

Correspondence:

Sistemas VLC Para Comunicaciones e Iluminación VLC Systems for Communications and Lighting

Diego Intriago Rodríguez

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
dintriagor3@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4829-0089>

Byron Wladimir Oviedo Bayas

Universidad Técnica Estatal de Quevedo
boviedo@uteq.edu.ec

Resumen

La comunicación por medio de la región de luz visible (VLC) es un campo emergente en la comunicación inalámbrica óptica (OWC) que utiliza la modulación directa de diodos emisores de luz (LED) para transmitir datos. En los sistemas de comunicación actuales, la banda de frecuencia más popular es la radiofrecuencia (RF) principalmente debido a la poca interferencia y la buena cobertura. Visible Light Communications (VLC) está atrayendo cada vez más no solo el interés de los investigadores como un desafío para reemplazar o complementar WIFI en el futuro, sino también de las empresas para mantenerse posicionadas en el mercado y aumentar su capital. Hace varios años, cuando los LED eran una interesante combinación y variación de la iluminación, generando un mayor ahorro energético y económico, ya se generaban expectativas en cuanto al desarrollo e impacto tecnológico que se puede desarrollar en parte del espectro, específicamente en lo visible. Se han desarrollado tecnologías que permiten aprovechar este canal y variantes de estas tecnologías que se acoplan a la elaboración química y principios fotónicos de los LED, permitiendo modulaciones avanzadas con mayor eficiencia bitrate. En base a esto, estudiamos esquemas orientados a potencia, cobertura y bitrates, brindándonos la oportunidad de estudiar el mercado actual con el fin de hacer un listado de componentes factibles a emplear en varias propuestas a implementar en un escenario convergente con múltiples funcionalidades y ventajas conocidas del sistema VLC.

Palabras clave Comunicación, VLC, LED, Tecnología, OWC.

Abstract

Visible Light Communication (VLC) is an emerging field in Optical Wireless Communication (OWC) which utilizes the direct modulation of Light Emitting Diodes (LEDs) to transmit data. In current communication systems, the most popular frequency band is Radio Frequency (RF) mainly due to little interference and good coverage. Visible Light Communications (VLC) is increasingly attracting not only the interest of researchers as a challenge to replace or complement WIFI in the future but also companies to remain positioned in the market and increase their capital. Several years ago, when LEDs were an interesting combination and variation of lighting, generating greater energy and economic savings, expectations were already created regarding the development and technological impact that can be developed on part of the spectrum, specifically on the visible. Technologies have been developed that make it possible to take advantage of this channel and variants of these technologies that are coupled to the chemical elaboration and photonic principles of the LEDs, allowing advanced modulations with higher bitrate efficiency. Based on this, we study schemes oriented towards power, coverage and bitrates, providing us the opportunity to study the current market in order to make a list of feasible components to employ in several proposals to implement in a converged scenario with multiple functionalities and the VLC system well known advantages.

Keywords Communications, VLC, LED, Technologies, OWC.

Introducción

La bombilla incandescente que ha sido largamente manejada para la iluminación en nuestro entorno desde que se inventó hace más de un siglo está siendo reemplazada paulatinamente debido a su extremada baja eficiencia energética. En las más modernas bombillas incandescentes, no más del 10% de la energía eléctrica se convierte en luz emitida útil. Por otra parte, las bombillas fluorescentes compactas introducidas en la década de 1990 han ganado popularidad en la última década ya que proporcionan una mejor eficiencia energética (más lúmenes por watt). Sin embargo, los más recientes avances en la iluminación están basados en tecnología LED, esta tecnología ha permitido una eficiencia energética y una prolongación de la luminaria muy satisfactoria. La eficacia luminosa media (cuánta electricidad se utiliza para proporcionar la iluminación deseada) de los mejores LEDs en su clase es de hasta 113 lúmenes/watt en 2015, y se proyecta que sea de alrededor de 200 lúmenes/watt para el año 2020. De esta manera se proyecta un aumento muy significativo en comparación con las bombillas incandescentes y fluorescentes actuales, que proporcionan una eficacia luminosa media de 15 y 60 lúmenes/watt respectivamente. La vida útil de los LEDs oscila en el rango de 25 000 y 50 000 horas, significativamente superior a la de los fluorescentes compactos (10 000 horas). Además del ahorro de energía y las ventajas de duración, los LEDs también tienen otras ventajas; un menor uso de materiales nocivos en el diseño y una menor generación de calor incluso después de un largo período de uso continuo. Debido a estos beneficios, la decisión de optar por la tecnología LED está en constante aumento y se espera que casi el 75% de toda la iluminación sea proporcionada por LEDs para el año 2030.

