

SISTEMA DE COMUNICACIÓN UNIDIRECCIONAL POR MEDIO DE LUZ VISIBLE

Manfredo Manuelievich Ceja Pachinski

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco
a12112001100@alumnos.azc.uam.mx

Genaro Hernández Valdez

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco
ghv@correo.azc.uam.mx

Resumen

Actualmente, la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco cuenta con un sistema de alarmas contra sismos, incendios y apertura de accesos a lugares restringidos. Sin embargo, este conjunto de alarmas no se encuentra conectado en red, por lo que el monitoreo de las alarmas resulta complicado para el personal de Protección Civil y Vigilancia de la Unidad. En este artículo, se propone el uso de enlaces unidireccionales de comunicación por medio de luz visible para integrar una red de alarmas que permita, en todo momento, monitorearlas de manera remota. En particular, en el presente artículo se muestra el diseño, construcción y puesta en marcha de un sistema de comunicación inalámbrico unidireccional de bajo costo, capaz de transmitir información relacionada al estado de un sensor (alarma) por medio de luz visible láser. El sistema desarrollado permite transmitir una señal de audio en formato analógico utilizando modulación de amplitud o una señal de datos en formato digital utilizando códigos de línea. Los resultados experimentales muestran que, en condiciones severas de interferencia, el desempeño del sistema de comunicación es satisfactorio para enlaces con línea de vista de hasta 16 metros de alcance y tasas de transmisión de 100 bits por segundo.

Palabra(s) Clave(s): Comunicaciones, inalámbrico, láser, luz, transceptor.

1. Introducción

Recientemente, la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco ha estado presentando problemas en su sistema de alarmas contra sismos, incendios, y apertura de accesos a lugares restringidos. Debido a que estas alarmas son independientes de una red central, resulta complicado monitorearlas de manera constante y remota, principalmente por la falta de personal de Protección Civil y Vigilancia que cubra todas las zonas de la Universidad.

En el mercado existen sistemas completos de alarmas en red que se pueden monitorear, activar y desactivar a través de un servidor central. El problema de estos sistemas es que su costo es elevado y requieren tanto de la instalación de cableado (fibra óptica) como de la sustitución total del sistema de alarmas con las que ya cuenta la Universidad, ya que son sistemas integrales y no pueden ser adaptados a un sistema de alarmas ya existente. También, éstos requieren importación y mantenimiento realizado por profesionales propios de las empresas que venden dicho sistema. En el presente artículo, se desarrolla un sistema de comunicación unidireccional por medio de luz visible en medios no guiados con línea de vista para resolver el problema de monitoreo remoto del conjunto de alarmas de la Universidad a un bajo costo.

Las comunicaciones por medio de luz visible (VLC, acrónimo del término en inglés “Visible Light Communications”) son una categoría de las comunicaciones ópticas cuya principal característica es el uso de las longitudes de onda del espectro visible como medio para transportar información [1]-[9]. En las VLC la información es transmitida como luz, ya sea en medios guiados (fibras ópticas) o no guiados (espacio libre). Las VLC son una excelente alternativa para el problema que se pretende resolver en el presente trabajo debido a que el espectro visible no requiere licencias para su uso, además de presentar características particulares en cuanto a seguridad y propagación (interferencia, multitrayectorias, entre otras [1]).

De esta forma, el prototipo propuesto en este artículo se basa en la transmisión de información a través de luz visible láser en un medio inalámbrico y tiene la capacidad de comunicar el estado y ubicación de la alarma que se desea

monitorear. Debido a que el sistema propuesto no está basado en un medio de propagación guiado, no requiere de una instalación compleja y resulta flexible con respecto a la reconfiguración de la red de alarmas. Además, el sistema de comunicación propuesto no afecta o satura el espectro de radiofrecuencia debido a que opera en bandas sin licencia del espectro de luz visible, por lo que ofrece una alternativa a los sistemas WiFi, ZigBee, entre otros. El sistema de comunicación que aquí se presenta es capaz de transmitir señales de tipo analógico (señales de audio) o digital (estados encendido/apagado) de manera inalámbrica utilizando luz visible generada por un módulo láser. El procesamiento de la información requerido a lo largo del sistema de comunicación se realiza utilizando tarjetas de desarrollo de arquitectura abierta. Además, los dispositivos de control del diodo láser y del fotodetector se construyen utilizando componentes de fácil acceso, como son amplificadores operacionales, transistores, resistores, entre otros. Todo esto permite mantener un costo muy económico para su fabricación.

2. Desarrollo

Las VLC en medios no guiados utilizan principalmente 2 fuentes de luz ópticas: los LED's (Light Emitting Diode) y los diodos LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), ambos basados en semiconductores, presentan una velocidad de conmutación (velocidad encendido–apagado) mucho mayor a las fuentes tradicionales de luz, como lo son los focos incandescentes. En el presente trabajo se utiliza el diodo LASER debido a que presenta una mayor directividad que el LED. Esto permite que la potencia óptica se concentre en un área menor para el LASER que para el LED haciéndolo también más eficiente a la hora de su detección. A su vez, el diodo LASER presenta menor ancho de línea, por lo cual, la luz que genera es más pura espectralmente y tiene poca dispersión cromática. Esto permite minimizar la dispersión de los pulsos en el dominio del tiempo y, por consecuencia, se logran mayores tasas de transmisión.

