

TRANSMISIÓN INALÁMBRICA DE SEÑALES MEDIANTE EL ESPECTRO DE LUZ VISIBLE WIRELESS SIGNAL TRANSMISSION THROUGH VISIBLE LIGHT SPECTRUM

Alvaro Riva y Omar Ormachea

Centro de Investigaciones Ópticas y Energías (CIOE)

Universidad Privada Boliviana

ormachea@upb.edu

(Recibido el 20 mayo 2015, aceptado para publicación el 03 de junio 2015)

RESUMEN

Se presenta el desarrollo de un prototipo de comunicación inalámbrica de señales mediante el uso del espectro de luz visible con un ancho de banda de 5 MHz (aproximadamente 80 Mbps) y una distancia de 15 cm, el sistema desarrollado permite la transmisión de señales de audio & video de forma inalámbrica mediante un LED (luz blanca). La luz que emite un diodo emisor, se encuentra dentro del espectro electromagnético de luz visible (400-700 nm.), en este rango espectral, se tiene un potencial de ancho de banda de aproximadamente 322 THz, mucho mayor al que se usa en la transmisión de datos inalámbricos mediante ondas electromagnéticas de radio frecuencia (5 MHz para la tecnología 3G). Se instalaron todos los componentes electrónicos en placas impresas dentro de armazones para su uso de forma sencilla. El sistema funciona con fuentes de voltaje simétricas de +9, -9 voltios. El diseño final consta de un transmisor y un receptor de video. El sistema permite variar la intensidad del LED y de esta forma aumentar o reducir la distancia de transmisión; asimismo, es posible regular la ganancia tanto en el transmisor como en el receptor y, por último, se tiene una etapa sumadora y restadora en el transmisor y receptor, respectivamente, para efectivizar la calidad de transmisión de la señal. El sistema tiene un costo menor en un 80% en comparación con sistemas de transmisión de señales por luz visible comerciales.

ABSTRACT

This article presents a wireless visible light communication system with a maximum bandwidth of 5 MHz (80 Mbps approximately) and 15 centimeters of distance. The system allows audio & video signals to be transmitted wirelessly with a conventional LED (white light). The light emitted by the diode is within the visible light spectrum (400-700 nm.). In this spectral range, it is possible to reach a potential bandwidth of approximately 322 THz, which is much higher than a transmission through radiofrequency electromagnetic waves (5 MHz for 3G Technology). We installed the electronic components on a circuit board inside a frame for a simpler and easier use. The system works with symmetric +9, -9 volts power. The final design consists of a transmitter and a receiver for audio & video. The system allows varying the LED intensity, so as to increase or decrease the maximum transmission distance, and to regulate the gain in both the transmitter and receiver. To enable effective video transmission quality, a final addition and subtraction stage is applied in the transmitter and receiver, respectively. The cost of the developed system is 80% lower compared to commercial systems based on visible light communication.

Palabras Clave: Comunicación por Luz Visible, Espectro Electromagnético, Radiofrecuencia, LED, Ancho de Banda.
Keywords: Visible Light Communication, Electromagnetic Spectrum, Radiofrequency, LED, Bandwidth.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, es un hecho la transmisión de datos en el orden de los cientos de Mbps (Eszter, H. y otros. [1-3]), en áreas como telecomunicaciones, investigación, educación, medicina, gobierno, etc. La fibra óptica es una solución efectiva y eficiente para el transporte de audio & video y datos a grandes distancias con gran ancho de banda (J. C. Knight. y otros [4-6]), sin embargo, trae consigo algunos inconvenientes como el alto costo que representa su instalación o la carencia de infraestructura en distintos lugares.

Para las conexiones inalámbricas con gran ancho de banda, se cuenta con la tecnología 4G (telefonía móvil) que, según la *International Mobile Telecommunications-Advanced (IMT-Advanced)*, define el ancho de banda para esta tecnología entre 100 Mbps, en movimiento, y 1 Gbps, en reposo [7].

