con los sistemas operativos tradicionales (Windows, Mac OS y Linux), y con la tecnología PoE.

En cuanto al precio, éste está en torno a los 7154 Euros, que es prácticamente la mitad de lo que cuesta el pack de PureLiFi, aunque también es cierto que la velocidad es casi la mitad. De igual manera, es de esperar que, conforme avance el desarrollo de la tecnología Li-Fi, se vayan reduciendo los precios.

4.1.3. VLNCOMM

- ✓ La distancia máxima a la que se puede situar el receptor y seguir recibiendo señal son 2.5 metros.
- ✓ La potencia nominal son 35 W, proporcionando una luminosidad de 3.200 lúmenes.

- ✓ El campo de visión del receptor es de 120°.
- ✓ También permite mantener la comunicación con niveles de luminosidad imperceptibles.
- ✓ El receptor es compatible con los sistemas operativos tradicionales (Windows, Mac OS y Linux).

El precio de este pack son 1.760 Euros. Está claro que la mayor velocidad ofrecida queda reflejada en el precio.

4.2. ANALISIS DE COSTOS

Así pues, una vez vistas las tres principales empresas que ofrecen y van a ofrecer en el futuro sus productos LiFi, y a pesar de la dificultad de obtener información sobre ellos Cabe destacar que todas las soluciones garantizan una vida de la fuente LED de 50.000 horas, que es el valor estándar que se puede encontrar en los productos típicos en el mercado.

<i>Empresa</i>	PureLiFi	Oledcomm	VLNComm	
Producto	LiFi-XC Pack	MyLiFi Desk Lamp	LumiLamp	LumiNex Panel
Enlace bajada	43 Mbps	13 Mbps	23 Mbps	108 Mbps
Enlace subida	43 Mbps	10 Mbps	23 Mbps	53 Mbps
Distancia mínima	1 m	0,45 m	0 m	0 m
Distancia máxima	6 m	5 m	2,5 m	2,5 m
Ángulo media luminosidad (Tx)	66 °	-	-	-
Campo de visión (Rx)	60 °	-	120 °	120 °
Potencia nominal	15 W	13 W	27 W	35 W
Luminosidad	1400 lm	800 lm	2200 lm	3200 lm
Precio estimado	1.400 €	715 €	1.760 €	1.590 €

Tabla 5: Tabla de Precios

Fuente: López - Desarrollo de una herramienta software para el diseño de una red de comunicaciones e iluminación

4.3. COSTOS DEL MODELO A PEQUEÑA ESCALA

En la siguiente tabla se mostrará lo que es una tabla de precios de todo lo gastado en hacer el modelo a pequeña escala:

COMPONENTES	PRECIO
2: ARDUINO	190 Bs.
1: PANTALLA LCD 16X2	30 Bs.
TECLADO MATRICIAL	9 Bs.
1: EMISOR INFRARROJO KY 005	10 Bs.
1: RECEPTOR INFRARROJO KY 022	15 Bs.
JUMPERS	15 Bs.
TOTAL	269 Bs.

Tabla 6: Tabla de precios del modelo a pequeña escala

Fuente: El Autor

V: CONCLUSIONES

- En este proyecto describimos las características técnicas además de dar a conocer las ventajas que tiene esta nueva tecnología y como esta mejorara el servicio de internet en la zona de Villa Adela de la ciudad de El Alto.
- Pudimos diseñar un modelo de prueba pequeña que nos guie en cuanto a las especificaciones técnicas para una correcta instalación, para lo cual se vio que hay muchos parámetros que influyen en el correcto funcionamiento de la nueva tecnología a implementar.
- Se concluye también que el sistema LI FI es una tecnología inalámbrica viable por las distintas razones expuestas anteriormente como es velocidad, seguridad, salud y ahorro en el costo energético. La tecnología LI FI llega como una solución que va de la mano a proteger el ambiente y a los usuarios de la institución. LI FI es una tecnología que por el momento va a trabajar complementando a la tecnología WI FI, muchos científicos consideran que LI FI es la tecnología que hará desaparecer al sistema WI FI, pero si se observa estos dos sistemas inalámbricos se

complementarían muy bien ya que WI FI podría trabajar en partes abiertas y LI FI trabajaría en lugares cerrados donde no ingrese la luz natural facilitando el servicio de conectividad a los usuarios.