En el presente trabajo, la intensidad luminosa de la fuente óptica es modulada en amplitud de manera digital por una secuencia de datos binarios (esto se basa en la

presencia y ausencia de luz) y de manera analógica por una señal de audio (esto se basa en variaciones continuas de la intensidad de luz). Estas variaciones luminosas son detectadas en el receptor por un dispositivo que transforma la energía lumínica (fotones) en energía eléctrica. Los dispositivos que realizan dicha tarea son los fotodiodos y los fototransistores. Las principales diferencias entre estos dispositivos radican en su sensibilidad (corriente generada en función de intensidad de luz incidente) y velocidad de respuesta. Con respecto a estas características el fototransistor supera al fotodiodo, por lo que se optó por hacer uso del fototransistor.

En la figura 1 se muestra el diagrama a bloques del sistema de comunicación unidireccional desarrollado en este trabajo para la transmisión de señales de audio y de datos por medio de la propagación de luz visible en medios no guiados (inalámbricos).

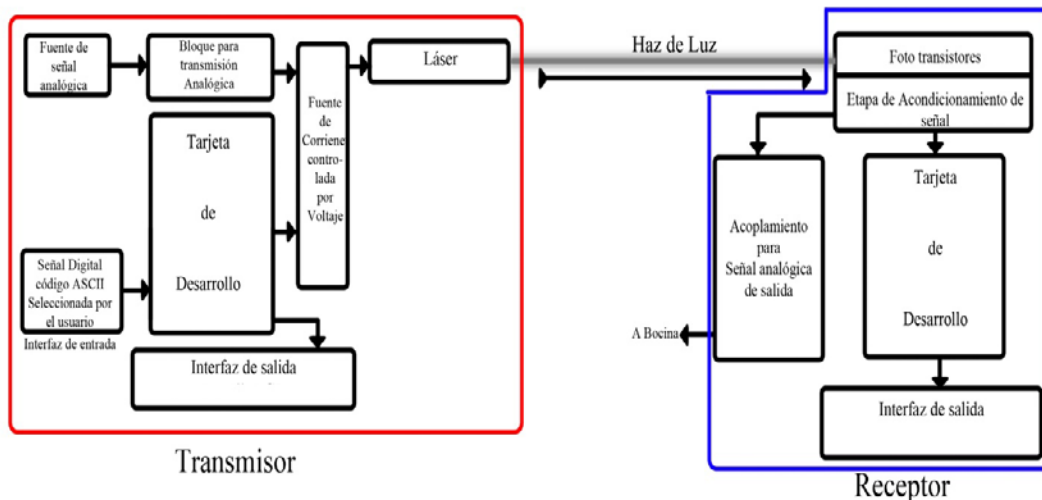


Figura 1 Diagrama a bloques del sistema de comunicación unidireccional inalámbrico.

En la figura 1 se observa que la fuente de corriente controlada, que realiza la modulación, trabaja con señales de entrada tanto analógicas como digitales, a su vez, en dicho bloque se realiza el ajuste de la señal para su óptima transmisión. La selección de la entrada se realiza por medio de un interruptor simple, por lo cual, la comunicación de información analógica es independiente de los bloques de procesamiento de datos digitales y sólo se puede enviar información de un tipo a

la vez. El bloque de transmisión analógica en el transmisor y el bloque de señal analógica de salida, en el receptor, cuentan con conectores de audio de 3.5 mm para acoplar transductores de audio. Las tarjetas de desarrollo tienen la tarea de interpretar el dato en forma digital, desplegarlo en las interfaces de salida, y realizar el procesamiento de dicho dato para su transmisión y recepción de manera serial. La etapa de Fototransistores y Acondicionamiento de señal en el receptor, tienen la función de convertir la energía lumínica en energía eléctrica, amplificándola para que tenga niveles adecuados de voltaje para su procesamiento. En el transmisor, el bloque de Interfaz de Entrada, consta de un par de botones para selección de dato e inicio de transmisión.

Un aspecto importante en el desarrollo del presente prototipo es el diseño y construcción del modulador de la fuente óptica. Estos moduladores se basan en circuitos capaces de controlar la corriente que fluye por las fuentes ópticas en función de la señal de información recibida. Para cambiar la intensidad de una fuente óptica basada en semiconductores, existen al menos dos posibilidades: modulación por ancho de pulso (la cual que se basa en variar el ciclo de trabajo de la fuente) y el control de intensidad mediante control de corriente (el cual se basa en controlar la corriente que fluye por el dispositivo óptico semiconductor para controlar la cantidad de luz emitida). Esta segunda técnica es la que se utiliza en el presente trabajo.

Debido a que el voltaje de encendido para el diodo láser utilizado es fijo (5 Voltios), la corriente que fluye a través de éste se ajusta con el uso de una fuente de corriente MOSFET. El diseño y construcción de esta fuente de corriente se aborda a continuación.

Diseño y construcción del circuito transmisor

Basado en la fuente de corriente "KA70EI" [2], en el presente proyecto se realizó la modificación al circuito mostrado en la figura 2 para adaptarlo a los requerimientos del diodo láser seleccionado. Debido a que el diodo láser utilizado no cuenta con una hoja de datos apropiada, exceptuando su valor de voltaje de

encendido, se realizó la caracterización de éste una vez construida la fuente de corriente.