Existe adicionalmente la posibilidad del empleo de otra tecnología en desarrollo VLC (*visible light communication* o comunicación por luz visible, por sus siglas en inglés) [8], [9], [10], [11], donde se podría utilizar las fuentes de iluminación convencional de calles, ambientes, hospitales, hoteles, etc. como portadoras de señales inalámbricas con gran ancho de banda.

Los LEDs (diodos emisores de luz) se están convirtiendo en la nueva generación general de fuentes de luz [12], con claras ventajas por el gran avance tecnológico, su bajo costo, su eficiencia energética y su amigabilidad con el medio ambiente, con respecto a otras fuentes de luz como las fluorescentes que contienen mercurio.

Un sistema de transmisión de datos por VLC utiliza la modulación de la intensidad lumínica, técnica que cambia la intensidad de la luz en correlación con los datos a transmitir y recibe los mismos por detección de la intensidad lumínica, convirtiéndola en una señal eléctrica utilizando un foto-detector.

El ancho de banda promedio alcanzado en laboratorio hasta la fecha a través de VLC es de 1 Gbps [13]. Este nuevo sistema, representa un cambio radical con respecto a la tecnología actual utilizada en el área de las Telecomunicaciones y más aun considerando la gran cantidad de aplicaciones que se pueden implementar [14].

2. COMUNICACIÓN POR LUZ VISIBLE (VLC)

La comunicación por luz visible está desarrollada sobre la base de una bombilla LED como transmisor. Este dispositivo es normalmente usado para iluminación utilizando un valor fijo de corriente. Sin embargo, variando la corriente, la salida óptica, es decir la intensidad de la iluminación, puede ser variada a velocidades extremadamente elevadas [15], [16]. Esta propiedad es usada en la configuración básica de VLC. El procedimiento es simple, si el LED está encendido, equivale a transmitir un *uno* digital, si por el contrario el LED se encuentra apagado, se estará transmitiendo un *cero* digital.

En la Figura 1 se muestra el espectro de emisión medido de una fuente típica del tipo LED [10], el pico de la izquierda corresponde a la emisión del LED propiamente dicho (LED azul) y el pico ancho de la derecha corresponde a la emisión del fósforo, elemento con el cual está dopado el LED; observando el espectro de emisión producido se tiene una iluminación muy cercana a la luz blanca.

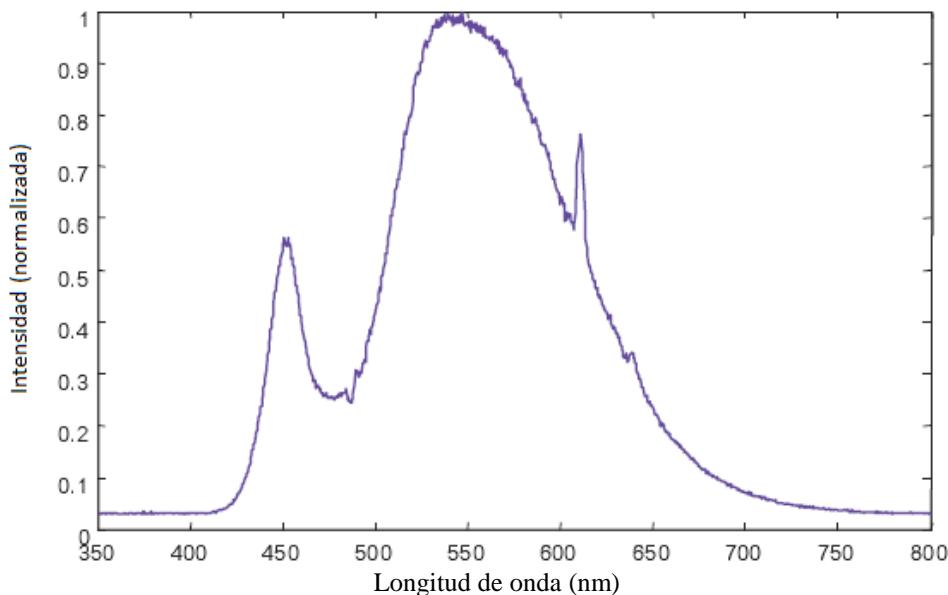


Figura 1 – Espectro de emisión óptica de un LED (fosforo-amarillo/azul).
(T. Komine y M. Nakagawa [17])

