

Evaluación de una red de comunicación RS485 +lifi. Ejecución de un sistema ciberfísico

Test of an RS485 + Li-Fi communication network. Implementation of a cyber-physical system

Wilmar Martínez Urrutia¹

Recibido: 8 de junio del 2020 Aceptado: 12 de agosto del 2020

DOI: <https://doi.org/10.29097/2011-639X.@a>

Resumen

Como principal objetivo, el presente estudio busca operar un bus industrial mediante luz visible en lugar del espectro electromagnético utilizado por wifi, y así alcanzar velocidades iguales a este o mayores, minimizando el consumo energético y las interferencias electromagnéticas. La investigación pretende determinar el impacto de la integración entre estándar industrial RS485 y la tecnología lifi en la operatividad de un sistema ciberfísico, considerando los parámetros de rendimiento de latencia, capacidad, fiabilidad y consumo energético.

Palabras clave: onda de radio, telecomunicación, cibernética, luz, radiodifusión

Abstrac

As a main objective, this study seeks to operate an industrial bus by visible light instead of the electromagnetic spectrum used by Wi-Fi, and thus achieve equal or higher speeds, minimizing energy consumption and electromagnetic interference. The research aims to determine the impact of the integration between the industrial standard RS485 and Li-Fi technology on the operability of a cyber-physical system, considering the performance parameters of latency, capacity, reliability, and power consumption.

Keywords: radio waves, telecommunications, cybernetics, light, broadcast

Introducción

La presente investigación evalúa el desempeño de una red RS485 + lifi en un sistema ciberfísico desde las variables de latencia, eficiencia energética, capacidad y fiabilidad; esto para posibilitar la eliminación de medios de transmisión cableados, acrecentar la resistencia a las interferencias electromagnéticas generables en un ambiente industrial y evitar el aumento de la saturación del espectro radioeléctrico, aplicando comunicaciones inalámbricas en las redes industriales.

De acuerdo con diferentes autores (Haas et al., 2020; Swarnkar et al., 2018; Apoorv et al., 2019), el lifi se define como un tipo de tecnología VLC, que utiliza el LED para transmisión de datos de manera bidireccional y de alta velocidad, y que funciona a través

¹ Ingeniero electrónico de la Universidad Autónoma de Colombia, especialista en informática y automática industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, con Maestría en ingeniería Mecatrónica de la Universidad Militar Nueva Granada; Docente de planta del departamento de ingeniería Mecánica de la Universidad América.

del parpadeo de un LED a una velocidad suficientemente rápida de imperceptibilidad a simple vista. Es por ello por lo que, si se aprovechan las ventajas de los LED como elementos de transmisión en cuanto a su larga vida útil, bajo consumo de energía, tamaño pequeño y condición ambientalmente amigable, sobre un estándar de comunicación industrial como el RS485, se podría trabajar en el rango de frecuencias de 430 THz a 790 THz y se contaría con una oportunidad para la descongestión del ancho de banda radioeléctrico en aplicaciones industriales.

Bajo estas consideraciones es importante valorar si el lifi indica un rendimiento igual o más elevado que el wifi, para justificar su adopción como medio de comunicación en un sistema ciberfísico, proyectando que este representa la próxima generación de sistemas de ingeniería, en los que las tecnologías de computación, comunicación y control de procesos exigirán más, debido al aumento en la demanda de velocidad informática que se producirá, a medida que crece el mercado de dispositivos IoT y la incursión de las comunicaciones 5G (Bhanse y Pawar, 2018).

A continuación, se muestran algunos desarrollos aplicados principalmente al campo de acción de lifi en la actualidad; desde las áreas de alta radiación electromagnética, la educación en aulas inteligentes, su alcance en zonas rurales, los sistemas de posicionamiento global, hasta llegar a los sistemas V2V.

En 2011, Harald Haas fue el primero en acuñar el término Light Fidelity (Li-Fi), refiriéndose a un sistema de comunicación inalámbrico ligero de alta velocidad, análogo al wifi —que utiliza radiofrecuencia para la comunicación—, y afirmando que las señales wifi interfieren con otras señales de RF en áreas sensibles a la radiación electromagnética (por ejemplo, aviones), donde el lifi se presenta como una mejor solución (Khan, 2017).