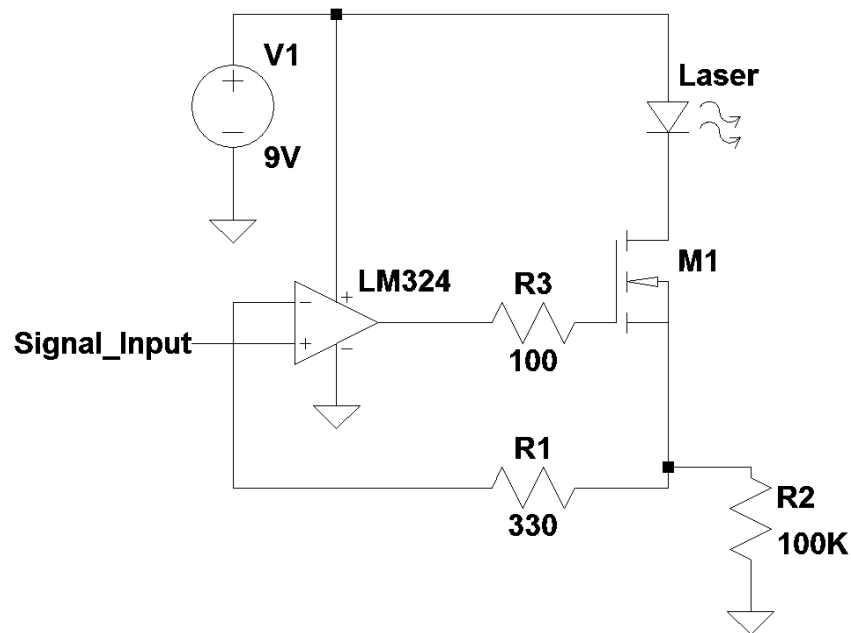


Figura 2 Fuente de Corriente (Current Sink) con modificaciones para diodo láser.

Para proteger a la fuente óptica se utilizó un potenciómetro de 100 K Ω (R_2 en figura 2), para determinar la resistencia de carga mínima para que éste radiara de manera apropiada, para un nivel de voltaje de entrada máximo.

A partir de pruebas realizadas, se determinó que, la resistencia R_2 apropiada para el circuito fue de 10 Ω , generando una corriente máxima total de 30 mA. (dato proporcionado por la fuente de voltaje). Con ello, la función de transferencia correspondiente a los valores de voltaje de entrada de operaciones es como se muestra en la ecuación 1.

$$I_{Out} = (6 \times 10^{-3}) V_{in} \quad (1)$$

Debido a que el sistema de comunicación funciona con una fuente única de 9V y dado que no es posible, con el circuito diseñado, modular valores negativos de la señal de entrada con el dispositivo óptico, se tiene que añadir un voltaje de “offset” a la señal moduladora para que ésta pueda ser correctamente transmitida por la

fuentes de luz. De manera experimental, y utilizando un amplificador operacional en configuración no inversora, se diseñó el circuito mostrado en la figura 3, en donde: $R1$ y $R3$ son potenciómetros que ajustan el offset y la ganancia respectivamente; R_{ser} es la resistencia interna de la fuente de señal analógica, obteniendo un promedio de 40Ω para distintas salidas de audio de distintos dispositivos; y la fuente de voltaje V_{Offset} se realizó con la fuente regulada LM7805.

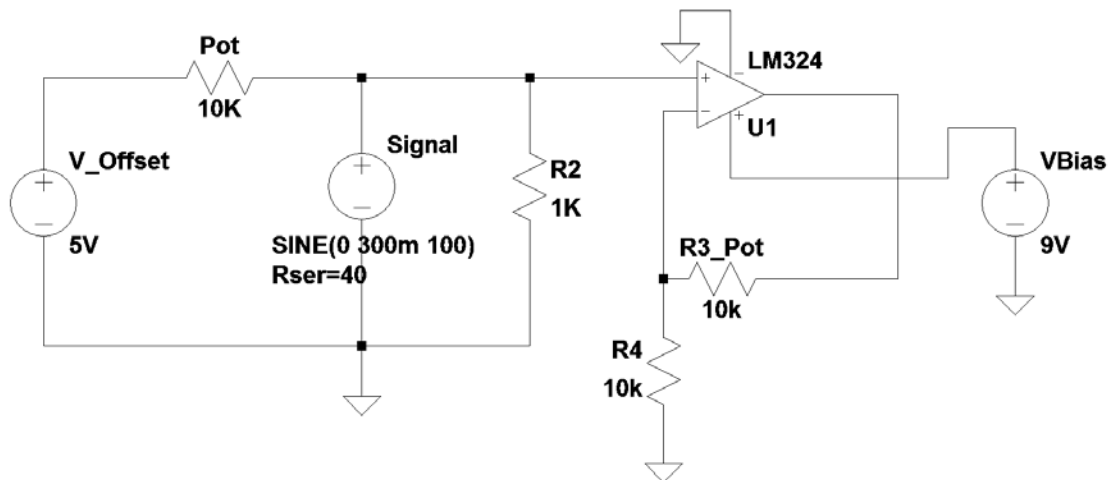


Figura 3 Bloque de acondicionamiento de señal analógica.