Los LEDs pueden ser encendidos y apagados a grandes velocidades, lo que brinda buenas oportunidades para transmitir datos. Por lo tanto, todo lo que se requiere es algunos LEDs y un controlador que codifique los datos a ser transmitidos por los LEDs [17].

3. COMPOSICIÓN DE LA SEÑAL ELÉCTRICA DE VIDEO

La señal eléctrica de video es muy compleja y el análisis y funcionalidad de cada una de cada una de las partes de ésta, es de suma importancia para obtener una buena calidad. En la Figura 2, se observa la composición y forma de la onda de la señal de video de un escaneo horizontal en el sistema NTSC [18]; se puede observar la división de la señal en 2 zonas, la zona de borrado y la zona activa de señal.

3.1 Niveles de Voltaje

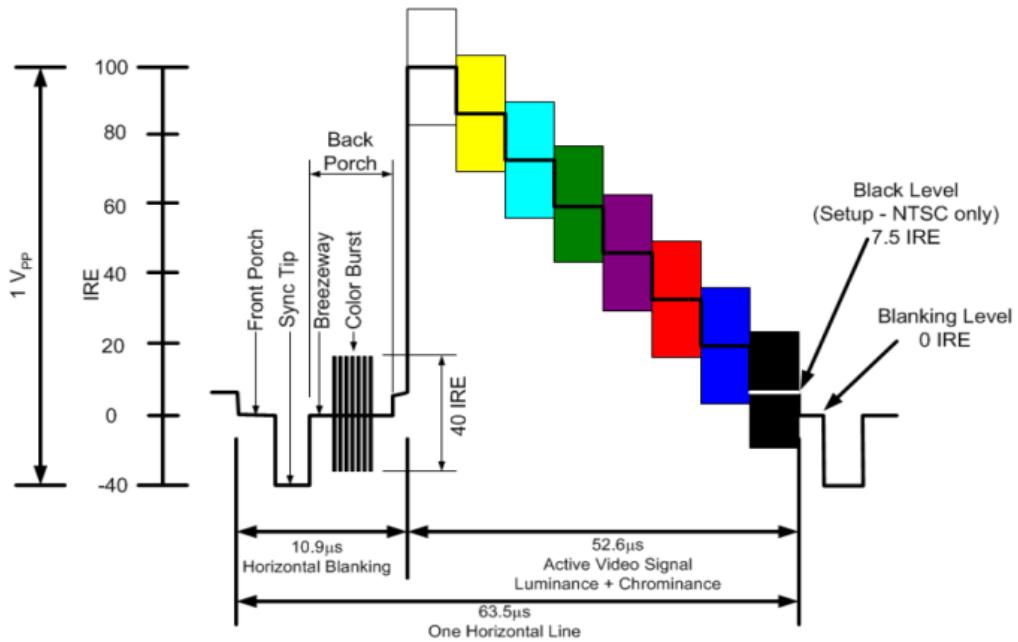


Figura 2 – Forma de onda estándar NTSC con la estructura correspondiente a la señal de video y sus componentes [19].

La amplitud de la señal es de 1 V_{pp} y su unidad de medida son los IREs, donde 1 IRE equivale 7.143mVpp. El equivalente a 1 V_{pp} es de 140 IREs y la señal resultante puede variar entre +100 IREs (+714.3 mV) y -40 IREs (-285.7 mV) [19].