Los LEDs son capaces de cambiar a diferentes niveles de intensidad de luz a un ritmo muy rápido a diferencia de las antiguas tecnologías de iluminación. La frecuencia de conmutación

es lo suficientemente rápida lo que la hace imperceptible para el ojo humano. Esta funcionalidad se puede utilizar para la comunicación en la que los datos se codifican, permitiendo generar en este documento el estudio de las diferentes maneras de codificación en la luz emitida. Un fotodetector (también llamado sensor de luz o fotodiodo) ya sea PIN o APD, pueden recibir las señales moduladas y decodificar los datos. Esto significa que los LEDs pueden servir para proporcionar iluminación y comunicación. En los últimos dos años según los artículos estudiados [10], [16] y [22], la investigación de VLC ha demostrado que es capaz de alcanzar velocidades de datos muy altas (casi 100 Mbps en el estándar IEEE 802.15.7, estándar para comunicaciones inalámbricas por el VLC a corta distancia). La comunicación a través de luz visible tiene especial importancia en comparación con las formas de comunicación inalámbrica existentes. Una de las principales ventajas es que se muestra como una solución para el aumento exponencial del tráfico de datos móviles en las últimas dos décadas, se han identificado las limitaciones de las comunicaciones móviles sólo de RF. Incluso con una frecuencia eficiente y una reutilización espacial, el espectro de RF actual está demostrando ser escaso para satisfacer la creciente demanda de tráfico. [1]

Las técnicas de comunicaciones con sus diversas modulaciones y tecnologías, permitiéndonos elegir la más óptima para generar velocidades altas de transmisión. Los parámetros fotométricos y radiométricos, el diseño de sus celdas de acuerdo a la estructura de mi espacio a iluminar y transmitir. El estudio del mercado actual con los diferentes componentes ofertados por varias empresas, sus diferentes propuestas experimentales implementadas en diversos sectores y aun investigando la forma de acelerar procesos de masificación y pronta llegada de este tipo de comunicación inalámbrica a niveles macro. El análisis de diversas publicaciones orientadas a demostrar capacidades de velocidades altas a consecuencia de modificaciones en las modulaciones, elementos de transmisión, recepción, enlaces híbridos y diferentes tecnologías empleadas para la comunicación. Facultando la elaboración de enlistar componentes seleccionados y concebir un escenario en los que se pueda aplicar y dotar de iluminación y transmisión; visualizando un escenario futurista descrito en una planificación.

Materiales y métodos

Ha sido necesario estudiar los diferentes tipos de componentes empleados en los sistemas de comunicación óptica inalámbrica en la región del VLC, así como los parámetros que caracterizan el enlace de comunicación e iluminación. Para lo cual se trabajó en la revisión y estudio de publicaciones orientadas hacia el VLC y de los productos del mercado.

Desarrollos teóricos realizados — Se estudiaron los parámetros, estructura de componentes, técnicas de comunicación, métodos de modulación, tecnologías empleadas en los dispositivos actuales, diseño y parámetros de las celdas, todo orientado a la capacidad de iluminación y transmisión. La propuesta basada en componentes actuales incluye el cálculo de iluminación en una red VLC para entorno indoor.

Desarrollo de prototipos — Se analizaron varios esquemas publicados, para posteriormente generar un esquema de planificación que permita implementar los componentes propuestos en las distintas alternativas, en un futuro demostrador experimental.

Resultados

Como resultado se ha realizado una propuesta, basado en componentes de distintos fabricantes que permiten implementar una red indoor de comunicaciones VLC.

PROPUESTA DE SISTEMA VLC

Nuestro estudio se basa en dar a conocer los componentes del mercado actual, orientados hacia la iluminación de interiores y transmisión de datos por el VLC [3]. Al tratarse de iluminación, tomaremos en cuenta los rangos establecidos en iluminación de interiores “Fig.3.”.

DEFINICIÓN DE ESCENARIO

Para realizar nuestro escenario, tomaremos en cuenta los parámetros del tamaño y geometría de una sala.

Proporciones de la sala: Hemos tomado una medida estándar de sala, como se muestra en la “Fig.1.”. En esta sala la bombilla LED tendrá una distancia de enlace (línea de vista entre el transmisor y el receptor) de 2,20 m, es decir hasta la mesa “Fig. 2.”.