La función de transferencia para la configuración no inversora del amplificador operacional está dada por la ecuación 2.

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R3}{R4}\right) V_{in} \quad (2)$$

En donde V_{in} es el voltaje de la señal más el voltaje de offset. V_{in} se ajusta modificando la ganancia, la cual no sólo afecta a la señal moduladora (Signal) sino también al voltaje de offset. Es por eso que se añadieron 2 resistencias variables para ajustar V_{in} a los valores adecuados para su modulación. En la figura 4 se muestra un ajuste incorrecto en los valores de offset y ganancia, con lo cual, la señal a transmitir (señal de audio) se ve recortada por la parte superior. En la figura 5 se muestra el ajuste correcto de dichos parámetros. Así mismo, se tiene que considerar la potencia de salida, ya que se puede tener un ajuste en el cual la

señal no es distorsionada, pero la potencia de salida del láser (debido al voltaje de offset) no es suficiente para lograr la transmisión.

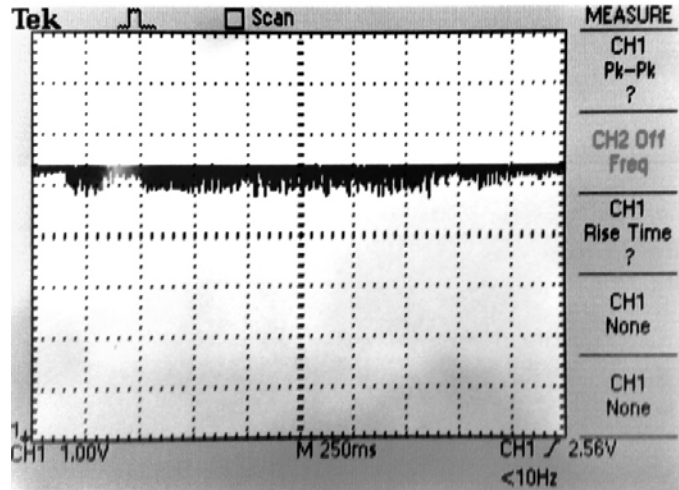


Figura 4 Distorsión de la señal. Saturación por ajuste incorrecto de Ganancia–Offset.

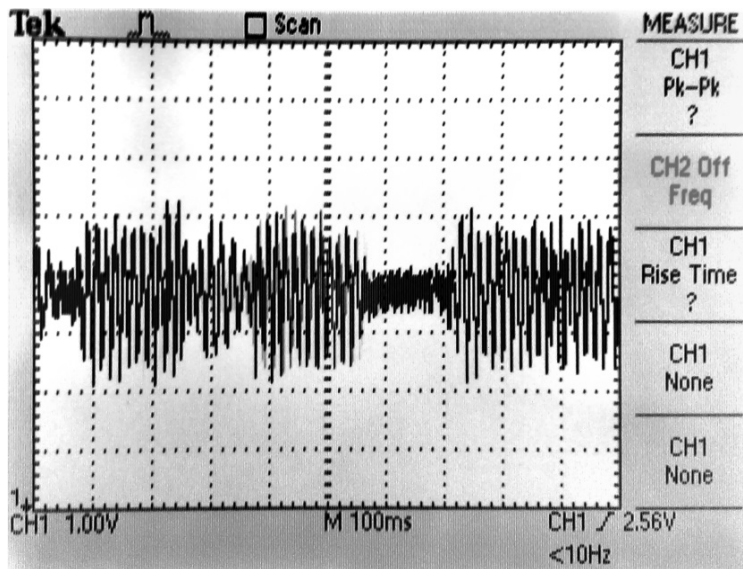


Figura 5 Ajuste correcto Ganancia – Offset.

Para la transmisión de información de manera digital (representando dicha información con dos niveles de voltaje para el '1' y '0' lógicos) se emplean los códigos de línea. Estos son códigos utilizados para la transmisión en banda base (sin el uso de portadoras) de la información, representándola en amplitud en función del tiempo. Se requiere sincronía entre el transmisor y el receptor para

detectar cada uno de los símbolos codificados (bits). El tipo de transmisión que se utiliza en el presente trabajo para lograr sincronía a nivel de bit es la transmisión asíncrona.

El código más sencillo es el unipolar sin retorno a cero (Unipolar NRZ) ya que presenta sólo dos niveles y mantiene el mismo nivel durante todo el tiempo de bit, lo cual en el dominio de la frecuencia, lo hace más eficiente (necesita menor ancho de banda). Así mismo, este código de línea presenta desventajas a la hora de transmitir cadenas largas de datos, sobre todo cuando se transmiten cadenas largas de un mismo dato binario, ya que existe la posibilidad de perder sincronía entre transmisor – receptor. Además, este código de línea presenta un valor medio de voltaje de la señal diferente de cero (acumulación de un voltaje de deriva), lo cual hace que con el tiempo, puedan confundirse los símbolos en el receptor [3]. Sin embargo, por su simplicidad y bajo ancho de banda requerido, el código unipolar NRZ es la mejor opción para aprovechar al máximo las prestaciones del sistema, por ello se eligió para este proyecto. El código Unipolar NRZ representa a la señal moduladora para transmitir la señal de información utilizando una portadora, en este caso luz. Como se mencionó anteriormente, la modulación en amplitud digital es diferente respecto a la modulación analógica en el sentido de que la primera sólo presenta dos niveles posibles de la señal (presencia y ausencia de luz).