Asimismo, la educación en aulas inteligentes se ha convertido en una innovación beneficiosa para las escuelas modernas y universidades; permite a los estudiantes aprender conceptos con la ayuda de la tecnología, y a través del lifi conectaría a todos los estudiantes con un flujo de datos transmitidos desde una fuente central, para que el grupo acceda a una conexión inalámbrica, eliminando la congestión de la red al realizar sesiones interactivas al mismo tiempo (Wen, 2017). Ahora, proporcionar internet gratis a las comunidades rurales a través de tecnologías como lifi puede alentar a los jóvenes a participar en el desarrollo económico y a sumar habilidades cruciales en la cuarta revolución industrial ya iniciada, utilizando fuentes de luz LED de baja potencia, o recolectando energía a través de paneles solares o postes de luz que abastecen con internet gratis a una comunidad, para acceder a centros de aprendizaje distantes.

El sistema desarrollado por un equipo de investigación en la Universidad Estatal de Pensilvania utiliza transmisores lifi y luces LED de techo para identificar una ubicación exacta en interiores y entornos. Esto proporciona una alternativa muy propicia para los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y su uso en interiores, porque las frecuencias de radio internas interfieren con la señal del GPS (Lambrechts y Sinha, 2019).

Por su parte, la comunicación de vehículo a vehículo (V2V) es una tecnología en desarrollo, que ayuda a que los sistemas de transporte sean inteligentes. El sistema también puede evitar accidentes y congestión de tráfico. En la investigación “Optical wireless applications”, Zhou y Kavehrad (2017) emplean Light-Fidelity (Li-Fi) para la comunicación de datos entre vehículos, principalmente con el uso del espectro de luz visible como medio, por su alta velocidad y carácter ecológico. Inclusive, de acuerdo con la tesis Medición de distancia y transmisión de datos entre vehículos mediante faros LED (Bechadergue, 2017), de la Universidad Paris-Saclay, ya se está trabajando en la transmisión de datos de vehículo a vehículo (V2V).

Esta investigación adicionalmente resalta que, como el espectro de luz carece de reglas de licenciamiento, la penetración de enlaces como el RS485 + lifi presentaría un campo de acción económico: desde áreas de alta radiación electromagnética, ambientes inteligentes, sistemas de posicionamiento global hasta los sistemas V2V, entre otras.

El presente trabajo obedeció al tipo aplicado, pues se basó en los resultados de la recolección de datos durante la ejecución experimental de la investigación; la consecución de estos resultados consistió en seleccionar las muestras tomadas, aplicar diferentes temperaturas dentro del sistema ciberfísico desarrollado y analizar posteriormente el comportamiento en la planta de proceso, para explicar y comprender el desempeño de la red, a través de la información y monitorización de la variable controlada.

Metodología

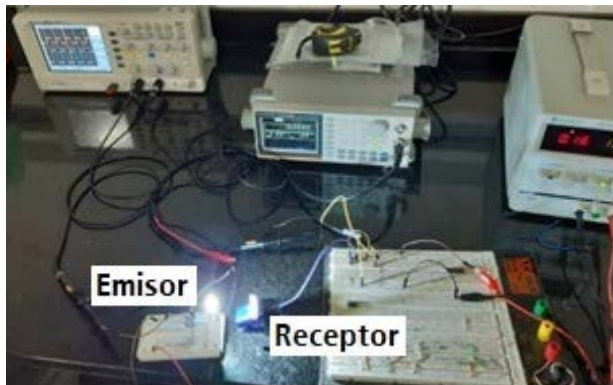
Para esta investigación se determinó el tiempo de propagación, de transmisión y de retardo en la transmisión de información de extremo a extremo de forma teórica, para un enlace lifi y uno wifi; seguidamente se contempló el consumo energético para la aplicación de las dos tecnologías en un enlace con similares características.

Para la construcción de los dispositivos transmisores lifi se emplearon luces LED de color blanca fría por su mayor potencia y velocidad de transmisión del mercado, en comparación con la luminiscencia generada por una de color blanco cálido o blanco puro. Para los receptores lifi se contó principalmente con un fotodiodo BPW21, que cuenta con una densidad espectral relativa adecuada para la detección de longitudes de onda provenientes de la luz blanca originada por el transmisor descrito anteriormente.

Con la construcción del transmisor y receptor lifi, se transmitieron señales cuadradas entre 200Hz y 5MHz, de acuerdo con la estructura de la Figura 1; esto con el fin de validar la calidad de la información y la velocidad transmitida, considerando principalmente de manera experimental el nivel de latencia y la degradación que sufre la señal a su paso por el enlace.