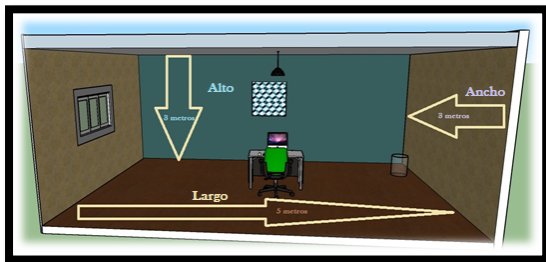


Fig.1. Proporciones de la sala

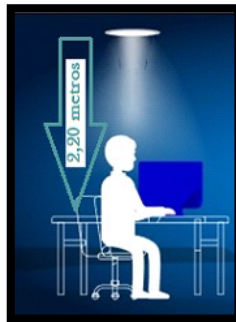


Fig.2. Distancia del LED hasta la mesa

SELECCIÓN DE COMPONENTES

Al haber realizado un estudio sobre las características científicas y técnicas de los componentes, podemos realizar una selección de transmisores y receptores, sin descuidar los parámetros antes descritos, para generar alternativas de transmisión por el VLC. Para posteriormente realizar la respectiva comparación y establecer las alternativas de sistemas VLC para comunicaciones e iluminación indoor.

Para los parámetros lumínicos nos referenciaremos en la UNE 12464.1 norma europea sobre la iluminación para interiores “Fig.3.” [16], posteriormente elaboraremos una alternativa que permitan cumplir con los rangos de iluminación de acuerdo al espacio y la actividad, “Fig.4.” [13], es necesario obtener una media de iluminación en lux. Para lo cual se necesitan realizar los cálculos que consientan una comparación entre los valores que entregan las luminarias LED estudiadas y los niveles requeridos.

TABLA DE OFICINAS					
1. OFICINAS					
Nº REF	TIPO DE INTERIOR, TAREA ACTIVIDAD	E _{min} lux	UGR _{max}	R _a	OBSERVACIONES
1.1	ARCHIVO, COPIAS, ETC.	300	19	80	
1.2	ESCRITURA, ESCRITURA A MAQUINA, LECTURA Y TRATAMIENTO DE DATOS.	500	19	80	
1.3	DIBUJO TÉCNICO	750	16	80	
1.4	PUESTOS DE TRABAJO DE CAD	500	19	80	
1.5	SALAS DE CONFERENCIAS Y REUNIONES	300	19	80	La iluminación debería ser controlable.
1.6	MOSTRADOR DE RECEPCIÓN	300	22	80	
1.7	ARCHIVOS	200	25	80	

Fig.3. UNE 12464.1 Norma europea sobre la iluminación para interiores, sección oficinas [16]

LUGAR O FAENA	ILUMINACION
Pasillos, bodegas, salas de descanso, comedores, servicios higiénicos, salas de trabajo con iluminación suplementaria sobre cada maquina o faena, salas donde se efectúen trabajos que no exigen discriminación de detalles finos o donde hay suficiente contraste.	150
Trabajo prolongado con requerimiento moderado sobre la visión, trabajo mecánico con cierta discriminación de detalles, moldes en funciones y trabajos similares.	300
Trabajo con pocos contrastes, lectura continuada en tipo pequeño, trabajo mecánico que exige discriminación de detalles finos, maquinarias, herramientas, cajistas de imprenta, monotypias y trabajos similares.	500
Laboratorios, salas de consulta y de procedimientos de diagnóstico y salas de esterilización.	500 a 700
Costura y trabajo de aguja, revisión prolija de artículos, corte y trazado.	1000
Trabajo prolongado con discriminación de detalles finos, montaje y revisión de artículos con detalles pequeños y poco contraste, relojería, operaciones textiles sobre género oscuro y trabajos similares.	1500 a 2000
Sillas dentales y mesas de autopsias.	5000
Mesa quirúrgica	20000

Fig.4. Cuadro de iluminación según el lugar y la actividad de trabajo. [13]

DESARROLLO DEL CÁLCULO DE ILUMINACIÓN:

$$\Phi_T = \frac{E_m * S}{C_u * C_m} \quad (1)$$

Donde:

Φ_T = Flujo luminoso que un determinado local o zona necesita (en lúmenes): Este dato viene dado por el fabricante en los catálogos.

