

Diseño e Implementación de una Plataforma CloudIoT de Control Inteligente de un Sistema de Iluminación Interior con Suministro en LVDC.

Design and Implementation of a CloudIoT Platform for Intelligent Control of an Interior Lighting System with Supply in LVDC.

A. Ríos¹D. Taípe¹M. Otorongo²J. Guamán¹

¹Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, Ambato, Ecuador.
E-mail: a.rios@uta.edu.ec; dtaípe659@uta.edu.ec; jguaman0585@uta.edu.ec; manuel.otorongo8995@utc.edu.ec

Abstract

In this article we design and implement an intelligent control of LED lighting with the integration of natural lighting in a classroom of the Faculty of Systems, Electronics and Industrial Engineering. The study of the optimization of the energy consumption of luminaries in interior spaces in educational institutions is analyzed in this article. The need to reduce the energy consumption of lighting systems in interior spaces of the Technical University of Ambato is important to reduce the economic costs that are generated by its use. In addition, reduce environmental pollution using new forms of lighting based on LED technology and ensure the visual comfort of the occupants according to the lighting parameters established in the lighting standard UNE-EN 12464-1.

Resumen

En este artículo se describe el diseño e implementación de una plataforma CloudIoT de gestión y control inteligente de un sistema de iluminación interior con suministro eléctrico en LVDC, orientado a espacios interiores de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, FISEI. El objetivo de la implementación del control inteligente del sistema de iluminación es maximizar el aprovechamiento de luz natural y realizar el apagado/encendido automatizado del sistema de iluminación al detectar la ausencia de ocupantes en el espacio interior, y por tanto, proporcionar una significativa reducción del consumo eléctrico en el sistema de iluminación de la FISEI. La reducción del consumo energético de los sistemas de iluminación en espacios interiores de la Universidad Técnica de Ambato permite disminuir significativamente el coste económico de la factura eléctrica en iluminación de la FISEI. Además, el uso de sistemas de iluminación con tecnología LED permiten garantizar el confort visual de los ocupantes según los parámetros de iluminación según la normativa de iluminación UNE-EN 12464-1.

Index terms— CloudIoT, LED, lighting, LVDC supply.

Palabras clave— CloudIoT, LED, iluminación, suministro LVDC.

Recibido: 31-05-2019, Aprobado tras revisión: 17-07-2019

Forma sugerida de citación: Ríos, A.; Taípe, D.; Otorongo, M.; Guamán, J. (2019). "Diseño e Implementación de una Plataforma CloudIoT de Control Inteligente de un Sistema de Iluminación Interior con Suministro en LVDC". Revista Técnica "energía". No. 16, Issue I, Pp. 50-60

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

© 2019 Operador Nacional de Electricidad, CENACE



1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de iluminación interior consumen el 15% de la energía eléctrica en el mundo, correspondiente al 5% de las emisiones de gases de efecto invernadero [1]. En este sentido, los sistemas de iluminación interior han contribuido al aumento de la temperatura media del planeta, que en los últimos 100 años ha experimentado un incremento de temperatura de 0,9°C. Por otro lado, los sistemas de iluminación en edificios públicos contribuyen con el 24% del total de la energía eléctrica consumida en el mundo [2]. En los Estados Unidos, el 31% del consumo eléctrico total en instituciones educativas corresponde a los sistemas de iluminación, mientras que en Europa representa un 17% [3]. El diseño arquitectónico de los centros académicos, habitualmente se enfoca en maximizar el uso del espacio interior y no en garantizar la comodidad visual interior. La implementación de soluciones arquitectónicas, así como la maximización de la integración de luz natural a través de ventanas y lucernarias permitiría obtener un importante ahorro energético.

En Ecuador, el Plan Maestro de Electrificación 2013-2022 promueve la utilización de nuevas tecnologías de iluminación interior con lámparas y luminarias eficientes como son las luminarias LED. Los sistemas de iluminación LED podrían reducir el consumo eléctrico en un 50% adicional al obtenido con el programa de sustitución por focos ahorradores [4].

El presente artículo evalúa la reducción del consumo eléctrico en un sistema de iluminación interior gracias a la implementación de una plataforma CloudIoT de control de presencia y máximo aprovechamiento de la luz natural, para días soleados, parcialmente nublados y nublados con precipitaciones. El prototipo de sistema de control inteligente de iluminación se ha implementado y evaluado en la sala de investigación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

En la actualidad, las plataformas CloudIoT permiten la gestión de sistemas de adquisición de información, monitorización, control y visualización con propósitos específicos. Entre los ejemplos de aplicación práctica de plataformas CloudIoT destacan:

- Adquisición, monitoreo, tratamiento y visualización de información de sistemas fotovoltaicos aislados [5][6][7][8][9].
- Aplicaciones de IoT basadas en RFID [10].
- Monitoreo de animales basado en tecnologías IoT [11].
- Además de otras aplicaciones en la industria, el transporte inteligente, medicina, casas y edificios inteligentes [12].

En la actualidad, una de las aplicaciones más innovadoras en los sistemas de iluminación interior es el

uso de corriente continua de baja tensión, LVDC, Low Voltage Direct Current, en terminología anglosajona. Los sistemas de conversión AC/DC tienen mayores pérdidas que los sistemas de conversión DC/DC. Las plataformas de gestión CloudIoT permiten integrar estrategias de control inteligente para la reducción del consumo eléctrico en los sistemas de iluminación interior en corriente continua. Por lo tanto, la implementación de plataformas CloudIoT en sistemas de iluminación interior LVDC es una de las más promisorias líneas de investigación del futuro [13].

La iluminación LED utiliza menos energía que otros tipos de lámparas para producir el mismo flujo luminoso. Las lámparas LED pueden atenuarse en un rango más amplio que las tecnologías existentes como lámparas fluorescentes. El control de iluminación de manera individual permite un ahorro promedio entre un cuarto y un tercio de la energía de iluminación, mientras que el control múltiple distribuido permite alcanzar un ahorro promedio de casi 40% [14].

