



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

---

PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE  
TRANSMISIÓN/RECEPCIÓN DE DATOS  
POR LUZ VISIBLE.

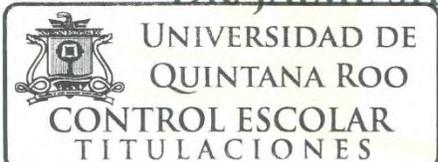
---

TESIS  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
INGENIERO EN REDES

PRESENTA  
DIEGO ALEJANDRO SERRANO PECH

DIRECTOR DE TESIS  
DR. JAVIER VÁZQUEZ CASTILLO

ASESORES  
MTI. VLADIMIR VENIAMIN CABAÑAS VICTOR  
MSI. LAURA YÉSICA DÁVALOS CASTILLA  
MSI. RUBÉN ENRIQUE GONZÁLEZ ELIXAVIDE  
DR. JAIME SILVERIO ORTEGÓN AGUILAR



CHEMUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, JULIO DE 2018



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TRABAJO DE TESIS TITULADO

“PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN/RECEPCIÓN DE  
DATOS POR LUZ VISIBLE”

ELABORADO POR

DIEGO ALEJANDRO SERRANO PECH

BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA Y APROBADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO DE:

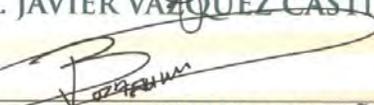
INGENIERO EN REDES

COMITÉ DE TESIS

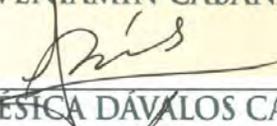
DIRECTOR:

  
DR. JAVIER VAZQUEZ CASTILLO

ASESOR:

  
MPE. VLADIMIR VENIAMIN CABAÑAS VICTOR

ASESORA:

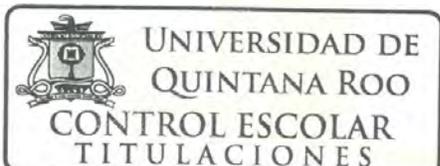
  
MSI. LAURA YESICA DÁVALOS CASTILLA.

ASESOR:

  
MSI. RUBÉN ENRIQUE GONZÁLEZ ELIXAVIDE

ASESOR:

  
DR. JAIME SILVERIO ORTEGÓN AGUILAR



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, JULIO DE 2018

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por acompañarme en este camino lleno de obstáculos, quien me brindó su mano y me lleno de bendiciones, salud y sabiduría para poder culminar este camino.

A mis padres que me enseñaron que siempre tenemos que ser positivos ante cualquier circunstancia, hay que luchar y nunca darse por vencido, de igual manera me llevo la enseñanza del verdadero valor de la perseverancia y constancia. Cabe mencionar que me han apoyado en mi vida académica y personal, siempre nutriéndome con sus sabios consejos, que me han llevado a la obtención de esta meta.

La Universidad de Quintana Roo por ser mi alma mater, en la cual obtuve conocimientos y experiencias. También agradezco a todos los profesores universitarios que me transmitieron sus conocimientos, los cuales se convirtieron parte fundamental para mi formación profesional.

Mi asesor de tesis, Dr. Javier Vázquez Castillo y tutora Mtra. Laura Dávalos Castilla por su constante apoyo y dedicación en el desarrollo de esta tesis. Les agradezco por la confianza que me brindaron no solo en este proyecto, sino, que también en mi formación como universitario.

Finalmente les agradezco a mis amigos, por todos esos momentos maravillosos que pasamos en el transcurso de esta meta. A mis compañeros de la División de Ciencias e Ingenierías por su apoyo académico.

## **DEDICATORIA**

A mi familia y a mis padres, por ser los pilares más importantes en mi vida, por su apoyo incondicional, sus sabios consejos y su amor. De quienes he aprendido a pasar obstáculos sin rendirme en el intento.

A los alumnos de la carrera de Ingeniería en Redes, que necesite un antecedente sobre este tema.

## RESUMEN

El siguiente trabajo de tesis consiste en el desarrollo de un prototipo de un sistema de transmisión-recepción de datos por luz visible utilizando un Arduino UNO. Con el objetivo de poder demostrar que la transmisión de datos a través de la luz visible es un método el cual se podría usar como complemento al Wireless Fidelity (WI-FI). Arduino UNO transmitirá un archivo de audio a través de un LED infrarrojo el cual será recibido por un fototransistor a una distancia de 10 centímetros entre emisor y receptor, y así poder apreciar el audio por los parlantes del receptor.

En el capítulo 1 se presenta la introducción, definición del problema, justificación, objetivos de este proyecto y la metodología para poder llevarse a cabo.

En el capítulo 2 se describe algunos conceptos sobre Visible Light Communication (VLC), tales como la definición de VLC, tecnología Light-Fidelity (LI-FI), sus características, ventajas y desventajas, utilidades y estándar 802.15.7. Aquí podremos encontrar un poco de historia sobre las comunicaciones inalámbricas en la antigüedad y de igual forma, una descripción de la tecnología LI-FI, su estándar y los tipos de modulación que se pueden emplear. Del mismo modo la descripción de todos los componentes que el sistema de transmisión-recepción de datos por VLC utilizará, su configuración e información técnica.

En el capítulo 3 se describe el desarrollo del sistema de transmisión de datos por luz visible, desde el ensamble físico, ensamble lógico, programación hasta la preparación de la tarjeta micro SD para poder lograr la transmisión del archivo de audio.

El capítulo 4 contiene las pruebas realizadas y un pequeño análisis del funcionamiento del sistema de transmisión de datos por VLC. Del mismo modo podemos apreciar que el archivo de audio fue transmitido y recibido a través de la luz de una manera eficiente y por consiguiente escuchar el audio con el menor ruido posible.

## CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	i
<b>DEDICATORIA</b> .....	ii
<b>RESUMEN</b> .....	iii
<b>CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	3
<b>1.3 OBJETIVOS</b> .....	5
<b>1.4 METODOLOGÍA</b> .....	6
<b>1.4.1 ENSAMBLADO FÍSICO</b> .....	6
<b>1.4.2. ENSAMBLADO LÓGICO</b> .....	6
<b>1.4.3 PRUEBAS</b> .....	7
<b>CAPITULO 2 MARCO TEORICO</b> .....	8
<b>2.1 HISTORIA DE LAS COMUNICACIONES OPTICAS INALAMBRICAS</b> .....	8
<b>2.2 ¿QUÉ ES VLC?</b> .....	13
<b>2.2.1 CARACTERÍSTICAS</b> .....	14
<b>2.2.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS</b> .....	17
<b>2.3 ¿QUE ES LIFI?</b> .....	19
<b>2.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LI-FI</b> .....	22
<b>2.3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS</b> .....	25
<b>2.4 APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA LI-FI</b> .....	27
<b>2.5 ACERCA DEL ESTÁNDAR 802.15</b> .....	29
<b>2.5.1 IEEE 802.15.7</b> .....	29
<b>2.5.2 MODELO PHY I</b> .....	31
<b>2.5.3 MODELO PHY II</b> .....	33
<b>2.5.4 MODELO PHY III</b> .....	35
<b>2.6 COMPONENTES DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN - RECEPCIÓN</b> .....	38
<b>2.6.1 TRANSMISOR</b> .....	38
<b>2.6.1.1 Arduino UNO</b> .....	38
<b>2.6.1.2 Arduino Wireless SD Shield</b> .....	38
<b>2.6.1.3 Micro SD</b> .....	39
<b>2.6.1.4 Jumpers Wire</b> .....	39
<b>2.6.1.5 Resistencia</b> .....	40

2.6.1.6 Led Infrarrojo. ....	41
2.6.1.7 Cable USB a USB tipo B. ....	41
2.6.1.8 LCD display 16x2. ....	42
2.6.2 RECEPTOR. ....	43
2.6.2.1 Fuente de alimentación “Power MB V2” ....	43
2.6.2.2 Fotodiodo. ....	44
2.6.2.3 Fototransistor ....	44
2.6.2.4 Microcontrolador Inversor SN74LS04N ....	45
2.6.2.5 Resistencia ....	47
2.6.2.6 Bocina Logitech X50 mobile wireless. ....	47
2.6.2.7 Batería de 9V. ....	48
CAPITULO 3 DESARROLLO Y RESULTADOS. ....	50
3.1 DESARROLLO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN-RECEPCIÓN. ....	50
3.1.1 ENSAMBLE LÓGICO. ....	51
3.1.1.1 Conexión de componentes del transmisor. ....	51
3.1.1.2 Conexión de componentes del receptor. ....	52
3.1.2 ENSAMBLE FÍSICO. ....	53
3.1.2.1 Conexión de componentes del transmisor. ....	53
3.1.2.2 Conexión de componentes del receptor. ....	55
3.1.3 PROGRAMACIÓN. ....	56
3.1.3.1 Conexión para la programación de arduino uno. ....	57
3.1.3.2 Código. ....	59
3.1.4 PREPARACIÓN DE LA TARJETA MICRO SD. ....	59
CAPITULO 4 PRUEBAS. ....	61
4.1 PRUEBAS. ....	61
4.1.1 MEDICIÓN DE LA SEÑAL DEL TRANSMISOR. ....	61
4.1.2 MEDICIÓN DE LA SEÑAL DEL RECEPTOR. ....	62
CONCLUSIÓN. ....	64
BIBLIOGRAFÍA. ....	66
APÉNDICES ....	67
APÉNDICE A ....	67

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Telégrafo óptico y alfabeto de transmisión.....	9
Ilustración 2: Fotófono de A. Graham Bell.....	10
Ilustración 3: Espectro de Luz Visible.....	13
Ilustración 4: Espectro radioeléctrico.....	16
Ilustración 5: Funcionamiento de Li-Fi.....	20
Ilustración 6: Transmisión de datos por medio de luz.....	21
Ilustración 7: Comparación de los sistemas IR, RF y OWC según la distancia y la velocidad.....	22
Ilustración 8: Organización estándar 802.15.....	30
Ilustración 9: Modulación OOK.....	31
Ilustración 10: Transmisor y receptor PHY I.....	32
Ilustración 11: Diagrama de bloques de un Sistema utilizando modelo PHI II Estándar IEEE 802.15.7.....	34
Ilustración 12: Transmisor y receptor PHY III.....	36
Ilustración 13: Tarjeta Arduino UNO.....	38
Ilustración 14: Tarjeta wireless SD Shield de arduino.....	39
Ilustración 15: Tarjeta MicroSD.....	39
Ilustración 16: Cables Jumper o Dupont.....	40
Ilustración 17: Imagen de una resistencia de 10K $\Omega$ .....	41
Ilustración 18: Diodo emisor de luz (LED) infrarrojo.....	41
Ilustración 19: Cable USB tipo A a USB tipo B.....	42
Ilustración 20: LCD (Liquid Crystal Display) de 16x2 (16 columnas y 2 filas).....	43
Ilustración 21: Fuente de alimentación Power MB V2.....	43
Ilustración 22: Símbolo de un fotodiodo.....	44
Ilustración 23: fototransistor con filtro de luz de día.....	45
Ilustración 24: Circuito Integrado Inversor SN74LS04N.....	45
Ilustración 25: Símbolos de compuertas Schmitt Trigger.....	46
Ilustración 26: Efecto del uso de Schmitt Trigger.....	46
Ilustración 27: Símbolo e imagen de una resistencia (10k $\Omega$ ).....	47
Ilustración 28: Bocina Logitech X50 mobile wireless.....	48
Ilustración 29: Batería de 9V alcalina.....	49
Ilustración 30: Esquema del sistema de transmisión-recepción por luz visible.....	50
Ilustración 31: Cableado de Arduino UNO, LCD, potenciómetro, resistencia y fotodiodo..	51
Ilustración 32: Cableado de fototransistor, resistencia, compuertas, fuente de alimentación y speaker.....	52
Ilustración 33: Cableado de arduino, LCD, potenciómetro, resistencia y fotodiodo.....	53
Ilustración 34: Cableado de fototransistor, resistencia, compuertas, fuente de alimentación y speaker.....	55
Ilustración 35: Cableado arduino Uno a la PC donde está instalado el software Arduino IDE 1.8.5.....	57
Ilustración 36: Compilación del código.....	57
Ilustración 37: Selección del puerto donde está conectado Arduino UNO.....	58
Ilustración 38: Grabado del código al Arduino UNO.....	58

Ilustración 39: Formato de la tarjeta micro SD. ....	59
Ilustración 40: Especificaciones del audio .WAV. ....	60
Ilustración 41: Archivo de audio convertido a .WAV. ....	60
Ilustración 42: Prueba de transmisor y receptor de datos. ....	61
Ilustración 43: Medición de la señal de salida del pin D9 del Wireless SD Shield (salida del LED infrarrojo).....	62
Ilustración 44: Medición de la señal que es captada por el fototransistor.....	62
Ilustración 45: Señal recuperada por el circuito integrado.....	63

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Ventajas y desventajas de VLC.....	18
Tabla 2: Tabla comparativa entre Li-Fi y Wi-Fi.....	24
Tabla 3: Comportamiento del modelo PHI I.....	33
Tabla 4: Comportamiento del modelo PHI II.....	35
Tabla 5: Configuración de LCD.....	54

## **CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.**

### **1.1 INTRODUCCIÓN.**

El acceso a internet hoy en día es uno de los servicios más demandados en el uso de las tecnologías de la información y comunicación. Dentro de este servicio de acceso, una de las tecnologías más utilizadas es la comunicación inalámbrica mediante el uso de la comunicación por radiofrecuencia del espectro electromagnético; Actualmente una gran cantidad de las conexiones inalámbricas son realizadas a través de la tecnología *Wireless Fidelity* (WI-FI).

El aumento de dispositivos que acceden a Internet genera una gran demanda en el ancho de banda. Debido a esto, la banda de radio frecuencia del espectro electromagnético, se ve cada vez más congestionado, lo que ocasiona que la asignación de frecuencias sea cada vez más complicada. Como consecuencia las siguientes tecnologías inalámbricas deberán ofrecer una capacidad mayor a las tecnologías actuales para cubrir una mayor capacidad de servicios de ancho de banda que hoy en día se demandan.

Una alternativa a este problema de ancho de banda es la tecnología Visible Light Communications (VLC) o Comunicación por Luz Visible, la cual se refiere a la comunicación de datos en el rango visible del espectro electromagnético. Este rango va desde los 400 a 700 nm de longitud de onda o espectro visible. La transmisión de datos va de 400 a 800 THz de frecuencia del espectro visible. Los problemas antes mencionados se solucionarían ya que el espectro de la luz visible es aproximadamente diez mil veces mayor que el espectro de radio frecuencia. De este modo la banda estaría bastante libre y las frecuencias serían asignadas sin ningún problema.

La tecnología Light Fidelity (LI-FI) es un sistema de comunicación inalámbrica que utiliza las bases de VLC para transmitir datos a través de la luz emitida de un diodo (LED) y proporcionar acceso a internet, modulando la intensidad de la luz y así poder emitir los bits de datos en señales inalámbricas hasta llegar a un receptor.

El objetivo de este estudio es diseñar un sistema de transmisión de datos por luz visible llevada a cabo con una metodología en la que consiste en el ensamble físico y lógico del sistema de transmisión-recepción de datos para posteriormente realizar algunas pruebas de mediciones de la señal.

## 1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Debido a las innovaciones tecnológicas que han estado surgiendo, específicamente en el desarrollo de nuevos sistemas de comunicaciones, un nuevo paradigma ha sido presentado: la “comunicación por luz visible (VLC)” o también denominado Light Fidelity (LI-FI). Este tipo de comunicación funciona con un emisor y un receptor en el cual se puede enviar datos a partir de la luz emitida por un diodo (LED), el cual llega a un receptor. Así, el LED además de alumbrar, es capaz de transmitir datos utilizando la misma señal de luz. Los datos se transmiten por medio de luz visible usando el espectro de frecuencia de 400 a 800 THz, así mismo, al no estar regulado, no existen restricciones en el uso del espectro. Por consecuencia, no se necesita de alguna licencia. Como se mencionó anteriormente, se utiliza el rango de 400 a 800 THz lo cual es 10,000 veces mayor a las comunicaciones de Radio Frecuencia (RF), el cual puede alcanzar una tasa de datos de gigabits por segundo sin ninguna interferencia.

Las tecnologías de radio frecuencia Wireless Fidelity (WI-FI), Bluetooth, Infrarrojo, etc, son muy utilizadas en la mayoría de los lugares por su gran eficiencia, sin embargo, existen lugares con restricciones en cuando a su uso, como en hospitales, aviones, trenes, etc., este tipo de tecnología está prohibido; es decir, no están permitidas por la interferencia que puede causar a los equipos electrónicos. La tecnología VLC se puede emplear en este tipo de escenarios debido a que estos lugares deben estar iluminados la mayor parte del tiempo, por lo que se puede aprovechar a la comunicación por luz visible (VLC). Los sistemas VLC no causan interferencia alguna debido a que no emiten ondas electromagnéticas al utilizar la luz como medio de transporte.

La gran tasa de transferencia de datos a usuarios es otra ventaja que esta tecnología de comunicación ofrece; como por ejemplo, transmisiones de videoconferencia, donde se requiere transmisión de voz, video y datos, aunado de una necesidad de gran ancho de banda

De manera adicional se comenta que este tipo de comunicaciones puede ser aplicada en:

- Comunicación en interiores.
- Comunicación de infraestructura a vehículos y de vehículos a vehículos.
- Posicionamiento.
- Entornos restringidos (aviones, hospitales).

