

# Sistema de comunicación digital por medio de LiFi

Daniel Vega Ruiz (1), Dr. Juan Gabriel Aviña Cervantes (2)

(1) Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica. Email: [dvraniel93@gmail.com](mailto:dvraniel93@gmail.com)

(2) Departamento de Ingeniería Electrónica, Email: [avina@ugto.mx](mailto:avina@ugto.mx) División Ingenierías del Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato, Carretera Salamanca - Valle de Santiago Km. 3,5 + 1.8, Comunidad de Palo Blanco, Salamanca, Gto. C.P. 36885

## Resumen

Por medio de la tecnología Li-Fi se puede realizar la transmisión de datos con el uso de la luz visible; enviando datos por medio de una lámpara LED la cual varía su intensidad más rápido que la mínima variación de intermitencia que el ojo humano puede percibir. Si el LED está encendido un fotoreceptor registra un nivel alto lógico, de otra forma un nivel bajo lógico. Por medio de un circuito transmisor y un receptor se puede lograr la comunicación serial con codificación Manchester de los datos entre dos microcontroladores con el fin de transmitir una cadena de caracteres de forma digital, con un modo de comunicación simplex. Con el fin de mostrar el alcance que puede tener la tecnología Li-Fi se proporciona un estudio de algunas características y funcionalidades que se relacionan con la comunicación inalámbrica Wi-Fi.

## Abstract

Through Li-Fi technology data transmission can be done with the use of visible light; sending data through an LED light bulb that varies in intensity faster than the minimum variation of intermittence the human eye can sense. If the LED is on, the photo detector registers a high logic state, otherwise it's a low logic state. Through a transmitter circuit and a receiver can be achieved serial communication by Manchester data coding between two microcontrollers in order to transmit digitally a string, by the communication mode defined as simplex. In order to show the scope that Li-Fi technology can has, some features and functionalities are given in relation to Wi-Fi wireless communication.

## Palabras Clave

Comunicación por luz visible (VLC), diodo emisor de luz (LED), transmisor y receptor digital, comunicación serial.

## INTRODUCCIÓN

### Sistemas de comunicación

La comunicación en términos simples, es la transferencia de información de una entidad a otra. Existen, desde luego, muchas formas de comunicación que no implican directamente la mente humana en tiempo real [1].

En cualquier sistema de comunicación existen tres elementos básicos: transmisor, canal y receptor. El transmisor se localiza en un punto en el espacio, el receptor se ubica en algún otro punto separado del transmisor y el canal es el medio físico que los conecta. El transmisor convierte la señal del mensaje producida por la fuente de información en una forma adecuada para la transmisión por el canal. Sin embargo, como la señal transmitida se propaga a lo largo del canal, se distorsiona debido a imperfecciones de este último. Aún más, el ruido y las señales de interferencia se suman a la salida del canal, por lo que el receptor tiene la tarea de actuar sobre la señal recibida de manera que reconstruya para el usuario una forma reconocible de la señal del mensaje original.

Dependiendo del modo de transmisión que se use, se distinguen dos grupos básicos de canales de comunicación: los que se basan en propagación guiada y los que se fundamentan en la propagación libre. El primer grupo incluye canales telefónicos, cables coaxiales y fibras ópticas. El segundo grupo comprende canales de transmisión inalámbrica, canales de radio móvil y canales de satélite.

### Comunicaciones Inalámbricas

Los canales de transmisión inalámbricos sustentan la transmisión de señales de radio como la tecnología inalámbrica más popular, sin embargo algunas otras incluyen el uso de tecnología inalámbrica electromagnética, tal como la luz, campos magnéticos o eléctricos o por medio del uso del sonido.

Muchas veces es muy frustrante cuando la baja velocidad de la red conlleva a una conectividad limitada y gran cantidad de tiempo de procesamiento mientras se usa el internet inalámbrico. Esto debido a que el número de suscriptores al mercado celular y la demanda de servicios inalámbricos han incrementado [2]. Por lo que cada vez es más difícil tener una señal inalámbrica confiable. Esto conlleva a la exploración de otro tipo de radiación electromagnética diferente a las ondas de radio.

### Comunicación por luz visible

La comunicación por luz visible (VLC) es un subconjunto de las tecnologías de comunicación inalámbrica óptica. Un sistema VLC se refiere a la tecnología que utiliza una fuente de luz visible como un transmisor de señal, el aire como el medio de transmisión y un fotodiodo apropiado como el componente receptor de la señal [3].