Para esta sección se diseñó un código de programación para las tarjetas de desarrollo de arquitectura abierta (*TI Stellaris Launchpad* y *Arduino Leonardo*) para que se pudiera transmitir, en código ASCII los números del 0 al 9, estableciendo sincronía entre las tarjetas para la correcta detección de los distintos bits. En las figuras 6 y 7 se muestran los diagramas simplificados a bloques del programa para el transmisor y receptor respectivamente.

La tasa de transferencia de datos se establece, para ambas tarjetas, definiendo el tiempo de bit en el código, con esto, se asegura que ambas operen con el mismo tiempo de bit, una vez sincronizadas con los dos primeros pulsos (transmisión asíncrona). Existe la posibilidad de que el receptor ajuste su tiempo de bit en función de la duración del pulso de sincronía pero como se trata de un enlace

punto a punto, no es necesario. Dicha característica sería útil para la conexión en un nodo, o un receptor central, el cual recibe datos de distintas fuentes a diferentes tasas de transmisión.

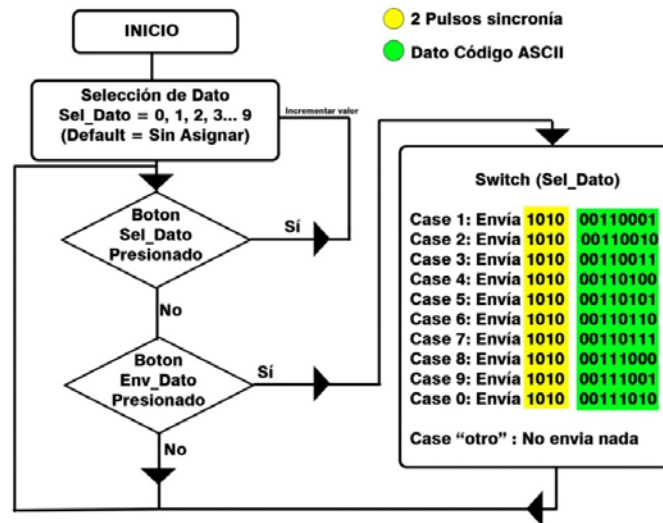


Figura 6 Diagrama simplificado a bloques del código de transmisor digital.

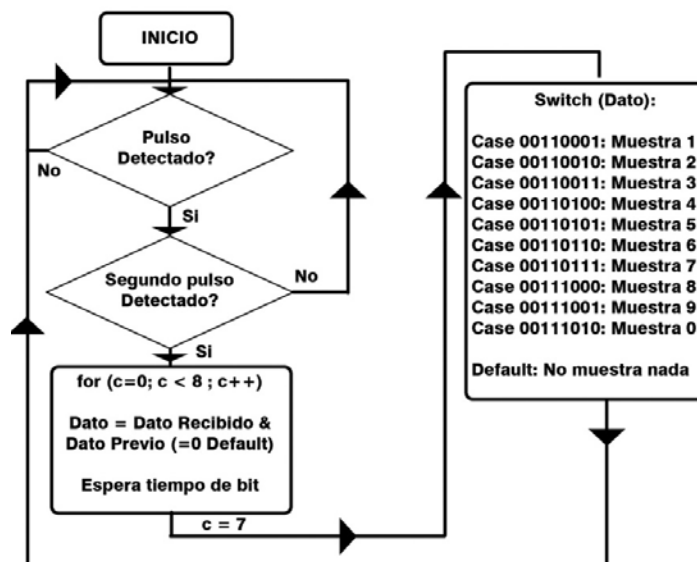


Figura 7 Diagrama simplificado a bloques del código de transmisor digital.

La interfaz de usuario para el transmisor se realizó utilizando una pantalla LCD de 7 segmentos para indicar el dato que se va a transmitir. A su vez, se utilizaron los

LEDs propios de la tarjeta de desarrollo para indicar que no hay dato a transmitir (al encender la tarjeta – inicio de código) indicando con destellos de color rojo. Se usó el LED color verde para monitorear la transmisión de los datos.

Para el receptor, la interfaz de usuario se realizó utilizando la interfaz serial contenida en la IDE de programación (*Integrated Development Environment*), para monitorear los distintos datos recibidos y los ciclos en los que se encuentra operando el programa, esto es, para facilitar la detección de errores en la recepción y en la operación del código.

Diseño y construcción del circuito receptor

Utilizando el fototransistor PT331C, se realizó un circuito basado en la configuración de colector común para la detección de la luz incidente en éste. En la figura 8 se muestra dicho circuito, en el cual la resistencia de carga $R1$ se seleccionó para que, en base a la corriente que proviene del par Darlington, se genere un voltaje que servirá para la entrada del Amplificador Operacional. Dicha resistencia se seleccionó de manera experimental, ya que, para valores de resistencia muy grandes, el amplificador operacional no es debidamente aterrizado, con lo cual, se obtienen señales no deseadas a la salida de éste. En cambio, para valores de resistencia muy pequeños, el voltaje generado en ésta no es suficiente para la correcta detección de la señal.