En este trabajo de tesis se diseñará un sistema transmisor y receptor que permita el envío de información por luz visible. Se pretende implementar el sistema de transmisión a través de un microcontrolador de uso general y diseñar el sistema de modulación por luz visible para lograr la transmisión de los datos (electrónica analógica-digital).

### **1.3 OBJETIVOS.**

#### **Objetivo General:**

Diseño de un sistema de transmisión-recepción de datos por luz visible.

#### **Objetivos Particulares:**

1. Investigar los sistemas de comunicación por luz visible (VLC).
2. Revisar los estándares asociados a comunicación por luz visible.
3. Revisión de bibliografía relacionada a sistemas de comunicación por luz visible.
4. Diseño del sistema mínimo de comunicación por luz visible (Capa física).
5. Implementación del sistema mínimo Tx/Rx de datos por VLC.
6. Pruebas de transmisión de datos sobre el sistema implementado.
7. Redacción del trabajo desarrollado.
8. Presentación del trabajo de tesis para obtención del grado.

## **1.4 METODOLOGÍA.**

La metodología de este proyecto consiste en el ensamblado físico y lógico del sistema de transmisión-recepción de datos para posteriormente realizar algunas pruebas de mediciones de la señal.

### **1.4.1 ENSAMBLADO FÍSICO.**

Para el ensamblado físico se adaptará un Arduino Wireless SD Shield® al Arduino UNO®, conectando una LCD de 16x2 para visualizar algunos caracteres. Se conectará un LED infrarrojo con su respectiva resistencia al Arduino UNO® para poder realizar la transmisión de datos.

Por parte del receptor se necesitará una fuente de alimentación “Power MB V2” para alimentar a un Microcontrolador Inversor SN74LS04N que cumple la función de recuperación de la señal. Se requiere un fototransistor con su respectiva resistencia hacia el microcontrolador el cual recibirá la señal emitida por parte del transmisor (LED infrarrojo).

### **1.4.2. ENSAMBLADO LÓGICO.**

El ensamble lógico consiste en la programación del Arduino UNO® junto con el Arduino Wireless SD Shield®. Para esto se requiere del software Arduino IDE 1.8.5. Para realizar la programación se conecta el Arduino UNO hacia la computadora con el software Arduino IDE ya instalado. La programación consiste en:

1. Incluir todas las librerías necesarias. La librería <SD.h> permite la comunicación de Arduino con la tarjeta SD, <SPI.h> permite la transferencia de datos de audio a través de las señales MISO, MOSI y SCK, <LiquidCrystal.h> permite que Arduino controle un Liquid Cristal Display (LCD), <TMRpcm.h> permite la reproducción asíncrona de archivos PCM/WAV directamente desde la tarjeta SD.
2. Inicializar el LCD.

3. Inicializar la lectura de la tarjeta micro SD.
4. Inicializar la reproducción de audio WAV de la tarjeta micro SD.

Finalmente, al archivo de audio que está dentro de la tarjeta micro SD fue transmitida y por ende reproducida por un parlante del lado del receptor.

### **1.4.3 PRUEBAS.**

Una vez ya ensamblado todos los componentes del sistema de transmisión-recepción de datos se procede a realizar varias pruebas a una distancia de 10 cm entre transmisor y receptor.

Se debe visualizar la señal eléctrica emitida por el transmisor con la ayuda de un osciloscopio. Después se visualiza la señal que entraba por el fototransistor para poder detectar si la señal se atenuaba. Por último, se visualiza la señal emitida por el microcontrolador el cual debe cumplir con la función de recuperación de la señal si por algún motivo esta se pierde o atenúa.

## **CAPITULO 2 MARCO TEORICO.**

### **2.1 HISTORIA DE LAS COMUNICACIONES OPTICAS INALAMBRICAS.**

Desde muchos años atrás siempre se han utilizado sistemas de comunicación ópticos para poder comunicarse a kilómetros de distancia. Por ejemplo, en la antigüedad, las personas se comunicaban por medio de señales de humo para enviar información a personas que se encontraban alejadas a kilómetros de distancia (Lorenzo, 2016).

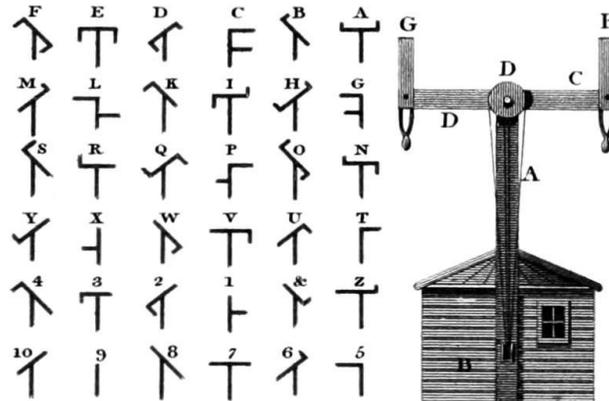
La literatura clásica nombra a la primera aparición de estas comunicaciones ópticas durante la guerra de Troya, en el cual el rey Agamenón enviaba noticias mediante señales realizadas con hogueras a los palacios de sus descendientes. (Sklavos, Hubner, Goehringer, & Kitsos, 2013) (Esquilo, 1994).

En la edad antigua del mismo modo el imperio romano usó este tipo de comunicaciones mediante señales luminosas hechas por hogueras para marcar puntos importantes con el uso de balizas o marcadores (Ocaña, 2015).

En 1794 se realizó la primera transmisión exitosa del primer telegrama de la historia de Lille a París logrando recorrer una distancia de 230 kilómetros a través de 22 torres distintas. Cada telégrafo ubicado en cada torre estaba alejado a una distancia de 12 a 15 kilómetros, cada torre equipada con 2 telescopios, uno apuntando a la torre anterior y una a la torre posterior (Ocaña, 2015).

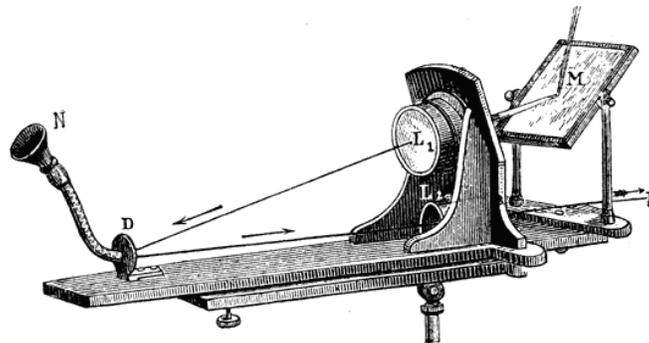
En 1792 Claude Chappe construyó el primer sistema práctico de telecomunicaciones, llamado “telégrafo óptico”. Esta fue una de las primeras tecnologías que se desarrollaron para la aplicación militar, utilizada por el ejército francés a finales del siglo XVII. Este dispositivo medía cinco metros de altura y constaba de dos brazos móviles conectados por un travesaño, el cual cada brazo podía realizar siete posiciones distintas y 4 posiciones distintas del travesaño, consiguiendo 194 (7x7x4) posiciones distintas que se traducían por palabras o frases con un significado concreto. A estas estructuras se les incorporaba un telescopio e iluminación para así poder ver el mensaje transmitido y enviarlo a la

siguiente. En poco tiempo el mensaje transmitido desde el punto inicial, se desplazaba cientos de kilómetros. Este sistema no era del todo rápido, pero lograba mandar un mensaje a cientos de kilómetros (Sklavos, Hubner, Goehringer, & Kitsos, 2013).



*Ilustración 1: Telégrafo óptico y alfabeto de transmisión.*

En el año 1880 Alexander Graham Bell inventó el fotófono, dispositivo que permitía la transmisión del sonido por medio de la combinación de la luz visible con la comunicación verbal, siendo un gran avance en la tecnología Optical Wireless Communication (OWC). Este invento permitía la transmisión de sonido a través de los rayos de luz. El propósito de este invento era la comunicación viable entre barcos y así poder acabar con los cables. El funcionamiento del fotófono era modular los rayos del sol con la vibración de un espejo situado en el fotófono emisor que periódicamente oscurecía el haz de luz, el cual llegaba de igual manera a un espejo situado en el receptor y convertido a señales sonoras a través de transceptores (Ocaña, 2015).



## *Ilustración 2: Fotófono de A. Graham Bell.*

En 1880 se consiguió la primera comunicación exitosa realizando la primera llamada de la historia con una distancia de 213 metros. Debido a las grandes inconvenientes que le afectaba a este invento tal como las interferencias meteorológicas que irrumpían los haces de luz se tuvo que dejar en abandono (Ocaña, 2015).

En la década de 1960 surgieron nuevos avances como la invención del láser o la del LED en 1962, el cual se les llamo Free-Space Optics (FSO). Esa época fue el comienzo de la era industrial de los Light-Emitting Diode (LED) rojos, amarillos y verdes, los cuales con muy poca intensidad luminosa se empezaron a usar en mandos a distancia y en equipos electrodomésticos (Ocaña, 2015).

Otro avance significativo de FSO fue la primera transmisión de señal de televisión utilizando LED de arseniuro de galio (GaAs) a una distancia de 48 kilómetros, esto por parte de los científicos del Massachusetts Institute of Technology (MIT), de igual forma la primera transmisión de voz modulada por un medio laser a una distancia de 190 kilómetros por parte de los EE.UU (Ocaña, 2015).

Los mayores avances sobre estas tecnologías se dieron en el ámbito militar y aeroespacial a comienzos de la segunda mitad del siglo XX, estos avances fueron realizados tanto en Estado Unidos como en Europa con la National Aeronautics and Space Administration (NASA) y la European Space Agency (ESA), logrando realizar transmisión entre satélites que alcanzaban velocidades de 10 Gigabits por segundo, debido a eso llegó a ser uno de los medios de mayores prestaciones y alta potencialidad (Ocaña, 2015).

En la década de 1980 se desarrollaron las primeras redes ópticas inalámbricas a través de infrarrojos (IR) con enlaces dúplex que alcanzaban una velocidad de 64 kilobits por segundo. Este nuevo avance llegó hasta el laboratorio de Motorola, el cual desarrollaron un sistema de Infrarrojos (IR) para interiores con una comunicación full-dúplex a una distancia de 10 metros a través de la radiación dispersa (Kotzin, 1986).

Las comunicaciones con el espectro infrarrojo han sufrido varios cambios con la aparición de los LED de alta potencia con el cual se pueden alcanzar mayores velocidades y distancia (Poulin, Pauluzzi, & Walker, 1992).

En 1994 Nakamura invento el LED azul, con el cual se pudieron realizar grandes avances en la comunicación de VLC al contar con los 3 colores básicos (rojo, verde, azul) consiguiendo con su unión, la luz LED de color blanco, el cual ocupa la mayor parte del espectro visible y con un mayor ancho de banda. Así, en 2008 la aparición de enlaces OWC con velocidades que alcanzan los 10 Gigabits por segundo y en 2009 el estándar IEEE 802.15.7 para las VLC (Ocaña, 2015).

En 1995 se desarrolló el control remoto inalámbrico de televisión, Flash-Matic Tuning. Sistema que estaba compuesto por un solo botón, el cual solo permitía prender, apagar o cambiar de canal, esto gracias a las células fotoeléctricas que estaban situadas en cada esquina de la pantalla del televisor. Un año más tarde este sistema fue remplazado por LED infrarrojos, desde entonces el control remoto IR sigue siendo muy común (Ocaña, 2015).

En 2001, en Praga se desplegó un nuevo sistema de acceso, Reasonable Optical Near Joint Access (RONJA), tecnología que es controlada por el usuario de enlace de datos ópticos punto a punto de manera inalámbrica. Este enlace tiene un rango de 1,4 kilómetros, una tasa de datos estable y full dúplex de 10 megabits por segundo.

En 2006 los investigadores de Center for information and Communications Technology Research penstate (CCTR), proponen una comunicación por línea de potencia (PLC) y luz blanca del LED para proporcionar acceso de banda ancha a aplicaciones de interiores (Sklavos, Hubner, Goehringer, & Kitsos, 2013).

En 2010, un equipo de Siemens y el instituto Fraunhofer de telecomunicaciones demostraron una transmisión de datos a 500 Megabits por segundo con un LED de luz blanca una distancia de cinco metros, y a distancias más largas utilizando 5 LED pudieron alcanzar una velocidad de 100 Megabits por segundo (Sklavos, Hubner, Goehringer, & Kitsos, 2013).

El científico de la Universidad de Edimburgo Harald Haas es quien da la idea para empezar a trabajar con el espectro de luz visible, además de acceder a internet de manera inalámbrica por medio de un bombillo LED, llamando a esta tecnología “Light-Fidelity” (LI-FI) (Peñañiel, 2015).

En 2007 Harald Haas enfocándose en los LED con espectro de luz visible comienza a enviar información a través de estos dispositivos utilizando las características que brinda esta nueva tecnología VLC. Haas envía información dentro de la luz visible, modulando, codificando la información y enviando de manera muy rápida 100 millones por ciclo, es decir a una frecuencia de 100 MHz (Peñañiel, 2015).

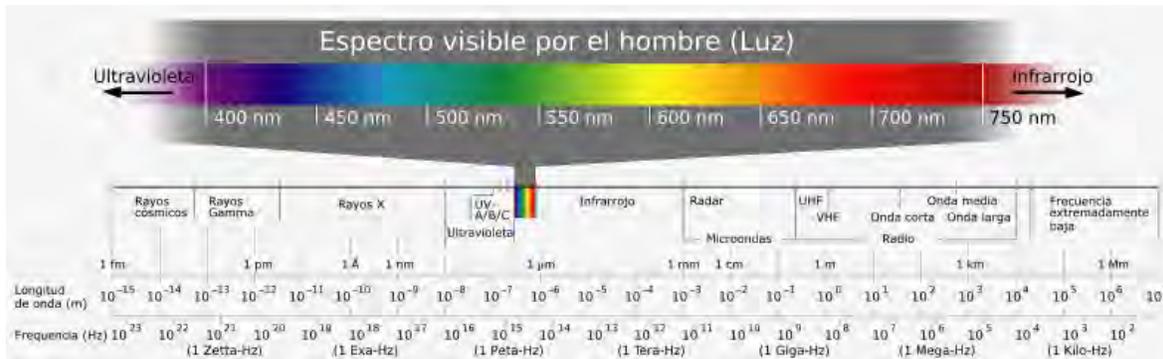
En el año 2011 el profesor Harald Haas dio la aparición por primera vez del término “LI-FI” en la conferencia de Technology, Entertainment, Design (TED) sobre la comunicación por luz visible. Se consideró el LI-FI como un sistema de comunicación inalámbrico equivalente al WI-FI. Haas expone su trabajo y demuestra cómo se puede obtener acceso a internet a través de un bombillo LED y ver un video en alta definición y al mismo tiempo el bombillo LED sirve como iluminación (Peñañiel, 2015).

Harald Haas profesor de la Universidad de Edimburgo en una entrevista que sostuvo con en el diario norteamericano “New York Times” dijo “Él utilizó una lámpara de mesa con una bombilla LED para transmitir un video de florecimiento de las flores que luego se proyectaron a una pantalla detrás de él. El prototipo se puede construir económicamente ya que utilizan partes que cuestan unos pocos dólares, y no hay ninguna antena (Combariza, Vargas, & Acosta, 2015).”

En 2012 Harald Haas junto a la empresa Spin-Off de la Universidad de Edimburgo, lanzaron su primer sistema LI-FI al mercado llamado “Li-1st”, el cual llega a alcanzar la velocidad de transferencia de datos de 10 Gigabits por segundo (Combariza, Vargas, & Acosta, 2015).

## 2.2 ¿QUÉ ES VLC?

VLC se refiere a la comunicación de datos en el rango visible del espectro electromagnético. Este rango va desde los 400 a 700 nm de longitud de onda o espectro visible. VLC surgió en el 2003 cuando un grupo de personas de la Universidad de Keio, en Japón, en los laboratorios Nakawa comenzó a experimentar con los LED con el fin de poder lograr la transmisión de datos a través de la luz visible (Sklavos, Hubner, Goehringer, & Kitsos, 2013).



*Ilustración 3: Espectro de Luz Visible.*

Es la transmisión de datos a través del espectro de luz visible el cual utiliza el espectro de frecuencias de 400 – 800 THz. Gracias a la tecnología LED que ha empezado a reemplazar los bombillos comunes y gracias a su capacidad de conmutación de este, ha permitido además de iluminar diferentes áreas, poder transmitir datos a través del LED, prendiendo y apagándose a una velocidad que es imperceptible para el ojo humano el cual aparenta un encendido constante (Peñafiel, 2015).

En un principio se intentó transmitir datos con luz incandescente y con lámparas fluorescentes. Pero este no era viable debido a que las lámparas no podían ser encendida y apagada varias veces en un segundo y a una velocidad muy rápida, por lo consecuente las terminaba dañando o quemándolas. Si se lograra poder transmitir datos con estas lámparas serían ineficaces ya que la velocidad de transferencia sería demasiado baja (Sklavos, Hubner, Goehringer, & Kitsos, 2013).