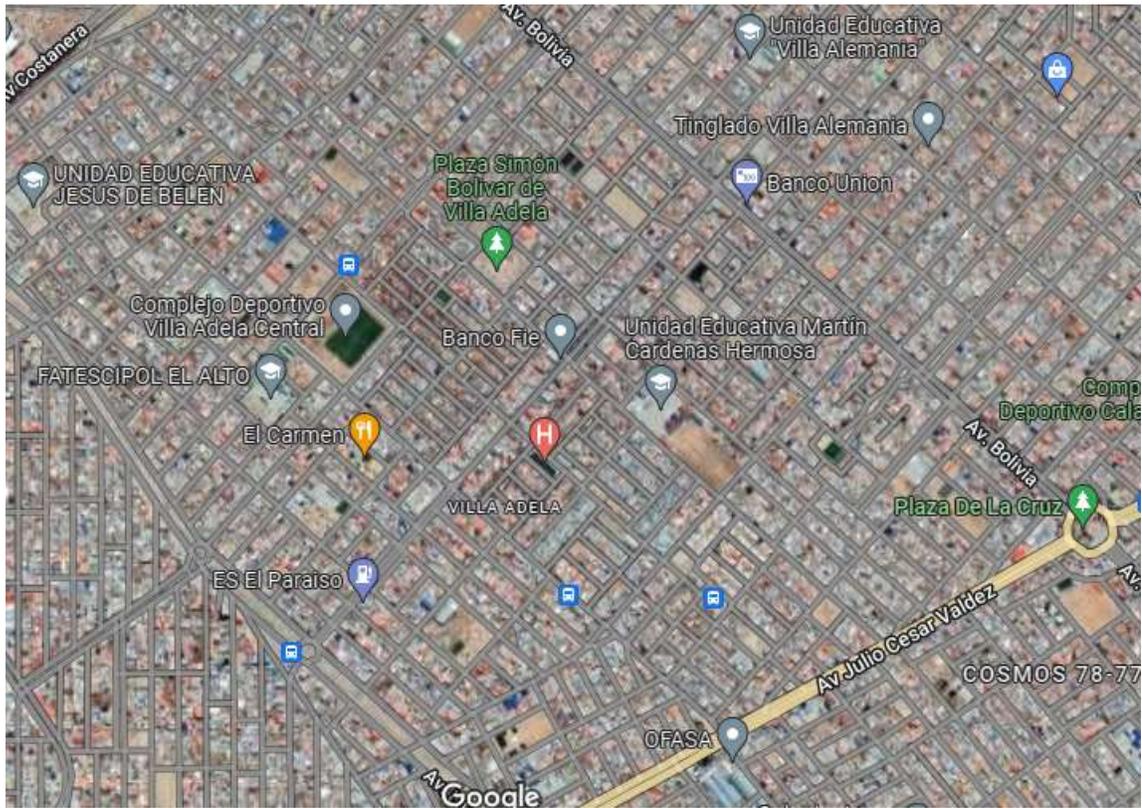