Una de las funcionalidades de los modernos sistemas de control de iluminación consiste en la maximización de la integración de luz natural en espacios interiores. En el año 2011, un estudio realizado en la Universidad de Saná, Yemen, demostró que un sistema de control de iluminación, con la funcionalidad de maximizar el uso de luz natural, obtuvo una reducción del 35% del consumo de energía eléctrica en el sistema de iluminación artificial de un edificio de oficinas de la ciudad de Dhahran, Arabia Saudí [15].

En [16], se presenta una revisión detallada de varias experiencias asociadas a diferentes estrategias de control para la maximización del aprovechamiento de luz natural en sistemas de iluminación artificial. Así, los resultados de la implementación de sistemas de control de atenuación del flujo luminoso de las lámparas LED para maximizar el aprovechamiento de luz natural indican que es posible alcanzar ahorros en el consumo eléctrico del sistema de iluminación entre un 30% y 70%.

Asimismo, es importante indicar que el máximo aprovechamiento de la luz natural en sistemas de iluminación artificiales depende de las condiciones meteorológicas. Así, en el hemisferio norte, la reducción del consumo eléctrico en sistemas de iluminación en verano, gracias a la máxima integración de la luz natural, puede ser del 45%, mientras que en invierno ese ahorro se reduce al 21% y al 35% en primavera [16]. Por otro lado, el ahorro de energía eléctrica en sistemas de iluminación artificial es superior en días despejados que en días nublados. La reducción del consumo eléctrico, debido al aprovechamiento de la luz natural, en días despejados alcanza un 35%, mientras que en días nublados un 16%. Los niveles de ahorro de consumo eléctrico, anteriormente indicados, se han obtenido en periodos de días claros y nublados intercalados [16].



La revisión y análisis técnico de alrededor de 160 artículos científicos referentes a experiencias reales de mejora de la eficiencia energética de los sistemas de iluminación, basados en la sustitución de luminarias ineficientes, el control del nivel de iluminación y el uso de sensores de presencia permitió determinar valores máximos y mínimos de reducción del consumo eléctrico en las luminarias de edificios [17]. En ese estudio se concluye que la implementación de dispositivos de presencia permite obtener una reducción del consumo de energía en el orden del 26% al 93%, dependiendo del tiempo de retraso del sensor de presencia. Un retraso de 20 minutos para la desconexión del sistema de iluminación implica un ahorro del 46%, mientras que un retraso de 5 minutos implicaría una reducción del consumo eléctrico del 86% [17]. Un retraso de tiempo de desconexión más corto permite un ahorro superior en comparación a un retraso de tiempo de desconexión más largo. Por otro lado, el control de iluminación natural es una alternativa rentable para la reducción de energía eléctrica de los sistemas de iluminación en edificios comerciales e institucionales. El aprovechamiento de luz natural puede generar ahorros significativos de iluminación que oscilan entre el 30 y 77%.

En [18] se presenta un estudio de control de iluminación para maximizar el aprovechamiento de luz natural en una escuela de secundaria en la ciudad de Haacht, Bélgica. El estudio evalúa el comportamiento energético, en un periodo de un año, en 3 aulas contiguas, con medidas geométricas iguales y parámetros equivalentes, pero con diferentes estrategias de control. Los espacios evaluados cuentan con tres filas de tres luminarias cada una. Una fila cerca de la ventana, una fila en la mitad y una fila cerca del corredor. Todas las aulas están equipadas con un detector de presencia con un retardo de tiempo de apagado establecido en 10 minutos. En el aula 1 se implementa un control de iluminación, con ayuda de un sensor de luz natural por luminaria, que permite la atenuación de la iluminación de manera individual. En el aula 2 se coloca un sensor de luz centralizado, al superar un umbral establecido atenúa la iluminación en dos niveles de control. El primer nivel atenúa la iluminación de la fila de luminarias cercana a la ventana, mientras que el segundo nivel atenúa las filas de luminarias de la mitad y las cercanas al corredor. En el aula 3 se coloca un sensor de luz orientado al exterior. Se programa un nivel de atenuación independiente para cada fila de luminarias. El resultado del ahorro de energía de iluminación en las aulas evaluadas fue del 34%, 18% y 46%, respectivamente.

En este artículo se describe el diseño e implementación de una plataforma CloudIoT de control inteligente de un sistema de iluminación en LVDC. El sistema de control de iluminación integra un sensor de presencia, para el apagado de luminarias en ausencia de personas; un sensor de luz, ubicado en el exterior del edificio, que adquiere la información sobre el nivel de

iluminación de luz natural; y un dispositivo de control de iluminación de las luminarias LED. El sistema de control inteligente compara las mediciones de los sensores de iluminación interior y exterior. Si el nivel de iluminación exterior es aprovechable se inicia la apertura de las persianas. El dispositivo de control de las luminarias LED atenúa el nivel de iluminación, maximizando el aprovechamiento de la luz natural exterior y garantizando los mínimos niveles de iluminación, 300 luxes, en los planos de trabajo, establecidos en la normativa de iluminación en espacios interiores, UNE-EN 12464-1. La óptima combinación del máximo aprovechamiento de la luz natural y la iluminancia de las lámparas LED garantizan una significativa reducción del consumo eléctrico del sistema de iluminación artificial.

El objetivo de la implementación de un control inteligente del sistema de iluminación es garantizar la reducción del consumo eléctrico, debido al máximo aprovechamiento de la luz natural y al apagado del sistema de iluminación al detectar la ausencia de ocupantes en el espacio interior. El acceso a la información del consumo eléctrico del sistema de iluminación, así como el control de la consigna del nivel de iluminación en luxes que se necesita en el espacio de trabajo se realiza a través de una Plataforma CloudIoT, bajo la distribución de software y hardware libre.