Figura 1

Montaje para la prueba de transmisión en el laboratorio



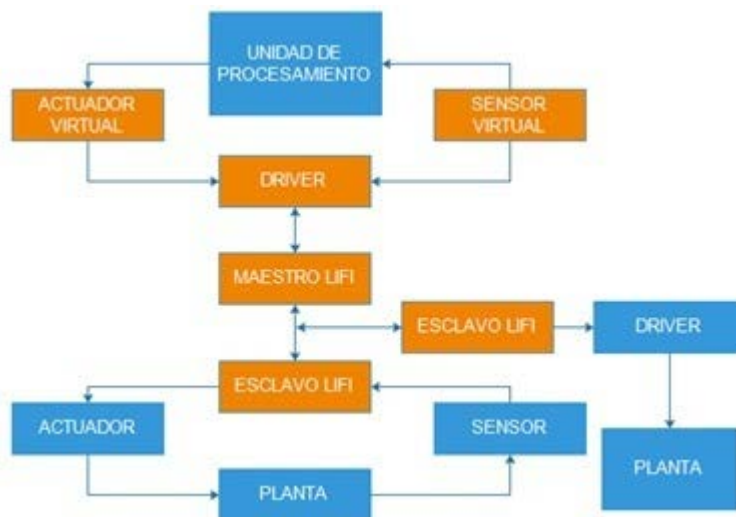
Nota. Foto propia.

Las muestras se analizaron en el toolbox de identificación de Matlab, y se decidió por determinar los tiempos aproximados de levantamiento; para así establecer los tiempos de latencia para cada una de las frecuencias transmitidas y la identificación de picos para medir el nivel de fiabilidad del enlace lifi.

Con la validación de los dispositivos lifi se estableció una topología maestro-esclavo con comunicación multipunto y semidúplex, esto con el ánimo de cumplir con el estándar RS485 desde el punto de vista del funcionamiento, pero sobre un enlace óptico, de acuerdo con la estructura del esquema ciberfísico presentado en la Figura 2.

Figura 2

Diagrama sistema ciberfísico



Nota. Figura de elaboración propia.

Después de iniciar todo el sistema desde el HMI de la unidad de procesamiento principal, se exportaron los datos a Excel y posteriormente a Matlab. En el primer caso para graficar las muestras y corroborar la convergencia hacia el valor del setpoint; en Matlab se identificaron varios comportamientos del sistema ante la variación de los valores en los escalones de entrada, y, a través de la observación de los polinomios característicos, se aseguró la convergencia anteriormente mencionada.

Finalmente, como complemento se utilizó un analizador de redes para rastrear la información que pasaba por el maestro y los esclavos, tomando un total de aproximadamente 120 datagramas o PDU de manera continua, que sirvieron como muestras para validar la integridad de la información y la ejecución del protocolo de comunicación Modbus RS485 implementado sobre un enlace lifi.

Resultados

Al considerar las Ecuaciones 1, 2 y 3, se identificaron los elementos teóricos que demuestran que a través de lifi se pueden obtener niveles de latencia iguales o menores que con wifi, al establecer que la latencia en ambos enlaces es igual. En lo referente al consumo energético, lifi supera a wifi, porque no necesita emitir desde el transmisor una señal de portadora sumada a la información, y, como complemento según Planck, la identificación de la información por parte de los receptores lifi resulta más óptima que wifi, por la mayor cantidad de energía que transmite, a menos que se aumente la potencia de las antenas las últimas.

$$\textit{Tiempo de propagación} = \frac{\textit{Distancia de separación entre nodos}}{\textit{Velocidad de propagación}} \quad (1)$$

$$\textit{Tiempo de transmisión} = \frac{\textit{Longitud de datos}}{\textit{Velocidad de transmisión}} \quad (2)$$

$$\textit{Tiempo de retardo} = \textit{Tiempo de propagación} + \textit{Tiempo de transmisión} \quad (3)$$

Tras establecer rasgos distintivos a favor de lifi se procedió a la construcción del transmisor y sus receptores lifi, con la idea de determinar los tiempos de levantamiento por los que puede pasar el enlace óptico y así determinar los retardos asociados con la latencia de la transmisión. Lo anterior arrojó una relación de la frecuencia del tren de pulsos transmitido con el tiempo de levantamiento en la Figura 3, donde se aprecia que en el caso más crítico se tiene un 6,4 % del ancho del pulso.

Figura 3

Relación de la frecuencia del tren de pulsos transmitido con el tiempo de levantamiento



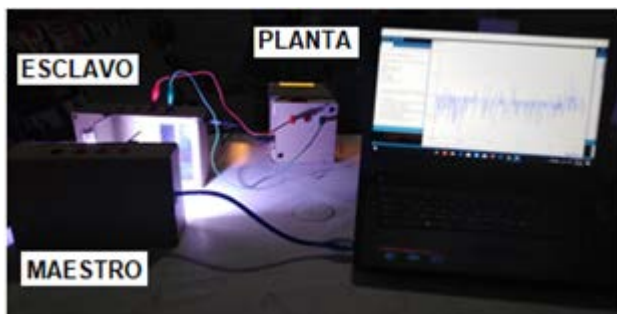
Nota. Figura de elaboración propia.