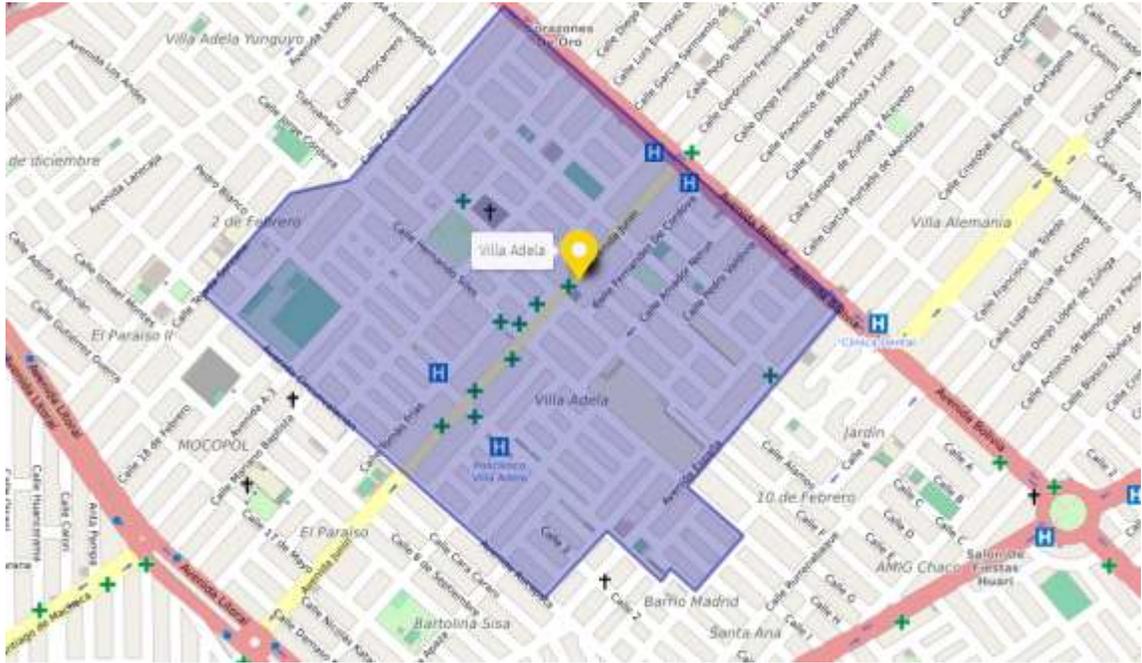
VI: RECOMENDACIONES