Algunas de las aplicaciones que aprovechan esta tecnología VLC son:

- Comunicación entre vehículos.
- En los exteriores con los semáforos inteligentes.
- LI-FI.

### 2.2.1 CARACTERÍSTICAS

Una vez ya conocido los antecedentes de VLC pasaremos a la explicación de algunas características principales y concluir con algunas ventajas y desventajas de la misma (Kang, IEEE 802.15.7. Regulation Document Configuration, 2009):

- **Visibilidad:** VLC transmite datos a través de la luz visible, y al mismo tiempo realiza la función de iluminar algún área.
- **Espectro no regulado:** en el espectro de comunicación existen 2 tipos distintos de licencia, la concesión de licencias de radio difusión y la concesión de licencia celular.

En todo el espectro hay un rango de frecuencias el cual no necesita licencia, Industrial, Científica y Médica (ICM). VLC pertenece a esta rango (370 – 870 THz) por lo tanto no necesita el uso de licencia (Kang, IEEE 802.15.7. Regulation Document Configuration, 2009).

- **Seguridad humana:** debido a la transmisión a través de la luz se pueden encontrar problemas de seguridad, ya que la modulación PHY puede hacer que la luz LED parpadee lo cual puede tener efectos nocivo para el ojo humano e incluso animales (Lorenzo, 2016).

Los parpadeos de la luz pueden causar molestias en la salud del observador, por ejemplo, molestias visuales, fatiga visual, dolor de cabeza, disminución en el rendimiento de las tareas mentales como comprensión lectora, etc.

El destello de la luz da impresión de inestabilidad visual inducida por un estímulo de la luz cuya distribución espectral fluctuara con el tiempo. Critical Fusion Frequency (CFF), o umbral de fusión de parpadeo es la frecuencia en la que un estímulo de luz intermitente parece ser completamente estable para el observador (Lorenzo, 2016).

Los sistemas VLC deben cumplir algunas normas, el cual la frecuencia de modulación tiene que ser a una velocidad establecida superando el umbral CFF para que estas sean aprobadas, así evitando algún daño a la salud.

Estas normas son las que regulan la frecuencia de modulación de la luz para este tipo de sistema (Kang, IEEE 802.15.7. Regulation Document Configuration, 2009):

- IEC 1000-3-3/ EN 61000-3-3: compatibilidad electromagnética. Parte 3-Limites-Sección 3: limitación de fluctuaciones de voltajes y parpadeo en redes de suministro de energía de bajo voltaje para equipos con corriente de entrada menor a 16 A (Kang, IEEE 802.15.7. Regulation Document Configuration, 2009).
- IEC 1000-3-3/ EN 61000-3-3: compatibilidad electromagnética. Parte 3-Limites-Sección 3: limitación de fluctuaciones de voltajes y parpadeo en redes de suministro de energía de bajo voltaje para equipos con corriente de entrada menor a 16 A (Kang, IEEE 802.15.7. Regulation Document Configuration, 2009).

La comunicación por luz visible no son nocivos a la salud, ya que como mencionamos anteriormente, estas cumplen un cierto requisito para que no haya algún daño en la salud (Kang, IEEE 802.15.7. Regulation Document Configuration, 2009).

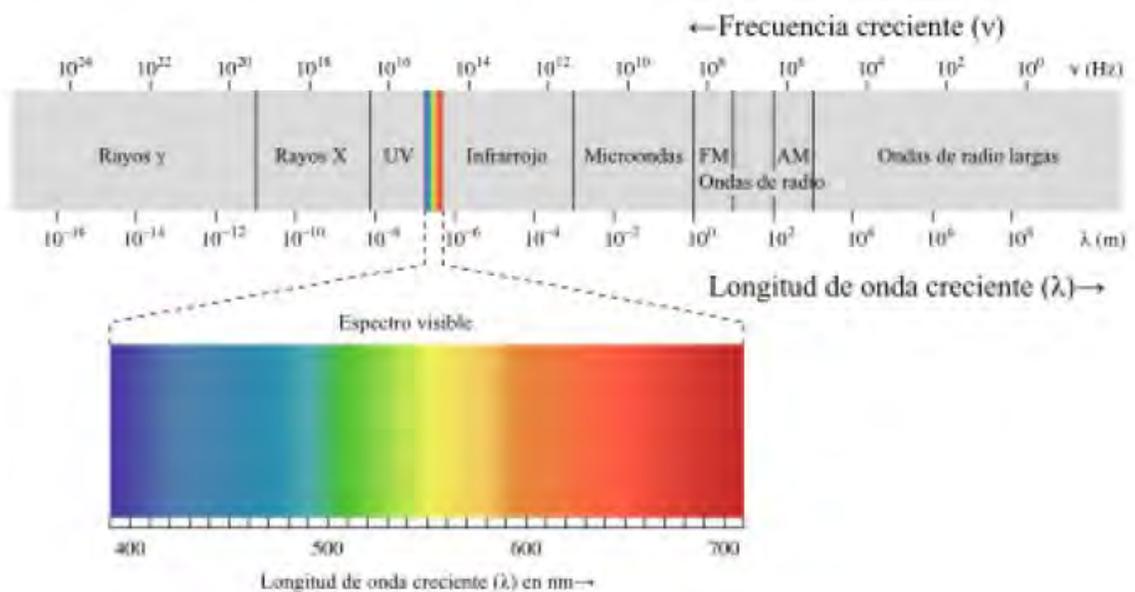
La potencia del rango del espectro visible más cercano a la radiación láser infrarrojo 8400-1400 nm penetrara en el globo ocular y puede producir desprendimiento de la retina (Kang, IEEE 802.15.7. Regulation Document Configuration, 2009).

Las normas relacionadas de con este sistema se encuentran en:

- IEC 60825: Seguridad del láser.
- ANSI Z136: Normas de seguridad del láser.
- EN 207: Norma europea para la protección de seguridad con el láser (Kang, IEEE 802.15.7. Regulation Document Configuration, 2009).
- **Uso en áreas restringidas:** En algunos lugares la comunicación por Radio Frecuencia (RF) está prohibido sus uso, en lugares como aviones u hospitales

no está permitido utilizarse ya que podría causar alguna interferencia y crear inestabilidad con algún aparato electrónico vital. Con la tecnología VLC este tipo de escenarios se le podría sacar provecho al no causar interferencia alguna (Lorenzo, 2016).

- **Alta tasa de datos:** debido a que VLC es una tecnología de tipo óptica, las velocidades que ésta alcanza tiene un gran tasa de transferencia de datos, el cual alcanza lo gigabits por segundo (Barriga & De Los, 2014).
- **Ancho de banda:** la tecnología VLC abarca el rango en el espectro de luz de 400 a 800 THz por lo consecuente es 10,000 veces mayor a la tecnología por RF (Lorenzo, 2016).



*Ilustración 4: Espectro radioeléctrico.*

- **Naturaleza ubicua:** debido a que en la mayor parte del mundo es utilizado la luz como medio de iluminación para algún área en específico, ya contamos con la infraestructura de luz; por consecuente, no se empezaría de cero. Con la tecnología LED que hoy en día está siendo utilizada cada vez con mayor frecuencia, se incorporaría en los sistemas luminarios a nivel mundial realizando funciones en un solo bombillo LED, la de iluminar y transmitir datos al mismo tiempo.

Nos referimos a ubicuo porque está presente en todas partes al mismo tiempo (Odeh, Hamad, & Afaneh, 2015).

- **Seguridad:** los datos son transmitidos por medio de la luz y no por ondas electromagnéticas, debido a esto la interceptación de la señal como la interrupción de la misma es casi imposible. Esto debido a que la luz no puede atravesar muros o techos como las ondas de radio frecuencia. Nadie que esté en una habitación diferente o afuera donde se esté realizando el intercambio de información puede acceder a los datos. VLC implica comunicación directa, si algún objeto interfiere en su camino de la señal esta será interrumpida, pero debido a que es comunicación con visibilidad directa la velocidad de transferencia de datos es mucho mayor y segura (Lorenzo, 2016).

### 2.2.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

Una de las principales ventajas es que no se satura ya que este utiliza el espectro visible el cual es de mayor capacidad (400 – 800 THz). La información viaja a través de la luz, por lo que se puede manipular el haz de luz, ya sea ampliando el haz de luz para proporcionar una cobertura más amplia o haciéndolo más chico iluminando zonas más pequeñas, para poder transmitir información de manera más concreta y segura (Bharti, Merits and Demerits of VLC) .

Debido a que la luz no puede pasar muros u objetos, la comunicación de la luz en el trasmisor y receptor es de forma directa, al interponerse algún objeto u obstáculo entre transmisor y receptor interrumpiría la comunicación. El alcance de transmisión de esta tecnología es corto o reducido, y para aumentar la distancia de transmisión es necesario aumentar la potencia de la luz (Bharti, Merits and Demerits of VLC).

VENTAJAS	DESVENTAJAS
No es nocivo para el cuerpo humano.	Absorción atmosférica.
Transmisión de datos por tramas de luz existentes.	Dispersión del haz de luz.
Alivio de los problemas asociados con los sistemas radio de comunicación.	Ruidos de interferencias de otras fuentes tienen que ser filtrados.

Menor consumo energético.	No hay comunicación si no hay visibilidad directa.
Incremento de la seguridad.	Sólo espectro discreto disponible como fuente de luz y sensor.
Integración compacta en sensores de pequeñas dimensiones.	Interferencia de fuentes de luz de fondo.
Electrónica simple como el controlador del LED.	Desvanecimiento de la señal.
No tiene influencia sobre otros equipos sencillos de ondas de radio.	
Gran número de canales sin interferir con otras fuentes.	

*Tabla 1: Ventajas y desventajas de VLC.*

Al no estar en el mismo rango de frecuencia que las ondas electromagnéticas, no causará interferencia con los equipos que se comuniquen por medio de ondas de radio (Sklavos, Hubner, Goehringer, & Kitsos, 2013).

VLC sufre desvanecimiento y atenuación atmosférica por lo que limita las aplicaciones de alta velocidad de datos a enlaces de comunicación de corta distancia. Pero se puede utilizar para la transmisión de datos con grandes volúmenes de información entre equipos o dispositivos multimedia. Ejemplo, para enviar alguna información de un dispositivo móvil a un televisor u a otro dispositivo, se le apuntaría desde el dispositivo móvil al receptor y en unos segundos la información se transferiría hacia el otro dispositivo (Sklavos, Hubner, Goehringer, & Kitsos, 2013).

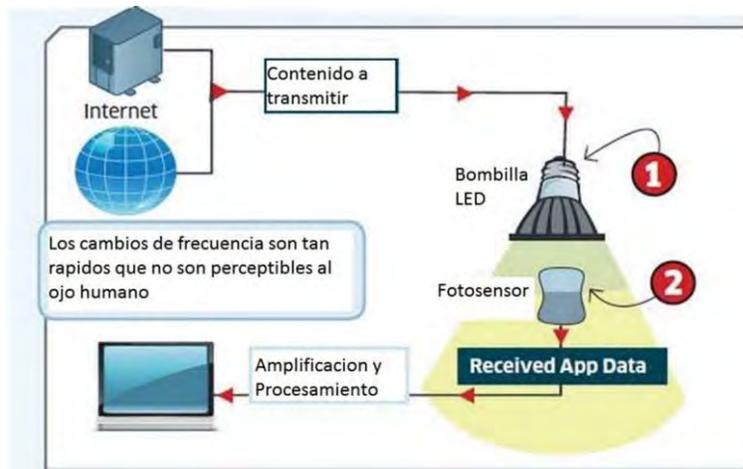
### 2.3 ¿QUE ES LIFI?

Es una tecnología de comunicación inalámbrica que utiliza el espectro de la luz visible como medio de transmisión de datos. Es un sistema de comunicación inalámbrica que utiliza las bases de VLC para transmitir datos a través de la luz con ayuda de un LED y proporcionar acceso a internet, modulando la intensidad de la luz y así poder emitir los bits de datos en señales inalámbricas hasta llegar a un receptor, el cual es un sensor fotosensible que realiza lo contrario al transmisor para poder ver la información que este está mandando, ya sea música, video, voz, etc (Ocaña, 2015).

Cuando se le aplica una corriente constante a una bombilla de luz LED, un flujo de fotones constantes son emitidos de manera el cual podemos observar como luz visible. Si la corriente es variada, la intensidad de salida de la luz se atenúa, esto debido a que las bombillas LED son componentes semiconductores, por consiguiente la corriente puede ser modulada a velocidades extremadamente altas, el cual puede ser detectado por dispositivos fotodetectores y de nuevo convertidas a la corriente eléctrica (Rani, Chauhan, & Tripathi, 2012).

La tecnología LI-FI aprovecha una de las propiedades que tienen los LED, los cuales al ser modulados pueden encenderse y apagarse a una velocidad muy rápida, que no lo notaría el ojo humano, al realizar esto estaría interpretando código binario para transmitir datos. Esta tecnología trabaja en el espectro de luz el cual es mucho mayor al espectro de RF, el cual se utiliza en las comunicaciones inalámbricas actuales. LI-FI puede transmitir datos hasta 10,000 veces más rápido que las ondas de radio (Combariza, Vargas, & Acosta, 2015).

Si el LED está encendido, está transmitiendo un 1 digital, si está apagado está transmitiendo un 0 digital. Pueden ser activados y desactivados rápidamente por lo consiguiente es una buena oportunidad para transmitir datos (Lorenzo, 2016).



*Ilustración 5: Funcionamiento de Li-Fi.*

Su velocidad de transmisión tiene directa relación con el color de las luces LED, ya que mientras más alejado del blanco cálido, más rápida es la transmisión de los datos debido a que utiliza un mayor espectro de frecuencia (Aravena, 2013).

Como hemos mencionado anteriormente LI-FI es una versión de WI-FI rápida y barata basada en la tecnología VLC.

Los principales componentes de este sistema de comunicación son:

- LED con alto brillo que realiza la tarea de transmisor.
- Un Fotodiodo el cual cumple con la tarea del receptor de datos (Lorenzo, 2016).

El LED se enciende y se apaga para generar números binarios, unos y ceros mediante la modulación de la luz, la iluminación del LED se puede utilizar como fuente de transmisión de datos y al mismo tiempo como fuente de iluminación, esto debido a que la tasa de parpadeo es tan alta que el ojo humano tiene la percepción de una salida constante, es decir como si el LED estuviera prendido todo el tiempo (Lorenzo, 2016).

Es posible codificar los datos a la luz variando la velocidad a que los LED se encienden y se pagan para dar diferentes cadenas de unos y ceros. La universidad de Oxford y la Universidad de Edimburgo realizan la transmisión de datos de forma paralela, es decir, utilizando una matriz de LED, donde cada LED trasmite un flujo

de datos diferentes. Otro grupo utiliza la combinación de colores (rojo, verde, azul) para alterar la frecuencia de la luz que codifica datos diferentes (Rani, Chauhan, & Tripathi, 2012).

Investigadores del instituto de Heinrich Hertz, en Berlín, Alemania, ha alcanzado tasas de más de 500 megabits por segundo utilizando un estándar de luz blanca. Con un par de smartphone de la marca CASIO, se consiguió el intercambio de datos a través de la variación de la intensidad de la luz de sus pantallas, a una distancia de hasta 10 metros (Lorenzo, 2016).

LI-FI es una tecnología la cual podría utilizarse como complemento del WI-FI, mas no la sustitución de este. Gracias a la tecnología LED, las características de la misma, y que utilizan el espectro de luz visible, se puede transmitir datos de una manera rápida y muy efectiva (Peñañiel, 2015).

Esta tecnología trabajaría con un Router conectado a la red el cual este enviando datos a una bombilla LED, y de la misma manera un receptor, el cual recibirá los datos que fueron enviados por el LED y procesar esa información. Sería muy buena idea tener como punto de acceso a internet una lámpara LED, lo cual sería muy impresionante ya que pudiéramos obtener información de una manera mucho más rápida y sin dividir el ancho de banda a diferencia del espectro de RF (Peñañiel, 2015).

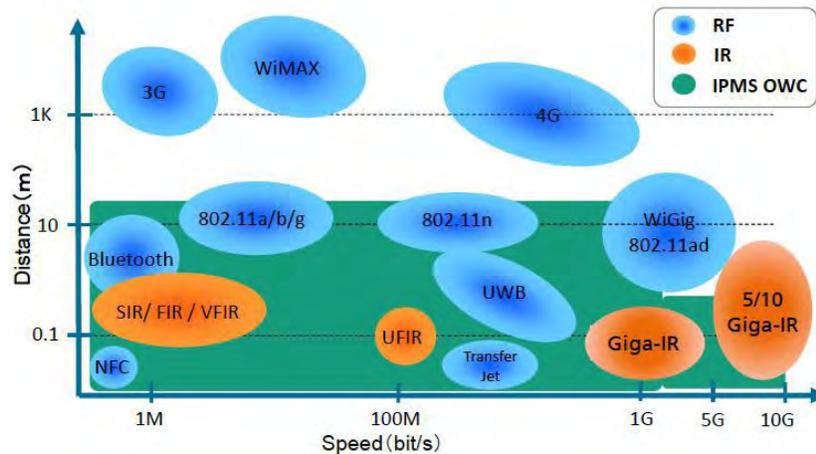


*Ilustración 6: Transmisión de datos por medio de luz.*

### 2.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LI-FI

**Capacidad de trasmisión:** el ancho de banda de la tecnología LI-FI es 10,000 veces más grande en comparación con el ancho de banda de las ondas de WI-FI (Ocaña, 2015).