E_m = Nivel de iluminación del medio (en lux).

S = Superficie a iluminar (en m^2), para la superficie no utilizamos el dato total del escenario, porque necesitamos la iluminación hasta la altura de la mesa como se muestra en la “Fig.2.”



Fig.5. Distribución de la altura respecto a la mesa.

Y para calcular su superficie tendremos que definir el alto, el largo y el ancho de la mesa como se muestra en la siguiente “Fig.6.”

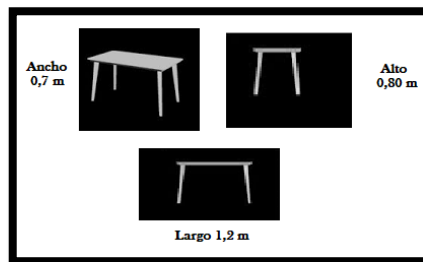


Fig.6. Dimensiones y medidas de la mesa a utilizar.

$$S_{\text{mesa}} = \text{largo} * \text{ancho} \quad (2)$$

$$S_{\text{mesa}} = 1,2 * 0,7 = 0,84 \text{ m}^2$$

Este flujo luminoso se ve afectado por dos coeficientes de utilización C_u y C_m :

C_u = Coeficiente de utilización: Es la relación entre el flujo luminoso recibido por un cuerpo y el flujo emitido por la fuente luminosa. Lo proporciona el fabricante de la luminaria. Y al tratarse de iluminación LED están en el rango de 0,91 a 0,97. [16] Nosotros trabajaremos con la media entre estos dos valores:

$$C_u = \frac{0,91+0,97}{2} = 0,94 \quad (3)$$

C_m = Coeficiente de

mantenimiento: Es el cociente que indica el grado de conservación de una luminaria, al ser nuevas para este caso de estudio trabajaremos con el valor asignado en la “Fig.7.”.

Ambiente	Coefficiente de mantenimiento (C_m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Fig.7. Valores del coeficiente de mantenimiento. [16]

Parámetro generado por la suma del nivel de luz recomendado en el espacio interior y su trabajo, dividido para 2, (en lux).

$$\frac{E_{\text{tabla sitio}} + E_{\text{tabla actividad}}}{2} \quad (4)$$

Ahora que tenemos definido nuestros parámetros dentro de la fórmula del cálculo de iluminación, procedemos a desarrollar las alternativas.

PLANIFICACIÓN

Después de haber estudiado y verificado las alternativas, podemos planificar un escenario donde se proyecte la transmisión y la iluminación basada en los componentes y diseño de celdas.

Para desarrollar una planificación de escenario, es necesario el cálculo del número de luminarias, para lo cual lo desarrollaremos en base a la siguiente fórmula. [16]

$$N_L = \frac{\Phi_T}{n * \Phi_L} \quad (6)$$

Donde:

N_L = Número de luminarias

Φ_T = Flujo luminoso total necesario en la zona o local

Φ_L = Flujo luminoso de una lámpara (dada por el catálogo)

n = Número de lámparas que tiene la luminaria

Para hallar el flujo luminoso total necesario en la zona o local, es necesario calcularlo en base a toda la capacidad física del escenario "Fig.1". Para lo cual necesitaremos el valor de toda la superficie.

$$S_{TOTAL} = \text{largo} * \text{ancho}$$
$$S_{TOTAL} = 5 \text{ m} * 3 \text{ m} = 15 \text{ m}^2$$

Ahora procedemos a calcular con los valores de la bombilla LED seleccionada la capacidad máxima que tiene de iluminación.

$$\Phi_T = \frac{E_m * S}{C_u * C_m} = \frac{400 * 15}{0,94 * 0,8} = 7\,978,72 \text{ lm}$$

Este es el valor requerido para cumplir con la iluminación 7 978,72 lm.

$$N_L = \frac{\Phi_T}{n * \Phi_L} = \frac{7978,72}{2 * 1000} = 3,98$$

Aproximo ese valor $3,98 \approx 4$ luminarias LED necesito para cubrir toda la superficie que deseo iluminar. Ahora promedio las 4 luminarias con respecto al ancho y al largo de mi escenario, como se muestra en la "Fig.8.". Cabe recalcar que cada luminaria está compuesta por 2 bombillas LED.