La tecnología de comunicación por medio de luz visible tiene una corta historia en comparación con otras tecnologías de comunicación, por ejemplo, servicio de teléfono público, Ethernet, comunicación óptica de alta velocidad, comunicación celular inalámbrica, IrDA, etc.

Esto debido a que el desarrollo y comercialización de diodos emisores de luz (LEDs) los cuales emiten luz en el espectro de luz visible han sido exitosos para la iluminación en la década actual. Se dice que la iluminación con LEDs reemplazará los focos incandescentes y lámparas fluorescentes ya que han tenido características de larga vida útil, libres de mercurio, mezcla de color, alta velocidad de conmutación (intermitencia de los LEDs), etc.

Al utilizar la característica de alta velocidad de conmutación de los LEDs en comparación con las luces convencionales, se puede modular la luz emitida por LEDs con la señal de datos y de esta forma utilizar la iluminación con LEDs como una fuente de comunicación.

### Tecnología Li-Fi

En Julio del 2011 el Dr. Harald Hass [4], de la Universidad de Edimburgo, Reino Unido, exhibió la idea de Li-Fi por primera vez en su "TED Global conversation about VLC" [5] al transmitir un video en HD a través de una lámpara LED estándar. Li-Fi (Light-Fidelity) es una particularización de VLC, para proporcionar acceso a internet a través de luz.

Li-Fi es un término usado para describir la tecnología de comunicación por luz visible aplicada a sistemas de comunicación inalámbricos de alta velocidad. Esta tecnología adquirió su nombre debido a la similitud con Wi-Fi, solo que se usan ondas de luz en vez de ondas de radio. Wi-Fi tiene la ventaja de ser muy funcional para la cobertura entre construcciones y Li-Fi es ideal para realizar la cobertura de datos inalámbricos de alta densidad en un área confinada, por lo que ambas tecnologías pueden ser complementarias.

El proceso de operación es muy simple, si el LED está encendido se transmite un 1 digital, si está apagado se transmite un 0. El LED puede tener una tasa de conmutación muy elevada tal que el ojo humano no sea capaz de percibir y de esta forma tener la posibilidad de iluminar un espacio más aparte realizar al mismo tiempo la transferencia de datos. Para tener una idea sobre la velocidad de conmutación basta mencionar que el ojo humano es capaz de detectar variaciones en imágenes a 200 Hz e incluso hasta 250 Hz mientras que la tasa de conmutación de un LED se encuentra en el orden de los GHz.

Esta tecnología solo requiere algunos LEDs y un controlador para modular la información. Se varía la velocidad a la que los LEDs parpadean en función de los datos que se desean codificar. Una mayor cantidad de datos pueden ser procesados entre más LEDs tenga una lámpara [6]. Algunas mejoras que se pueden hacer a este método incluyen el uso de una matriz de LEDs para la transmisión de datos en paralelo, o usando mezclas de LEDs rojos, verdes y azules y así tener tres canales

de transmisión de datos. Estos avances prometen una velocidad teórica de 10 Gbps lo que significa que se puede descargar una película completa en alta definición en solo 30 segundos.

Algunas ventajas al usar un sistema de comunicación por Li-Fi son las siguientes:

1. La seguridad es un beneficio del uso de luz para la transferencia de datos ya que esta no puede penetrar a través de las paredes.
2. Hay millones de fuentes emisoras de luz alrededor del mundo, las cuales solo se tendrían que reemplazar por lámparas de LEDs para poder transmitir datos.
3. El sistema podría ser usado con seguridad en los aviones sin interferir las señales de las líneas aéreas.
4. En las carreteras para aplicaciones de control de tráfico donde los faros de los carros puedan basarse en LEDs y así comunicarse unos con otros y prevenir accidentes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Modulación OOK

La modulación tiene por objeto mejorar la relación señal a ruido y transmitir de manera más eficiente información. El concepto principal de la modulación de la luz es controlar de forma codificada los LEDs a velocidades elevadas, de tal forma que dicho cambio no sea notorio para el ojo humano y a su vez tener el control total de la corriente que circula por el LED, así como tener una comunicación libre de errores con el receptor.