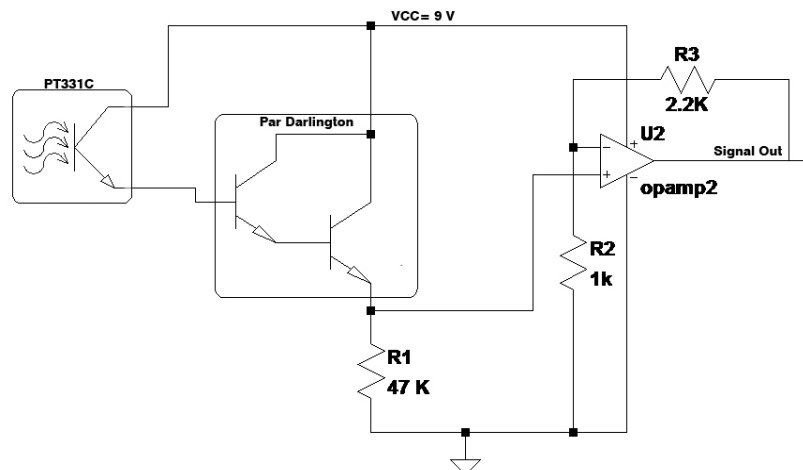


Figura 8 Diagrama simplificado a bloques del código de transmisor digital.

Así mismo se utilizaron los cuatro amplificadores operacionales contenidos en el circuito integrado, conectándolos de manera secuencial (cascada) y con una configuración de ganancia para cada uno de $K=2$, resultando una ganancia total $K=8$. Dicha selección de ganancia se realizó para maximizar la relación entre ganancia y ancho de banda.

En base a las especificaciones provenientes de la hoja de datos del foto transistor, se determinó el ancho de banda del dispositivo en base a su tiempo de subida (t_{rise}). Así mismo, debido al láser utilizado, se tiene una sensibilidad relativa al máximo en la conversión luz – corriente eléctrica del 80% [4].

Dado el valor del tiempo de subida (t_{rise}) de éste dispositivo, se puede obtener un valor teórico de ancho de banda dado por la ecuación 3.

$$BW = \frac{0.35}{t_{rise}} = \frac{0.35}{15_{\mu s}} = 23.333 \text{ KHz} \quad (3)$$

Para determinar el ancho de banda experimental, considerando todas las etapas del sistema, se colocó la fuente óptica junto al foto receptor y, mediante un barrido en frecuencia de la señal de entrada, se determinó dicho ancho de banda muestreando la salida del último amplificador operacional con el osciloscopio. El dato obtenido fue de: 24 KHz. En la tabla 1 se muestran los resultados de la caracterización de dicho dispositivo.

Tabla 1 Valores obtenidos en caracterización de fototransistor.

Parámetro	Valor Teórico	Valor Experimental
Ancho de Banda	23.333 kHz	24 kHz
Tiempo de Subida	15 μ s	14.6 μ s

3. Resultados

En este apartado se presentan las pruebas experimentales del prototipo desarrollado. Primeramente, se realizó una prueba experimental para determinar el alcance del enlace de tal forma que el desempeño del sistema sea satisfactorio (el desempeño se basa en un criterio subjetivo de la relación señal a ruido

considerando la transmisión de señales de audio). En la figura 9 se muestra el prototipo desarrollado sobre una tablilla de conexiones. En el lado izquierdo de la Fig. 9 se muestra el transmisor y del lado derecho el receptor. El fototransistor está dentro de un reflector, obtenido de una linterna, para maximizar la captura de luz y hacerla incidir en éste, facilitando el ajuste entre el transmisor y receptor.

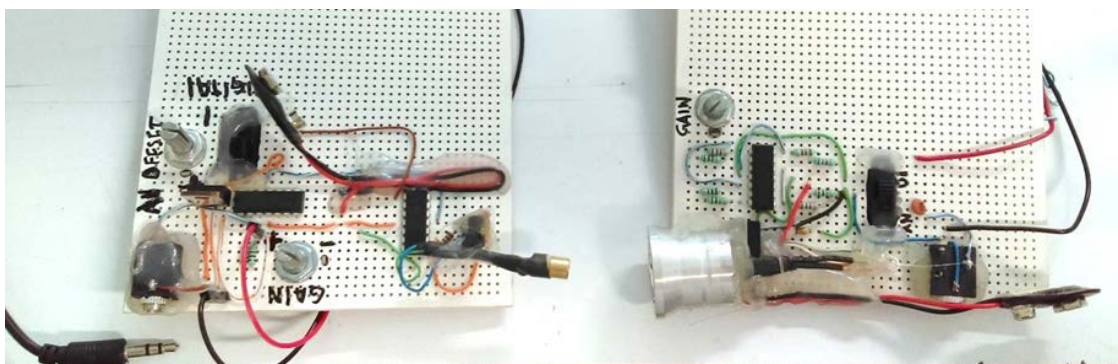


Figura 9 Prototipo Desarrollado y construido sobre una tablilla de conexiones.