- Para la implementación de esta tecnología debe tomar en cuenta que los focos o lámpara deben ser cambiadas dentro de las áreas específicas del estudio y ser remplazadas por luminarias tipo LED con tecnología LI-FI necesarias para la implementación del sistema LI-FI y así poder transmitir datos a través de la luz visible. Además, contar con un proveedor de internet que permita tener una velocidad aceptable para la transferencia de datos a través de las conexiones inalámbricas a implementar.
- Se recomienda que un proveedor de tecnología Li-Fi sea el encargado de proveer soporte, así como también mantenimiento de los equipos Li-Fi con la finalidad de prevenir daños ocasionados por la mala manipulación inexperta en este tipo de tecnología. Sin dejar de lado lo importante que es realizar una capacitación a todo el personal encargado de administrar la red con el objetivo que tengan conocimiento de por qué se implementa esta tecnología y los beneficios que tendrá el instituto nacional de pesca a través de ella.
- Como recomendación para una futura implementación para una tecnología LiFi hay factores muy importantes que no deben pasar desapercibidos como, los focos o lámparas tiene que ser sustituidos por luces de tipo LED en el interior de las áreas que forman parte del estudio con la finalidad de utilizarla como canal de comunicación para poder transmitir la información mediante ellas.

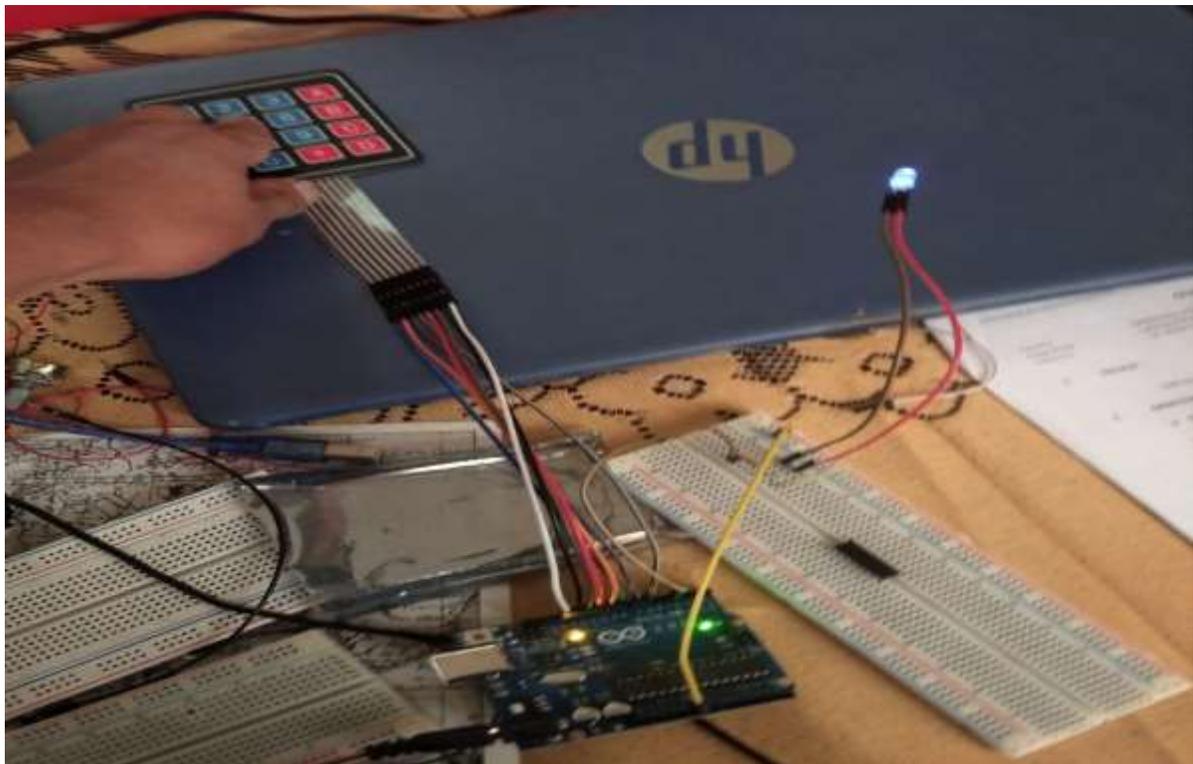
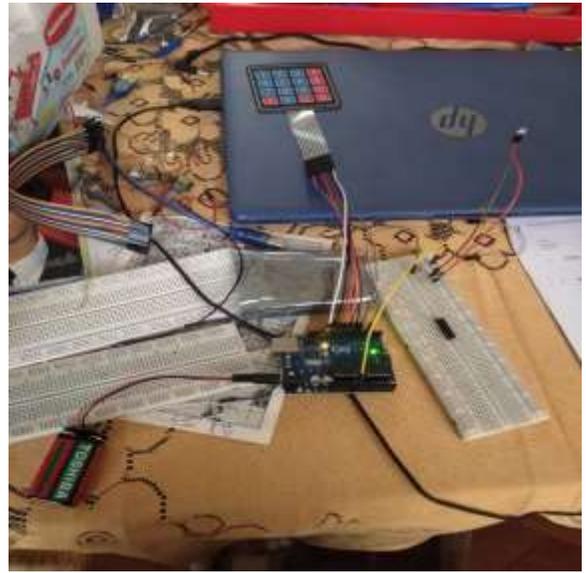
VII: BIBLIOGRAFIA