El espectro de frecuencias no está regulado, por lo que no cuenta con regulación nacional o internacional, teniendo un acceso libre tanto para particulares como para compañías (Ocaña, 2015).



*Ilustración 7: Comparación de los sistemas IR, RF y OWC según la distancia y la velocidad.*

**Rendimiento de los sistemas:** la tecnología LI-FI al ser nueva, la implementación posee un bajo coste. Cualquier sistema emisor de luz que cuente con una fuente óptica con tecnología LED puede ser convertido a un sistema transmisor LI-FI (Ocaña, 2015).

La tecnología LED es un sistema muy eficiente, ya que no requiere de mucho consumo energético, por lo que utilizando la tecnología LI-FI para una transmisión de datos requeriría de un insignificante aumento de potencia en un transmisor LI-FI (Ocaña, 2015).

**Seguridad y fiabilidad:** la tecnología LI-FI es considerado una de las más seguras en comunicaciones inalámbricas debido a su corto alcance de transmisión y poca penetración de obstáculos, debido a esto resultan bastante seguras de cualquier

intrusión. Gracias a su corto alcance de transmisión es inmune ante otros sistemas LI-FI que se encuentren en la misma habitación (Ocaña, 2015).

El corto alcance que posee no solo proporciona ventajas, la presencia de algún obstáculo lo suficientemente grande entre transmisor y receptor puede interrumpir la transmisión de datos, de la misma forma podría ser interrumpida por alguna interferencia de la luz del medio ambiente o por la iluminación fluorescente (Ocaña, 2015).

Las comunicaciones con tecnología LI-FI no se ven afectadas por interferencias de radiofrecuencias o radiaciones EMI (Electromagnetic Interference) como en el caso del WI-FI, de la misma manera este no provoca interferencias debido a que no trabaja con radiofrecuencias si no con la luz, por ende estos sistemas son aptos para la implementación en lugares donde comunicación por radio frecuencia no está permitida (Ocaña, 2015).

En la siguiente tabla que se muestra continuación podemos apreciar algunas de las principales ventajas y desventajas de esta tecnología en comparación con la tecnología WI-FI (Ocaña, 2015).

Programación.	Sistemas Li-Fi.	Sistemas Wi-Fi.
Tasa de datos	Hasta 10 Gbps.	Hasta 7 Gbps (802.11ad).
Regulación del ancho de banda.	No.	Si.
Alcance.	Menor.	Mayor.
Atravesar paredes.	No.	Si.
Ruido dominante.	Luz ambiental.	Otras señales electromagnéticas.
Coste.	Menor.	Mayor.
Consumo.	Menor.	Mayor.
Seguridad.	Mayor.	Menor.

Madurez de la tecnología.	Menor.	Mayor.
---------------------------	--------	--------

*Tabla 2: Tabla comparativa entre Li-Fi y Wi-Fi.*

**Capacidad** (Combariza, Vargas, & Acosta, 2015):

- **Ancho de banda:** 10,000 veces más rápido que el espectro de Radio Frecuencia (RF), no necesita licencia y su uso es libre.
- **Densidad de datos:** Debido a que la luz visible está contenida en un área de iluminación, puede alcanzar 1,000 veces la densidad de datos del WI-FI, ya que las radiofrecuencias tienden a extenderse demasiado y causar interferencia.
- **Alta velocidad:** la alta velocidad de datos es alcanzada debido a la poca interferencia, ancho de banda muy elevado y salida óptica de alta intensidad.
- **Planificación:** la planificación es más sencilla, debido que esta tecnología no tiene que empezar de cero con la infraestructura, debido a que éste utiliza las infraestructuras de iluminación que ya están establecida en la mayor parte del mundo (Combariza, Vargas, & Acosta, 2015).

**Eficiencia** (Combariza, Vargas, & Acosta, 2015):

- **Bajo costo:** Debido a que no requiere muchos componentes a comparación de otras tecnologías, el presupuesto para construir esta tecnología es bajo.
- **Energía:** Para la transmisión de datos, la iluminación con LED requiere de energía adicional muy insignificante.
- **Medio ambiente:** La transmisión de radio frecuencias y la propagación en el agua son muy difíciles, pero la tecnología LI-FI funciona bastante bien en este entorno (Combariza, Vargas, & Acosta, 2015).

**Seguridad:**

- **Seguro:** Los LED de la tecnología LI-FI son puesto a pruebas para poder pasar obligatoriamente unas normas de seguridad, por lo que no presenta

problemas de salud para el uso de esta tecnología (Combariza, Vargas, & Acosta, 2015).

- **No es peligroso:** La transmisión de la luz evita el uso de frecuencias de radio, los cuales pueden interferir de una manera peligrosa con circuitos electrónicos en ciertos ambientes (Combariza, Vargas, & Acosta, 2015).
- **Contención:** La señal LI-FI es limitada en un área definida y pequeña y además no viaja a través de las paredes, por ende es mucho más difícil que un intruso intercepte la señal de datos (Combariza, Vargas, & Acosta, 2015).
- **Control:** La transmisión de datos es de una manera directa, así es más fácil dirigir los datos de un dispositivo a otro y saber dónde se están yendo los datos transmitidos (Combariza, Vargas, & Acosta, 2015).

LI-FI, a pesar que es una tecnología de nueva aparición en las telecomunicaciones, posee las suficientes características y propiedades para ser totalmente compatibles con las tecnologías ya existentes como el WI-FI (Combariza, Vargas, & Acosta, 2015).

### 2.3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

**Ventajas** (Aravena, 2013):

- Velocidades de transmisión de datos desde los 15 megabits por segundo hasta los 10 gigabits por segundo.
- No es vulnerable a interferencias por radio frecuencias.
- El ancho de banda no se divide, independientemente de los usuarios que lo estén ocupando.
- Métodos de conexión simple, como mediante infrarrojos.
- La comunicación por luz puede atravesar medios aislantes de las radiofrecuencias, como son el agua, la ionosfera, aeronaves, etc.
- Pueden utilizarse en lugares restringidos, donde las ondas de radio no están permitidas, por la razón de que las ondas de radio interfieren con otros equipos de señales.

- Al no atravesar las paredes resulta más seguro que la tecnología WI-FI de ya que es más difícil la interceptación de datos.
- Al utilizar una bombilla LED podemos dar uso a la dualidad, es decir mientras se ilumina un área con la bombilla, de la misma forma recibes internet a través de ésta. Con la misma energía y el mismo producto se puede disfrutar de dos funciones diferentes (Aravena, 2013).

**Desventajas (Aravena, 2013):**

- La luz no puede atravesar objetos muy densos, como son los muros.
- La distancia máxima de transmisión no supera los 10 metros.
- La transmisión de datos por medio de la luz al no poder viajar a través de los muros, no puede utilizarse fuera de la habitación donde esta tecnología este instalada, pero también es más seguro ya que no comparte información con otros usuarios.
- La luz del medio ambiente o fluorescente puede causar interferencia y pérdida de datos o señal.
- Debido a que no puede atravesar objetos, si algún objeto interfiere entre emisor y receptor, se interrumpirá la transmisión de datos ya que las ondas de luz visible no traspasan objetos a diferencia de las ondas de radio frecuencia (Aravena, 2013).

## 2.4 APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA LI-FI.

Gracias a la tecnología LED que hoy en día está reemplazando los distintos tipos de dispositivos de iluminación tradicional, se da la oportunidad de incorporar esta tecnología a su infraestructura de iluminación. LI-FI es especialmente adecuado para muchas aplicaciones de internet que requieren mucho consumo de ancho de banda, tales como; descarga de archivos multimedia, videoconferencias, etc. (Rani, Chauhan, & Tripathi, 2012)

Algunas aplicaciones principales para la tecnología LI-FI son las siguientes (Lorenzo, 2016):

- **Alivio del espectro de radiofrecuencia:** El exceso de demanda de capacidad de las redes celulares pueden ser cedidas a las redes LI-FI.
- **Iluminación inteligente:** Toda iluminación pública o privada, se puede utilizar para proporcionar puntos de acceso LI-FI, y esas mismas estructuras pueden ser utilizadas para monitorear y controlar la iluminación y datos.
- **Conectividad móvil:** Dispositivos portátiles, teléfonos inteligentes, tabletas y otros dispositivos móviles se pueden interconectar a través de LI-FI. Gracias a que son enlaces de corto alcance, proporcionan velocidades muy altas además de seguridad.
- **Entornos peligrosos:** LI-FI ofrece una alternativa segura ante la interferencia de comunicaciones por radiofrecuencia en entornos tales como; minas y plantas petroquímicas.
- **Hospitales y salud:** Ya que la comunicación LI-FI no emite ondas electromagnéticas, no interfieren con los distintos dispositivos e instrumentos médicos, así como en escáner de resonancia magnética.
- **Aviación:** LI-FI se puede utilizar en los aviones, sustituyendo el cableado, lo que reducirá el peso y añadiría la flexibilidad en distintos diseños, ya sea en los asientos de las cabinas donde las luces LED ya están incorporadas.
- **Comunicaciones submarinas:** Debido a la fuerte absorción de la señal de radio frecuencia en el agua, el uso de estas es poco práctico. Por lo consiguiente LI-FI ofrece la solución para la comunicación de corto alcance.

- **Vehículos y transporte:** Con el avance de la tecnología LI-FI y los LED, se han estado instalando LED en los faros y luces traseras de los vehículos, así como en algunos semáforos. Este se puede utilizar para la comunicación de vehículo a vehículo y de vehículo a carretera. Esto con el fin de obtener una mejor seguridad vial y una buena gestión del tráfico.
- **Servicios basados en localización (LBS):** Los servicios de información específicos de localización de alta precisión, así como la publicidad y la navegación, que permite al receptor recibir apropiadamente la información en el momento y lugar preciso.
- **Juguetes:** Las luces LED podrían ser incorporados en diversos juguetes, los cuales tendrían una interacción al comunicarse con otros (Lorenzo, 2016).

## **2.5 ACERCA DEL ESTÁNDAR 802.15.**

Los estándares de redes inalámbricas como 802.11 y Worldwide Interoperability for Microwave Access (WI-MAX) están centrados en la comunicación de computadoras a computadoras o hacia el Internet Service Provider (ISP) en lo que se conoce como Wireless Metropolitan Area Network (WMAN), pero existen aplicaciones que no necesitan de una cobertura tan amplia como por ejemplo conectar un teléfono móvil a algún otro dispositivo, etc (Lorenzo, 2016).

Las Redes de Área Personal (PAN) surgieron para este tipo de coberturas, las cuales alcanzan un rango de hasta 10 metros para interconectar algún dispositivo (Lorenzo, 2016).

El IEEE 802.15 (Institute Electrical and Electronics Engineers) es un grupo especializado en Wireless Personal Area Network (WPAN), es decir redes inalámbricas de área personal. Este grupo se divide en 10 subgrupos, en el cual entre ellos se encuentra la tecnología VLC (Lorenzo, 2016).

### **2.5.1 IEEE 802.15.7.**

La norma 802.15 está centrada en redes con una cobertura de corta distancia como por ejemplo el Bluetooth, el cual tiene como objetivo la comunicación e interoperación de distintos dispositivos portátiles, por ejemplo, laptops, PDAs (Personal Digital Assistant), smartphones, etc (Lorenzo, 2016).

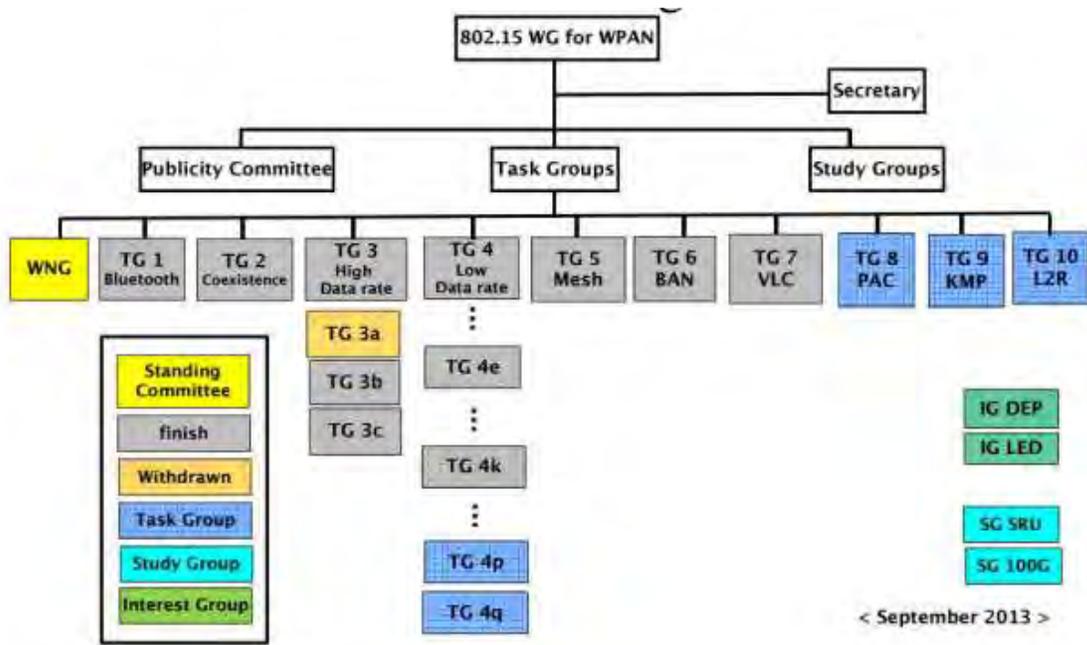


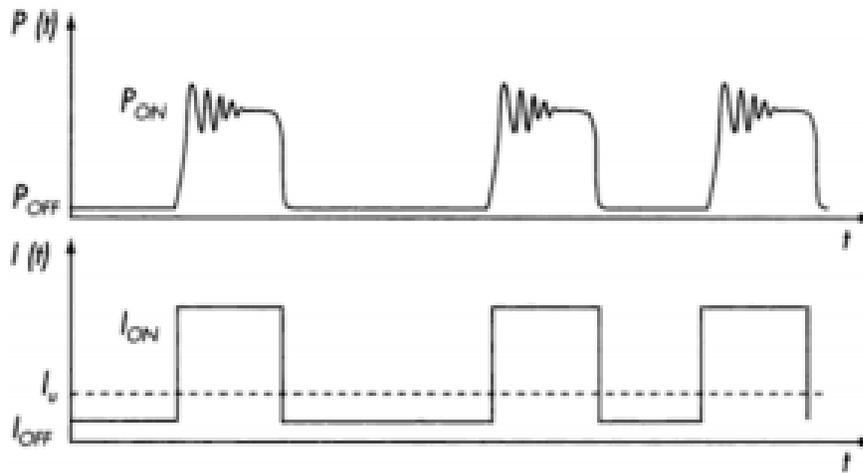
Ilustración 8: Organización estándar 802.15.

El estándar IEEE 802.15.7 es un protocolo que es utilizado para comunicación inalámbrica mediante la luz, este tiene dos características fundamentales el cual tiene una velocidad de datos que es capaz de soportar audio, video y multimedia (Lorenzo, 2016).

- **La capa de acceso al medio (MAC);** la capa de acceso al medio proporciona mecanismo de direccionamiento y control de acceso al canal que lo hace posible para varios terminales y dispositivos. Este canal puede proporcionar servicios unicast, multicast o broadcast (Lorenzo, 2016).
- **La capa física (PHY);** el estándar IEEE 802.15.7 proporciona tres tipos de capa física diferentes, cada una con sus respectivas características. PHY I, PHY II y PHY III (Lorenzo, 2016).

Generalmente la capas PHY I y PHY II utilizan la transmisión SISO (Single-Input and Single-Output), es decir, una única entrada y una única salida, con una solo fuente de iluminación y que normalmente utiliza modulación OOK (On-Off Keying) es decir Encendido y Apagado o VPPM (Variable Pulse Position Modulation)

también llamado Modulación de Posición de Pulso Variable (Rajagopal, Roberts, & Lim, 2012).



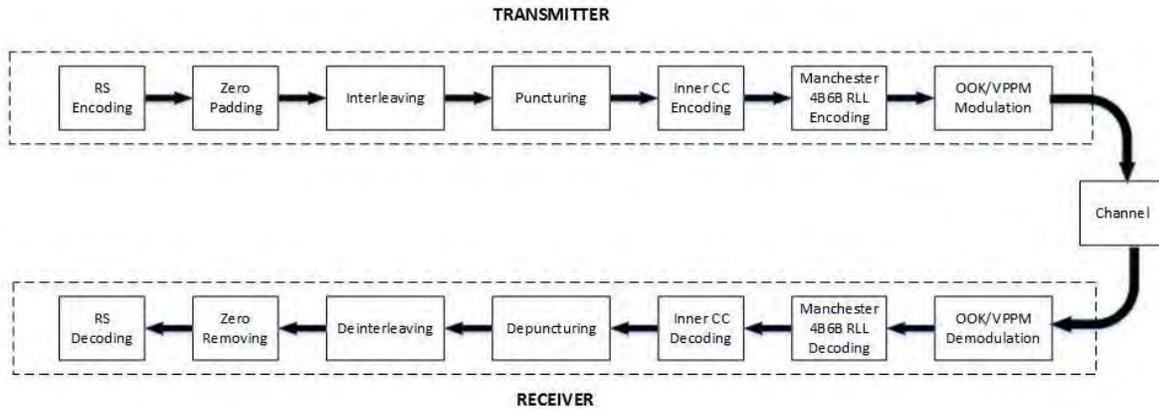
*Ilustración 9: Modulación OOK.*

La capa PHY III utiliza una comunicación MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), es decir, múltiples entradas y múltiples salidas, por lo que es capaz de soportar múltiples fuentes ópticas, generalmente utilizando modulación CSK (Color-Shift Keying) es decir, modulación por Desplazamiento de Color (Rajagopal, Roberts, & Lim, 2012).