En la Fig. 1, se presenta el diagrama de flujo de la metodología de investigación empleada en el presente estudio. Inicialmente, se recopiló y sistematizó la información sobre experiencias prácticas de control inteligente de sistemas de iluminación LED. Posteriormente, se describe el proceso de diseño y simulación del circuito electrónico de control de flujo luminoso de las lámparas LED, con ayuda del software especializado Proteus. Asimismo, se empleó el software AutoCAD para la realización del diseño de la estructura metálica de soporte de la luminaria LED y la persiana. Después se procedió al desarrollo y programación de la página web que permitirá la gestión y visualización de la información del sistema de control inteligente desde una plataforma CloudIoT. Finalmente, se describe la implementación y validación práctica del prototipo de plataforma CloudIoT de control inteligente del sistema de iluminación interior con suministro en LVDC. Además, se presenta un análisis de la reducción del consumo eléctrico y del coste económico al integrar el sistema de control inteligente de iluminación LED en la sala de investigación y al edificio principal de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, FISEI.

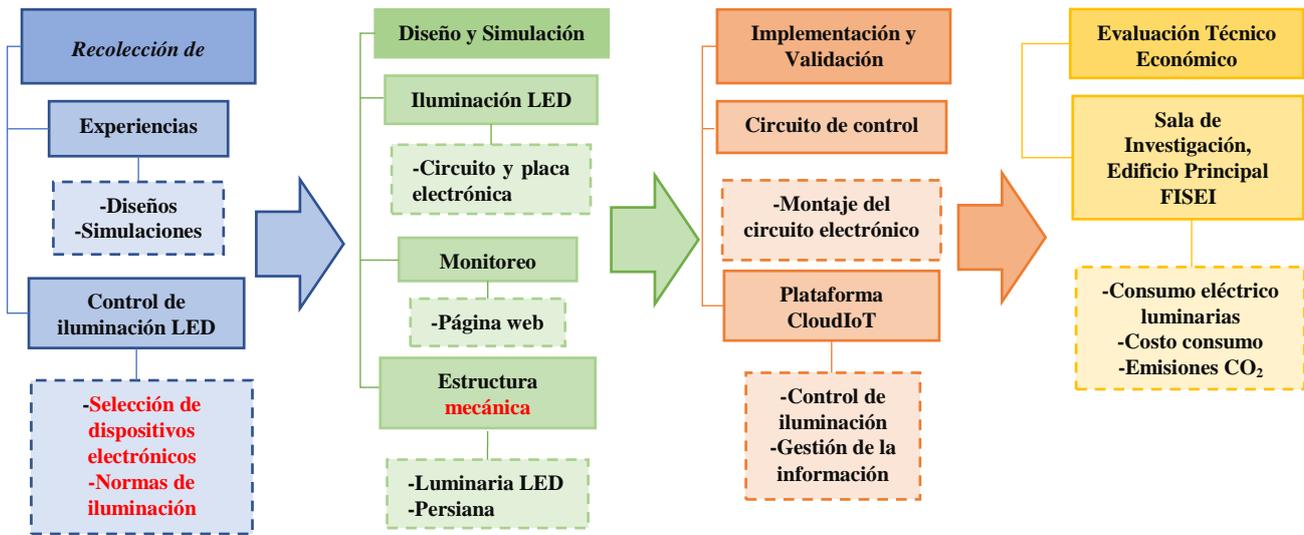


Figura 1: Diagrama de flujo de la metodología de la investigación.

El esquema general del prototipo de plataforma CloudIoT de control inteligente del sistema de iluminación interior con suministro en LVDC se muestra en la Fig.2. El prototipo implementado presenta tres funcionalidades importantes: el encendido/apagado automatizado ante la presencia/ausencia de personas; el control electrónico inteligente del flujo luminoso de las lámparas LED para maximizar el aprovechamiento de luz natural; y la gestión y visualización de la información a través de la plataforma CloudIoT.

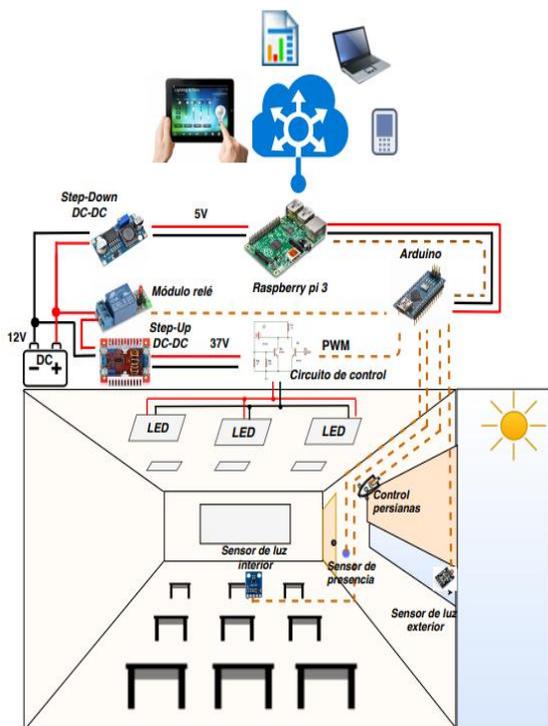


Figura 2: Esquema de la Plataforma CloudIoT de control inteligente de iluminación LED en corriente continua.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL INTELIGENTE DE ILUMINACIÓN INTERIOR

La implementación de un prototipo electrónico de control inteligente permite encender y apagar las luminarias LED de manera automática al detectar la presencia o ausencia en el espacio interior evaluado. Asimismo, el prototipo implementado permite, gracias a un control coordinado, maximizar la aportación de iluminación natural, regulando tanto la apertura y cierre de las persianas como el nivel del flujo luminoso de las lámparas LED.

El sistema inteligente de control garantiza el mínimo nivel de iluminación necesario en el interior de aulas y laboratorios, de acuerdo a lo establecido en la normativa de iluminación en espacios interiores UNE-EN 12464-1, comparando el nivel de iluminación aprovechable existente en el exterior y la iluminación artificial proporcionada por las luminarias LED.

El prototipo de control inteligente del sistema de iluminación LED consta de cuatro bloques, Fig. 3.