3.2 Zona de borrado (blanqueo)

Esta zona se encarga de ajustar las condiciones de operación para mostrar una nueva imagen y consta de varias partes. La primera es el pulso de sincronización, el cual indica al dispositivo que se mueva hacia la siguiente línea horizontal; luego, se tiene la ráfaga de color que establece la frecuencia de referencia para decodificar los colores (3.58 MHz en NTSC). Durante este lapso, la pantalla es negra debido a que los niveles de voltaje están por debajo de 0 IREs. En NTSC existe un nivel de ajuste, que es la referencia para el color negro que tiene un desfase de 7.5 IRE (54 mV) sobre el nivel de borrado [18].

3.3 Zona activa de señal

Es la zona que tiene información de la imagen codificada en términos de luminancia y crominancia. El nivel DC de la señal en un instante da información del brillo y la información del color es añadida con una señal sinusoidal modulada en este nivel DC; los colores (referidos al matiz) son identificados por la diferencia de fases con la referencia y la amplitud modulada de esta señal especifica el valor de saturación [19].

3.4 Ancho de Banda

En señales de audio de baja frecuencia, la tolerancia a la degradación es amplia ya que la calidad del sonido no presenta diferencias si el ancho de banda asignado se reduce, es por eso que en telefonía analógica se requiere tan sólo 4 kHz de ancho de banda [18]. Por otro lado, en los sistemas de video, la distorsión de las frecuencias altas es crítica ya que la percepción visual de la imagen tiene gran impacto al ojo humano. El efecto de tener un ancho de banda inadecuado es que la imagen se obscurece y se pierde los detalles por lo que se da con notoriedad una menor resolución. En la crominancia, la saturación es limitada a valores menores por un mismo factor para todos los colores, por lo que colores fuertes son desfasados a colores suaves (p.ej. el rojo puede verse como rosado).

El parámetro de ganancia de ancho de banda debe ser seleccionado adecuadamente, generalmente refiriendo a valores mayores dentro de lo esperado, para video analógico compuesto una ganancia de al menos 5 MHz es considerado idóneo, como se aprecia en la Figura 3.

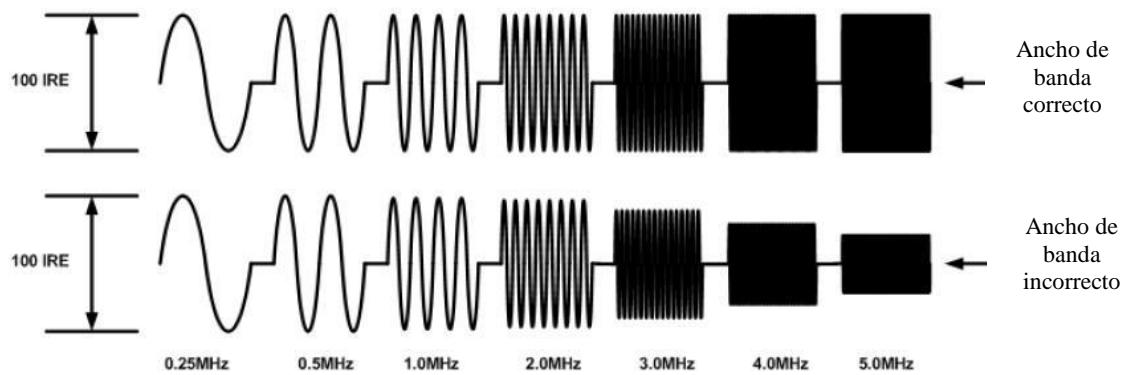


Figura 3 – Comportamiento de la señal en función de la frecuencia y la ganancia de ancho de banda del sistema [18].