Con el alcance de estos resultados se dio el punto de partida para la implementación de la red de comunicación industrial RS485, soportada en un medio de transmisión tipo lifi, al contar con los dispositivos de red ya implementados.

En el marco de la investigación y de acuerdo con la Figura 2, el sistema consta entonces de manera total de dos dispositivos esclavos y un maestro como los mostrados en la Figura 4.

Figura 4

Imagen dispositivo maestro y dispositivo esclavo

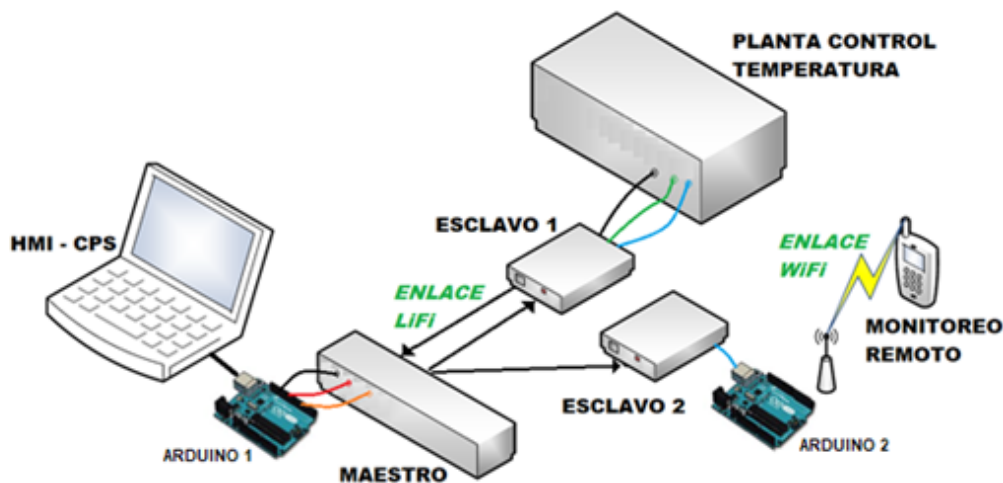


Nota. Foto propia.

A partir de este punto se implementó el sistema ciberfísico para la ejecución de la red RS485 + lifi, como se muestra en la Figura 5.

Figura 5

Arquitectura general del sistema ciberfísico del proyecto



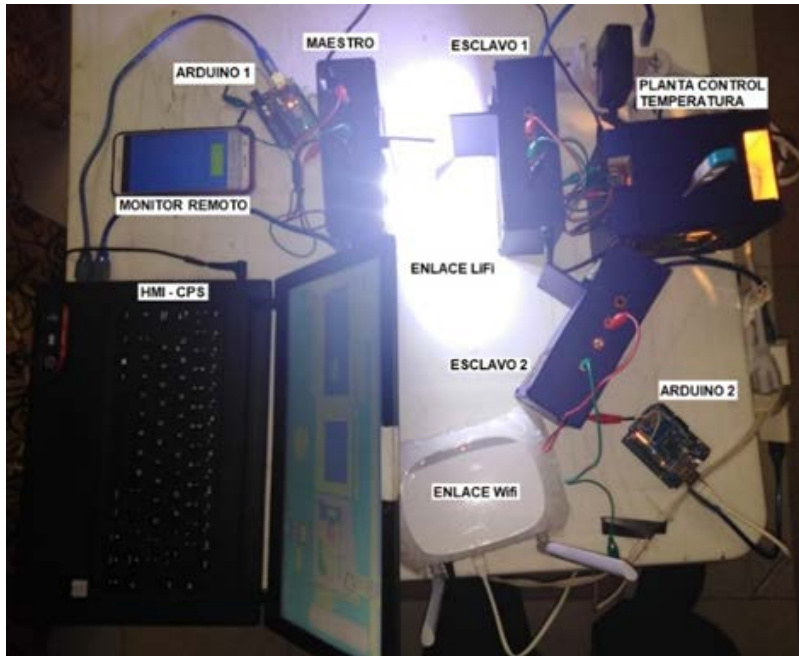
Nota. Figura de elaboración propia.

La entidad de procesamiento de información principal se constituye por el “HMI-CPS” + Arduino 1, y el dispositivo lifi maestro y los dos esclavos conforman la red de comunicación local; la planta por controlar es un proceso de medición de temperatura en el que se incluyó un sensor y dos actuadores: una bombilla no controlable y un ventilador que sí lo es; adicionalmente se cuenta con otra unidad de procesamiento compuesta por el Arduino 2 y equipos teleinformáticos, que se encarga de generar una alarma cuando el valor del setpoint del proceso de temperatura está por debajo de la variable controlada. La imagen de la implementación realizada se puede apreciar en la Figura 6.