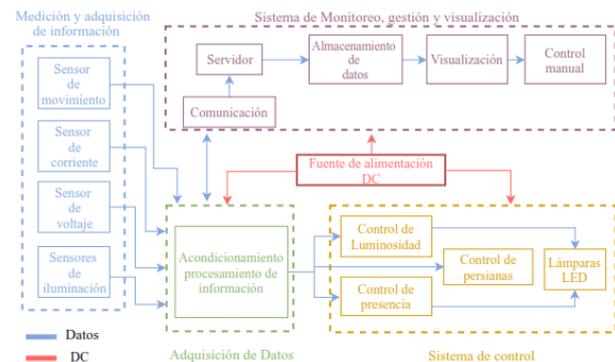


Figura 3: Diagrama de bloques del sistema de control inteligente de iluminación interior.

En el primer bloque se realiza la medición y adquisición de información con ayuda de sensores de movimiento, corriente, tensión, así como de dos sensores de luz, exterior e interior. El segundo bloque se encarga del acondicionamiento y procesamiento de datos, con ayuda de un controlador Arduino Nano, en función a la programación previamente establecida, que procesa la información adquirida por los sensores.

En el tercer bloque se realiza la activación de diferentes funcionalidades del sistema de control inteligente de iluminación LED: encendido/apagado de las luminarias LED al detectar presencia o ausencia de personas; apertura/cierre de las persianas para la maximización del aprovechamiento de la luz natural; control del flujo luminoso de las lámparas LED, en coordinación con el cierre/apertura de las persianas para garantizar el mínimo nivel de iluminación, establecido en la normativa vigente; envío de información de las magnitudes del sistema de iluminación a la plataforma CloudIoT.

Finalmente, el cuarto bloque se encarga del almacenamiento de la información adquirida del sistema de control inteligente de iluminación implementado en una base de datos en un servidor, alojado en una raspberry pi 3. La monitorización, gestión y visualización de la información del sistema de Iluminación LED se realiza a través de la plataforma CloudIoT. En la Fig. 3, se presenta el diagrama de bloques del control inteligente del sistema de iluminación LED, con suministro eléctrico en corriente continua LVDC.

La descripción del funcionamiento del control inteligente del sistema de iluminación LED se presenta en diferentes etapas:

1. Inicialmente el sistema de iluminación se encuentra apagado. Si el prototipo detecta movimiento, en el espacio evaluado, activa los sensores de luz y estima los niveles de iluminación exterior e interior.

2. El prototipo compara los niveles de iluminación interior y exterior y, en función del resultado obtenido, se inicia la activación del control de las persianas.

3. La apertura y cierre de las persianas se realiza en rangos establecidos dentro de la programación del Arduino Nano, maximizando el aprovechamiento de la luz natural.

4. Al mismo tiempo, se controla el flujo luminoso de la lámpara LED mediante el control de modulación por ancho de pulsos, PWM, con el objetivo de mantener el nivel de iluminación mínimo establecido según la normativa UNE-EN 12461-4.

5. El tiempo establecido para la desconexión del sistema de iluminación es de 5 minutos, siempre y cuando no se detecte movimiento por debajo del tiempo establecido. Un tiempo superior implica un mayor consumo eléctrico del sistema de iluminación.

El suministro eléctrico del prototipo se realiza en corriente continua. Se utiliza convertidores de voltaje DC-DC en dos casos: en el primer caso se utiliza un elevador de voltaje DC-DC para la alimentación del circuito de control de iluminación LED. En el segundo caso se utiliza un reductor de voltaje DC-DC para obtener el voltaje requerido y soportado para el funcionamiento correcto del microcontrolador y microprocesador, así como, de los sensores y actuadores que cuenta el prototipo. En la Fig. 4, se muestra el esquema de conexiones del prototipo del sistema de control inteligente de iluminación LED.

El prototipo del sistema control inteligente de iluminación interior presenta las siguientes funcionalidades:

- Utiliza la iluminación solo cuando y donde sea necesaria.
- Ajusta los niveles de iluminación para reducir el consumo energético del sistema de iluminación.
- Permite una iluminación uniforme mejorando la visibilidad.
- Mejora la calidad de vida de los estudiantes, el personal docente y los visitantes.
- Permite la gestión y control del sistema desde una página web.
- Permite la visualización de información y la elaboración de informes técnicos. Los Trabajos Técnicos deberán cumplir con las siguientes recomendaciones generales

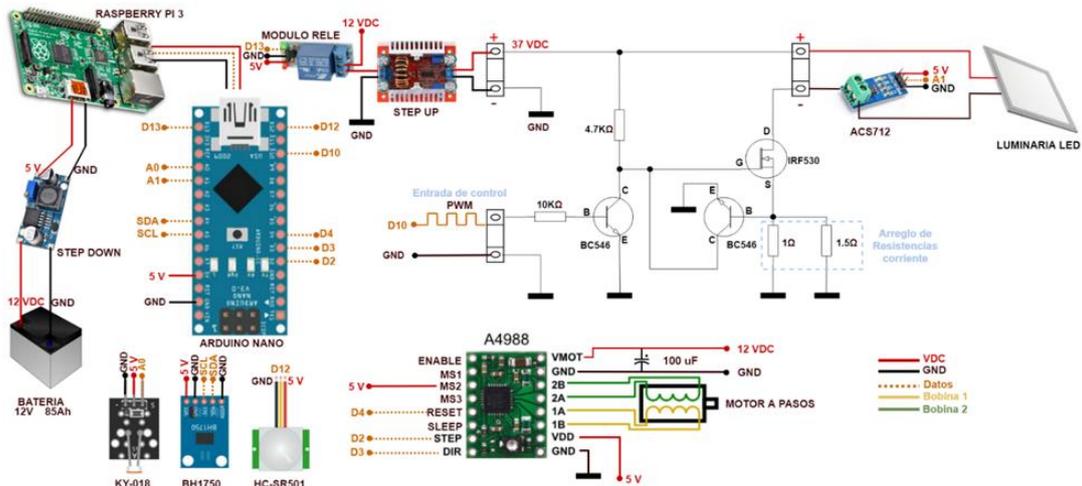


Figura 4: Sistema de control PI de lazo cerrado.

3. DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL DE LAS LÁMPARAS LED

3.1. Criterios de Diseño

Los criterios considerados en el diseño del circuito de control de las lámparas LED se presentan a continuación:

- Utilización de hardware y software libre.
- La alimentación del circuito de control es en corriente continua.
- Control de tensión e intensidad en corriente continua para regular el flujo luminoso de las lámparas.
- Control proporcional e integral, PI.
- Control del flujo luminoso se lo realiza por modulación de ancho de pulsos, PWM.

Por otro lado, para el desarrollo del prototipo de control inteligente del sistema de iluminación se emplea un control proporcional e integral, PI, que permite la compensación del nivel de iluminación de acuerdo a las condiciones de iluminación requeridas en el espacio interior evaluado.

En caso de que en el proceso de maximización del aprovechamiento de luz natural no se alcancen los niveles mínimos de iluminación en las superficies de trabajo del espacio interior evaluado, el circuito electrónico de control regula del flujo luminoso de las lámparas LED, garantizando el nivel de iluminación establecido. El circuito electrónico de control compensa el déficit de luz natural suministrando los luxes necesarios desde la lámpara LED.

En la Fig. 5, se muestra el esquema del sistema de control proporcional e integral de lazo cerrado. Un controlador PI representado en el diagrama de bloques de la Fig. 5 [19].

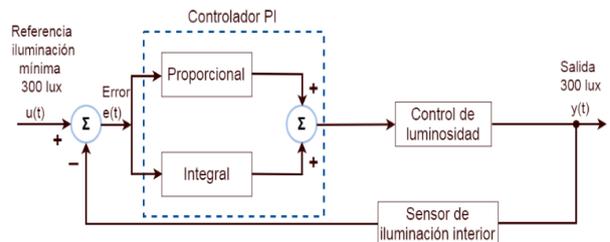


Figura 5: Sistema de control PI de lazo cerrado.

3.2. Simulación del circuito de control

La simulación del circuito de control de la lámpara LED se realizó con ayuda del software Proteus. Previamente se realizó la programación en el Arduino Nano, que permite regular la modulación por ancho de pulsos, PWM, así como el pin de salida de la señal analógica. La señal PWM proveniente del Arduino se conecta en la base del transistor Q1 del circuito de control, que regula el flujo luminoso de la lámpara LED. En la Fig. 6, se observa el circuito de control del flujo luminoso a simular, mientras que en la Fig. 7 se presentan las imágenes de modulación por ancho de pulsos de la onda de voltaje, PWM, que permite obtener porcentajes 75%, 50% y 25% de la iluminación nominal.

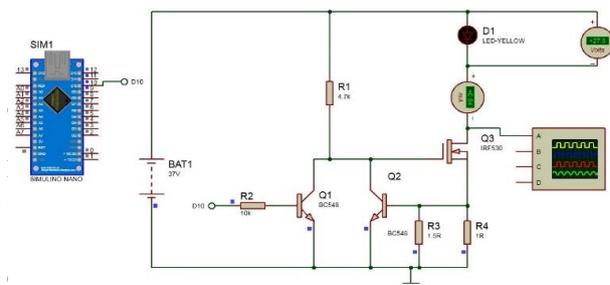


Figura 6: Simulación del circuito de control del flujo luminoso de la lámpara.

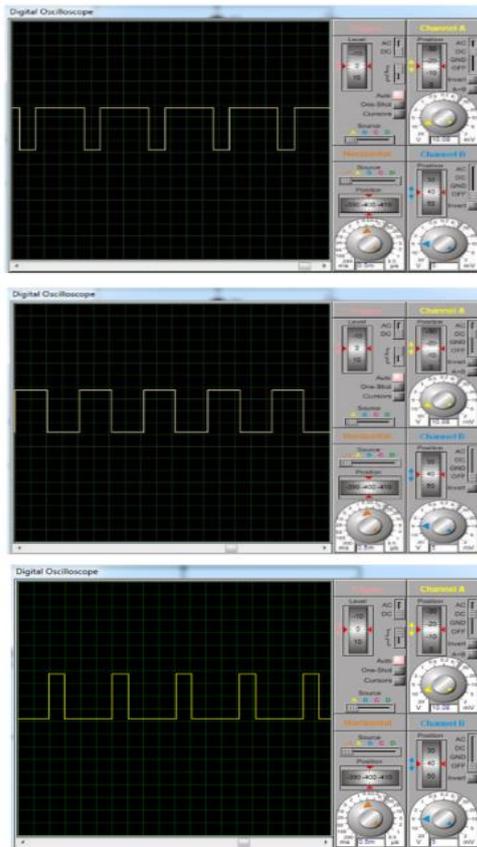


Figura 7: Porcentaje de PWM 75% - 50% - 25%.

4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA PLATAFORMA CLOUDIoT

La instalación del servidor LAMP se realizó en una raspberry pi 3. La plataforma fue diseñada con Wordpress, software desarrollado para el diseño de páginas web que ofrece gran variedad en personalización de las funcionalidades. En la Fig. 8 se presenta la estructura de la interfaz web desarrollada.

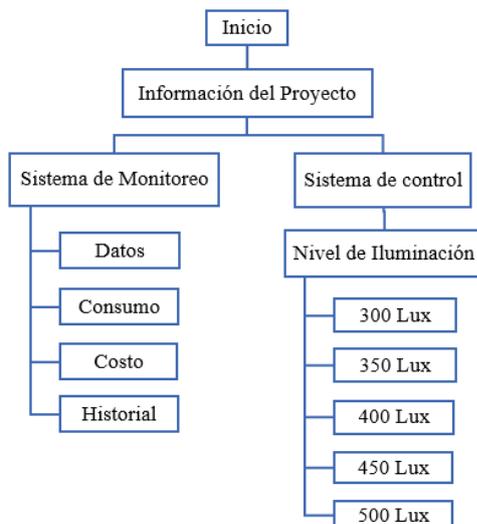


Figura 8: Estructura de la interfaz Web.