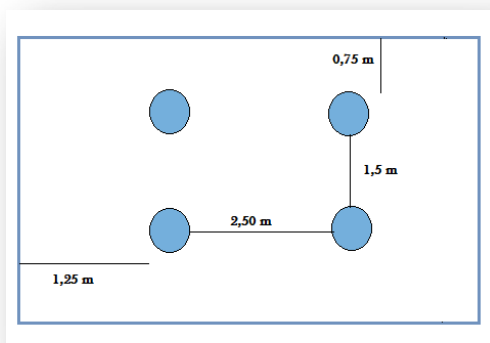


Fig.8. Esquema de planificación de la distribución de las luminarias.



PLANIFICACIÓN	
FABRICANTES	PRESUPUESTO EN EUROS
 	$24,95*(8) + 45,00*(4) + 112,50*(8) = 1\,279,60$

Tabla 1: Descripción de la Planificación

Basta con realizar un solo cálculo de iluminación, pues el escenario de planificación planteado “Fig.8.” es equidistante y se plantea la misma mesa como área de trabajo “Fig.6.”.

Relacionando sería:

$$E_m = \frac{\Phi_T * C_u * C_m}{S} \geq \frac{E_{\text{tabla sitio}} + E_{\text{tabla actividad}}}{2}$$

$$E_m = \frac{2000 * 0,94 * 0,8}{0,84} \geq \frac{300 + 500}{2} \quad E_m = 1\,790,47 \text{ lux} \geq 400 \text{ lux}$$

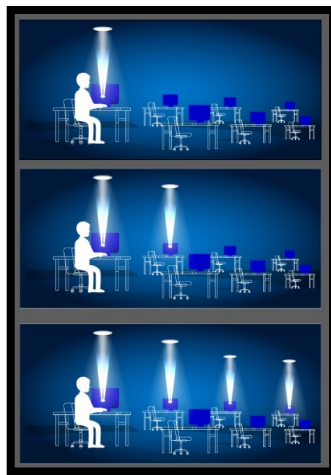


Fig.9. Visualización del escenario de Planificación.

Líneas futuras — Simulación - teórica de la cobertura de datos e iluminación, en un escenario interior utilizando los parámetros experimentales que facilitan los fabricantes. Montaje experimental del sistema y medida de ancho de banda, cobertura e iluminación.

Conclusiones

Sin duda una de las conclusiones más destacadas que permite obtener este trabajo es la progresión exponencial de los dispositivos encontrados en el mercado a lo largo del mismo, que evolucionan proporcionalmente a las necesidades del mercado y a la evolución de las tecnologías de comunicaciones e iluminación. Todos los esfuerzos que se están desarrollando en la actualidad por estudiar tanto técnicas de modulación como tecnologías que nos permitan aprovechar los sistemas VLC permiten afirmar que esta alternativa de comunicación e iluminación pronto tendrá el impacto comercial y será el hito que marque las comunicaciones inalámbricas indoor.

Al ser este una parte del espectro poco saturada, libre, fiable y generar velocidades altas de transmisión, debido a que su información se puede transmitir empleando multiplexación espacial, llama altamente la atención de gigantes tecnológicos, que apuestan por esta tecnología que permite la convergencia de servicios de comunicación e iluminación para ofertarlas en un solo producto que les permita seguir posicionados en el mercado.

Empleando la recomendación de iluminación estándar de 400 lux, según las normas de iluminación europeas para interiores estandarizadas y la media de acuerdo al trabajo que se pueda desempeñar dentro del espacio físico, se realiza una propuesta basada en componentes comerciales que permite garantizar la iluminación y la transmisión de datos en el interior.

Las empresas que más destacan por la aportación tecnológica, escenarios experimentales e impacto comercial son: Philips, Oledcomm, Pure LiFi, VLNCComm, destacando Philips y Pure LiFi; Philips en la actualidad a diferencia de las otras posee bombillas LED que transmiten a velocidades más altas y tiene un rango mayor de iluminación, pero aún no lanza un Dongle USB receptor y es en este panorama que sucede la aparición de Pure LiFi, generando un Dongle USB con capacidad de generar una transmisión bidireccional, permitiendo un enlace con velocidades altas.

Entre los componentes estudiados, destaca el DONGLE USB, que se muestra en los mercados actuales como el dispositivo de recepción que permite realizable la comunicación bidireccional por el VLC.