Para la validación de la comunicación lifi, se construyó una red LAN, con el fin de compartir recursos entre varios dispositivos sin permitir la salida a internet; a cada dispositivo se le asignó una dirección para responder a las peticiones hechas por el maestro, contemplando que las señales hacia la planta de proceso en todo el sistema ciberfísico oscilan entre 0 y 255 —valores decimales—; las señales de la monitorización por parte del sensor se calculan con información de entre 0 y 1023 —igualmente valores decimales—; en ambos casos se aclara esto, porque aunque los datos transferidos se especifican en decimales, la información se debe enviar carácter por carácter durante toda la ejecución del sistema.

Figura 6

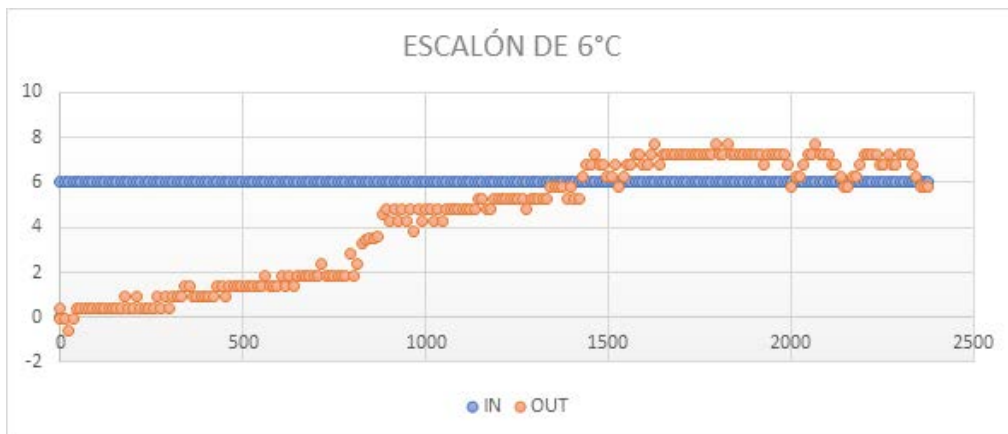
Imagen arquitectura general del sistema ciberfísico del proyecto



Nota. Figura de elaboración propia.

Figura 7

Comportamiento del sistema de control con el uso de la red RS485 + lifi para un escalón de 6 °C



Nota. Figura de elaboración propia.

En esta parte del proyecto, con la integración del enlace RS485 + lifi, se procedió a monitorear el comportamiento del algoritmo de control a través de las lecturas que se

exportaron desde la pantalla HMI de la entidad de procesamiento principal, para validar si la variable de control remota convergía con el valor de consigna fijado, cuyos resultados satisfactorios se ilustran en la Figura 7. Con esto se consiguió la operatividad requerida del sistema ciberfísico, que, con un proceso de identificación, constató mediante el análisis del polinomio característico la convergencia y estabilidad del sistema.

Con el protocolo diseñado y utilizando el flujo de información capturado y tratado por el maestro lifi, la Figura 8 detalla un ejemplo de una PDU entregada por el analizador de red, donde la representación obedece a la cadena hexadecimal que debe interpretarse como se muestra.

Figura 8

PDU representada en caracteres y código hexadecimal

Dirección Esclavo 1	Petición Escritura	Escritura sobre esclavo 1			Dirección Esclavo 1	Petición Lectura	variable controlada			Dirección Esclavo 2	Petición Escritura	Variable error			fin de tram
D	E	271			D	L	271			A	E	167			/n
44	45	32	37	31	44	4C	32	37	31	41	45	31	36	37	0A

Nota. Tabla de elaboración propia.

Con la información entregada y la verificación del protocolo implementado, se analizó la fiabilidad de los datos de operación del sistema ciberfísico, al integrar RS485 + lifi, lo que demostró una secuenciación y calidad de la información alta, transmitiendo más de 6000 datagramas de manera ininterrumpida con la estructura de la Figura 5, donde se obtuvo una tasa de error por debajo del 1 %.

