 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Implementación de un Sistema de Comunicación por luz visible mediante la red de energía eléctrica utilizando un PLC, para su aplicación en entornos de minería.

Víctor Hugo Cuartas Ruiz

Tecnología en Electrónica

Roger Alexander Martínez Ciro

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

2018

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

La comunicación por medio de la red eléctrica, consiste en utilizar las líneas por donde se transmite la electricidad para enviar datos a una frecuencia más alta de la que se usa en la corriente alterna. Esta tecnología, se ha utilizado a lo largo del tiempo más comúnmente para controlar las líneas de transmisión de energía. Hoy en día, se ha incursionado en nuevas tecnologías que utilizan la red para distribuir la conexión a internet en lugares muy espaciosos en los que el Wi-Fi es insuficiente. Por otro lado, se tiene el sistema de comunicación por luz visible, que consiste en usar el espectro que puede ser visto por los seres humanos para enviar y recibir información. En el transmisor del sistema se usa un LED conmutado a altas velocidades y el transmisor (fotodiodo, fotocelda o panel solar) se encarga de interpretar los pulsos que envía el LED para decodificar el mensaje recibido. En este trabajo, se propone integrar ambos sistemas con el fin de facilitar la transmisión de datos en ambientes en donde no es posible emitir ondas electromagnéticas aprovechando así la infraestructura eléctrica y de iluminación existentes en cualquier ambiente. Para cumplir con el objetivo propuesto, se usó un mensaje enviado desde un PC y un microcontrolador a través de la red eléctrica usando dos módulos PLC como emisor y receptor, el módulo receptor se conectó a un transmisor VLC, el cual permitió enviar dicho mensaje través del espectro visible de luz a un panel solar usado como receptor. Finalmente, el mensaje fue recibido por otro PC que con ayuda del puerto serial de un microcontrolador mostró el mensaje en la pantalla del segundo pc.

Palabras clave: Comunicación por luz visible VLC, comunicación por las líneas de transmisión de energía PLC, diodo emisor de luz LED.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Primero que todo agradezco a nuestro creador por el regalo de la vida y porque día a día siempre ha estado conmigo.

A mis padres, Nicolás Albeiro Cuartas Hoyos y Alba Lucía Ruiz Gallego, por la educación que me dieron desde mi infancia hasta ahora, por el apoyo que siempre me han brindado y por estar siempre ahí cuando los necesito.

A mi novia, Lina Marcela Gallego Cano, porque ha sido ese soporte incondicional en todo momento, ayudándome a superar los obstáculos que se han presentado a lo largo de todo este camino.

Al profesor Roger Alexander Martínez Ciro, porque fue mi guía en la realización y presentación de este trabajo.

A todos mis profesores en general, porque desempeñaron un papel muy importante en mi formación como profesional y me dieron las herramientas necesarias para hacer un buen trabajo en mi profesión.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

VLC Visible Light Communication

PLC Power Line Communication

Li-Fi Light Fidelity

LED Light Emitting Diode

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 PLC (Power Line Communications) o PLM (Power Line Modem)	9
2.1.1 Principios en la comunicación por PLC	9
2.1.2 Principio de trabajo.....	10
2.1.3 Ventajas y Desventajas	10
2.1.4 Transmisión de la señal.....	10
2.1.5 Modulaciones empleadas	11
2.2 Visible Light Communication (VLC).....	13
2.2.1 Fundamentos de VLC.....	13
2.2.1.1 Transmisor	14
2.2.1.2 Receptor.....	14
3. METODOLOGÍA.....	16
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	22
REFERENCIAS	24
APÉNDICE.....	26

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la comunicación por luz visible está evolucionando en el mundo de las comunicaciones por su aplicabilidad en ambientes donde no es posible transmitir información a través de señales electromagnéticas (aviones, hospitales, minas) (Cevik & Yilmaz, 2015; Flores, 2014). Compañías como Oledcomm[®], pureLiFi[®], Sisoft[®] y Disney[®] adelantan investigaciones acerca de esta tecnología y las importantes aplicaciones que puede tener a la hora de transmitir datos (Campos Fentanes, 2015; RODRÍGUEZ & PENAGOS, 2014; Schmid, Corbellini, Mangold, & Gross, 2013; Serafimovski et al., 2018). PureLiFi[®], Oledcomm[®] y Sisoft[®] están desarrollando dispositivos para la transmisión de internet a través de la luz, alcanzando velocidades de transmisión superiores a las hoy conocidas en la tecnología Wireless Fidelity (Wi-Fi)(pureLiFi, 2014; Waugh, 2018). Mientras que Disney[®] está incursionando en el desarrollo de aplicaciones de Comunicación por Luz Visible (VLC) en entretenimiento para niños (Schmid, Richner, Mangold, & Gross, 2016). VLC utiliza la infraestructura de luminarias existentes para codificar información mediante la luz y utiliza fotodiodos para la recepción de las señales lumínicas que codifica la información (Martínez et al, 2018).

En la institución, se lleva a cabo un semillero acerca de VLC, en el que se han implementado dispositivos para dar a conocer el principio de funcionamiento de esta tecnología, con la interacción de estudiantes de sistemas y electrónica con el apoyo de docentes de telecomunicaciones y electrónica.