4.1. Interfaz del Sistema de Monitoreo

La interfaz del sistema de monitoreo cuenta con cuatro páginas que brindan información de las magnitudes eléctricas, consumo en kilovatios hora, costo atribuido al consumo realizado y un historial de datos. Cada una de las paginas fueron desarrollados con lenguaje de programación HTML y PHP. En la Fig. 9 se presenta la funcionalidad de cada página del sistema de monitoreo. En la opción datos se presenta el registro de las magnitudes eléctricas de voltaje, corriente y potencia visualizadas en una gráfica. En la opción de consumo se puede consultar por fechas específicas el consumo eléctrico en kWh del sistema de iluminación. Asimismo, existe una opción para la consulta del costo del consumo, se puede realizar las consultas de acuerdo a las fechas requeridas por el usuario.



Figura 9: Interfaz del sistema de monitoreo.

4.2. Interfaz del Sistema de Control

La interfaz del sistema de control cuenta con diferentes opciones de niveles de iluminación que pueden ser establecidos de acuerdo a los requerimientos de los usuarios o dependiendo del espacio interior evaluado. En la Fig. 10, se presenta la interfaz de control web del sistema de gestión en la plataforma CloudIoT



Figura 10: Interfaz de entrada de la plataforma de monitoreo.



5. IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOTIPO

5.1. Implementación del Circuito de Control

La comprobación del correcto funcionamiento del circuito de control del flujo luminoso de la lámpara LED se realizó con ayuda de simulaciones en el software Proteus. Un paso previo para la implementación práctica del circuito de control del flujo luminoso de la lámpara LED es el diseño de la placa electrónica. El diseño de la placa electrónica se realizó con ayuda del software Proteus. Posteriormente, se realizó la implementación física de la placa y soldado de los elementos electrónicos del circuito de control del flujo luminoso de la lámpara LED. En este apartado se detalla las actividades realizadas para la implementación y validación del prototipo de control inteligente del sistema de iluminación LED, Fig. 11. A continuación, se enlista las actividades más relevantes en la implementación y validación del prototipo:

- Diseño y montaje de la estructura metálica de soporte: luminaria LED y persiana.
- Comprobación del funcionamiento del circuito de control en la placa de pruebas protoboard.
- Diseño e implementación de la placa electrónica.
- Montaje del circuito electrónico, sensores, actuadores y elementos utilizados en el prototipo.
- Diseño e implementación de la página web de gestión de la plataforma CloudIoT.
- Validación del funcionamiento del sistema inteligente de iluminación.

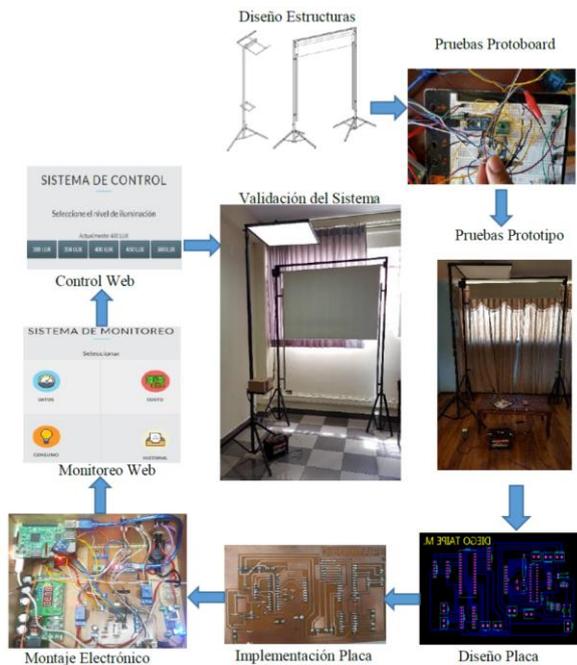


Figura 11: Sistema de control y monitoreo de iluminación con fuente LVDC.

6. EVALUACIÓN TECNICO-ECONÓMICA DEL CONTROL DE ILUMINACIÓN

6.1. Análisis del Consumo Eléctrico y Coste Económico del Sistema de Iluminación de la Sala de Investigación de la FISEI

La estimación del consumo eléctrico y coste económico en la sala de investigación se realizó para el periodo de un año. El consumo eléctrico se ha estimado en función del número de días soleados, parcialmente nublados y nublados para la ciudad de Ambato en un año, tabla 1. El número de días estimados se ha ajustado para los tres tipos de días evaluados, en la tabla 1, al calendario académico de la Universidad Técnica de Ambato. Posteriormente, se escaló de un año a 15 años, la estimación del consumo eléctrico de la sala de investigación.

Tabla 1: Días de sol, parcialmente nublados, nublado y precipitaciones [20].

Meses	Días de Sol	Días Parcialmente Nublados	Días Nublado	Días de Precipitaciones
Enero	5.4	22.7	2.9	26.1
Febrero	4.3	18.6	5.3	25
Marzo	1.6	19.7	9.6	29.4
Abril	1	19.7	9.3	29.3
Mayo	3.4	22.2	5.4	27.2
Junio	10.2	18.3	1.5	18
Julio	18	12.5	0.5	11
Agosto	18.2	12.4	0.5	10.6
Septiembre	11.5	16.7	1.8	17
Octubre	4.1	20.4	6.5	26.2
Noviembre	2.5	19.9	7.6	27.3
Diciembre	3.5	22	5.5	28.2

En la tabla 2, se presentan los resultados de la estimación del consumo eléctrico y del coste económico de la sala de investigación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial (FISEI). durante un año y en un horizonte de 15 años. Es importante indicar, que la estimación para el sistema iluminación LED con control inteligente, incluye los resultados obtenidos para los tres tipos de días evaluados: soleado, parcialmente nublado y nublado. Asimismo, se estima el nivel de emisiones de CO₂, asociadas a los diferentes casos evaluados, tabla 2.

Tabla 2: Consumo de energía y costo económico de la sala de investigación de la FISEI.