4. DESARROLLO SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR LUZ VISIBLE PARA LA TRANSMISIÓN DE VIDEO

4.1 Diseño del transmisor inalámbrico por luz visible

En la Figura 4 se tiene el diseño del transmisor de señales (video a 4.5 MHz) en el que se implementó un amplificador operacional LM318 en una segunda etapa, con la configuración de sumador, con el fin de sumar un voltaje continuo a la señal original proveniente del reproductor de video y, de esta forma, evitar que el diodo emisor de luz se apague en algún momento de la transmisión de la señal compuesta de video; por otra parte, se aumentó un potenciómetro entre la salida y la entrada inversora del amplificador (primera etapa), para de esta forma variar la resistencia y por ende la ganancia del amplificador; finalmente, se instaló un LED entre la salida del amplificador de la segunda etapa y una resistencia conectada a tierra.

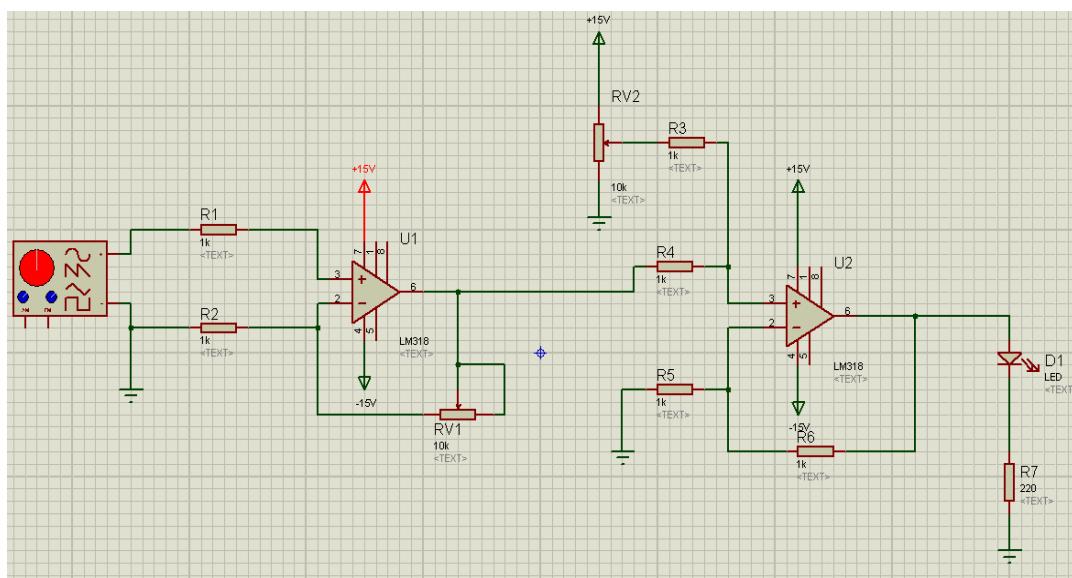


Figura 4 – Circuito transmisor para la transmisión de video compuesto.

4.2 Diseño del receptor inalámbrico por luz visible

En el receptor se debe restar la señal que se sumó en el transmisor, es decir, devolver la señal al nivel de referencia, y de esta forma garantizar que la señal sea tal cual sale del reproductor de video. Con este fin, se añadió en una primera etapa un amplificador operacional LM318 como restador o diferenciador lo que permite obtener la señal inicial tanto en la parte positiva como en la negativa. A continuación, la señal pasa a la entrada positiva de otro amplificador operacional que funciona como amplificador para acondicionar la señal a los niveles de voltaje requeridos por un televisor y así poder visualizar imágenes en el mismo. Se usó también potenciómetros que en el restador sirven para variar el voltaje que entra por el pin inversor y en el amplificador para variar la ganancia del amplificador, tal como se observa en la Figura 5.