Como se mencionó en el párrafo anterior, las pruebas de alcance se realizaron con transmisión de una señal analógica de audio ya que la transmisión digital se realiza por medio de ráfagas de bits y requieren que el usuario inicie la transferencia (con respecto a la transmisión digital, una medida de su desempeño es la evaluación de la probabilidad de bit erróneo). Durante esta prueba es importante alinear el transmisor y receptor para lograr la máxima captura de potencia óptica.

Se realizaron 2 pruebas variando las condiciones de luz interferente (durante la noche: poca luz interferente; y durante el día: luz interferente intensa). En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 2 Alcance del sistema en diferentes condiciones de luz.

Condición de Luz	Alcance
Ocaso – Noche	> 30m
Medio día, Luz solar intensa.	> 16m

De la tabla anterior podemos concluir que el alcance se ve limitado por los niveles de luz natural (Sol) y artificial (lámparas incandescentes) que pueden interpretarse como ruido que afecta el enlace. Por ello, la potencia óptica de la fuente en el transmisor y el ajuste de la orientación entre el transmisor y receptor son factores relevantes en el desempeño del sistema. Ligeras variaciones de estos parámetros, sobre todo en el transmisor, mueven el haz de luz fuera del área de recepción del fototransistor.

Para una distancia de 16 m se tiene un radio de tolerancia de posición de 1.5 cm para el receptor, con lo cual se puede definir la divergencia del haz de luz y/o la tolerancia de desvío de receptor como se ejemplifica en la ecuación 4.

$$\text{Ángulo de divergencia} = 2\theta = 2 * \arctan\left(\frac{0.015}{16}\right) = 1.8749 \times 10^{-3} \text{ rads} \quad (4)$$

Tal como se esperaba, aunque el transmisor y receptor se encuentren dentro del margen de tolerancia de orientación, hay una disminución en la potencia recibida que es directamente proporcional al desvío del haz entre transmisor y receptor, por lo cual, la señal se ve atenuada cuando el receptor no está orientado directamente al haz de luz.

Por otra parte, en la transmisión digital, debido a que los pulsos generados por el circuito del transmisor presentaron un tiempo de subida grande, la tasa de bits de transmisión se vio afectada. En particular, los resultados experimentales revelaron que el sistema de comunicación ofrece transmisiones exitosas a una velocidad de 100 bps, y conforme se aumenta la velocidad, aumentan los errores en la detección y se pierde la sincronía debido al aumento correspondiente de la interferencia inter-símbolos. En la figura 10 se muestra la ráfaga de bits transmitidos para una velocidad de 1 kbps. Debido a la distorsión que se presenta, el receptor presenta probabilidades de bit erróneo grandes a la hora de la detección de cada símbolo. Este comportamiento se puede aminorar utilizando un circuito conformador de pulsos y/o utilizando un circuito que implemente la codificación de canal.

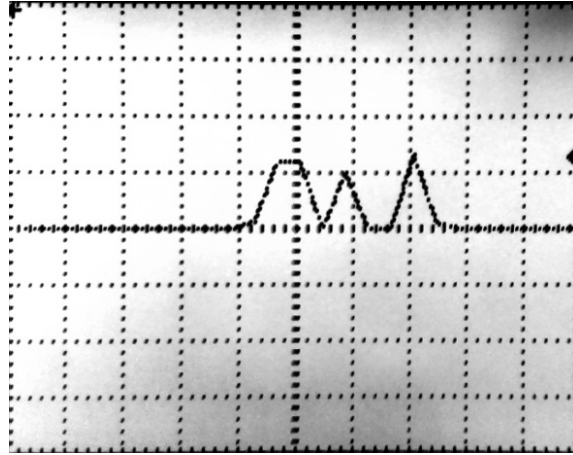


Figura 10 Distorsión de pulsos por velocidad de subida del transmisor

Por otra parte, las figuras 11 a 13 muestran el proceso de prueba con condiciones de luz intensa. Se aprovechó la sombra generada para poder observar la huella del haz de luz para orientar el receptor.



Figura 11 Pruebas de enlace en condiciones de luz solar intensa.



Figura 12 Pruebas de enlace. Distancia 8 m. En el suelo, un flexómetro extendido a 3 m.



Figura 13 Distancia máxima de prueba: 16 m.

4. Discusión

En este trabajo se desarrolló un sistema de comunicación direccional por medio de luz visible en medios no guiados, el cual representa un primer y relevante paso para resolver el problema de monitorear de forma remota el sistema de alarmas de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.

El sistema desarrollado funcionó a una distancia mayor a la esperada inicialmente, pasando de 5m a 16m en el peor escenario de interferencia luminosa posible. Cabe decir que a dicha distancia la recepción fue sumamente buena (aunque su evaluación fue subjetiva), por lo cual, con un ajuste apropiado de orientación entre el transmisor y receptor, la distancia puede ser, cuando menos, duplicada.

Debido a que en la Universidad no se cuenta con equipo de medición de potencia óptica, no fue posible establecer umbrales de ésta para el funcionamiento del equipo, por tanto, se tuvo que evaluar su desempeño juzgando de manera subjetiva la calidad de la señal de audio recibida (música). Una de las afectaciones que sufrió la señal fue de atenuación de potencia, con lo cual, se modifica la relación señal a ruido (SNR), con lo cual el ruido reduce la calidad de la señal. Sin embargo, durante las pruebas realizadas, esta afectación no fue suficiente para tener diferencias significativas entre la señal transmitida y recibida.