En este proyecto se pretende abordar la implementación de un sistema VLC orientado a entornos de minería. Por tanto y debido a la acumulación de gases en minas de grandes profundidades, es delicada la transmisión de datos a través de radio frecuencia, debido a la energía asociada a las ondas de radio (Chile, 2016). Es por esto que se pretende implementar un sistema de integración entre las tecnologías Comunicación por Luz Visible

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

(VLC) y Comunicaciones a través de las líneas de energía (PLC) para aprovechar las líneas de energía existentes en las minas y la iluminación para transmitir señales de audio.

Objetivo general

Implementar y validar un prototipo de comunicación por luz visible con la red de energía eléctrica mediante el uso de un PLC, para su aplicación en entornos de minería.

Objetivos específicos

1. Implementar un transmisor VLC y PLC mediante el uso de un sistema embebido equipado con protocolo RS232 que permita la intercomunicación entre el PLC y el sistema VLC.
2. Implementar un receptor de comunicación por luz visible mediante el uso de un sistema embebido con protocolo RS232 que permita la lectura de los datos binarios.
3. Validar el prototipo de comunicación VLC-PLC mediante la comparación de una cadena de caracteres de longitud finita utilizada como información en el enlace de comunicación, que permita identificar características relevantes para su aplicación en entornos de minería.

Este texto está organizado en cinco capítulos. En el primer capítulo se encuentra la introducción y los objetivos. En el segundo capítulo está el marco teórico, en el cual se brindan los conceptos que se deben manejar para entender el desarrollo del proyecto. En el tercer capítulo, se presentan los procedimientos que se llevaron a cabo para cumplir con los objetivos propuestos. En el cuarto capítulo, se plantea los resultados que arrojó la práctica llevada a cabo para demostrar los conceptos obtenidos a través de la teoría. Por último, en el quinto capítulo, están consignadas las conclusiones que quedaron al desarrollar los capítulos anteriores, la usabilidad que se le puede dar al sistema implementado en cuanto a ventajas y desventajas se refiere.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

2.1 PLC (Power Line Communications) o PLM (Power Line Modem)

La tecnología PLC es usada para la transferencia de información a través de las líneas por donde se transmite la energía eléctrica, a una velocidad menor a 100Kbps, es decir, banda estrecha o mayor a 1Mbps o banda ancha. Para llevar a cabo la transmisión de datos se utilizan diferentes técnicas avanzadas de modulación (Serna, 2011).

2.1.1 Principios en la comunicación por PLC

Años atrás, algunas aplicaciones como control a largas distancias en relés, alumbrado público y la automatización en los hogares fueron utilizadas haciendo uso de la tecnología PLC. La banda ancha en las comunicaciones a través de las línea de energía eléctrica comenzó al finalizar la década de 1990 (Serna, 2011).

- En los años 30's se usaba la tecnología PLC para controlar y automatizar equipos industriales de una subestación a otra y se utilizaban pocos bits por segundo (bps) en frecuencias que van desde 3KHz hasta 148KHZ (Garduño Medina, 2008).
- Una compañía inglesa junto con Nortel en 1997 utilizan los conceptos que se conocían hasta entonces de la transmisión de información por las líneas de energía eléctrica para crear Digital Power Line, lo que fue el antecesor de Power Line Communications (PLC) (Garduño Medina, 2008).
- En el período entre el año 2000 al 2002, países como España, Estados Unido, Alemania, Japón, etc. Intentaron llevar a cabo adelantos de PLC con resultados desfavorables porque los sistemas de comunicación de ese momento presentaron problemas, ya que, no estaban conformes con la tecnología (Garduño Medina, 2008).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.1.2 Principio de trabajo

El sistema de transmisión de información que utiliza la red de energía eléctrica como medio, sobrepone una señal de alta frecuencia entre 2MHz y 100MHz sobre la señal de 50 o 60 Hz en el instante de tiempo en el que la corriente alterna está cruzando por cero. Esta señal de transmisión de datos recorre la infraestructura de la corriente alterna y en otro punto por donde circula corriente y exista un receptor PLC en la misma red, este la puede decodificar. Un acoplador integrado en el receptor PLC acondiciona la señal antes de ser procesada y un modem hace la modulación/demodulación convirtiendo un dato binario en una secuencia (Castro, 2012; Paz Penagos, 2014; Serna, 2011).

2.1.3 Ventajas y Desventajas

Una de las ventajas más importantes de la tecnología PLC es que ya existe la infraestructura para su implementación, es decir, la red eléctrica llega a millones de hogares en el mundo, por lo que no se necesita ninguna obra adicional. Además, se puede utilizar en cualquier tomacorriente del hogar o del espacio en que sea necesaria su utilización. También, se tiene que a la hora en que el cliente va instalar esta tecnología, es rápida y sencilla y facilita la interacción con los dispositivos encargados de realizar la función de transmisión. Ahora bien, los sistemas que se tienen actualmente para transmitir información a través de radio frecuencias interfieren fácilmente al sistema PLC. Por otro lado, las redes de corriente alterna, presentan transitorios de voltaje que pueden afectar las señales enviadas a través de esta. Por último, las aplicaciones PLC están limitadas al campo de control (Castro, 2012; Paz Penagos, 2014).