TRANSMISIÓN INALÁMBRICA DE SEÑALES MEDIANTE EL ESPECTRO DE LUZ VISIBLE

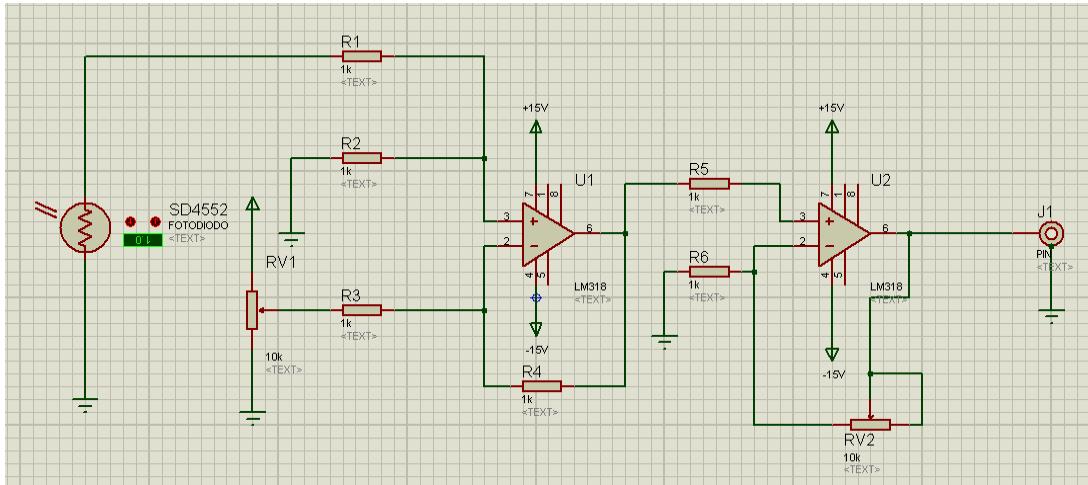


Figura 5 – Circuito receptor para la recepción de video compuesto.

En la Figuras 6 se observa la señal que resulta de adicionar un nivel de voltaje DC a la señal proveniente del dispositivo reproductor de video (Figura 6a), para su acondicionamiento y transmisión mediante un diodo emisor de luz. Como se mencionó anteriormente, este voltaje permite desplazar la señal original de video por encima del nivel de referencia (Figura 6b), es decir, los valores en voltaje que adquiera la señal serán siempre mayores a 0 volts, de esta forma se consigue que los valores de voltaje y corriente que reciba el diodo emisor de luz sean positivos, por lo tanto el LED permanecerá siempre encendido, variando simplemente la intensidad de iluminación.



Figura 6 – Imagen de la señal producida por el reproductor de video (a), suma de nivel DC a la señal original (b), la linea roja es el nivel de referencia.

En la Figura 7, se observa la señal obtenida por el receptor (fotodiodo), el cual genera una señal de voltaje negativo (Figura 7a), por debajo del nivel de referencia. Es necesario acondicionar esta señal, de acuerdo a los requerimientos de un televisor, para esto se requiere sumar un voltaje DC con respecto al nivel de referencia (Figura 7b). para obtener los requerimientos de señal mencionados.



Figura 6 – Señal obtenida por el fotodiodo (a), suma de nivel DC a la señal original (b), la linea roja es el nivel de referencia.

4.3 Pruebas Experimentales

Para el desarrollo y construcción del prototipo de transmisión de señales de video mediante el espectro de luz visible, se utilizaron como diodo emisor LED el transmisor RL5-W18030, que es una fuente de luz LED blanca de color de temperatura 13850 K, un voltaje de funcionamiento de 5 V y una potencia de consumo eléctrico de 0.102 Watts.

Como sensor de recepción se utilizó un Fotodiodo de silicio SD4552, de respuesta espectral entre 400 y 1100 nm, de área activa 0.25" X 15". Los elementos empleados se muestran en la Figura 8, ambos elementos son de bajo costo y se encuentran fácilmente en el mercado.