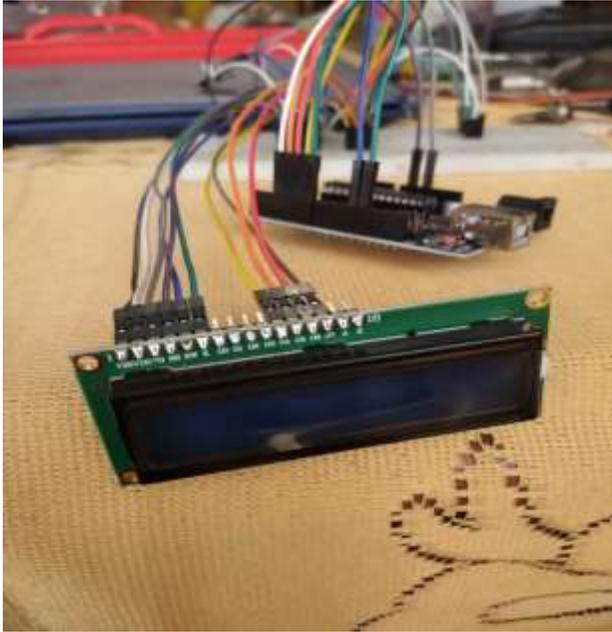
- Albujar, O. (2016). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD DE RED BASADO EN LA INTEGRACIÓN DE LOS SERVIDORES RADIUS - LDAP EN LINUX PARA* . Chiclayo.
- Bietti, C. a. (2017). *SERVICIOS BASADOS EN INFORMACION GEOPOSICIONADA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE TECNOLOGÍA LI-FI* .
- Carmen Fuente, I. G. (2016). *ELABORACION Y PRESENTACION DE UN PROYECTO DE INVESTIGACION Y TESINA*. Barcelona: Universidad de Barcelona.
- ERAZO, J. V. (2016). *DESARROLLO E IMPLEMENTACION DEL ALGORITMO DE CODIFICACION DE LINEA BNZS PARA OPTIMIZAR EL USO DEL CANAL DE TRANSMISION DE LI FI*. QUITO: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.
- Granda, E. N. (2017). *Study and simulation of PAPR reduction techniques in HACO-OFDM*. Sistema Educativo de Investigación Científica e Innovación Tecnológica.
- MARTIN, F. R. (2011). *LOS USOS DE LA EVALUACION*. MADRID: SOCIOLOGIA.
- Peñañiel, J. (2019). *ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA LI-FI: COMUNICACIONES POR LUZ VISIBLE COMO PUNTO DE ACCESO A INTERNET, UNA ALTERNATIVA PARA LA TRANSMISIÓN DE DATOS EN LAS COMUNICACIONES INALAMBRICAS*.
- R., S. (2015). *Visual Evoked Potentials: normative data and gender differences*.
- Rodriguez, L. a. (2015). *ALCANCES DEL DESARROLLO DE LA NUEVA TECNOLOGIA LI-FI PARA LAS TELECOMUNICACIONES EN COLOMBIA*. Bogota.
- Ruiz, D. V. (2015). *Sistema de comunicacion digital por medio de LIFI*.
- S., A. (2016). *comunicaciones inalambricas rapidas*.
- Torres, D. A. (2017). *COMUNICACIÓN LI-FI DENTRO DE AVIONES*. Bogotá.