### **2.5.2 MODELO PHY I**

El modelo se utiliza en entornos exteriores donde no es necesario una velocidad muy elevada, hablando a las decenas de kilobits por segundo en un rango desde los 11,67 a 267,6 kb/s (Rajagopal, Roberts, & Lim, 2012).

En el siguiente esquema podemos observar el diagrama de bloques del transmisor y receptor del PHY I del estándar IEEE 802.15.7 (Rajagopal, Roberts, & Lim, 2012).



*Ilustración 10: Transmisor y receptor PHY I.*

Los bits de entrada son codificados mediante el codificador Reed-Solomon (RS), el código reed solomon es un código corrector de errores basado en bloques en donde el codificador procesa un bloque de símbolo de datos, a los que agrega redundancia para producir un bloque de símbolos codificados. Lo que hace es codificar  $K$  símbolos que son palabras de código a mensajes obteniendo como consecuencia  $n$  símbolos cada una, para posteriormente realizar un relleno de ceros utilizando Padding, teniendo como resultado un intercalador, los mismos que pasan por un codificador convolucional. Tras este bloque pasa por un codificador RLL, aplicando la codificación Manchester o 4B6B, obteniendo a la salida un símbolo formado por 2, 4, o 6 bits. Finalmente pasa por el modulador OOK o VPPM y se envía por el canal con una sola fuente emisora de luz (Por ser un sistema SISO) (Rajagopal, Roberts, & Lim, 2012).

En el caso del receptor, la información pasa por el canal y para recuperar la información se utiliza un detector de umbral, tras esto se realiza el proceso inverso que se realizó en el transmisor. Esta información es demodulada por OOK o VPPM dependiendo la técnica que se utilizó en la modulación, después pasa por un bloque decodificador RLL, luego por un desintercalador, luego se procede a eliminar Padding para finalmente pasar por un decodificador RS para recuperar y obtener la información enviada (Rajagopal, Roberts, & Lim, 2012).

En la siguiente tabla se puede apreciar el proceso descrito anteriormente con diferentes velocidades, modulaciones y cómo se comporta el modelo PHY I.

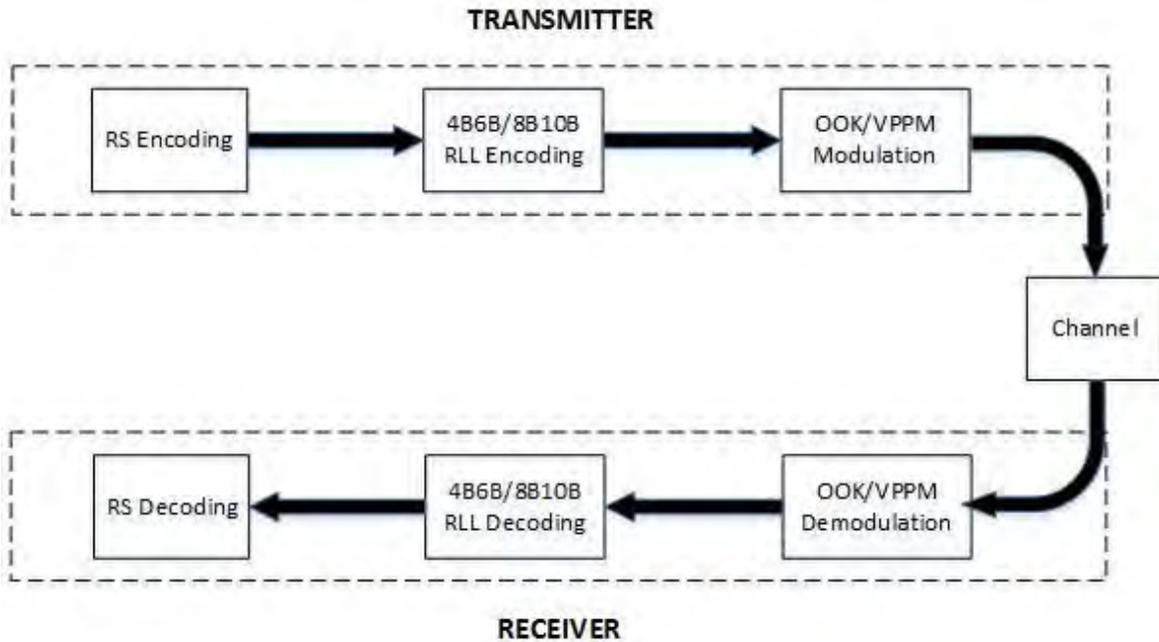
Operating mode.	Data rate.	Modulation.	RLL code.	Optical clock rate.	FEC.	
					Outer code (RS).	Inner code (CC).
PHY I.a	11.67 kb/s	OOK	Manchester.	200 KHz	(15,7)	1/4
PHY I.b	24.44 kb/s				(15,11)	1/3
PHY I.c	48.89 kb/s				(15,11)	2/3
PHY I.d	73.3 kb/s				(15,11)	None.
PHY I.e	100 kb/s				None.	None.
PHY I.f	35.56 kb/s	VPPM	4B6B.	400 kHz	(15,2)	None.
PHY I.g	71.11 kb/s				(15,4)	None.
PHY I.h	124.4 kb/s				(15,7)	None.
PHY I.i	266.6 kb/s				None.	None.

Tabla 3: Comportamiento del modelo PHI I.

### 2.5.3 MODELO PHY II

El modelo PHY II se utiliza en entornos internos donde es requerida una velocidad media, alrededor de las decenas de Megabits por segundo, es decir una velocidad que va desde los 1,25 a 96 Mb/s (Rajagopal, Roberts, & Lim, 2012).

En el siguiente esquema podemos observar el diagrama de bloques del transmisor y receptor del PHY II del estándar IEEE 802.15.7 (Rajagopal, Roberts, & Lim, 2012).



*Ilustración 11: Diagrama de bloques de un Sistema utilizando modelo PHI II Estándar IEEE 802.15.7.*

Los bits de entrada son codificados mediante el codificador Reed-Solomon (RS), la salida pasa por un codificador RLL donde el símbolo estará formado por 2, 4, 6, 8 bits como se desee. Finalmente pasa por el modulador OOK o VPPM y se envía por el canal con una sola fuente emisora de luz (Por ser un sistema SISO) (Rajagopal, Roberts, & Lim, 2012).

Por parte del receptor se demodula dependiendo de la técnica que se utilizó en la modulación a la señal recibida (OOK o VPPM), pasa por los decodificadores RLL Y RS respectivamente para recuperar la información enviada (Rajagopal, Roberts, & Lim, 2012).

En la siguiente tabla se puede apreciar el proceso descrito anteriormente con diferentes velocidades, modulaciones y cómo se comporta el modelo PHY I.

Operating mode.	Date rate.	Modulation.	RLL code.	Optical clock rate.	FEC.
PHY II.a	1.25 Mb/s		4B6B	3.75 Mhz	RS(64,32)

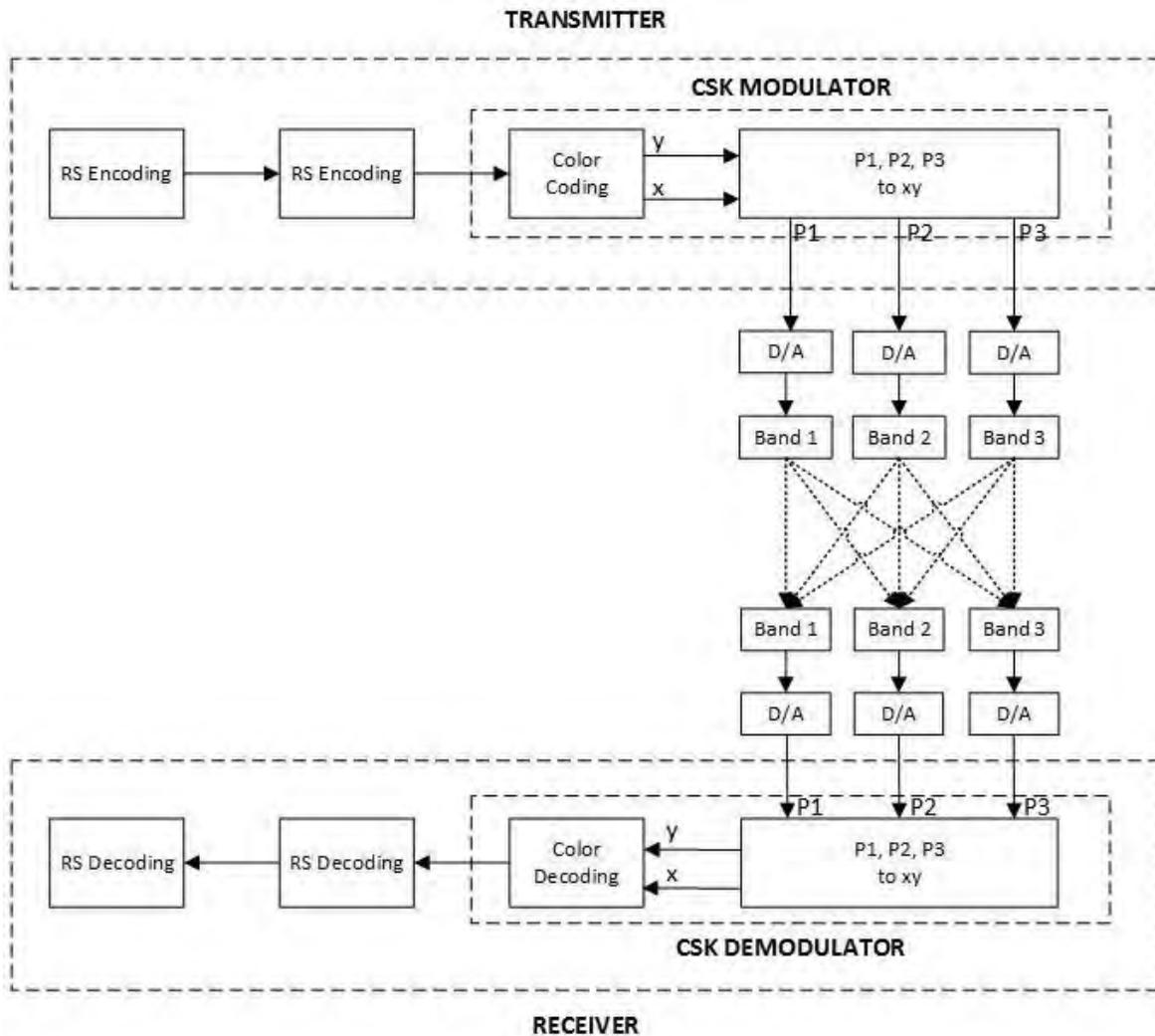
<b>PHY II.b</b>	2 Mb/s	VPPM		7.5 Mhz	RS(160,128)
<b>PHY II.c</b>	2.5 Mb/s				RS(64,32)
<b>PHY II.d</b>	4 Mb/s				RS(160,128)
<b>PHY II.e</b>	Mb/s				None.
<b>PHY II.f</b>	6 Mb/s	OOK	8B10B	15 Mhz	RS(64,32)
<b>PHY II.g</b>	9.6 Mb/s			RS(160,128)	
<b>PHY II.h</b>	12 Mb/s			30 Mhz	RS(64,32)
<b>PHY II.i</b>	19.2 Mb/s			RS(160,128)	
<b>PHY II.j</b>	24 Mb/s			60 Mhz	RS(64,32)
<b>PHY II.k</b>	38.4 Mb/s			RS(160,128)	
<b>PHY II.l</b>	48 Mb/s			120 Mhz	RS(64,32)
<b>PHY II.m</b>	76.8				RS(160,128)
<b>PHY II.n</b>	96 Mb/s				None.

*Tabla 4: Comportamiento del modelo PHI II.*

### 2.5.4 MODELO PHY III

El modelo PHY III opera bajo la una transmisión MIMO, es decir, múltiples entradas y múltiples salidas. Se puede utilizar en aplicaciones con varias fuentes de luz donde enviaran la información a múltiples receptores. Este ofrece velocidades con un rango que va desde los 12 a 96 Mb/s (Rajagopal, Roberts, & Lim, 2012).

En el siguiente esquema podemos observar el diagrama de bloques del transmisor y receptor del PHY III del estándar IEEE 802.15.7.



*Ilustración 12: Transmisor y receptor PHY III.*

La señal de entrada se codifica mediante un bloque de codificación RS, esto para convertir la cadena de bits en tramas más pequeñas y aleatorias, para ser codificado nuevamente por un codificador RS. La diferencia con los otros modelos, es que este utiliza el bloque de modulación CSK (Color-Shift Keying) que es la modulación mediante desplazamiento de color (Rajagopal, Roberts, & Lim, 2012).

El espectro de luz visible se divide en 7 grupos, cada uno de ellos tiene un código específico, teniendo un valor en  $x - y$ . La modulación CSK trabaja con 3 de estos 7 grupos, con los puntos respectivos en  $x - y$ , para poder componer la constelación

formando los vértices del triángulo y así dar lugar a las constelaciones que son necesarias (Rajagopal, Roberts, & Lim, 2012).

Los datos que ingresan para ser modulados primero son analizados en conjuntos de  $\log(M)$ , donde  $M$  representa el tamaño de la modulación. Cada uno de estos valores tiene un posición  $x - y$ , cada 3 valores van formando los vértices del triángulo que son la constelaciones, para luego estos puntos ser pasados a valor RGB (Red, Green, Blue), se normalizan las intensidades de los LED y se envía la información (Rajagopal, Roberts, & Lim, 2012).

En la parte de receptor se realiza el proceso inverso. Se tiene 3 fotodetectores, cada uno detecta un color diferente, ya que tiene 3 longitudes de ondas distintas que da cada color. Las intensidades recibidas son inversamente asignadas a los valores  $x - y$ , con la ayuda de un detector de distancia mínima se corrigen y se determina los símbolos verdaderos de la constelación. Por último, la señal pasa por los 2 codificadores RS y obtiene la información enviada (Rajagopal, Roberts, & Lim, 2012).

## 2.6 COMPONENTES DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN - RECEPCIÓN

### 2.6.1 TRANSMISOR

#### 2.6.1.1 Arduino UNO

Arduino UNO es una placa microcontroladora basada en el ATmega328P. Plataforma abierta y versátil para el desarrollo de productos electrónicos muy enfocada a un público de no expertos. Cuenta con 14 pines entradas y salidas digitales, de los cuales 6 pueden ser utilizados como salidas de Pulse-Width Modulation (PWM). De igual forma 6 entradas analógicas. Tiene una memoria flash de 32 kB.



*Ilustración 13: Tarjeta Arduino UNO.*

<https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>

#### 2.6.1.2 Arduino Wireless SD Shield.

El Wireless SD Shield permite que una placa Arduino se comunique de forma inalámbrica con un módulo inalámbrico Xbee o similar, además de que cuenta con una ranura para tarjeta micro-SD, en el cual podemos grabar alguna información y así poder realizar la comunicación entre ambas tarjetas. Cuando se usa la biblioteca SD para acceder a la tarjeta, el Pin 4 es el Chip Select (CS) y no se puede usar de otra manera.



*Ilustración 14: Tarjeta wireless SD Shield de arduino.*

<https://store.arduino.cc/arduino-wirelss-sd-shield>

### **2.6.1.3 Micro SD**

Una tarjeta micro SD es un tipo de tarjeta de memoria flash, permite la lectura y escritura de múltiples posiciones de memoria en la misma operación, extraíble utilizada para almacenar información. Las tarjetas micro SD a veces se denominan  $\mu$ SD o uSD. Las tarjetas se utilizan en teléfonos móviles y otros dispositivos móviles. La tarjeta de memoria más pequeña que se puede comprar hoy en día es de; 15 mm x 11 mm x 1 mm y tiene un almacenamiento de 2GiB.



*Ilustración 15: Tarjeta MicroSD.*

<https://learn.sparkfun.com/tutorials/sd-cards-and-writing-images>

### **2.6.1.4 Jumpers Wire.**

Los cables puente o jumper son de calibre 22 AWG y con un conector en cada punta, de ahí que se conozcan como cables jumper hembra o cables jumper macho. Cabe mencionar que estos cables también son conocidos como cables dupont.

Se usan normalmente para interconectar entre sí los componentes en una placa de pruebas. Por ejemplo se utilizan de forma general para transferir señales eléctricas de cualquier parte de la placa de prototipos a los pines de entrada/salida de un microcontrolador. Con estos se pueden realizar conexiones de forma más profesional, sin soldaduras, sin falsos contactos y sin desorden.