Sistema de Iluminación	Consumo Eléctrico kWh		Costo Consumo Eléctrico \$		Emisiones CO ₂ Ton CO ₂	
	año	15 años	año	15 años	año	15 años
Fluorescente	1270,08	19051,2	80,02	1200,23	435,13	6526,94
LED	604,8	9072	38,10	571,52	207,20	3108,07
Control LED	363,2	5448	22,88	343,22	124,43	1866,48

De acuerdo a los resultados obtenidos de la tabla 2, se deduce que, en un horizonte de 15 años, el coste económico del consumo eléctrico total del funcionamiento del sistema de iluminación LED con control, cumpliendo los requisitos mínimos de iluminación, se reduce significativamente en comparación con los sistemas de iluminación fluorescentes y LED sin control. En el caso estudiado, el ahorro obtenido en la factura de electricidad del consumo eléctrico en las luminarias de la sala de

investigación sería \$857,01, en un horizonte de análisis de 15 años, en comparación al consumo del sistema fluorescente existente. Por tanto, se estima una reducción anual del consumo eléctrico en la sala de investigación del 71% en relación al sistema de iluminación fluorescente, desde 19051,2 kWh, en el caso del sistema de iluminación fluorescente, a 5448 kWh para los sistemas de iluminación LED con un sistema del control inteligente implementado.

En el horizonte evaluado de 15 años, el coste económico del consumo eléctrico del sistema fluorescente supera los \$78 033,72 dólares, en tanto que para el sistema LED con control es de \$13 179,80 dólares. En un horizonte de 15 años, el ahorro económico del consumo eléctrico del sistema de iluminación en el edificio principal de la FISEI, sería de aproximadamente \$64 853,92 dólares, correspondiente a una reducción del consumo eléctrico desde 1238630,4 kWh, en el caso del sistema de iluminación fluorescente, a 209203,2 kWh para los sistemas de iluminación LED con un sistema del control inteligente implementado.

Tabla 3: Consumo de energía y costo económico del edificio principal de la FISEI.

Sistema de Iluminación	Consumo Eléctrico kWh		Costo Consumo Eléctrico, \$		Emisiones CO2 Ton CO2	
	año	15 años	año	15 años	año	15 años
Fluorescente	82575,4	1238630,4	5202,25	78033,72	28,29	424,35
LED	23224,3	348364,8	1463,13	21946,98	7,96	119,35
Control LED	13946,9	209203,2	878,65	13179,80	4,78	71,67

7. CONCLUSIONES

Los sistemas de iluminación fluorescentes de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial son tecnologías ineficientes que representan un elevado consumo eléctrico. Asimismo, los sistemas de iluminación fluorescentes existentes, en aulas y laboratorios de la FISEI, no garantizan los parámetros técnicos mínimos que establecen las normativas vigentes de iluminación interior según se desprende en un estudio realizado previamente y cuyos resultados fueron presentados en [21].

El análisis comparativo realizado entre luminarias fluorescentes y LED, con ayuda del software de diseño y simulación DIALux, permitió determinar que las luminarias LED ofrecen una mayor eficiencia lumínica y energética en comparación a las luminarias fluorescentes. Las luminarias LED empleadas permiten garantizar el nivel de iluminancia mantenida de 300 luxes en las diferentes superficies de trabajo dentro de los rangos establecidos en la normativa de iluminación de espacios interiores UNE-EN 12464-1.

El prototipo permite optimizar el consumo eléctrico

del sistema de iluminación al encender la luminaria únicamente al detectar presencia en el espacio interior evaluado y apagarse al detectar ausencia de usuarios. Además, permite maximizar el aprovechamiento de la luz natural con la apertura automática de la persiana implicando una reducción adicional del consumo eléctrico.

Con un nivel de iluminación de 350 luxes dentro del espacio interior evaluado, el análisis del prototipo de control de iluminación inteligente en los días de sol y parcialmente nublado proporciona un ahorro del 73% en el consumo de electricidad, mientras que, en los días nublados el ahorro es del 62.5%. Estos porcentajes se obtuvieron al compararse la luminaria LED controlada frente a la luminaria fluorescente existente.

Los estudios comparativos realizados para la estimación del ahorro en consumo eléctrico y coste económico para las diferentes propuestas de sustitución de luminarias de la sala de investigación evaluada confirman el importante ahorro económico a obtener por la sustitución de luminarias ineficientes por luminarias LED. En la sala de investigación evaluada, el ahorro obtenido sólo por la sustitución de luminarias fluorescentes por luminarias LED Lithonia, en tan sólo una sala de investigación sería de \$2 223,22 en un horizonte de análisis de 15 años. Se estima una reducción anual del consumo eléctrico en la sala de investigación del 52,38%.

Por otro lado, el análisis comparativo del consumo eléctrico y coste económico realizado para el edificio principal de la FISEI. En un horizonte de 15 años, permitió definir un ahorro económico del consumo eléctrico del sistema de iluminación en el edificio principal de la FISEI, sería de aproximadamente \$64 853,92 dólares.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial por su especial apoyo al trabajo de titulación “Plataforma IoT de control inteligente de un sistema de iluminación LED con suministro eléctrico en corriente continua LVDC” y a la Dirección de Investigación y Desarrollo, DIDE, de la Universidad Técnica de Ambato por su especial apoyo en el desarrollo de la presente propuesta, gracias a la financiación del proyecto “Implementación de una Plataforma Cloud de Evaluación de Recurso Eólico”, PFISEI017.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. Sadvani and M. Al, «Moving from CFL to LED lighting: Case study: University laboratory in Dubai» International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS), Palladam, 2017. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8389268/>