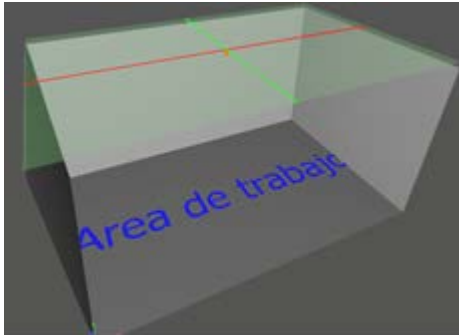
Para extrapolar el prototipo a un espacio mayor, se decidió considerar en primer lugar al factor de mantenimiento —también llamado de conservación—, el cual define la relación entre la iluminancia media en el plano de trabajo, después de un periodo de uso y la iluminancia media obtenida en las mismas condiciones con el LED nuevo. De este modo, para el proyecto se tomó 0,8 por ser el promedio de los factores de mantenimiento de aplicaciones industriales, de acuerdo con la Norma CIE 97:2005, la cual sirve de guía sobre el mantenimiento de sistemas de iluminación eléctrica en interiores. Lo anotado implica la necesidad de un sobredimensionamiento de aproximadamente el 20 % en el modelo por desarrollar.

Con un área de trabajo de 5,4 metros en el eje X; 3,6 metros en el eje Y, y 2,8 metros en el eje Z, la disposición automática que genera el programa DIALux² para cubrir toda el área con la intensidad de luz necesaria de 650 lúmenes de acuerdo con la Figura 7 ascendería a 120 luminarias LED, para una separación de 2 metros entre el transmisor y el receptor, pero al ajustar el modelo a un solo emisor, como señala la Figura 9, con relación al prototipo diseñado.

² <https://www.dialux.com/en-GB/download>

Figura 9

Disposición ajustada del transmisorlifi

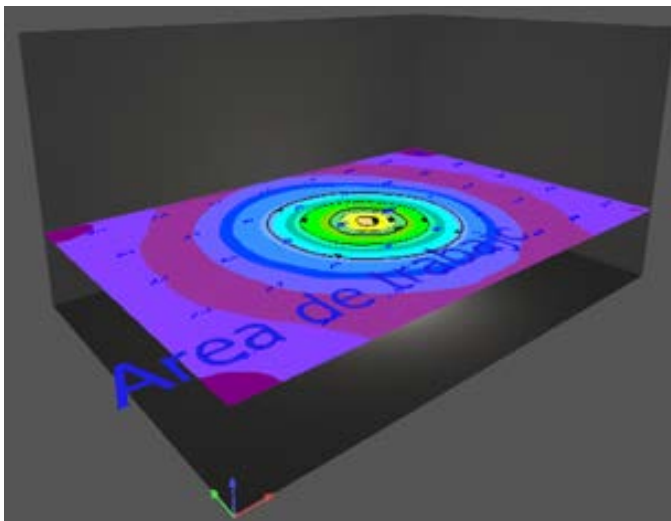


Nota. Figura de elaboración propia.

Las Figuras 10 y 11 remiten al plano de proyección del haz de luz con una separación de 2 metros desde el techo hasta la superficie donde está el receptor.

Figura 10

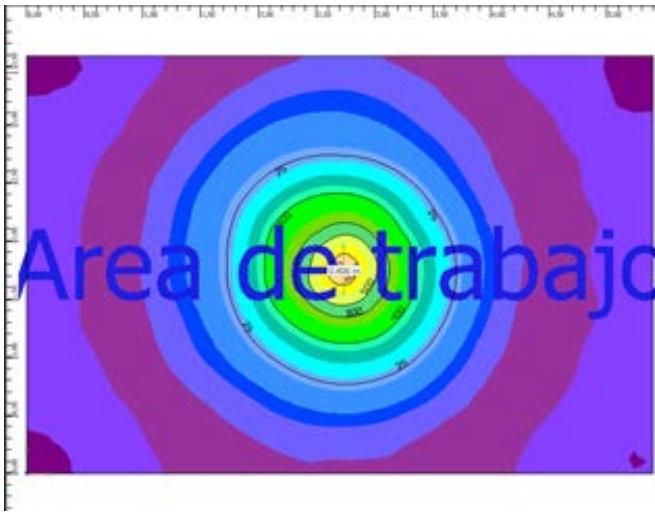
Plano de proyección a 2 metros



Nota. Figura de elaboración propia.

Figura 11

Ampliación plano de proyección a 2 metros

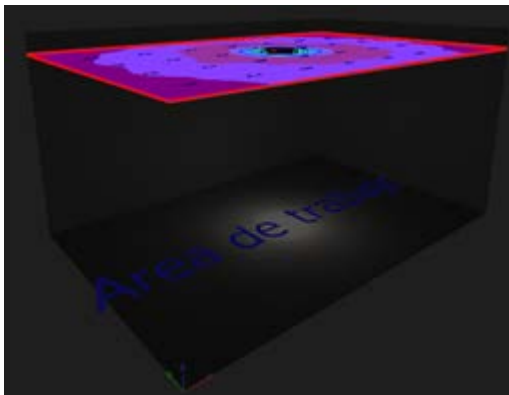


Nota. Figura de elaboración propia.