*Ilustración 16: Cables Jumper o Dupont.*

<https://www.330ohms.com/blogs/blog/85215044-que-son-los-jumpers>

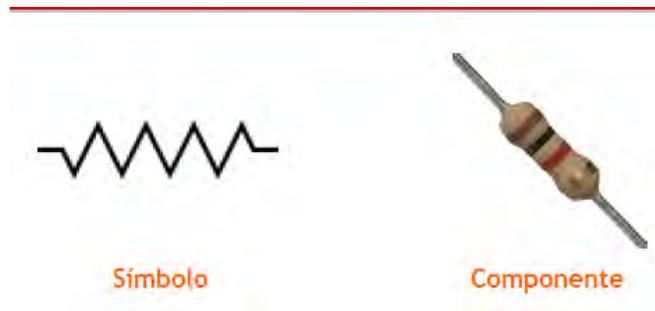
[https://es.wikipedia.org/wiki/Cable\\_puente](https://es.wikipedia.org/wiki/Cable_puente)

<https://www.geekfactory.mx/tienda/cables-y-conectores/cable-dupont-macho-macho-10-centimetros/>

#### **2.6.1.5 Resistencia.**

Es un material formado por carbón y otros elementos resistivos para disminuir la corriente que pasa. Se opone al paso de la corriente. La corriente máxima en un resistor viene condicionada por la máxima potencia que puede disipar su cuerpo. Los valores más comunes son 0,25 W, 0,5 W y 1 W.

El valor de la resistencia eléctrica se obtiene leyendo las cifras como un número de una, dos o tres cifras; se multiplica por el multiplicador y se obtiene el resultado en Ohmios ( $\Omega$ ).



*Ilustración 17: Imagen de una resistencia de 10KΩ.*

## [“Guía básica de arduino”](#)

### **2.6.1.6 Led Infrarrojo.**

Diodo Emisor de Luz (LED) infrarrojo, color azul transparente, de 5 mm de diámetro, longitud de onda de 940 nm, 1,3 V típicos en polarización directa, 1,7 V máximos, 20 mW y ángulo de 12° para transmisión a mayor distancia.



*Ilustración 18: Diodo emisor de luz (LED) infrarrojo.*

<http://www.steren.com.mx/led-infrarrojo-de-5-mm-larga-distancia.html>

[GlobalSpec: Especificaciones de los diodos emisores de luz \(LED\)](#)

[Supply Frame: Catálogo de LED](#)

[Micro Sensor Tech: Especificaciones de LED IR](#)

### **2.6.1.7 Cable USB a USB tipo B.**

Es un cable que está compuesto por diferentes conductores, los cuales están aislados entre ellos, y que se encuentra recubierto por una envoltura a modo de protección. USB es la sigla correspondiente a Universal Serial Bus: un estándar que

en la computación, establece los protocolos y los conectores que se emplean para la conexión de dispositivos.

El cable USB, por lo tanto es un conector que permite vincular diferentes elementos a través del Universal Serial Bus.



*Ilustración 19: Cable USB tipo A a USB tipo B.*

<https://definicion.de/cable-usb/>

#### **2.6.1.8 LCD display 16x2.**

El Liquid Crystal Display (LCD) o pantalla de cristal líquido es un dispositivo empleado para la visualización de contenidos o información de una forma gráfica, mediante caracteres, símbolos o pequeños dibujos dependiendo del modelo. Está gobernado por un microcontrolador el cual dirige todo su funcionamiento.

En este caso vamos a emplear un LCD de 16x2, esto quiere decir que dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una (columnas). Los píxeles de cada símbolo o carácter, varían en función de cada modelo.



Ilustración 20: LCD (Liquid Crystal Display) de 16x2 (16 columnas y 2 filas).

<http://todoelectrodo.blogspot.mx/2013/02/lcd-16x2.html>

## 2.6.2 RECEPTOR.

### 2.6.2.1 Fuente de alimentación “Power MB V2”

El MB102 es un módulo de fuente de alimentación de pruebas fabricado por YwRobot Corporation en China. Proporciona potencia duales de 5V y 3,3V, y tiene una toma USB hembra multipropósito. La tensión de entrada a través del conector debe estar entre 6,5 V y 12 V.

Los jumper se utilizan para seleccionar los niveles de voltaje a cada lado de los rieles de potencia de la fuente de alimentación. Puede elegir entre 5V, OFF y 3.3V. Hay dos modos de configuración de potencia para cada lado de los rieles de potencia de la fuente; por lo tanto, puede tener cualquier combinación de voltajes en cualquiera de los rieles. También hay rieles en la parte superior para poder utilizarse con cables de puente (dupont).



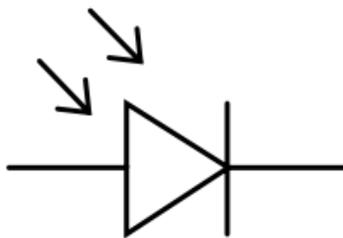
Ilustración 21: Fuente de alimentación Power MB V2.

[https://www.petervis.com/Raspberry\\_PI/Breadboard\\_Power\\_Supply/YwRobot\\_Breadboard\\_Power\\_Supply.html](https://www.petervis.com/Raspberry_PI/Breadboard_Power_Supply/YwRobot_Breadboard_Power_Supply.html)

### 2.6.2.2 Fotodiodo.

Un fotodiodo es un semiconductor construido con el tipo de unión PN, este elemento es sensible a la presencia de luz visible e incluso infrarroja. El fotodiodo resulta ser un diodo con sensibilidad a la luz, al ser un diodo se debe considerar que su polarización es muy importante ya que será la que haga funcionar al sensor.

A diferencia del Light-Dependent Resistor (LDR) o fotorresistencia, el fotodiodo responde a los cambios de oscuridad a iluminación y viceversa con mucha más velocidad, y puede utilizarse en circuitos con tiempo de respuesta más pequeño.



*Ilustración 22: Símbolo de un fotodiodo.*

<https://ingenieriaelectronica.org/fotodiodo-definicion-caracteristicas-y-tipos/>

<https://unicrom.com/fotodiodo/>

### 2.6.2.3 Fototransistor

El fototransistor es sensible a la luz, normalmente a los infrarrojos. La luz incide sobre la región de base, generando portadores en ella. Esta carga de base lleva el transistor al estado de conducción.

Los fototransistores son más sensibles que los fotodiodos por el efecto de ganancia propio del transistor, pero también más lento.

Un fototransistor es igual a un transistor común, con la diferencia que el primero puede trabajar de 2 formas:

- Como transistor normal con la corriente de base  $I_b$  (modo común).
- Como fototransistor, cuando la luz que incide en este elemento hace las veces de corriente de base.  $I_p$  (modo de iluminación).

Puede utilizarse de las dos en formas simultáneamente, aunque el fototransistor se utiliza principalmente con el pin de la base sin conectar.

Longitud de onda: 940nm, Diámetro: 5mm, Voltaje de colector a emisor: 30 V, Voltaje de emisor a colector: 5 V, Corriente colector: 20 mA, Tiempo de recuperación: 5 uS, Contiene filtro de luz de día, 2 terminales



*Ilustración 23: fototransistor con filtro de luz de día.*

<https://www.ecured.cu/Fototransisto>

#### **2.6.2.4 Microcontrolador Inversor SN74LS04N**

El circuito integrado 7404 cuenta con 6 inversores independientes con la tecnología TTL (Transistor-Transistor Logic). Cada inversor puede ser usado sin la necesidad de conectar los demás. Debe ser alimentada con un voltaje de 5V de corriente continua, esto para mantener los estados lógicos digitales en sus valores correctos.

El inverso o compuerta NOT, es una puerta lógica que implementa la negación lógica. Cuando la entrada es 0, su salida es 1. Cambia en su salida el nivel de voltaje de su entrada definidos como lógico alto y lógico bajo (0 y 1). Del mismo modo el voltaje de entrada no debe ser superior al voltaje de alimentación del circuito integrado.



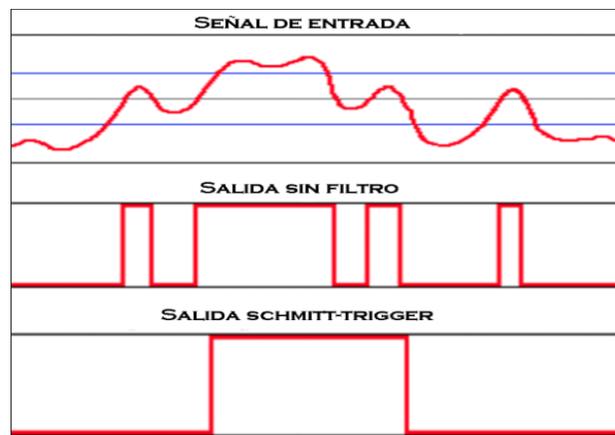
*Ilustración 24: Circuito Integrado Inversor SN74LS04N*

Se utilizaron compuertas NOT de tipo Schmitt Trigger, estos son componentes electrónicos utilizados para convertir señales imperfectas, lentas o con ruido a señales digitales bien definidas, rápidas y sin ruido. Gracias a sus características son utilizadas para recuperar señales mal definidas, distorsionadas o ruidosas.



*Ilustración 25: Símbolos de compuertas Schmitt Trigger.*

Estas operan como compuertas comunes, pero son caracterizados por poseer una propiedad llamada histéresis que las hace inmune al ruido y le permite trabajar con señales no ideales. Histéresis significa que los dispositivos Schmitt Trigger solo responden cuando los voltajes aplicados a sus entradas superan unos valores límites preestablecidos, llamados umbrales.



*Ilustración 26: Efecto del uso de Schmitt Trigger.*

Una compuerta Schmitt Trigger siempre entregará una onda cuadrada en la salida, sin importar la forma de la onda de la señal de entrada.

<https://www.mouser.mx/ProductDetail/Texas-Instruments/SN74LS04N?qs=spW5eSrOWB4DgGWIHPxzvg==>

<https://www.kitelectronica.com/2016/02/tutorial-circuito-integrado-7404.html>

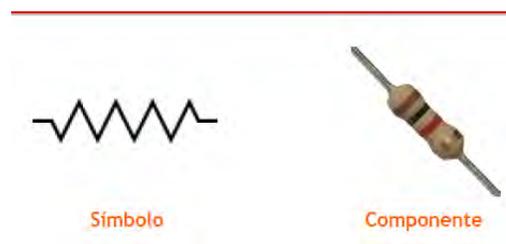
<http://teslabem.com/74ls04-c-l-not-7404.html>

<https://teslabem.com/tienda/tienda/74ls04-c-l-not-7404/>

### 2.6.2.5 Resistencia

Es un material formado por carbón y otros elementos resistivos para disminuir la corriente que pasa. Se opone al paso de la corriente. La corriente máxima en un resistor viene condicionada por la máxima potencia que puede disipar su cuerpo. Los valores más comunes son 0,25 W, 0,5 W y 1 W.

El valor de la resistencia eléctrica se obtiene leyendo las cifras como un número de una, dos o tres cifras; se multiplica por el multiplicador y se obtiene el resultado en Ohmios ( $\Omega$ ).



*Ilustración 27: Símbolo e imagen de una resistencia (10k $\Omega$ ).*

[“Guía básica de arduino”](#)

### 2.6.2.6 Bocina Logitech X50 mobile wireless.

Los parlantes convierten las ondas eléctricas en energía mecánica y esta se convierte en energía acústica. Más técnicamente, es un transductor electro acústico que convierte una señal eléctrica en sonido.

El parlante se mueve de acuerdo a las variaciones de una señal eléctrica y causa ondas de sonido que se propagan por un medio, como el aire o el agua.



*Ilustración 28: Bocina Logitech X50 mobile wireless.*

Tipo de altavoz: 1.0, Tipo de alimentación: Batería de litio recargable; carga por USB, Protocolo inalámbrico: *Bluetooth*, Accesorio requerido: Cable de carga USB, Tipo de conexión: Inalámbrica *Bluetooth*, 3,5 mm, Indicadores luminosos (LED): Azul, rojo y morado, Detalles de la batería: 750 mAh; 3,7 V, Duración de batería (recargable): 5 horas, Potencia nominal real: 3 W, Tamaño de transductor: 38,1 mm (1,5 in), Nivel de presión de sonido (SPL máx.): >78 dBC, Relación señal/ruido (SNR): <-85 dBr, Respuesta de frecuencia: 132 Hz - 20 kHz, Impedancia de entrada: 4 ohmios, Controles de audio: Volumen+, Volumen -, Encendido/Apagado/Emparejamiento Bluetooth, Clasificación de carga: 5 V, 500 mA (carga USB)

<http://www.alegsa.com.ar/Dic/parlante.php>

<https://www.logitech.com/es-mx/product/x50-wireless-speaker>

### **2.6.2.7 Batería de 9V.**

Batería rectangular de 9 volts para dar energía a aparatos electrónicos, juguetes o a proyectos de electrónica. Es alcalina de larga duración, con capacidad nominal de 150 mAh y está libre de cadmio y mercurio, con dimensiones: 4.8 cm de alto x 2.6 cm de ancho x 1.7 cm de espesor.



*Ilustración 29: Batería de 9V alcalina.*

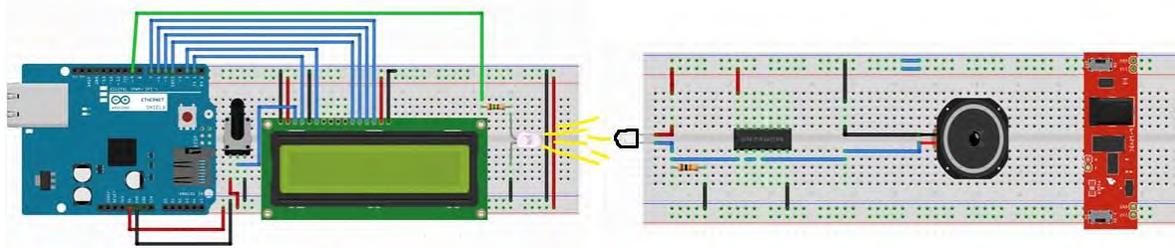
## CAPITULO 3 DESARROLLO Y RESULTADOS.

### 3.1 DESARROLLO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN-RECEPCIÓN.

El sistema de Transmisión-Recepción de datos por luz visible, es un tipo de comunicación que funciona con un emisor y un receptor, el cual envía datos a partir de la luz emitida por el LED infrarrojo, el cual llega al emisor.

En el lado receptor, la señal es captada a través de un fototransistor, la luz es convertida a pulsos eléctricos, de ahí hace una serie de procesos y al final es emitida por un parlante, para al final poder apreciarla en forma de sonido.

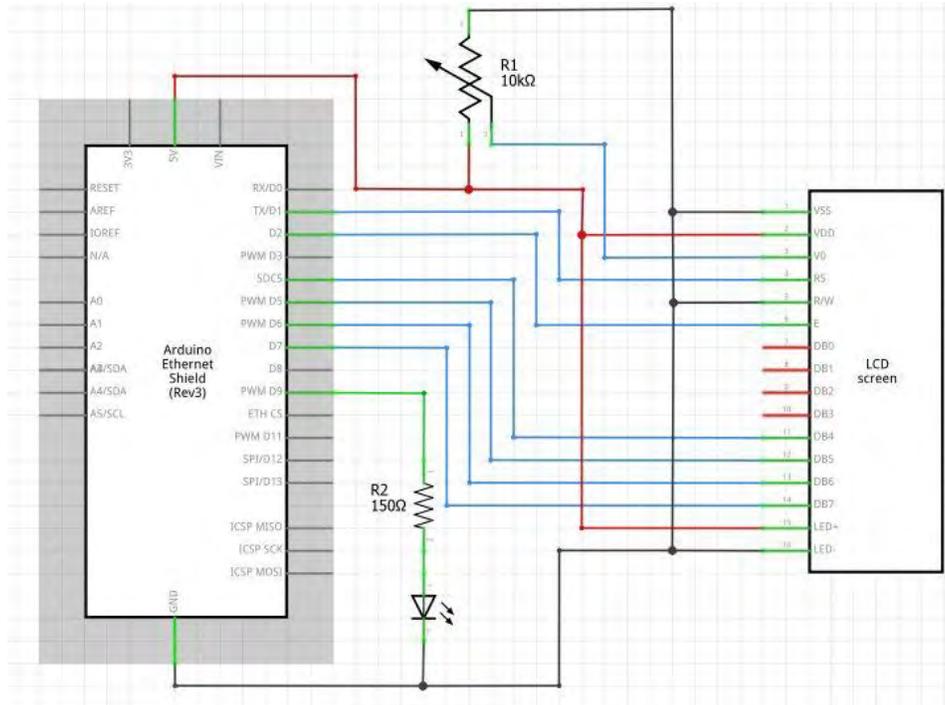
En la siguiente Ilustración 30 se puede observar el prototipo de transmisión-recepción.