La modulación digital de amplitud (OOK, por sus siglas en inglés) representa datos digitales como la presencia o ausencia de una señal portadora. La ecuación que describe la modulación digital de amplitud mediante una señal binaria es

$$V_{am}(t) = [1 + V_m(t)] \left[ \frac{A}{2} \cos(\omega_c t) \right] \quad (1)$$

en la que

$V_{am}(t)$ : voltaje de la onda de amplitud modulada

$\frac{A}{2}$ : amplitud de la portadora no modulada

$V_m(t)$ : señal binaria moduladora

$\omega_c$ : frecuencia de la portadora

Para una entrada 1 lógico,  $V_m(t) = +1$ , la salida es

$$V_{am}(t) = \frac{A}{2} \cos(\omega_c t) \quad (2)$$

y para una entrada 0 lógico,  $V_m(t) = -1$ , la salida es

$$V_{am}(t) = 0 \quad (3)$$

Así para 100 por ciento de modulación,  $V_{am}(t)$  es (2) y (3). Por lo tanto la portadora está encendida o apagada, y es la causa de que a la modulación digital de amplitud se le suele llamar modulación por manipulación encendido-apagado, o todo o nada (OOK) [7].

### Comunicación serial

Con el fin de que en un sistema de comunicación haya intercambio de información entre dos entidades, se debe de compartir un protocolo de comunicación en común [8]. Miles de protocolos han sido definidos, pero en general, se pueden dividir en dos categorías: paralelo o serial.

Las interfaces de comunicación en paralelo transfieren varios bits al mismo tiempo. Usualmente requieren buses de datos, es decir, transmitir datos a través de 8, 16 o más conexiones. Los datos se transfieren en grandes olas de 1's y 0's.

En las interfaces de comunicación serial solo fluye 1 bit a la vez. Estas interfaces suelen operar con una simple conexión y por lo general no más de cuatro. En general la comunicación serial es más usada debido a que se necesitan menos pines de entrada y salida de un microcontrolador.

La comunicación serial se puede realizar de dos formas: asíncrona y síncrona.

La comunicación serial síncrona siempre empareja su línea de datos con una señal de reloj, por lo que todos los dispositivos conectados en el bus serial comparten una misma señal de reloj. Esto hace la transferencia más sencilla, a menudo es la forma de comunicación más rápida de forma serial, pero también requiere al menos una conexión adicional entre los dispositivos de comunicación.

En la comunicación serial asíncrona se transfieren los datos sin una señal de reloj. Este método de transmisión es el ideal para reducir el número de pines usados, pero esto implica un esfuerzo extra para realizar una transmisión y recepción confiable.

Algunas palabras clave relacionadas con la comunicación serial son las siguientes:

1. MSB/LSB: esto se refiere al bit más significativo (MSB) y al bit menos significativo (LSB). En la comunicación serial la transmisión se realiza bit por bit, por lo que es importante saber que bit se transfiere primero.
2. Comunicación Simplex: Es un modo de comunicación serial en el que solo se puede transmitir información desde el emisor al receptor y no al revés.
3. Comunicación Half-Duplex: significa que la transmisión de dato puede ocurrir en una dirección a la vez, ya sea del maestro al esclavo o del esclavo al maestro, pero no ambas.

4. Comunicación Full-Duplex: esta significa que los datos pueden ser transmitidos del maestro al esclavo y del esclavo al maestro al mismo tiempo.
5. Tasa de baudio: es la razón de bits transmitidos en un segundo o pulsos por segundo. Esta es una magnitud importante en la comunicación serial debido a que si el transmisor y receptor no están configurados con la misma tasa de baudios, la comunicación no funciona. Las tasas de baudio más comunes son 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, etc.

### Codificación Manchester

La codificación Manchester es una técnica de codificación síncrona que se utiliza para codificar el reloj y los datos de un flujo de bits síncrono [9]. En esta técnica, los datos que se transmiten no se envían como una secuencia de 1 y 0 lógicos.

La convención usada por las normas IEEE 802.4 (*token bus*) y IEEE 802.3 (Ethernet). Afirma que un 0 lógico es representado por una secuencia de señales Alto-Bajo y un 1 lógico es representado por una secuencia de señal Bajo-Alto.

Cada bit se transmite en un tiempo fijo ("el periodo"). Las transiciones que significan 0 o 1 se producen en el punto medio de un periodo.