En la Figura 11 se observa que, para una intensidad lumínica de 650 lúmenes, se contempla un radio de acción de 406 milímetros. Adicionalmente y en concordancia con el prototipo diseñado, se generó una separación de 28 centímetros entre el transmisor y el receptor, como advierte la Figura 12.

Figura 12

Plano de proyección a 28 centímetros

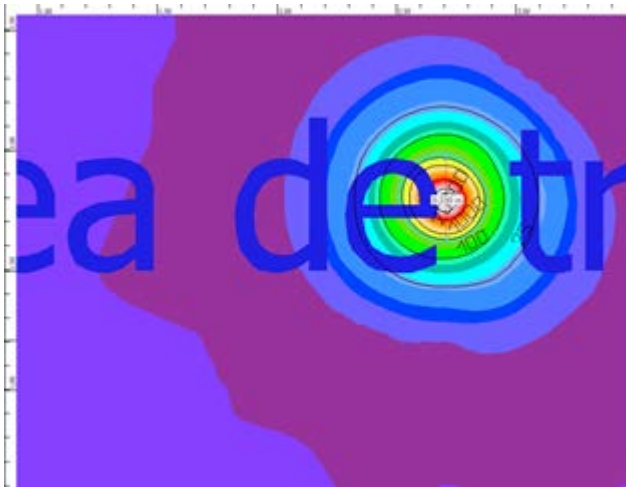


Nota. Figura de elaboración propia.

En la Figura 13 se observa que, para una intensidad lumínica de 650 lúmenes, se dispone de un radio de acción de 330 milímetros, aunque con un nivel de luminiscencia más fuerte en el centro del área de trabajo.

Figura 13

Ampliación plano de proyección a 28 centímetros



Nota. Figura de elaboración propia.

Conclusiones

Con los resultados y análisis se identificaron los elementos teóricos que demostraron iguales niveles de latencia wifi a través de lifi en la transmisión de datos. Los tiempos de respuesta fueron los mismos para ambas tecnologías independientemente de la longitud de los datos y la velocidad de transmisión, debido a que las dos utilizan el aire como medio de transmisión; adicionalmente de forma experimental se logró evidenciar que, en estas tecnologías, el promedio del tiempo de respuesta fue igual al aumentar las velocidades de transmisión desde 2400 bps hasta los 115 200 bps, y haciendo uso del mismo protocolo de comunicación. Teóricamente también se constató la ventaja del lifi en la reconstrucción de la señal transmitida, gracias a su capacidad de transportar mayor energía en una zona del espectro radioeléctrico con longitudes de onda más pequeñas que wifi.

En cuanto al consumo energético se mostraron, por un lado, las tendencias de costos de implementación para tecnologías energéticas, donde la LED ofrece mejor desempeño, con un uso enfocado principalmente en la iluminación; pero tras esta investigación se comprobó que se podría utilizar esta información para ofrecer comunicación a bajo costo, en aplicaciones de comunicación industrial que involucran lifi y con un esfuerzo de hardware menor, en comparación con la del wifi. Se traduce esto en un menor consumo eléctrico, que prescinde de la adquisición de muchos equipos teleinformáticos.

Igualmente se observó que el alto consumo del wifi se vincula con la forma como funciona esta tecnología, ya que para transmitir datos necesita dos señales de radio, la de información y una portadora; aspecto ausente en el lifi.

Lo expuesto concluye que la diferencia entre lifi y wifi no se encuentra en los niveles de latencia, sino en la eficiencia energética que presenta una tecnología en comparación con la otra.

Bajo este mismo protocolo se compararon las transmisiones realizadas a través de lifi y wifi, y se detectó mayor cobertura del último, las zonas muertas que presenta lifi en ciertas frecuencias y los problemas de interferencia del wifi al acercarse a elementos como celulares, hornos microondas, entre otros.

Por un lado se establece que la implementación del estándar RS485 es un vehículo de protocolos de diferente índole; por otro que el desarrollo de componentes lifi no demanda demasiado hardware, pero encontrar los componentes que permitan su adecuado funcionamiento demanda mucho cuidado por trabajar en un rango pequeño del espectro radioeléctrico, en palabras comerciales, y, finalmente, es necesario convenir que, más que remplazarlo, lifi complementa a corta distancia el wifi, por las ventajas y desventajas que presenta cada tecnología.