*Ilustración 30: Esquema del sistema de transmisión-recepción por luz visible.*

### 3.1.1 ENSAMBLE LÓGICO.

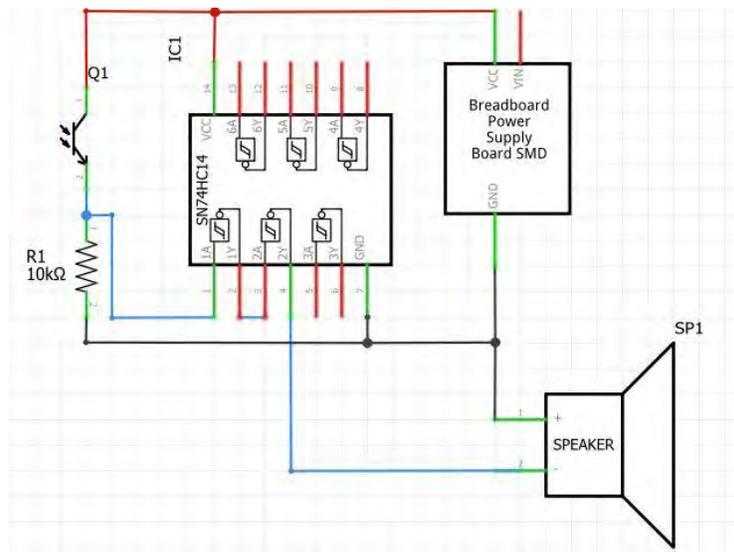
#### 3.1.1.1 Conexión de componentes del transmisor.



*Ilustración 31: Cableado de Arduino UNO, LCD, potenciómetro, resistencia y fotodiodo.*

La Ilustración 31 muestra el diagrama eléctrico de la conexión entre componentes del transmisor. Básicamente el puerto de salida del Arduino UNO es conectada a una pantalla LCD, la cual será utilizada para el envío de mensajes de control interno y mensajes de inicialización de los algoritmos implementados. Como puede observarse, el transmisor utiliza un fotodiodo por el cual los datos digitales y modulados (para nuestro caso datos asociados a un audio) en PWM son enviados al lado receptor por luz visible. De manera adicional, el sistema tiene una resistencia variable la cual es la encargada de regular la intensidad de iluminación de la pantalla LCD para comodidad del usuario. Se recalca que el diagrama mostrado a través de la Ilustración 31 es la arquitectura general del sistema transmisor y la funcionalidad es puesta con los algoritmos de configuración y modulación implementados como se presentarán más adelante.

### 3.1.1.2 Conexión de componentes del receptor.

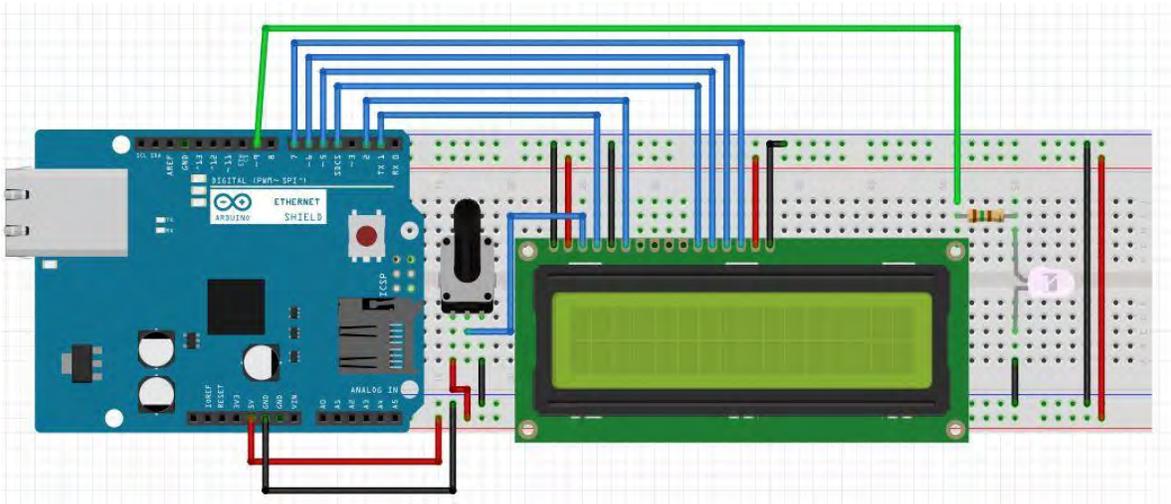


*Ilustración 32: Cableado de fototransistor, resistencia, compuertas, fuente de alimentación y speaker.*

Como se puede observar en la Ilustración 32, en la parte del receptor, todos los componentes son conectados a una fuente de alimentación de 5 Volts (excepto el parlante). El fototransistor está conectado a una resistencia para disminuir la corriente que pasa por él, y así poder protegerlo, éste a su vez cumplirá con la función de captar la señal que proviene del transmisor el cual es enviado a través del fotodiodo. Una vez captado la señal este pasará a través de dos compuertas NOT de un microcontrolador Inversor SN74LS04N, pasará por la primera compuerta 1A y saldrá por la 1Y, y por ultimo pasa por la segunda compuerta 2A y saldrá por la 2Y, la función de las compuertas serán de recuperar la señal cuadrada en caso de que la señal captada por el fototransistor pierda su forma cuadrada por cualquier motivo. Por último, la señal que saldrá de la segunda compuerta NOT ira hacia el parlante, en el cual nosotros podremos escuchar en forma de audio la señal eléctrica que se estará transmitiendo en ese momento.

### 3.1.2 ENSAMBLE FÍSICO.

#### 3.1.2.1 Conexión de componentes del transmisor.



*Ilustración 33: Cableado de arduino, LCD, potenciómetro, resistencia y fotodiodo.*

La Ilustración 33 muestra el cableado del circuito transmisor. Para realizar la conexión del transmisor se utilizaron los siguientes componentes:

- Arduino UNO.
- Wireless SD Shield.
- Pantalla LCD.
- Resistencia y Resistencia variable.
- LED infrarrojo.
- Cables de conexión (dupont).
- Protoboard.

Procedemos a montar el Wireless SD Shield en el Arduino UNO. Una vez realizado el montaje alimentamos el protoboard conectando los pines de 5V y GND del Wireless SD Shield hacia la línea roja (5V) y negra (GND) del protoboard.

Una vez ya alimentado la protoboard se coloca la resistencia variable (en nuestro caso 10 k) y se conecta el pin 1 a 5V y el Pin 3 a GND.

Ahora se procede a conectar la pantalla LCD al Arduino (Wireless SD Shield), las conexiones son las siguientes:

### LCD

Pin 1 (VSS)	→	GND
pin 2 (VDD)	→	5V
Pin 3 (VEE)	→	Pin 2 de la resistencia variable.
Pin 4 (RS)	→	Pin 1 del Wireless SD Shield.
Pin 5 (RW)	→	GND
Pin 6 (E)	→	Pin 2 del Wireless SD Shield.
Pin 11 (D4)	→	Pin 4 del Wireless SD Shield.
Pin 12(D5)	→	Pin 5 del Wireless SD Shield.
Pin 13 (D6)	→	Pin 6 del Wireless SD Shield.
Pin 14 (D7)	→	Pin 7 del Wireless SD Shield
Pin 15	→	5v
Pin 16	→	GND

*Tabla 5: Configuración de LCD.*

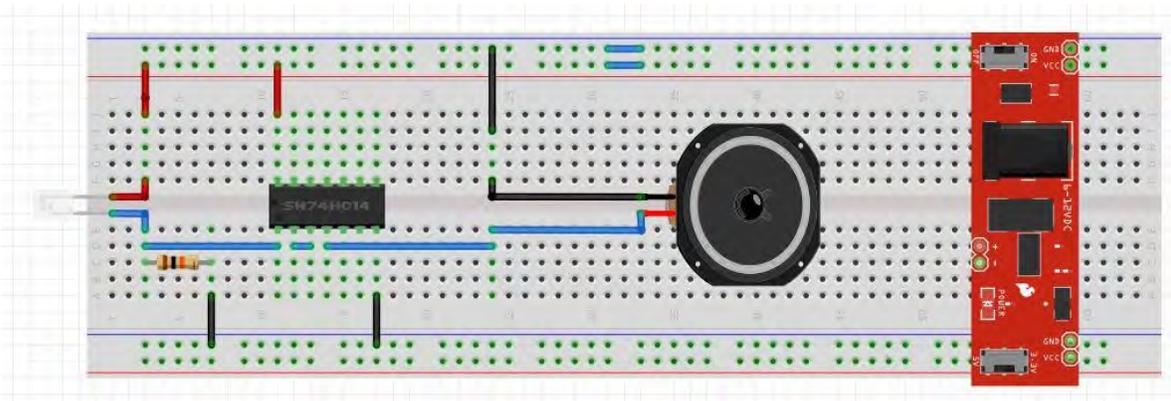
Por último, del pin 9 (PWM) del Wireless SD Shield se conecta hacia el ánodo del LED infrarrojo con su respectiva resistencia y el cátodo hacia GND.

Nota:

Conectar el cable USB de alimentación hacia el Arduino UNO hasta el final.

Es importante revisar que todas las conexiones estén correctas para evitar algún daño o interferencia hacia algún componente de nuestro circuito.

### 3.1.2.2 Conexión de componentes del receptor.



*Ilustración 34: Cableado de fototransistor, resistencia, compuertas, fuente de alimentación y speaker.*

La Ilustración 34 muestra el cableado del circuito receptor. Para realizar la conexión del receptor se necesitaron los siguientes componentes:

- Fototransistor.
- Resistencia.
- Microcontrolador Inversor SN74LS04N
- Parlante.
- Fuente de alimentación (Power MB V2).
- Cables de conexión.
- Protoboard.

El fototransistor es alimentado a través del pin colector el cual va conectado hacia la línea roja del protoboard (5V), el pin emisor de este mismo estará conectado a una resistencia para disminuir la corriente que pasa por él y la resistencia estará conectado hacia la línea azul del protoboard (GND).

Se coloca el microcontrolador sobre el protoboard y se procede a realizar las conexiones. El pin 7 a GND, el pin 14 a 5V, el pin 1 al pin emisor del fototransistor, el pin 2 al pin 3. Lo siguiente es conectar el parlante, por el cual escucharemos el archivo de audio transmitido, un cable del parlante irá hacia el pin 5 del micro controlador y el otro hacia GND.

Por ultimo procedemos a colocar la fuente de alimentación (Power MB V2) tomando en cuenta los pines que son positivos y negativos.

Nota:

Verificar que todas las conexiones realizadas son correctas, esto para poder evitar algún daño en los componentes del circuito.

Antes de empezar a cablear el microcontrolador revisar el datasheet para no confundirnos durante la conexión. Del mismo saber en qué posición será colocado.

Revisar que los jumpers de la fuente de alimentación estén en la posición correcta, que los dos estén en la configuración de 5V para evitar alguna variación o inestabilidad en el voltaje del receptor, y así evitar algún daño de los componentes del circuito.

### **3.1.3 PROGRAMACIÓN.**

La programación del Arduino UNO se llevó acabo con el uso del software de Arduino IDE 1.8.5. Ya que en dicho software es donde se escribe el código y después es grabado en el Arduino UNO, el cual está conectado mediante un cable usb a la computadora.

Para la programación del Arduino UNO se realizaron los siguientes pasos:

1. Incluir todas las librerías necesarias. La librería <SD.h> permite la comunicación de Arduino UNO con la tarjeta SD, <SPI.h> permite la transferencia de datos de audio a través de las señales MISO, MOSI y SCK, <LiquidCristal.h> permite que Arduino UNO controle un display LCD, <TMRpcm.h> permite la reproducción asíncrona de archivos PCM/WAV directamente desde la tarjeta SD.
2. Inicializar el LCD.
3. Inicializar la lectura de la tarjeta micro SD.
4. Inicializar la reproducción de audio WAV de la tarjeta micro SD.

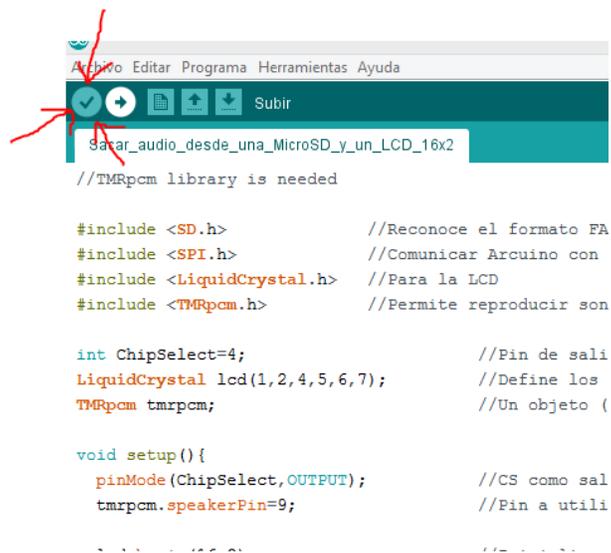
### 3.1.3.1 Conexión para la programación de arduino uno.



*Ilustración 35: Cableado arduino Uno a la PC donde está instalado el software Arduino IDE 1.8.5.*

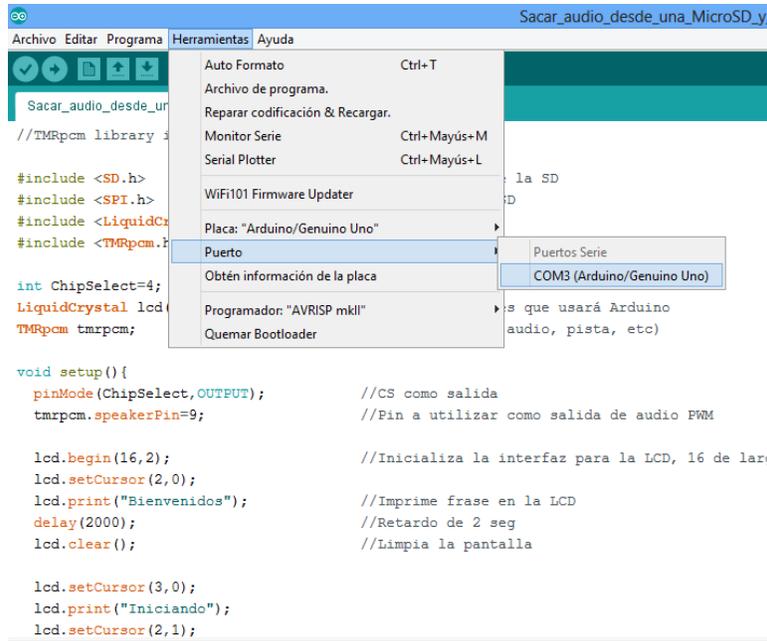
Para realizar la programación se conecta el Arduino UNO hacia la computadora con el cable USB como se puede observar en la Ilustración 35.

Una vez abierto el software Arduino ID 1.8.5 y ya listo el código se procede a compilarlo dando clic en el botón de la palomita (verificar) como se observa en la Ilustración 36 Ilustración 36, esto para verificar que no haya algún error de sintaxis en el código y resolverlo en el caso que hubiera algún error en el.



*Ilustración 36: Compilación del código.*

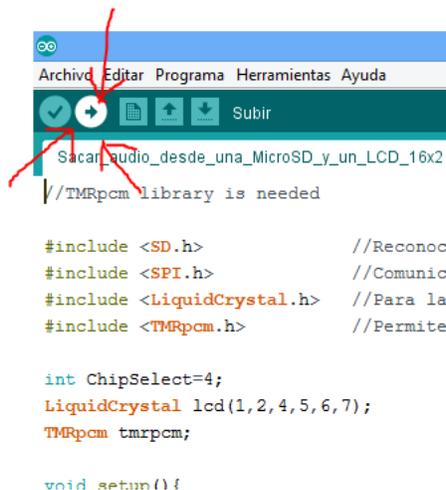
Ya compilado satisfactoriamente el código procedemos a grabarlo en el Arduino UNO, pero antes de grabar el código seleccionamos el puerto donde tenemos conectado nuestro Arduino UNO como se observa en la Ilustración 37.



*Ilustración 37: Selección del puerto donde está conectado Arduino UNO.*

Seleccionamos la pestaña “Herramientas”, “Puerto” y buscamos en el puerto donde conectamos el Arduino UNO (en nuestro caso COM 3) y damos clic.

Por últimos hacemos clic en el símbolo de la flechita (Subir) para grabar el código al Arduino UNO como muestra en la Ilustración 38. Esperamos y ¡Listo!



*Ilustración 38: Grabado del código al Arduino UNO.*

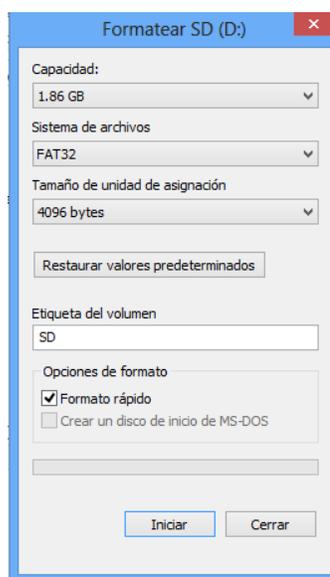
### 3.1.3.2 Código.

#### Apéndice A

### 3.1.4 PREPARACIÓN DE LA TARJETA MICRO SD.

Para la preparación de la tarjeta micro SD y el archivo de audio se realizaron los siguientes pasos:

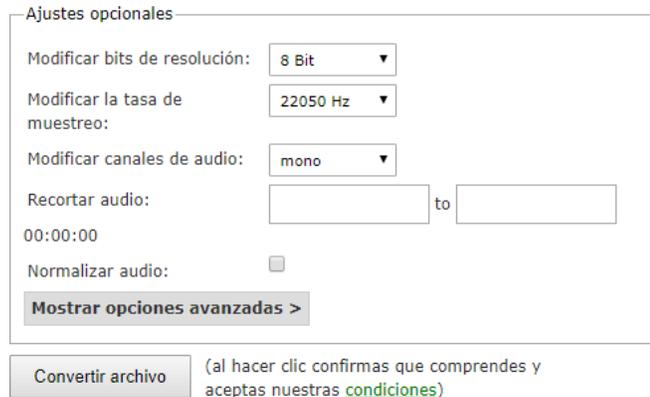
1. Darle formato a la tarjeta micro SD (FAT 32) para que esta pueda ser leída por la librería <SD.h>. En la Ilustración 39 se observa como dar formato a algún dispositivo de almacenamiento.