- [2] L. Oliveira, R. Salles, A. Fragoso, M. Fortes and G. Tavares, «Lighting Retrofit using LED Technology – Efficiency Analysis and Environmental Impacts» Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE), Niteroi, 2018. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8395906/>
- [3] F. Salata, I. Golasi, M. Salvatore and A. Lieto, «Energy and reliability optimization of a system that combines daylighting and artificial sources. A case study carried out in academic buildings,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261916301453>
- [4] CONELEC. Consejo Nacional de Electricidad, «Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental» Plan Maestro de Electrificación 2013 - 2022.
- [5] J. Guamán, C. Vargas, R. Nogales, D. Gevara, M. García and A. Ríos, «Solar manager: plataforma cloud de adquisición, tratamiento y visualización de información de sistemas fotovoltaicos aislados» 2016. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13800>
- [6] S. Manzano, D. Guevara, R. Peña and A. Ríos, «A Cloud Scalable Platform for Monitoring Isolated PV Systems using Wireless Remote Sensors in Ecuador» 6th Extreme Conference on Communication and Computing. 2014.
- [7] S. Manzano, D. Guevara, R. Peña and A. Ríos, «An Overview of Remote Monitoring PV Systems: Acquisition, Storage, Processing and Publication of Real-Time Data based on Cloud Computing» 4th International Workshop on Integration of Solar Power into Power Systems, 2014.
- [8] S. Manzano, D. Guevara and A. Ríos, «A New Architecture Proposal for PV Remote Monitoring based on IoT and Cloud Computing» Revista Electrónica ICREPQ, 2015.
- [9] S. Manzano, D. Guevara, R. Peña, A. Ríos, «Plataforma Cloud para Monitoreo Remoto de Sistemas Fotovoltaicos Aislados en el Ecuador» Revista Maskana, 2014.
- [10] H. Minh, S. Hoon, D. Tuan, S. Heo, J. Im and D. Kim, «Optimizations for RFID-based IoT applications on the Cloud » 2015. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7356551/>
- [11] L. Nóbrega, A. Tavares, A. Cardoso and P. Gonçalves, «Animal monitoring based on IoT technologies» 2018. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8373045/>
- [12] A. Ríos, R. Nogales, C. Vargas, J. Guaman, «Photovoltaic Lighting System with Intelligent Control based on ZigBee and Arduino» International Journal of Renewable Energy Research 7, 2017.
- [13] J. Guamán, C. Vargas, M. García and A. Ríos, «Plataformas de Control Inteligente de Iluminación Interior integrados en Sistemas de Distribución LVDC» Revista Técnica Energía, 2017.
- [14] A. Williams, B. Atkinson, K. Garbesi, E. Page and F. Rubinstein, «Lighting Controls in Commercial Buildings» 2012. [En línea]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.903.8015&rep=rep1&type=pdf>
- [15] T. Al-Ashwall and M. Budaiwi, «Energy savings due to daylight and artificial lighting integration in office buildings in hot climate» 2011. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/266565461_Energy_savings_due_to_daylight_and_artificial_lighting_integration_in_office_buildings_in_hot_climate
- [16] N. Al-Ashwal and A. Sanusi, «The Integration of Daylighting with Artificial Lighting to Enhance Building Energy Performance» 2017. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/320449122_The_integration_of_daylighting_with_artificial_lighting_to_enhance_building_energy_performance
- [17] M. Dubois, F. Bisegna, N. Gentile, M. Knoop, B. Matusiak, W. Osterhaus and E. Tetri, «Retrofitting the Electric Lighting and Daylighting Systems to Reduce Energy Use in Buildings: A Literature Review» 2015. [En línea]. Available: <http://thescipub.com/abstract/10.3844/erjsp.2015.25.41>
- [18] R. Delvaeye, W. Ryckaert, L. Stroobant, P. Hanselaer, R. Klein and H. Breesch, «Analysis of energy savings of three daylight control systems in a school building by means of monitoring» Energy and Buildings 2016, . [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816305229>
- [19] S. Gomáriz, D. Biel, J. Matas and M. Reyes, «Teoría de Control Diseño Electrónico» Edicions UPC, Segunda Edición, 2001. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=Jro3rHU_urMC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false
- [20] Meteoblue, «Diagramas Climáticos Ambato,» [En línea]. Available: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/ambato_ecuador_3660689
- [21] D. Taípe, A. Ríos Villacorta, M. Otorongo, «Optimización del consumo eléctrico de los sistemas de iluminación en espacios interiores de la

Universidad Técnica de Ambato» Revista Técnica Energía, Edición N°15, enero 2019.



Alberto Ríos Villacorta. Ingeniero Eléctrico en Sistemas y Redes Eléctricas por el Instituto Politécnico de Bielorrusia, 1993. Master en Energías Renovables por la Universidad Europea de Madrid, 2004. Dr. Ingeniero Eléctrico por la Universidad

Carlos III de Madrid, 2007. Profesor Ayudante de la Universidad Carlos III de Madrid, 1998-2001. Profesor Adjunto de la Universidad Europea de Madrid, 2001-2014. Director Técnico de Energy to Quality, Laboratorio de Ensayos de Turbinas Eólicas y Simulaciones de parques Eólicos, 2005-2006. Director del Máster Oficial de Energías Renovables de la Universidad Europea de Madrid, 2007-2011. Actualmente es profesor principal de la Universidad Técnica de Ambato en la facultad de Ingeniería en sistemas electrónica e Industrial



Manuel Otorongo Cornejo.- Es Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia de la Escuela Politécnica Nacional. Fue Jefe de Área y Jefe de Sección en Empresa Eléctrica Ambato S.A., Especialista, Director y Gerente de Distribución en Empresa Eléctrica

Quito. Ha sido Presidente del Comité técnico nacional de normalización para transformadores de distribución. Es Profesor Contratado en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato.



Diego Abraham Taipe.- Nació en Pujilí, Ecuador, el 28 de abril de 1992. Se graduó como bachiller en el Colegio “Nacional Experimental Provincia de Cotopaxi” en el 2010. Egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones de la Facultad de

Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato.



Jesús Guamán Molina.- Nació en Latacunga, Ecuador en 1990. Recibió su título de Ingeniero Electrónico y Comunicaciones de la Universidad Técnica de Ambato en el año 2015. Es Investigador en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de

Ambato. Actualmente se encuentra cursando sus estudios de posgrado en el Escuela Politécnica Nacional en la Maestría de Energía Eléctrica mención Smart Grid.