En cuanto a la capacidad de la red RS485 + lifi en la ejecución de sistema ciberfísico, se concluyó que los niveles de retardo en la transmisión resultan insignificantes para la identificación de la señal en la etapa de recepción, donde el caso más crítico detectado obedeció a un retardo del 6,4 % del ancho del pulso que representa un bit para la su correcta identificación. También se pudo comprobar que las señales transmitidas a través de la luz no generan interferencia con ondas de radio y viceversa; sin embargo, cuando se usó wifi, se pudo notar que los hornos microondas y otras conexiones inalámbricas afectaban la identificación de la transmisión. Este es un dato revelador, si se considera que el problema fundamental para la adopción de sistemas inalámbricos en entornos industriales radica en las interferencias, limitando drásticamente su velocidad por la gestión de estas.

Además, experimentalmente se identificó que el promedio del tiempo de respuesta en las dos tecnologías se mantuvo casi igual, debido al lapso de procesamiento de los dispositivos; por ello se concluye que los retardos de transmisión del maestro a los esclavos no son muy significantes en ambas tecnologías; sin embargo, se detectaron zonas muertas en el enlace lifi desde los 19 200 bps y hasta una distancia de 10 centímetros, situación sin registro con el uso de wifi.

Para terminar, se detectó un ambiente muy confinado, con el que se debe trabajar bajo la tecnología lifi, debido a que, a pesar de que las ondas de radio no afectan su funcionamiento, la luz natural y artificial sí lo hace, reforzando la teoría de que la mejor opción para trabajo de la tecnología son las “atto-células”, y más aún cuando experimentalmente se alcanzó una distancia máxima de 28 centímetros en el enlace.

Referencias

Apoorv, S., Kumar Bhowmick, S., y Annadevi, E. (2019). Implementation of Li-Fi technology in classrooms. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, p. 590. doi:10.1088/1757-899x/590/1/012044

- Bechadergue, B. (2017). Medición de distancia y transmisión de datos entre vehículos mediante faros LED. Universidad Paris-Saclay.
- Bhanse, S. P., y Pawar, S. R. (2018). Li + Wi-Fi: The future of internet of things. 2018 3rd International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES). doi:10.1109/cesys.2018.8724051
- González, A. F. (2015). Diseño e implementación de un prototipo de comunicación de luz visible (vlc) [Trabajo de grado]. Universidad Piloto de Colombia. <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00002492.pdf>
- Haas, H., Yin, L., Chen, C., Videv, S., Parol, D., Poves, E., Alshaer, H., e Islim, M. S. (2020). Introduction to indoor networking concepts and challenges in Li-Fi. *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, 12, A190-A203. <https://doi.org/10.1364/JOCN.12.00A190>
- Işık, M. F., Yartasi, B., y Haboglu, M. R. (2017). Applicability of Li-Fi technology for industrial automation systems. *International Journal of Electronics and Electrical Engineering*, 5(1) 21-25. <http://dx.doi.org/10.18178/ijeee.5.1.21-25>
- Ito, H., Kodama, S., Muramoto, Y., Furuta, T., Nagatsuma, T., y Ishibashi, T. (2004). High-speed and high-output InP-InGaAs untraveling-carrier photodiodes. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 10(4), 709-727. <https://doi.org/10.1109/JSTQE.2004.833883>
- Khan, L. U. (2017). Visible light communication: Applications, architecture, standardization and research challenges. *Digital Communications and Networks*, 3(2), 78-88. doi:10.1016/j.dcan.2016.07.004
- Lambrechts, W., y Sinha, S. (2019). A theoretical analysis of Li-Fi: A last mile solution. En *Last Mile Internet Access. Lecture Notes in Networks and Systems*, 77, 109-142. doi:10.1007/978-3-030-20957-5_4
- Li, F., You, L., Nie, C., Zhang, Q., Jin, X., Li, H., Gu, X., Huang, Y., y Li, Q. (2017). Quantum dot white light emitting diodes with high scotopic/photopic ratios. *Optics Express*, 25(18), 21901-21913. <https://doi.org/10.1364/oe.25.021901>
- Swarnkar, M., Bhadoria, R. S., y Arya, K. V. (2018). Architectural building protocols for Li-Fi (Light Fidelity). *Emerging Wireless Communication and Network Technologies*. 127-137. doi:10.1007/978-981-13-0396-8_7
- Wen, C. L. (2017). Telemedicine, eHealth and remote care systems. En *Global health informatics: How information technology can change our lives in a globalized world* (pp. 168-194). doi:10.1016/B978-0-12-804591-6.00009-4
- Zhou, Z., y Kavehrad, M. (2017). Optical wireless applications. En R. Karlicek, C. C. Sun, G. Zisis y R. Ma (Eds.), *Handbook of advanced lighting technology* (pp. 635-664). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-00176-0_34