Por otra parte, debido a que el circuito del transmisor digital no realiza conformación de pulsos, la tasa de bits de transmisión se vio limitada a valores menores a 1 kbps. En particular, se observó que el sistema ofrece transmisiones exitosas a una velocidad de 100 bps y, conforme se aumenta la velocidad,

aumentan los errores en la detección y sincronía debido al aumento correspondiente de la interferencia entre pulsos.

Como trabajo a futuro y en el corto plazo, se encuentra el aplicar una metodología de medición para evaluar el desempeño del sistema desarrollado en términos de la relación señal a ruido (SNR) en el caso de la transmisión analógica de señales de audio y de la probabilidad de bit erróneo (BER) en el caso de la transmisión digital de datos binarios. Esta última es la más sencilla de obtener, pues sólo se debe de transmitir una secuencia binaria conocida por el receptor, contar el número de bits erróneos y dividirlo entre el total de bits transmitidos para evaluar la (BER).

5. Conclusiones

Dado el objetivo de diseñar un sistema de comunicación por medio de luz visible para el monitoreo de las alarmas de la Universidad, con la condición de que éste debía de ser de bajo costo, se logró diseñar y evaluar un sistema que cumple y sobrepasa los requisitos que se necesitarían para detectar, de manera remota, el estado de las alarmas. No sólo es posible transmitir su estado, encendido/apagado, sino también un identificador compuesto por una palabra digital. Debido a que no se requieren tasas de transferencia elevadas, el costo de fabricación del sistema se estima por debajo de los \$500.00 pesos M.N. (\$30.00 USD).

Además, las pruebas al sistema de comunicación permitieron vislumbrar otras aplicaciones, como es la conexión de sensores en red que se encuentran en áreas de interferencia electromagnética, así mismo, debido a la directividad del sistema, se puede reutilizar el canal y/o longitud de onda para distintos dispositivos, o lugares en donde se tenga que evitar el uso de fuentes de radiación electromagnética como en hospitales, conexión entre equipo multimedia (sistemas de teatro en casa) y otras aplicaciones que si bien pueden ser cubiertas con la tecnología de radiofrecuencia, las comunicaciones ópticas inalámbricas ofrecen una alternativa que presenta ventajas notables como la nula interferencia entre sistemas, afectaciones al ruido electromagnético, y seguridad, ya que, al tener un

haz de luz concentrado, no es fácil el intervenir el enlace sin interrumpirlo. Por lo tanto, su uso estará determinado por las necesidades que se presenten a la hora de requerir un enlace de comunicaciones, ya sea en costo, seguridad, inmunidad al ruido, interferencia, bandas del espectro, entre otros aspectos.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Z. Ghassemlooy, Indoor Optical Wireless Communication Systems – Part I: Review. https://www.northumbria.ac.uk/static/5007/ceispdf/ncr_iow.pdf, Julio 2016.
- [2] Linear Current Modulators for High Power LEDs. http://www.modulatedlight.org/optical_comms/LED_linear_modulator.html Abril 2016.
- [3] F. C. Allard, Fiber Optics Handbook for Engineers and Scientists. McGraw – Hill, chapter 7 Modulation. section 3.2.
- [4] PT331C Datasheet. Everlight Electronics Co. Taiwan. 2016.
- [5] A. Jovicic, J. Li, T. Richardson, “Visible Light Communications: Opportunities, Challenges and the Path to Market”. IEEE Communications Magazine. Dec. 2013. Pp. 26-32.
- [6] T. Komine, M. Nakagawa, “Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System Using LED Lights”. IEEE Trans. Consumer Electronics. Vol. 50. No. 1. Feb. 2004. Pp. 100–07
- [7] A. T. Hussein, J. M. Elmirghani, “Mobile multi-gigabit visible light communication system in realistic indoor environment”. Int. J. Lightw. Technol. Vol. 33. No. 15. Aug. 2015. Pp. 3293–3307.
- [8] S. Rajagopal, R. D. Roberts, S-K. Lim, “IEEE 802.15.7 Visible Light Communication: Modulation Schemes and Dimming Support”. IEEE Communications Magazine. ;March 2012. Pp. 72-82.
- [9] K. Cui, G. Chen, Z. Xu, R. D. Roberts, “Line-of-Sight Visible Light Communication System Design and Demonstration”. IEEE CSNDSP. 2010. Pp. 621-625.

7. Autores

Ing. Manfredo Manuelievich Ceja Pachinski es Ingeniero en Electrónica por la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco en la Ciudad de México, MÉXICO en 2016, grado que obtuvo en el primer trimestre de 2016. Actualmente ocupa el puesto de Ayudante de Investigación en la UAM Azcapotzalco. Su Área de interés se centra pero no se limita al desarrollo de dispositivos electrónicos para sistemas de comunicaciones, antenas y redes de telecomunicaciones.

Dr. Genaro Hernández obtuvo su título de Doctor en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional en la Ciudad de México, MÉXICO en el año 2009. El Dr. Hernández Valdez es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1. Sus principales líneas de investigación se centran en el modelado, análisis y evaluación del desempeño de sistemas de comunicaciones móviles y en el desarrollo de dispositivos electrónicos para sistemas de comunicaciones.