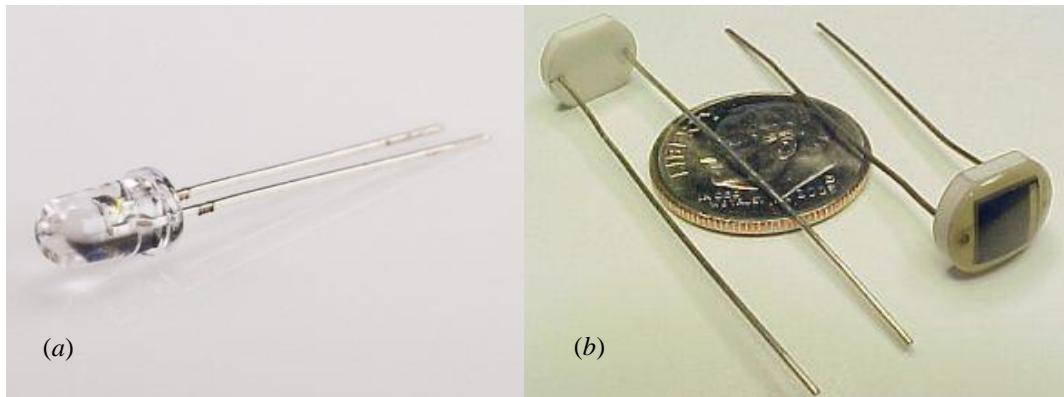


Figura 8 – LED transmisor RL5-W18030 (a), Fotodiodo SD4552 (b).

Inicialmente, se montaron los circuitos electrónicos en *protoboards*, se dispusieron los elementos de emisión y recepción a una distancia máxima de 15 cm, donde se podía obtener aún una buena calidad de transmisión de video.

En la Tabla 1 se muestran los principales valores y características obtenidas por el prototipo final de transmisión de señales por luz visible.

TABLA 1 – CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE TRANSMISOR Y RECEPTOR FINAL DE SEÑALES INALÁMBRICAS POR LUZ VISIBLE

ELEMENTO	ANCHO DE BANDA	VOLTAJE	DIST. MÁX.	AMPLIFICADOR OPERACIONAL	LED TRANSMISOR	FOTORECEPTOR
TRANSMISOR	4.8 MHz	+- 9V	15 cm	LM 318	RL5-W18030	-
RECEPTOR	5.1 MHz	+- 9V	15 cm	LM 318	-	SD4552

Finalmente, se realizó el diseño y construcción de las placas PCB (circuitos impresos) para tener un acabado estable, reduciendo así las interferencias y el ruido a causa del *protoboard* y los cables conectores (Figura 9).

Ya con ambos circuitos conectados y en funcionamiento, se utilizó un reproductor de VHS como fuente de emisión de audio & video, utilizando un osciloscopio de 200 MHz de ancho de banda se procedió a medir la señal emitida por el equipo emisor antes y después del enlace óptico.



Figura 9 – Diseño final del sistema de transmisión inalámbrica de Video por luz visible.

En la Figura 10, se observa la gran similitud entre la señal de entrada (Figura 10a) y la señal de salida (Figura 10b), esto con los ajustes necesarios en amplitud para acondicionar la señal para su transmisión óptica y nuevamente en la recepción en el fotodiodo, y reacondicionar la misma señal para que pueda ser interpretada y visualizada en un televisor.



Figura 10 – Señal original de entrada al Transmisor (a), señal de salida del Receptor Óptico (b).

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se logró realizar una transmisión óptica (luz blanca 400-700 nm) de señales de video & audio a un ancho de banda de 5 MHz (aproximadamente 80 Mbps) con una distancia máxima de 15 cm, utilizando como elemento emisor un diodo LED blanco y como elemento receptor se utilizó un fotodiodo de silicio (SD4552), ambos elementos comerciales y de bajo costo. El ancho de banda obtenido en el sistema desarrollado permitió una transmisión clara de las señales utilizadas, fundamentalmente la señal de video que requiere de por lo menos 2 MHz de ancho de banda.

Se desarrollaron dos circuitos, un transmisor y un receptor de audio que funcionan con una batería de 9 voltios cada uno, logrando transmitir señales en un ancho de banda de 500 KHz.