2.1.4 Transmisión de la señal

Para poder transmitir datos a través de la red eléctrica es necesario organizar la estructura para que las señales de alta frecuencia que llevan los datos no se molesten con la señal de baja frecuencia que es la que transporta la energía.

La unidad High Frequency Conditioned Power Network (HFPCN), que es la encargada de organizar la estructura, es utilizada para la transmisión de señales eléctricas y datos. El HFPCN filtra cada una de las señales usando varios dispositivos de acondicionamiento. Estos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

dispositivos, por medio de un filtro pasa altas filtran la señal que tiene la información y la envían al puerto de comunicación, mientras que la señal de baja frecuencia es filtrada mediante un filtro pasa bajos (Álvarez Valle et al., 2011).

2.1.5 Modulaciones empleadas

Inicialmente las modulaciones utilizadas para la tecnología PLC eran Modulación por desplazamiento mínimo Gaussiano (GMSK) y Espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS), con las cuales se lograron velocidades de 1 y 4 Mega bytes por segundo (Mbps). Ya después se inició la incorporación de la tecnología Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM) (Álvarez Valle et al., 2011).

Con respecto a la modulación GMSK se tiene que, es un esquema de modulación continua en fase, una técnica que consigue suavizar las transiciones de fase entre estados de la señal, consiguiendo por tanto reducir los requisitos de ancho de banda.

Con GMSK, los bits de entrada representados de forma rectangular (+1, -1) son transformados a pulsos gaussianos (señales de forma acampanada) mediante un filtro gaussiano para posteriormente ser suavizados por un modulador de frecuencia. En la mayoría de los casos, la duración del pulso gaussiano supera a la de un bit, dando lugar como consecuencia a lo que se conoce como interferencia inter-simbólica (ISI). El grado de esta superposición es determinado por el producto del ancho de banda del filtro gaussiano y la duración de un bit. Este producto se conoce normalmente como BT. Cuanto menor sea el valor de BT mayor será el solapamiento entre pulsos gaussianos (Ariel Yezid, 2010).

Por otro lado, la modulación DSSS es una técnica de envío y recepción de datos que facilita el intercambio de datos más que todo a través de interfaces aéreas.(Soto Sánchez, 2011)

Lo que la modulación DSSS hace es volver la señal más ancha a lo largo de una banda de frecuencias mucho mayor a la que originalmente tiene la señal (Soto Sánchez, 2011).

Finalmente, en cuanto a la modulación OFDM, se sabe que es una tecnología de modulación digital, una forma especial de modulación multi-carrier considerada la piedra angular de la

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

próxima generación de productos y servicios de radio frecuencia de alta velocidad para uso tanto personal como corporativo (Ariel Yezid, 2010).

La técnica de espectro disperso de OFDM distribuye los datos en un gran número de carriers que están espaciados entre sí en distintas frecuencias precisas. Ese espaciado evita que los demoduladores vean frecuencias distintas a las suyas propias (Ariel Yezid, 2010).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2 Visible Light Communication (VLC)

La comunicación por luz visible, ofrece altas velocidades de transferencia de datos usando Diodos Emisores de Luz (LED). El profesor Harald Hass de la universidad de Edimburgo, Escocia, quien fue el primero en presentar esta tecnología dijo: “La transmisión de datos es posible usando LED’s en donde la luz actúa como medio de transmisión.” La fuente de luz, que en este caso es un LED, puede ser conmutada a una velocidad tan alta que apenas puede ser perceptible por el ojo humano, causando que el LED parezca estar encendido todo el tiempo. Cuando el LED está encendido se transmite un ‘1’ lógico y cuando está apagado se transmite un ‘0’ (Penubaku & Lakshmishree, 2015).

Se ha creado el estándar IEEE 802.15.7 para este tipo de medio de transmisión inalámbrica óptica, ya que es inofensivo para la salud y el medio ambiente. En cambio, los equipos con radio frecuencia que transfieren información mediante ondas de radio, los cuales utilizan campos magnéticos y eléctricos que crean inseguridad en la comunicación y podrían ser susceptibles a personas que desean dañar nuestra red (hackers), estos dispositivos inalámbricos también presentan inestabilidad siendo afectados por ondas electromagnéticas de otros aparatos eléctricos o también por paredes, arboles, espejos , etc (Gómez Sierra, 2016).

Los sistemas VLC utilizan un espectro de frecuencia mayor al de redes inalámbricas entre 400 y 800 THz, accediendo a un mayor campo de explotación permitiendo explorar nuevos horizontes a nivel de conexión inalámbrica. Además, existe una saturación de canales de radio frecuencia creando conflictos en varios equipos por lo cual es necesario cambio de la infraestructura que se usa.

Con la utilización de LED’s se remplazará la infraestructura eléctrica, mejorando la nueva alternativa de conexión inalámbrica en los últimos años, permitiendo a estos equipos no solo servir como conexión a internet sino de iluminación (Gómez Sierra, 2016).