### Código ASCII

Este sistema no es otra cosa que una manera de codificar caracteres, letras y símbolos, que se puedan entender. El código ASCII utiliza 7 bits para representar los caracteres y 8 bits para representar también los caracteres del código ASCII extendido.

### Protocolo de comunicación implementado

Actualmente se cuenta con un prototipo para realizar la comunicación por medio de luz visible el cual consiste en un circuito electrónico para el transmisor, otro para el receptor y una lámpara RGB (Figura 1).

La PCB (*Printed Circuit Board*) del transmisor está compuesta por 3 MOSFET y algunas resistencias (Figura 2). Las resistencias de alta disipación de potencia fueron utilizadas debido a que la lámpara trabaja a 15 V y tiene un consumo de corriente de 170 mA. La lámpara al ser RGB, requiere 3 "interruptores" ya que cada tonalidad se debe encender solo cuando el microcontrolador transmisor lo indique por medio de un pin para cada MOSFET. La etapa de potencia realizada con MOSFET IRF510 sirve para poder "conmutar" a velocidades muy elevadas (en el orden de nanosegundos) y a la vez entregar la potencia requerida por la lámpara.

El circuito del receptor (Figura 3) adquiere las 3 tonalidades de la lámpara, es por esto que se usan 3 filtros analógicos en cada fotoreceptor SFH 5440-Z de OSRAM. Debido a que la señal de salida del sensor era muy pequeña y contaba con OFF-SET se

filtró la señal con un filtro pasa-bajas y así eliminar el OFF-SET, después se utilizó un comparador y a la salida se conectó una compuerta NOT debido a que la terminal negativa del comparador es una entrada negada. De esta forma se obtiene la señal necesaria para la decodificación del mensaje a través de 3 pines que se conectan al microcontrolador que actúa como receptor.

Al contar con el prototipo lo que resta es implementar un protocolo de comunicación para lograr la transmisión y recepción de datos por medio de luz. El protocolo implementado hace uso de los 3 canales con los que cuenta la lámpara RGB y se realiza de modo Simplex.

Como un primer avance se realizó un algoritmo para convertir el código ASCII del carácter a enviar a su equivalente en binario con un formato de 8 bits y así transmitir el carácter de forma serial asíncrona, usando cada uno de los tres canales de la lámpara para la transmisión de caracteres contiguos en una cadena de caracteres, es decir transmitir simultáneamente 3 caracteres. Para esto se estableció una duración de 9 ms para el bit de inicio, 4 ms para el bit fin y un intervalo de 2 ms para cada bit del carácter a transmitir.

Al tener esta implementación se notó que la conmutación de la lámpara se notaría menos si los intervalos en que la señal permanece en alto o bajo fueran más cortos, es por esto que se redujeron los tiempos para la transmisión del carácter y se agregó la codificación Manchester a los bits a transmitir.

Para el uso de la codificación Manchester se agregó la transmisión de una señal de reloj con un periodo de 4 ms y para los dos canales de transmisión de datos se configuró la duración de los bits de inicio y fin a 6 ms. Para realizar la codificación Manchester de los datos se realizó la operación lógica XOR de la señal de reloj con el bit de dato y así obtener la secuencia '10' para un '0' lógico y la secuencia '01' para un '1' lógico.

Con el fin de que el receptor identificara el bit de inicio y el de fin se optó por establecer el intervalo del bit de inicio en alto y el bit de fin en bajo. Después de la lectura del bit de inicio se comenzó con la lectura de los datos, para esto se tenía que pasar la codificación Manchester del carácter a su correspondiente en binario del código ASCII enviado, lo cual se logró aplicando la operación inversa en la codificación, es decir, aplicando la operación lógica XNOR entre la señal de reloj y el bit correspondiente de la codificación Manchester.

En la figura 4 se puede notar la diferencia al transmitir los datos sin y con la codificación Manchester, tal como se había mencionado antes, se puede ver que la duración máxima que un bit de dato puede durar en alto es de un periodo del ciclo de reloj.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para lograr la recepción correcta de datos se tuvo que hacer uso de 3 películas: roja, verde y azul de vinil transparente y una lente en cada fotoreceptor para lograr la colimación del haz emitido por la lámpara, con el fin de concentrar la luz sobre el fotoreceptor y obtener la información requerida para hacer la decodificación de los datos con el algoritmo implementado.