Se desarrollaron dos circuitos, un transmisor y un receptor de video que funcionan con una fuente de voltaje de +9 y -9 voltios cada uno, logrando transmitir señales en un ancho de banda de 5 MHz.

El sistema construido tiene un costo menor en un 80% en comparación con sistemas de transmisión de señales por luz visible comerciales.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] H. Eszter. "Internet access and use in context Northwestern University new media & society." *London, Thousand Oaks, CA and New Delhi*, vol. 6, 2004, pp. 137-143.
- [2] C. Costas et al. "Measurement-Based." *Usage Charges in Communications Networks*, vol. 48, 2000, pp. 535-548.
- [3] G. Sacide and K. Yasemin. "The Usage of Social Networks in Educational Context." *Engineering and Technology*, vol. 3, 2009, pp. 127-131.
- [4] J. C. Knight et al. "All-silica single-mode optical fiber with photonic crystal cladding." *The Optical society of America*, vol. 22, pp. 484-485, 1997.
- [5] Y. Yamamoto and T. Kimura. "Coherent optical fiber transmission systems." *Quantum Electronics, IEEE Journal*, vol. 17, pp. 919-935, 2003.
- [6] M. John. "Optical fibers for transmission," in *Subject category Engineering*. New York, NY : Wiley, vol. 7, 1999, pp. 410-502.

- [7] Y. Yang et al. "Relay technologies for WiMax and LTE-advanced mobile systems." *IEEE Communications Society*, vol. 47, pp. 100-105, 2009.
- [8] Y. Tanaka et al. "Indoor visible light data transmission system utilizing white LED lights." *IEICE Trans. Commun*, vol. 86, pp. 2440-2454, 2003.
- [9] T. Komine and M. Nakagawa. "Fundamental analysis for visible light communication system using LED light." *IEEE Trans. Consum. Electron*, vol. 50, pp. 100-107, 2004.
- [10] T. Komine et al. "Adaptive equalization system for visible light wireless communication utilizing multiple white LED lighting equipment." *IEEE Trans. Wireless Commun*, vol. 8, pp. 892-900, 2009.
- [11] Y. Yi et al. *Indoor LED based identification systems using adaptive MMSE equalizer for optical multipath dispersion reduction: proceedings of the International Conference on ICT Convergence*, September 2011, pp. 95-100.
- [12] C. Chen and Z. Xiao-hui. "Collimate LED Light to Uniform Illumination with Refractive-Reflective Optical System." *Applied Mechanics & Materials*, vol. 543, pp. 658-661, 2014.
- [13] D. Kasun et al. "Improved Indoor Visible Light Communication with PAM and RLS Decision Feedback Equalizer." *Iete Journal Of Research*, vol. 59, pp. 672-678, 2013.
- [14] J. Rani et al. "Li-Fi (Light Fidelity)-The future technology In Wireless communication." *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation*, vol. 4, no. 4, pp. 2340-2343, 2015.
- [15] G. Pang. "Visible Light Communication for Audio Systems." *Hong Kong : IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 15, 2005, pp. 236-245.
- [16] O. Bouchet et al. "Visible-light communication system enabling 73 Mb/s data streaming," proceedings of the GLOBECOM Workshops (GC Wkshps), 2010 IEEE. Cesson-Sevigne, France, January 2011, pp. 1042-1046.
- [17] Y. Pei. "Led Modulation Characteristics in Visible-Light Communication System." *China: Optics and Photonics Journal*, vol. 15, pp. 139-142, 2013.
- [18] B. Carter. *Video Design Using High-Speed Amplifiers*. Masachusetts: Texas instrument, 2005 (Advanced Analog Applications, application report SLOA057A).
- [19] S. Do Ky. "Simultaneous transmission of audio and video signals using visible light communication." *EURASIP Journal on Wireless Communication and Networking*, vol. 15, pp. 2536-98, 2013.