2.2.1 Fundamentos de VLC

Las señales en el intervalo de longitud de onda de 380-780 nm del espectro electromagnético son señales de luz que pueden ser detectadas por el ojo humano. Es

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

posible lograr la iluminación y la transferencia de datos simultáneamente a través de LED's, que son el equipo de iluminación más destacado en los últimos tiempos. De esta manera, tanto la iluminación interior de una habitación como la transferencia de datos se lograrán sin la necesidad de un sistema de comunicación adicional (Cevik & Yilmaz, 2015; Martínez Ciro, López Giraldo, & Betancur Perez, 2016).

Un sistema básico de VLC consiste de un transmisor (LED's), receptores (fotodiodos, fotoceldas o paneles solares) y la modulación del canal de comunicación óptico (Cevik & Yilmaz, 2015; Martínez Ciro, 2018).

2.2.1.1 Transmisor

Existen diferentes fuentes de luz usadas para iluminación. Sin embargo, los diodos láser (LD) y los LED's son los más populares de todas y son los preferidos para la transmisión óptica de información. El objetivo de un sistema VLC es transmitir datos e iluminar al mismo tiempo, por lo que el diodo láser no es utilizado, ya que, es una fuente de luz incoherente. Por lo tanto, este trabajo se enfocará en los LED's (Cevik & Yilmaz, 2015).

La idea detrás de la emisión de luz con un LED tipo p-n es que se aplica un voltaje a la unión y de esta manera, los huecos en el lado p se mueven al lado opuesto. También, los electrones que se encuentran en lado n son impulsados hacia el lado p. Estas cargas minoritarias se recombinan en la capa de agotamiento también llamada band-gap. Para que un electrón de alto nivel de energía se recombine con un hueco de baja energía, este debe liberar la energía excesiva. El electrón pasa de la banda de conducción a la banda de valencia. Esta energía excesiva es liberada como un fotón y es aproximadamente igual a la energía de la band-gap. La magnitud de la energía del fotón determina su longitud de onda, la cual puede ser ajustada por el tipo de material semiconductor (Cevik & Yilmaz, 2015; Martínez Ciro, 2018).

2.2.1.2 Receptor

Los fotodetectores son los dispositivos encargados de recibir los fotones como una señal de luz y convertirla a una señal eléctrica. En fotodiodos de vacío, la absorción de fotones crea

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

efectos fotoeléctricos y emergen electrones libres como resultado, los cuales se utilizan como portadores. Otra forma es que, al caer los fotones en el área de unión de un fotodiodo semiconductor tales como diodos p o diodos pin, un par de hueco y electrón es liberado. Después de esto, estos portadores liberados se mueven a las regiones correspondientes tales como las bandas de valencia y conductancia para liberar sus excesos de energía. Existen muchos tipos de fotodetectores tales como fotomultiplicadores, fotoconductores, fototransistores, foto diodos y paneles solares que poseen cualidades específicas. Sin embargo, los fotodiodos son los dispositivos preferidos como sensor de luz debido a su pequeño tamaño, alta sensibilidad y rápida respuesta (Cevik & Yilmaz, 2015; Martínez Ciro, 2018).

3. METODOLOGÍA

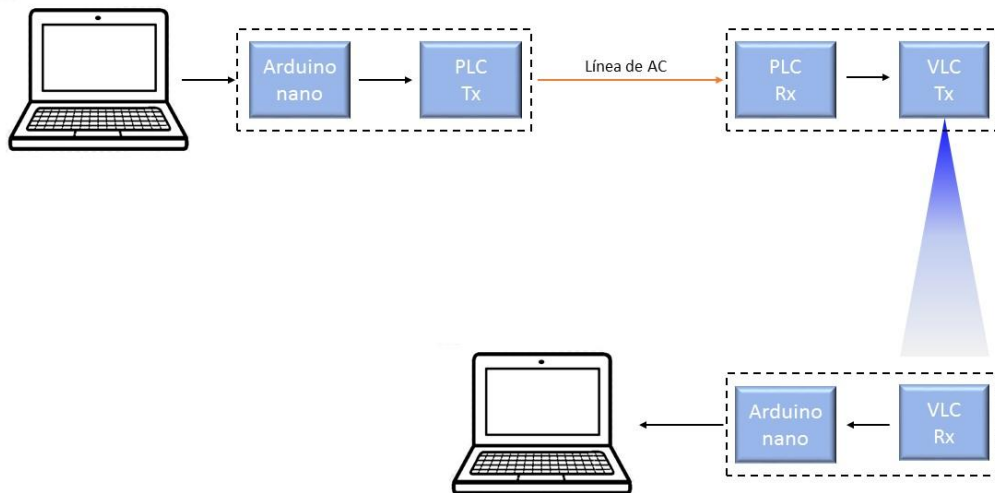


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema.

Utilizando la comunicación serial entre el microcontrolador Arduino y un computador, se estableció un enlace para enviar datos a través de la red de suministro eléctrico, usando también dos módulos KQ330 (figura 2), que están diseñados para servir de transmisor y receptor de información a través de las líneas por donde circula la corriente alterna.