Con el prototipo y algoritmo actual es posible realizar la transmisión de una cadena de caracteres en el orden de kbps, por medio de *Arduino* el cual está basada en un microcontrolador de la familia *Atmel*. La velocidad de transmisión se puede incrementar con el uso de otra lámpara RGB la cual cuenta con mayor velocidad de conmutación, así como también mayor intensidad luminosa y poder incrementar la distancia actual de 10 cm.

## CONCLUSIONES

La tecnología Li-Fi es una alternativa eficiente para la comunicación inalámbrica actual basada en ondas de radio como el Wi-Fi, debido a la alta velocidad de transmisión que se puede lograr, la seguridad que esta brinda y los diferentes ambientes donde puede ser implementada. Claro está que al incrementar el factor de seguridad la flexibilidad de la comunicación disminuye ya que solo se puede realizar la transmisión de datos si el receptor recibe el haz de luz.

## AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer al Dr. Juan Gabriel Aviña Cervantes por brindarme la oportunidad de participar en el verano de Investigación Científica de la Universidad de Guanajuato de 2015 así como también por su ayuda brindada. También quiero agradecer a M.I. Emmanuel Ortiz y M.I. Carlos Armando Ortiz, por su ayuda proporcionada en el desarrollo del proyecto.

## REFERENCIAS

- [1]. Haykin, S. (2001). Antecedentes y preliminares. Sistemas de comunicación (pp. 1-42). Limusa Wiley.
- [2]. Khandal D. & Jain S. (2014). Li-Fi (Light Fidelity): The Future Technology in Wireless Communication. International Journal of Information & Computation Technology. 4(16), pp. 1-7.
- [3]. Ghiu L. C. (2011). Visible Light Communication. Advanced trends in Wireless Communications (pp. 327-339). InTech.

[4]. TED [http://www.ted.com/speakers/harald\\_haas](http://www.ted.com/speakers/harald_haas) [Consulta: 13 Julio 2015]

[5]. D. Priyanka & L. Kunal. (2013). Li-fi the latest technology in wireless," Communications Magazine, IEEE, vol. 65, pp. 67-69.

[6]. Vega Ramírez A. (2015). Sistema de Comunicación Multi-Haz Unidireccional Basado en la Tecnología Li-Fi (pp. 17-19). Universidad de Guanajuato, Salamanca, Gto.

[7]. W. Tomasi, G. Hernández, & V. Pozo. (2003). Sistemas de comunicaciones electrónicas, vol. 1. Atlacomulco 500: PRENTICE HALL, 4 ed.

[8]. Patil C. (2011). Development of a Simple Serial Communication Protocol for Microcontrollers (SSCPM). International Journal of Scientific and Research Publications. 1(1), pp. 1-6.

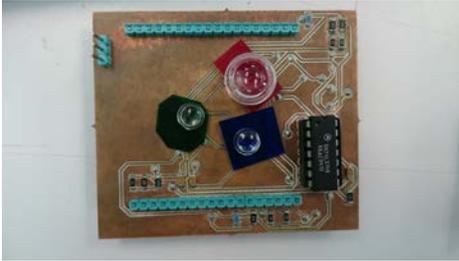
[9]. A.-M. Cailean, B. Cagneau, L. Chassagne, V. Popa, and M. Dimian. (2014). Evaluation of the noise effects on visible light communications using Manchester and miller coding. In Development and Application Systems (DAS), 2014 International Conference, pp. 85-89.



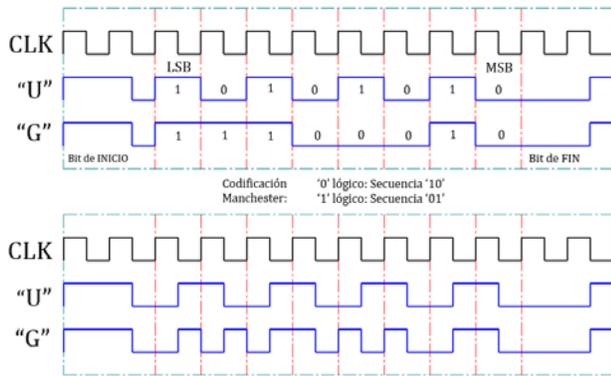
Figura 1. Lámpara LED RGB utilizada.



Figura 2. Transmisor.



**Figura 3. Receptor**



**Figura 5. Comparativa en la transmisión de datos sin y con la codificación Manchester.**