Las demostraciones experimentales previas que se estudiaron fueron de vital importancia, potenciando el estudio, asimilación y conocimiento de principios básicos para generar una transmisión por el VLC, los μ LED, son tendencia en enlaces híbridos de fibra óptica de plástico, permitiendo mitigar la interferencia entre símbolos, así como la tecnología MIMO es la más utilizada para aprovechar el espectro en el rango del visible, además si se trata de velocidades, OFDM está entre las favoritas en transmisiones IM/DD de VLC.

En el mundo de las comunicaciones inalámbricas Li-Fi se convertirá en algo asequible para todas las personas, aunque ahora no tenga precios muy bajos en un futuro con la masificación del mismo sin duda abaratará costos y tendrán una demanda elevada.

Referencias

- D. Karunatilaka, F. Zafar, V. Kalavally, and R. Parthiban, "LED Based Indoor Visible Light Communications: State of the Art", *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, Vol. 17, No. 3, Third Quarter 2015.
- P. H. Pathak, X. Feng, P. Hu, and P. Mohapatra "Visible Light Communication, Networking, and Sensing: A Survey, Potential and Challenges", *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, Vol. 17, No. 4, Fourth Quarter 2015.
- http://www.homepages.ed.ac.uk/hxh/Li-Fi_PAPERS/13_fath_1.pdf
- <http://laplace.us.es/campos/optica/general/opt-guia2.pdf>
- N. Chi, M Zhang, J Shi, and Y. Zhao "Spectrally efficient multi-band visible light communication system based on Nyquist PAM-8 modulation", *PHOTONICS Research*, Vol. 5, No. 6, pp 5591-595, Dec. 2017.
- F. M. Wu, C. T. Lin, C. C Wei, C. W. Chen, H. T. Huang, S. Chi, "Performance Comparison of OFDM Signal and CAP Signal Over High Capacity RGB-LED-Based WDM Visible Light Communication", *IEEE Photonics Journal*, Vol. 5, No. 4, Aug. 2013.
- Ch. Xi, A. Mirvakili, V. Koomson, "A Visible Light Communication System Demonstration Based on 16-level Pulse Amplitude Modulation of an LED Array", *IEEE*, 2012.
- I. N. Osahon, E. Pikasis, S. Rajbhandari, W. O.Popoola, "Hybrid POF/VLC link with M-PAM and MLP Equaliser ", *IEEE ICC SAC Symposium Access System and Networks Track*, 2017
- G. Cossu, A. M. Khalid, P. Choudhury, R. Corsini, and E. Ciaramella "3.4 Gbit/s visible optical wireless transmission based on RGB LED", *OSA Publishing*, Vol.20, No. 26, December 2012.
- X. Li, N. Bamiedakis, X Guo, J.J.D. McKendry, E. Xie, R. Ferreira, E. Gu, M. D. Dawson, R. V. Penty, and I. H. White, " Wireless Visible Light Communications Employing Feed-Forward Pre-Equalization and PAM-4 Modulation", *IEEE JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY*, Vol. 34, No. 8, Apr. 15, 2016.
- T. Koonen, "Indoor Optical Wireless System: Technology, Trends and Applications", *IEEE JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY*, Vol. 36, No. 8, Apr 15, 2018.
- X. Li, N. Bamiedakis, J. Wei, J. McKendry, E. Xie, R. Ferreira, E. Gu, M. Dawson, R. V. Penty, I. White, "μLED-Based-Single-Wavelength Bi-directional POF Link With 10Gb/s Aggregate Data Rate", *IEEE JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY*, Vol. 33, No. 17, Sep. 1, 2015.
- https://www.noao.edu/education/QLTkit/es/Safety_Activity_Poster/LightLevels_outdoor+indoor_es.pdf
- <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12833>.
- <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90486/fichero/AnalisisPrestacionesLIFI.pdf>
- [\https://www.saltoki.com/iluminacion/docs/03-UNE-12464.1.pdf

- L. Albraheem, L. Alhudaithy, A. Afnan, A. Aljaser, M. R. Aldhafian, and G. M. Bahliwah, "Toward Designing a LiFi-Based Hierarchical IoT Architecture", IEEE Access, Vol. 6, Ago. 15 2018
- D. Tsonev, H. Chun, S. Rajbhandari, J. McKendry, S. Videv, E. Gu, M. Haji, S. Watson, A. E. Kelly, G. Faulkner, M. D. Dawson, H. Haas, D. O'Brien, "A 3-Gb/s Single-LED OFDM-Based Wireless VLC Link Using a Gallium Nitride μ LED", IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, Vol. 26, No. 7, Apr. 1, 2014.