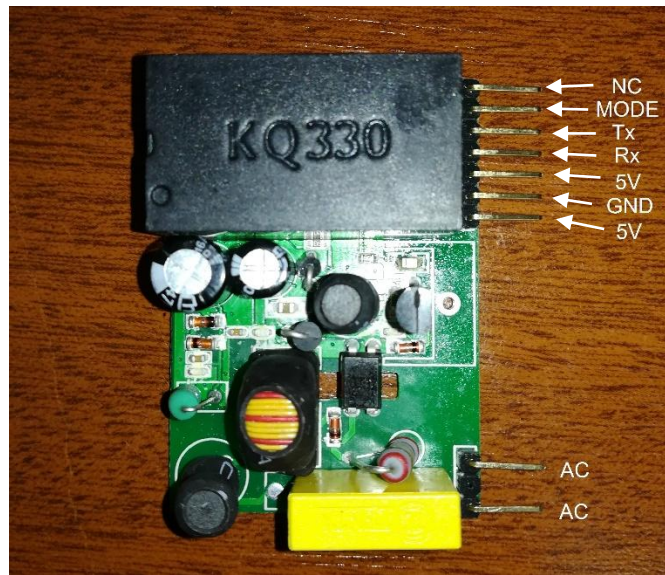


Figura 2. Módulo PLC utilizado en la implementación.

Como se muestra en la figura 3, la experimentación, se inició con dos tarjetas Arduino UNO, dos módulos KQ330 y un computador. Se eligió uno de los microcontroladores como transmisor, se programaron los pines 2 y 3 para que funcionaran como puerto serial virtual conectándose a los pines Tx y Rx del módulo KQ330, como se observa en la Figura 3(A), este a su vez fue conectado a la alimentación. Por otro lado, el segundo de los módulos KQ330 como se observa en la Figura 3(B) fue conectado a la alimentación por medio de los pines AC y los pines Tx y Rx fueron conectados a los pines de comunicación serial virtual del segundo Arduino UNO, este último conectado al computador a través del puerto serial físico.

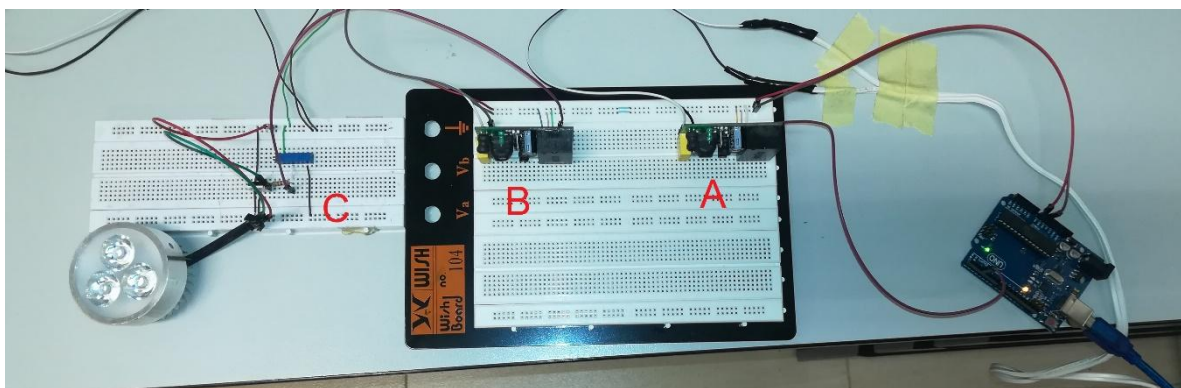


Figura 3. Transmisor del sistema PLC y VLC.

Posterior a esto, se experimentó con el sistema completo, involucrando los dos sistemas que se plantearon al inicio del proyecto. En los pines Tx y Rx del módulo PLC receptor como

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

se observa en la Figura 3(B) se conectó un transmisor VLC Figura 3(C) que, a través del espectro de luz visible, transfirió información a un panel solar que hizo las veces de dispositivo receptor en el sistema PLC y VLC Figura 4(D), el cual estaba conectado por puerto serial virtual usado para la recepción de los datos, a un sistema embebido que estaba enlazado a un computador a través del puerto serial físico para mostrar el mensaje recibido en pantalla.