ANEXOS



MODELO A PEQUEÑA ESCALA





CODIGO TRANSMISOR

```
#include <SerialTerminal.h>
#include <Keypad.h>
#include <IRLib.h>
#include <IRLibMatch.h>
#include <IRLibTimer.h>
```

```
IRsend irsend;
```

```
const byte Filas = 4;
const byte Cols = 4;
```

```
byte Pins_Filas[] = {13, 12, 11, 10};
byte Pins_Cols[] = {9, 8, 7, 6};
char Teclas [Filas][Cols] =
{
  {'1', '2', '3', 'A'},
  {'4', '5', '6', 'B'},
  {'7', '8', '9', 'C'},
  {'*', '0', '#', 'D'}
};
```

```
Keypad Teclado1 = Keypad(makeKeymap(Teclas), Pins_Filas, Pins_Cols, Filas, Cols);
void setup(){
  pinMode(3, OUTPUT);
}
void loop(){
  char pulsacion = Teclado1.getKey();
  if(pulsacion !=NO_KEY)
  switch(pulsacion){
    case '1':
      for (int i= 0; i < 3; i++) {
        irsend.send(NEC, 0x921D, 32);
        delay(200);
      }
      break;
    case '2':
      for (int i= 0; i < 3; i++) {
        irsend.send(NEC, 0x922D, 32);
        delay(100);
      }
  }
```

```
break;
case '3':
for (int i= 0; i < 3; i++) {
  irsend.send(NEC, 0x923D, 32);
  delay(100);
}
break;
case '4':
for (int i= 0; i < 3; i++) {
  irsend.send(NEC, 0x924D, 32);
  delay(100);
}
break;
case '5':
for (int i= 0; i < 3; i++) {
  irsend.send(NEC, 0x925D, 32);
  delay(100);
}
break;
case '6':
for (int i= 0; i < 3; i++) {
  irsend.send(NEC, 0x926D, 32);
  delay(100);
}
break;
case '7':
for (int i= 0; i < 3; i++) {
  irsend.send(NEC, 0x927D, 32);
  delay(100);
}
break;
case '8':
for (int i= 0; i < 3; i++) {
  irsend.send(NEC, 0x928D, 32);
  delay(100);
}
break;
case '9':
for (int i= 0; i < 3; i++) {
  irsend.send(NEC, 0x929D, 32);
  delay(100);
}
break;
case '0':
```

```
for (int i= 0; i < 3; i++) {
    irsend.send(NEC, 0x910D, 32);
    delay(100);
}
break;
case 'A':
for (int i= 0; i < 3; i++) {
    irsend.send(NEC, 0x911D, 32);
    delay(100);
}
break;
case 'B':
for (int i= 0; i < 3; i++) {
    irsend.send(NEC, 0x912D, 32);
    delay(100);
}
break;
case 'C':
for (int i= 0; i < 3; i++) {
    irsend.send(NEC, 0x913D, 32);
    delay(100);
}
break;
case 'D':
for (int i= 0; i < 3; i++) {
    irsend.send(NEC, 0x914D, 32);
    delay(100);
}
break;
case '*':
for (int i= 0; i < 3; i++) {
    irsend.send(NEC, 0x915D, 32);
    delay(100);

    break;
}
case '#':
for (int i= 0; i < 3; i++) {
    irsend.send(NEC, 0x916D, 32);
    delay(100);
    break;
}
}
}
```

CODIGO RECEPTOR

```
#include <IRremote.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <SerialTerminal.h>

int RECV_PIN = 3;

const int rs= 13, en= 12, d4= 4, d5= 5, d6= 6, d7= 7;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);

IRrecv irrecv(RECV_PIN);
decode_results results;
int tecla;

void setup(){
  lcd.begin(16, 2);
  irrecv.enableIRIn();
}
void loop(){
  Serial.print(results.value, HEX);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Presione Una");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("tecla");
  if (irrecv.decode(&results)){
    tecla=results.value;
    lcd.clear();
    switch (tecla){
      case 0x921D:
        lcd.print('1');
        break;
      case 0x922D:
        lcd.print('2');
        break;
      case 0x923D:
        lcd.print('3');
        break;
      case 0x924D:
        lcd.print('4');
        break;
      case 0x925D:
        lcd.print('5');
```

```
break;
case 0x926D:
lcd.print('6');
break;
case 0x927D:
lcd.print('7');
break;
case 0x928D:
lcd.print('8');
break;
case 0x929D:
lcd.print('9');
break;
case 0x910D:
lcd.print('0');
break;
case 0x911D:
lcd.print('A');
break;
case 0x912D:
lcd.print('B');
break;
case 0x913D:
lcd.print('C');
break;
case 0x914D:
lcd.print('D');
break;
case 0x915D:
lcd.print('*');
break;
case 0x916D:
lcd.print('#');
break;
}
irrecv.resume();
}
delay(100);
delay(1000);
}
```