*Ilustración 39: Formato de la tarjeta micro SD.*

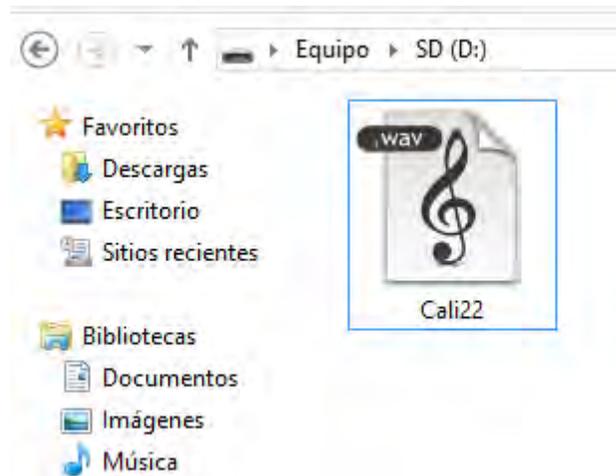
2. Convertir audio a .WAV. En este paso entramos en la siguiente página de internet para realiza la conversión: <https://audio.online-convert.com/es/convertir-a-wav>. Aquí seleccionamos algún audio que tengamos y lo cargamos a la página.

Una vez seleccionado procedemos a elegir algunas especificaciones como: 8 bits de resolución; 22,050 Hz de frecuencia de muestreo, y canal de audio monoaural. Presionamos en convertir audio y lo descargamos. En la Ilustración 40 se observan los ajustes que se realizaron.



*Ilustración 40: Especificaciones del audio .WAV.*

3. Pasamos el archivo de audio .WAV previamente descargado a la tarjeta micro SD. Una vez realizado procedemos a insertar la tarjeta micro SD al Wireless SD Shield. Y listo. La Ilustración 41 muestra el archivo de audio ya convertido a WAV dentro de la tarjeta micro SD.



*Ilustración 41: Archivo de audio convertido a .WAV.*

## CAPITULO 4 PRUEBAS.

### 4.1 PRUEBAS.

Una vez ya programado el Arduino UNO y con la conexión correcta se lleva a cabo la realización de varias pruebas como se puede observar en la Ilustración 42. En este caso las pruebas que se llevaron a cabo fueron:

- Señal emitida del Pin 9 (PWM) del Wireless SD Shield, por parte del transmisor.
- Señal captada por el fototransistor a una distancia aproximada de 10 cm entre transmisor y receptor.
- Señal que sale del microcontrolador (Señal que va hacia el parlante).

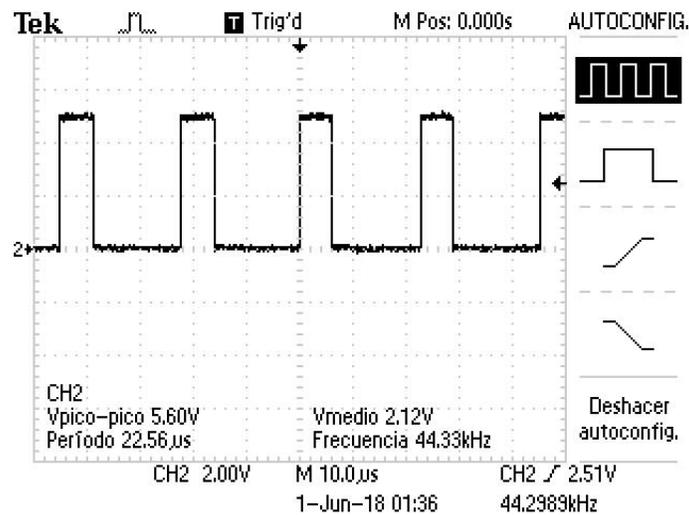


*Ilustración 42: Prueba de transmisor y receptor de datos.*

#### 4.1.1 MEDICIÓN DE LA SEÑAL DEL TRANSMISOR.

Se realizó la medición de la señal de salida del pin D9 del Arduino UNO, el cual tiene una señal de salida PWM (Pulse Wide Modulation). El Shield se comunica con la tarjeta Arduino UNO y el Arduino UNO lee el archivo de audio .WAV almacenado en la tarjeta micro SD, a través de los pines D4 (CS: Chip Select), D11 (MOSI: Master Output Slave Input), D12 (MISO: Master Input Slave Output) y D13 (SCK:Signal Clock). Cuando los datos llegan al Arduino UNO son modulados con

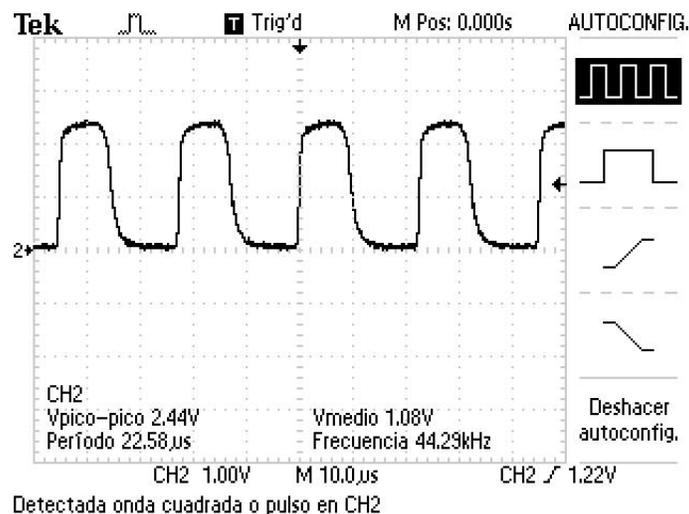
la técnica de PWM para luego ser emitidos por el pin D9 y la señal es transmitida por el LED infrarrojo. La señal de salida se puede observar en la Ilustración 43.



*Ilustración 43: Medición de la señal de salida del pin D9 del Wireless SD Shield (salida del LED infrarrojo).*

#### 4.1.2 MEDICIÓN DE LA SEÑAL DEL RECEPTOR.

Por la parte del receptor, la señal emitida por el LED infrarrojo fue captada por el fototransistor, el cual fue medida con ayuda de un osciloscopio.



*Ilustración 44: Medición de la señal que es captada por el fototransistor.*

Como se puede apreciar en la Ilustración 44, la señal que sale del transmisor perdía su forma de señal cuadrada y se parecía más a una señal sinusoidal. Esto debido a varios factores que interfieren en la transmisión, como por ejemplo;

- La luz y el clima; la luz directa del sol, lluvia, niebla, polvo, polución pueden afectar la transmisión.
- Corto alcance; debido la distancia, el rendimiento de este cae en distancias muy largas, y la señal se distorsiona o atenúa.

Como la señal no era la misma, se procedió a la recuperación de ésta, en el cual se utilizó un circuito integrado con compuertas NOT de tipo Schmitt Trigger.

Una vez que la señal es recibida por el fototransistor, esta pasa por una compuerta lógica NOT en el pin 1 y sale de forma inversa por el pin 2, ésta a su vez vuelve a entrar en otra compuerta lógica, la señal entra al pin 3 y sale por el pin 4 del circuito integrado. Como se puede observar en la Ilustración 45, la señal que es emitida hacia el parlante ya no es sinusoidal, si no, es una señal cuadrada.

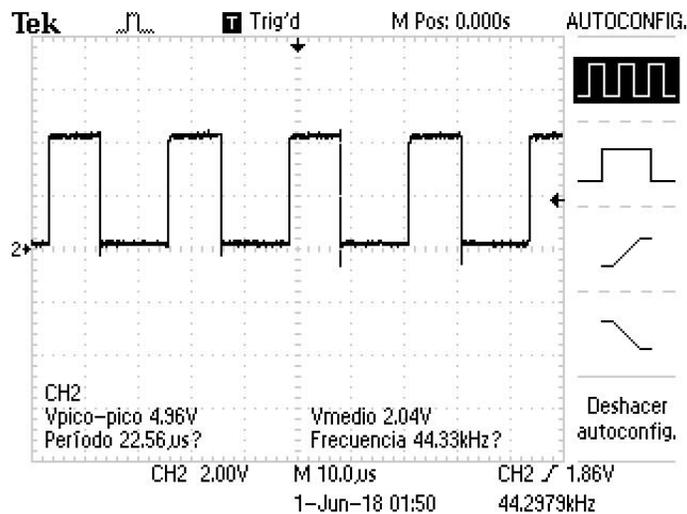


Ilustración 45: Señal recuperada por el circuito integrado.

## CONCLUSIÓN

Este trabajo de desarrollo de tecnología expone un sistema de transmisión-recepción por luz visible mediante la creación de un prototipo que fue construido a través de diversos componentes electrónicos, durante el desarrollo del prototipo se fueron realizando varias pruebas hasta conseguir un sistema de transmisión-recepción con el menor ruido posible.

Debido a que la tecnología WI-FI no es permitida en algunos lugares, pueda estar restringida o no da abasto con la demanda requerida, se puede aprovechar de la tecnología LI-FI. La tecnología LI-FI cuenta con buenas características como por ejemplo; su doble funcionalidad de iluminación y comunicación simultánea, alta transmisión de datos, el ancho de banda no se divide, seguridad en la transmisión de datos, seguridad en la salud humana ya que no perjudica con las altas velocidades que puede alcanzar, etc.

La tecnología VLC podría ser un buen complemento a la tecnología WI-FI, mas no un remplazo, ya que los sistemas VLC necesitan de visibilidad directa y con la posibilidad de que la iluminación no llegue en algunos lugares. De igual forma el usuario deberá escoger el lugar y la necesidad para el uso de esta tecnología, ya que deberá estar con visibilidad directa, pero se conseguirá una velocidad de transmisión de datos muy elevada en comparación con el WI-FI. Complementando estas dos tecnologías se podrían solucionar las desventajas de ambas.

Cabe mencionar que el objetivo de este estudio si se cumplió, ya que se logró satisfactoriamente el diseño un sistema de transmisión de datos por luz visible. Dicho diseño propuso un prototipo de un sistema de transmisión-recepción por luz visible, donde el transmisor tuvo la capacidad de enviar un archivo de audio a través de la luz visible, y este ser captado por un receptor a una distancia de 10 cm entre transmisor y receptor, una vez captada la señal fue escuchada en forma de sonido a través de un parlante.

Para poder realizar y desarrollar este prototipo se tuvo que realizar una investigación de los antecedentes, tipos de tecnología, estándares, circuitos, etc., esto, con el fin de obtener los conocimientos necesarios para implementar un sistema que envíe

información a través de la luz visible. Ya que el prototipo fue a través de Arduino UNO, se tuvo que investigar y sobre todo practicar en la plataforma Arduino IDE 1.8.5 la programación, debido a que no se contaba con el conocimiento suficiente de programación en Arduino.

Al inicio de este prototipo se tuvieron muchas dificultades, como por ejemplo, poder hacer que el Arduino UNO se comuniqué con el Wireless SD Shield para que éste leyera la tarjeta SD, conectar la pantalla LCD, la salida del archivo de audio en PWM a través de un pin de Arduino, etc. Una vez ya estudiado la programación, se resolvieron esos problemas para finalizar con el prototipo del circuito e ir depurando errores en la programación.

Por la parte del receptor se tuvo un poco más de complejidad, debido a que al principio no se tenía idea de algún tipo de circuito disponible. Se necesitó estudiar algunos circuitos de recepción para realizar el circuito receptor. Una vez ya estudiado varios circuitos y visualizar su comportamiento se decidió armar el propio circuito receptor, en la cual durante el desarrollo se fueron realizando varias pruebas, de igual manera se ubicaron los mejores componentes para que sea un receptor eficaz.

En este proyecto se demostró que la comunicación por luz visible es un método que se puede emplear en algunos casos, pero dependiendo de la necesidad del usuario, ya que cuenta con varias características, ventajas y desventajas. Por ejemplo, esta tecnología podría ser muy demandada en salas de conferencia, aula de clases, en bibliotecas, ya que son lugares donde el ancho de banda es muy demandado. La tecnología Li-Fi resolvería estos problemas, porque el ancho de banda no se divide para cada usuario, y la parte más importante, que son lugares donde el usuario está estático.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aravena, E. (2013). *Desafío de las nuevas tecnologías: Un análisis a LiFi y otras tecnologías*. Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Barriga, A., & De Los, J. (2014). *Estudio y simulación de un sistema ACO-OFDM para comunicaciones ópticas inalámbricas*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Bharti, N. (Merits and Demerits of VLC). *Visible Light Communication* .
- Combariza, L., Vargas, C., & Acosta, J. (2015). *Redes Li-Fi comunicaciones inalámbricas rápidas y de bajo costo*. Bogotá, Colombia: Fundación Universitaria Unipanamericana.
- Esquilo. (1994). *La orestíada*. Barcelona: Editorial juventud.
- Kang, T. (2009). IEEE 802.15.7. Regulation Document Configuration. *Spectrum Frequency*.
- Kang, T. (2009). IEEE 802.15.7. Regulation Document Configuration. *Product Safety*.
- Kotzin, M. (1986). A duplex infra-red system for in-building communications. *IEEE-VTC*, 179-185.
- Lorenzo, B. (2016). *Estudio del estado del arte de los sistemas de comunicaciones por luz visible(VLC)*. Trabajo fin de grado, grado en ingeniería de las tecnologías de telecomunicación. (M. Madero, Ed.) Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Ocaña, R. (2015). *Análisis de prestaciones de un Transmisor/Receptor LiFi*. Trabajo de fin de grado, grado en Ingeniería de las tecnologías de Telecomunicación. (V. Baena, Ed.) Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Odeh, A., Hamad, A., & Afaneh, M. (2015). *Visible Light Communication Systems. Presented in partial fulfillment of the requirements for the bachelor degree in Electrical and Communication Engineering*. (J. Kharousheh, Ed.) Cisjordania: AN-Najah National University.
- Peñafiel, 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*. Tesis previa a la obtención del título de: Ingeniero Electrónico. (E. Ochoa, Ed.) Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Poulin, R., Pauluzzi, D., & Walker, M. (1992). A multi-channel infrared telephony demonstration system for public access applications. *IEEE ICWC*.
- Rajagopal, S., Roberts, R., & Lim, S. (2012). IEEE 802.15.7 visible light communication: modulation schemes and dimming support. *IEEE Communications Magazine*.
- Rani, J., Chauhan, P., & Tripathi, R. (2012). Li-Fi (Light Fidelity)-The future technology In Wireless communication. *International Journal of*.
- Sklavos, N., Hubner, M., Goehring, D., & Kitsos, P. (2013). *System-Level Design Methodologies for Telecommunication*. Springer Science & Business Media.

## APÉNDICES

### APÉNDICE A

```
#include <SD.h>           //Reconoce el formato FAT de la SD
#include <SPI.h>           //Comunica al Arduino con la SD
#include <LiquidCrystal.h> //Para la LCD
#include <TMRpcm.h>       //Permite reproducir sonidos en Arduino

int ChipSelect=4;        //Pin de salida de datos del Micro SD
LiquidCrystal lcd(1,2,4,5,6,7); //Define los pines de Arduino que el LCD usará
TMRpcm tmrpcm;          //Un objeto (Ej: audio, pista, etc)

void setup(){
  pinMode(ChipSelect,OUTPUT); //CS como salida
  tmrpcm.speakerPin=9;        //Pin a utilizar como salida de audio PWM

  lcd.begin(16,2);           //Inicializa la interfaz para la LCD, 16 de largo
  //y 2 de ancho
  lcd.setCursor(2,0);
  lcd.print("Bienvenidos"); //Imprime frase en la LCD
  delay(2000);              //Retardo de 2 seg
  lcd.clear();              //Limpia la pantalla

  lcd.setCursor(3,0);
  lcd.print("Iniciando");
  lcd.setCursor(2,1);
  lcd.print("lectura SD...");
  delay(2000);
  lcd.clear();
```

```

if(!SD.begin(ChipSelect)){ //Verdadera si la micro SD está dentro
del SHEILD o en buen estado (condición If) y la SD es leída
    lcd.setCursor(4,0);
    lcd.print("SD fail"); //Si la micro SD no se encuentra dentro
del shield imprime el mensaje "SD fail".
    delay(2000);
    lcd.clear();
    return;
}
    lcd.setCursor(5,0);
    lcd.print("SD OK"); //imprime mensaje de "SD OK". Aquí la
micro SD está siendo leída.
    delay(2000);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(1,0);
    lcd.print("Reproduciendo"); //imprime mensaje de "Reproduciendo".
    delay(1000);

    tmrpcm.quality(1); //Mejora la calidad
    tmrpcm.setVolume(4.5); //Ajusta el volumen
    tmrpcm.play("Cali22.wav"); //Reproduce la canción de la micro SD
llamada "Cali22"
//Sin delay en el Setup
}

void loop() {
    // put your main code here, to run repeatedly:
}

```