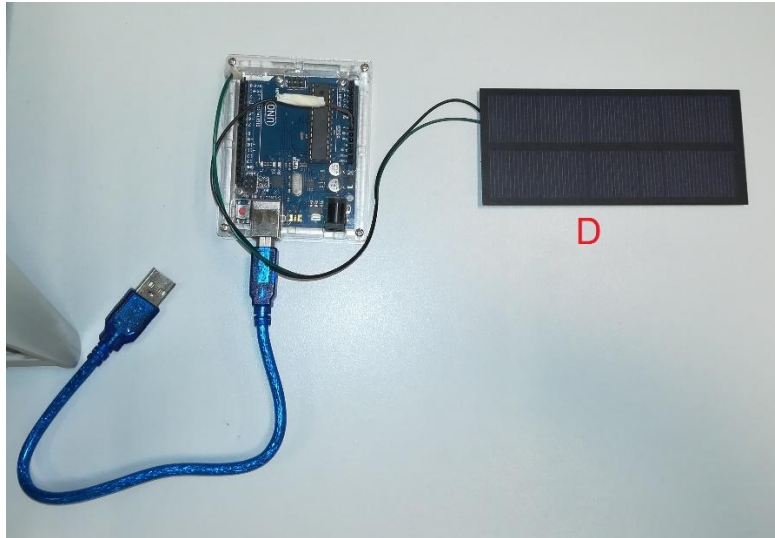


Figura 4. Receptor del sistema.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al inicio del proyecto, se planteó el objetivo de implementar un sistema capaz de transmitir información a través de las líneas por las que se transporta la corriente eléctrica y a través de un dispositivo de comunicación que usa la luz como medio de transferencia. En otras palabras, hacer que los dos sistemas mencionados trabajen en conjunto para enviar y recibir datos, lo que solucionaría los problemas que se han venido mencionando a lo largo de este texto en ambientes en los que es difícil el uso de señales electromagnéticas. Este trabajo, se concentra en las minas, debido a que resuelve las dificultades de intercomunicación evitando la emisión de ondas que puedan afectar el entorno, ya sea por vibraciones que se pueden convertir en armónicos o por la acumulación de gases inflamables que se da en dichos espacios.

Para iniciar con la parte experimental, primero se probó la comunicación por el suministro eléctrico. Al principio, se tuvo inconvenientes para establecer el enlace, ya que se estaba alimentando los módulos KQ330 desde los 5 voltios DC que proporciona el sistema Arduino, y este no proporciona la potencia necesaria para que el módulo PLC funcione correctamente, por lo que fue necesario suministrarles la alimentación a través de una fuente de voltaje externa y hacer un puente entre la referencia de Arduino y de la fuente. Después de esto, se seguía presentando un inconveniente, el cual consistía en que el mensaje enviado llegaba cierto tiempo y luego se perdía, esto se daba porque se estaba utilizando los puertos físicos de los microcontroladores tanto para transmitir y recibir como para mostrar el mensaje por el monitor serie, lo que fue solucionado transmitiendo y recibiendo la información a través de puertos seriales virtuales y así, los puertos seriales físicos se ocuparon únicamente de mostrar el mensaje recibido en pantalla.

Por otro lado, se intentó establecer el enlace PLC con diferentes velocidades del puerto serial, y se evidenció que el sistema solo trabaja a 9600 baudios como se puede ver en la figura 5. La gráfica, muestra que, a velocidades diferentes, tanto menores como mayores,

no es posible establecer la comunicación, posiblemente porque el módulo PLC utilizado está diseñado para transmitir información a 9600 baudios.

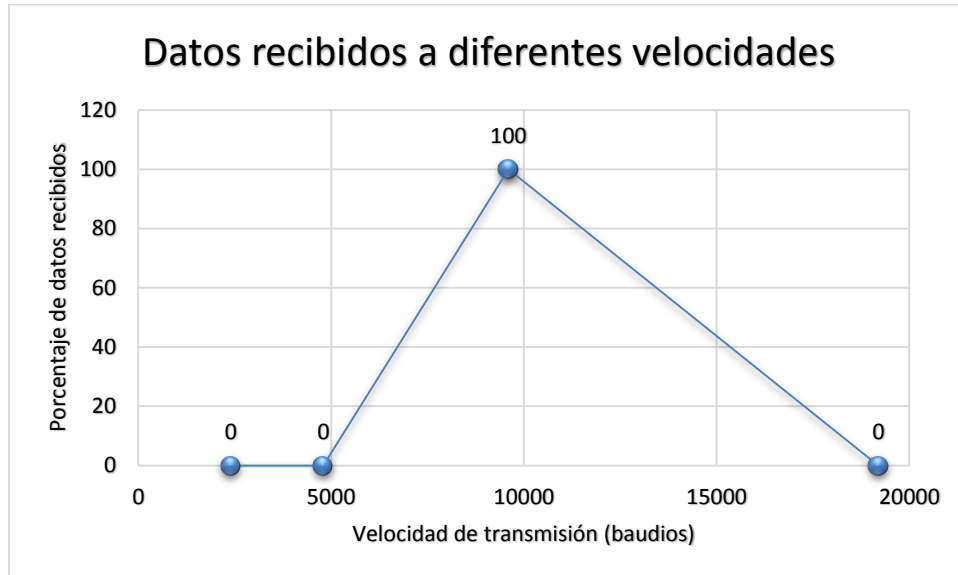


Figura 5. Velocidad de transmisión del protocolo RS232 y el PLC.

Después de esto, se realizó la conexión para unir los dos sistemas, esta vez usando dos equipos de cómputo, uno para enviar un dato usando el Arduino y el otro para recibirlo después de recorrer los dos sistemas conectados. Inicialmente, se transmitió un número aleatorio, pero al ser recibido no se tenía como evaluar si estaba llegando correctamente por lo que se procedió a enviar un texto y este mostró que la implementación estaba trabajando correctamente.

Para evaluar la tasa de transmisión del sistema, se experimentó con diferentes valores de tiempo de retardo (delay) entre cada valor enviado en el código del sistema embebido del transmisor y se obtuvo la siguiente gráfica.

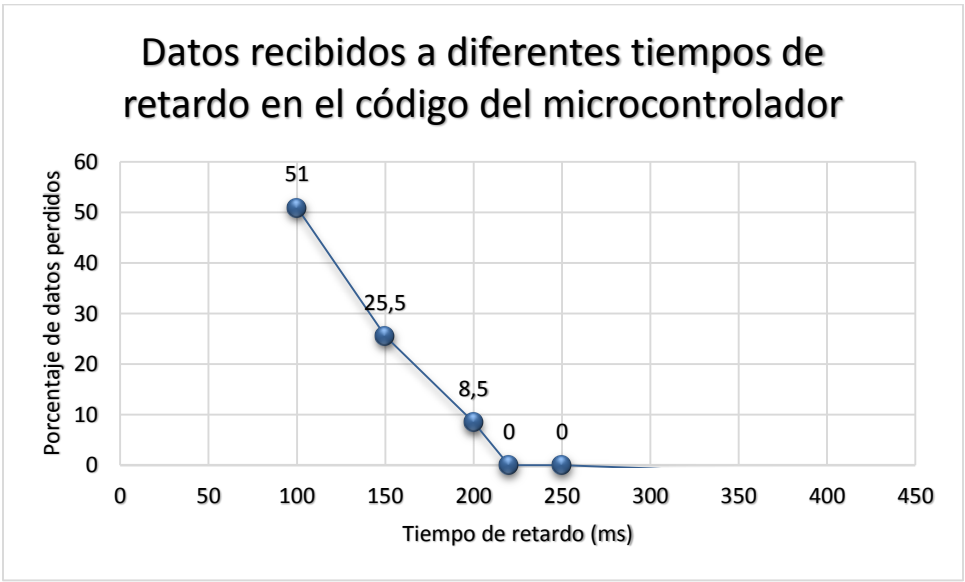


Figura 6. Eficiencia del sistema con diferentes tiempos de retardo (delay) en el código de programación.

La figura 6, expone que, a medida que se disminuye el tiempo de espera del envío entre un dato y otro, aumenta la pérdida de datos recibidos. Y cuando este retardo es mayor a 280 milésimas de segundo llegan datos erróneos que no fueron enviados.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

El objetivo general de este trabajo “Implementar y validar un prototipo de comunicación por luz visible con la red de energía eléctrica mediante el uso de un PLC, para su aplicación en entornos de minería.” Fue desarrollado con los resultados obtenidos y que se mencionan en el capítulo 4. A través de la metodología que se describe en el capítulo 3, se expone los procesos que se llevaron a cabo para alcanzar los objetivos fijados al inicio del proyecto.

En el capítulo 3, se evidencia la utilización de un sistema embebido que interconecta los sistemas VLC y PLC por medio del protocolo RS232, cumpliendo así con el primer objetivo específico “Implementar un transmisor VLC y PLC mediante el uso de un sistema embebido equipado con protocolo RS232 que permita la intercomunicación entre el PLC y el sistema VLC.”.

Con respecto al segundo objetivo específico “Implementar un receptor de comunicación por luz visible mediante el uso de un sistema embebido con protocolo RS232 que permita la lectura de los datos binarios” está expuesto en la metodología que se usó para interconectar los dos sistemas y por último hacer el enlace a través del espectro de luz visible que fue recibido por el panel solar que hizo las veces de receptor.

Cuando se comparó una cadena de caracteres que fue enviada utilizando el sistema embebido por los sistemas PLC y VLC interconectados, con los datos recibidos en el computador conectado al microcontrolador receptor, se identificó que el dato recibido llegó tal cual fue enviado, lo que obedece al tercer objetivo específico “Validar el prototipo de comunicación VLC-PLC mediante la comparación de una cadena de caracteres de longitud finita utilizada como información en el enlace de comunicación, que permita identificar características relevantes para su aplicación en entornos de minería.” Con esto, se concluye que el proyecto implementado, tiene aplicaciones muy útiles en ambientes

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

como las minas que usan líneas de transmisión de electricidad e iluminación y se puede utilizar este sistema para la comunicación del personal utilizando los cascos de protección personal que cuentan con lámparas de iluminación y así evitar la propagación de ondas electromagnéticas que puedan afectar la estabilidad del entorno.

Por otra parte, con los resultados obtenidos en el capítulo 4 en donde se experimentó con diferentes velocidades de transmisión del protocolo RS232 se tuvo que la única a la que el sistema PLC funciona correctamente es a 9600 baudios.

Finalmente, se concluyó que existe un rango óptimo para el tiempo de espera en el envío de los datos, el cual es definido en el código de programación del microcontrolador, que según la gráfica expuesta en el capítulo 4 muestra que está entre 220 y 250 milésimas de segundo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Álvarez Valle, J., García González, V., González Fernández, D., González-Moriyón Hernández, G., Rodríguez Fernández, D., Rubio Gutiérrez, M., & Valencia Moragón, D. (2011). *Transmisión de datos por la red eléctrica*. Instituto Universitario de Tecnología “Dr. Federico Rivero Palacios.
- Ariel Yezid, V. S. (2010). Fiabilidad de la red eléctrica para la transmisión de datos en banda ancha, 7.
- Campos Fentanes, A. (2015). *SISOFT México*. Youtube.
- Castro, G. M. (2012). Sistemas de Comunicación BPL - Híbridos y su aplicación en áreas rurales, 2(3), 41–54.
- Cevik, T., & Yilmaz, S. (2015). An Overview of Visible Light Communication Systems. *International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC)*, 7(6), 139–150.
<https://doi.org/10.5121/ijcnc.2015.7610>
- Chile, B. del C. N. de. (2016). Comunicación mina-superficie, el factor crucial en los accidentes mineros - Programa Ciencias y Tecnología.
- Flores, B. L. (2014). *Visible Light Communications*.
- Garduño Medina, J. A. (2008). *COMPORTAMIENTO DE SISTEMAS DE COMUNICACIÓN BPL PROVOCADO POR INTERFERENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS CONDUCCIDAS*. Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México.
- Gómez Sierra, B. L. (2016). ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE TRANSMISIÓN DE DATOS A TRAVÉS DE LA LUZ EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL., (PROYECTO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y FINANCIERA DEL CULTIVO DE OSTRA DEL PACÍFICO EN LA PARROQUIA MANGLARALTO, CANTÓN SANTA ELENA, PROVINCIA DE SANTA ELENA), 121.
- Martínez Ciro, R. A. (2018). *Implementación y Evaluación de un Sistema de Comunicación por Luz Visible con Modulación CSK Mediante un Conversor de Intensidad de Luz a Frecuencia*. Intituto Tecnológico Metropolitano.
- Martínez Ciro, R. A., López Giraldo, F. E., & Betancur Perez, A. F. (2016). RGB Sensor Frequency Response for a Visible Light Communication System. *IEEE Latin America Transactions*, 14(12), 4688–4692. <https://doi.org/10.1109/TLA.2016.7816998>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Martínez Ciro, R. A., López Giraldo, F. E., Betancur Perez, A. F. & Luna Rivera, J. M (2018). Characterization of Light-To-Frequency Converter for Visible Light Communication Systems, electronics, pp. 1-11, 2018
- Paz Penagos, H. (2014). Sistema de comunicación de datos a través de la red Eléctrica domiciliaria. *Revista de Ingeniería, 0(18)*, 136–147. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i18.488>
- Penubaku, L., & Lakshmishree, K. (2015). A survey on different techniques used for visible light communication. *2015 International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology (ICATccT)*, 783–786. <https://doi.org/10.1109/ICATCCT.2015.7456988>
- pureLiFi. (2014). Shedding Light on Li-Fi, 3. <https://doi.org/10.1038/nn.3723>
- RODRÍGUEZ, L. C., & PENAGOS, O. A. G. (2014). *ALCANCES DEL DESARROLLO DE LA NUEVA TECNOLOGIA LI-FI PARA LAS TELECOMUNICACIONES EN COLOMBIA*. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA, BOGOTÁ D.C.
- Schmid, S., Corbellini, G., Mangold, S., & Gross, T. R. (2013). LED-to-LED Visible Light Communication Networks. *MobiHoc*, 1–9. <https://doi.org/10.1145/2491288.2491293>
- Schmid, S., Richner, T., Mangold, S., & Gross, T. R. (2016). EnLighting: An Indoor Visible Light Communication System Based on Networked Light Bulbs. *2016 13th Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking (SECON)*, 1–9. <https://doi.org/10.1109/SAHCN.2016.7732989>
- Serafimovski, D. N., Lacroix, R., Perrufel, M., Leroux, S., Clement, S., Kundu, N., ... Hass, H. (2018). Light Communications for Wireless Local Area Networking - IEEE Future Networks.
- Serna, V. H. (2011). Comunicaciones a través de la red eléctrica–PLC. *Comunicaciones: MAXIM FRANCE Smart Grid*, 62–65.
- Soto Sánchez, O. A. (2011). *COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA VOLUMÉTRICA ENTRE REDES INALÁMBRICAS WIFI Y WIMAX*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.
- Waugh, R. (2018). Super-fast “Li-Fi”, 100 times faster than Wi-Fi, is shown off in a laptop for first time | Metro News.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

APÉNDICE

Códigos utilizados en el sistema embebido Arduino UNO para establecer el enlace.

Código del transmisor

```
#include <SoftwareSerial.h> //Incluye la librería para usar puerto serial virtual.

SoftwareSerial Serial_2 (2, 3); //Asigna los pines del arduino que van a trabajar como serial Rx y Tx respectivamente.

void setup() {
  Serial_2.begin(9600); //Asigna la velocidad al puerto serial virtual.
}

void loop() {
  Serial_2.println("mensaje"); //Envía el mensaje por el puerto serial virtual.
  delay(1000); //Tiempo de espera.
}
```

Código del receptor

```
#include <SoftwareSerial.h> //Incluir librería para usar los puertos seriales.

SoftwareSerial Serial_2 (2, 3); //Rx y Tx.

void setup() {
  Serial_2.begin(9600); //Puerto serial virtual para recibir el mensaje.
  Serial.begin(9600); //Puerto serial físico para mostrar el mensaje que se está recibiendo en el computador.
}

void loop() {
  if(Serial_2.available()>0){ //¿Está llegando información al puerto?
    Serial.write(Serial_2.read()); //Escribe lo que está recibiendo por el puerto serial virtual.
  }
}
```

