

Sistema de Control de Iluminación para Aulas

Lighting Control System for Classrooms

ESPEJEL-BLANCO, Daniel Fernando†*, CHÁVEZ, José Manuel, HOYO-MONTAÑO, José Antonio y HERNÁNDEZ-AGUIRRE, Fredy Alberto

Instituto Tecnológico de Hermosillo / Tecnológico Nacional de México

ID 1^{er} Autor: *Daniel Fernando, Espejel-Blanco* / ORC ID: 0000-0002-9692-013X, CVU CONACYT ID: 304845

ID 1^{er} Coautor: *José Manuel, Chávez* / CVU CONACYT ID: 806766

ID 2^{do} Coautor: *José Antonio, Hoyo-Montaño* / ORC ID: 0000-0002-3669-3895, CVU CONACYT ID: 202439

ID 3^{er} Coautor: *Fredy Alberto, Hernández-Aguirre* / CVU CONACYT ID: 611800

Recibido Septiembre 27, 2018; Aceptado 30 Diciembre, 2018

Resumen

Es muy importante gestionar y controlar el consumo de energía eléctrica en edificios ya que así se logrará optimizar el consumo energético. Los edificios consumen el 40% del total de energía a nivel mundial. El uso de iluminación artificial es indispensable en nuestros días ya que de ello depende el correcto desarrollo de las actividades productivas diarias. La iluminación es la carga que más contribuye al consumo total en edificios comerciales, en Estados Unidos los edificios de oficinas consumen un 39% del total. Por ello, se propone el desarrollo de un sistema de control para la iluminación en las aulas empleando una SBC (Single on Board Computer) para controlar el encendido y apagado de las lámparas dependiendo del itinerario de uso de las aulas. La SBC controlará las lámparas a través de un actuador quien estará enlazado con ella a través de una red inalámbrica utilizando módulos XBEE. Se pretende con el desarrollo de este proyecto disminuir en al menos un 7% el consumo de energía. Además, serán reemplazadas las lámparas fluorescentes actuales por lámparas con tecnología LED, lo cual aportará un 30% adicional de ahorros.

Eficiencia Energética, Control de iluminación, Luz LED

Abstract

It is very important to manage and control the consumption of electrical energy in buildings, because this achieve the optimal energy consumption. Buildings consume 40% of the total energy worldwide. The use of artificial lighting is indispensable in our days, because it is necessary for the correct development of our daily productive activities. Lighting is the most important load in commercial buildings, aports 39% of the energy consumption in commercial buildings in United States. Therefore, a lighting control system is propoused for reduce the energy consumption of a classroom. This control system will uses an SBC (Single on Board Computer) for Turn ON/OFF the lamps depending on the itinerary of use of the classrooms. The SBC will control the lamps through an actuator who will be linked to it through a wireless network using XBEE modules. It is intended with the development of this project to reduce energy consumption by at least 7%. In addition, current fluorescent lamps will be replaced by lamps with LED technology, which will provide an additional 30% savings.

Energy Efficiency, Lighting Control, LED Lighting

Citación: ESPEJEL-BLANCO, Daniel Fernando, CHÁVEZ, José Manuel, HOYO-MONTAÑO, José Antonio y HERNÁNDEZ-AGUIRRE, Fredy Alberto. Sistema de Control de Iluminación para Aulas. Revista de Ingeniería Eléctrica. 2018. 2-7: 42-50.

† Investigador contribuyendo como primer autor.

*Correspondencia al Autor Correo Electrónico: (dfespejel@gmail.com)

Introducción

La forma en que la energía es consumida en los edificios es altamente dependiente de los siguientes factores (Ma et al., 2016): 1) La función para la que fue construido el edificio; 2) El comportamiento de sus ocupantes; 3) Los materiales de construcción; y 4) La estrategia energética de operación.

En la estrategia energética que se selecciona para el funcionamiento de un edificio, se refiere a la forma en que se utiliza la energía para la funcionalidad del edificio, es decir, luces, sistemas de enfriamiento y/o calefacción, computadoras, refrigeradores, televisiones, etc. Los 4 factores antes mencionados, deben de ser tomados en cuenta al momento de diseñar y construir un edificio. Para edificios ya existentes donde se desee implementar sistemas de control automático de consumo de energía, se requiere encontrar el correcto balance entre el consumo óptimo de energía de las cargas sin sacrificar el confort de los ocupantes.

Para lograr la eficiencia energética, primero se debe identificar cuales cargas son las que mayormente afectan el consumo de energía eléctrica del edificio, para así poder buscar su óptimo consumo de energía sin sacrificio de confort. Por ejemplo, En EEUU de los diversos edificios comerciales existentes, los edificios de oficinas consumen más del 17% del total de la energía eléctrica que se consume en ese sector, y las cargas que más consumen son la iluminación, con un 39%; HVAC con el 14% del consumo; y el equipo de oficina con 15% de consumo de energía (Sehar, Pipattanasomporn, & Rahman, 2017).

Dada la aportación al consumo de energía eléctrica por parte de la iluminación, este rubro puede ser analizado para hacerlo más eficiente, dicho rubro que se encuentra incrustado en la estrategia energética de operación. Es importante recalcar que en la actualidad el empleo de energía eléctrica para fines de iluminación artificial de oficinas, comercios, industrias, etc., se sitúa entre el 11 y 20% del total de consumo (Neweys online, 2013) (U.S. Energy Information Administration, 2017) (Muhamad, Zain, Wahab, Aziz, & Kadir, 2010).

Según la Administración de Información sobre Energía de EEUU (EIA, siglas en inglés de Energy Information Administration) el sector comercial fue responsable del 11% del consumo de energía eléctrica en iluminación del sector en el 2016 (U.S. Energy Information Administration, 2017). Es por esta razón que el control de los sistemas de iluminación han recibido atención como una forma de hacer más eficiente el consumo energético de las organizaciones (Martirano, 2011) (Bellido-Outeirino, Flores-Arias, Domingo-Perez, Gil-De-Castro, & Moreno-Munoz, 2012) (Parise & Martirano, 2013) (Tariq, Zhou, Wu, MacUha, & Sato, 2012).

El uso de iluminación artificial es indispensable en nuestros días, dado de que de ella depende el correcto desarrollo de las actividades productivas diarias. La tecnología para proporcionar iluminación artificial a partir de energía eléctrica ha evolucionado desde la aparición de la lámpara incandescente a finales del siglo 19 han sido investigados diversos métodos para producir iluminación artificial con luz blanca, una de ellas ha sido la luz blanca producida a través de LED, que tienen impactos considerables en el consumo de energía, eficiencia, medio ambiente e incluso salud de las personas (Pimputkar, Speck, DenBaars, & Nakamura, 2009). En eficiencia, según (Bessho & Shimizu, 2012), para el 2010, las lámparas LED alcanzaron eficiencias de 100 lm/W y se esperaba que para el 2015 alcanzaran eficiencias de 150 lm/W.

Una forma de mejorar el consumo de energía eléctrica por iluminación en edificios es el reemplazo de las luminarias incandescentes, fluorescentes y HID por lámparas con tecnología LED. Este solo cambio puede representar un ahorro de hasta el 22% del consumo anual en este rubro (Hoyo-montano, Espejel-blanco, & Schurch-sanchez, 2016).

En países como Malasia, en 2006 se tuvo que del total de energía eléctrica utilizada en edificios comerciales y públicos el 19% se empleó en iluminación (Neweys online, 2013); en el Reino Unido, la iluminación representa el 20% del consumo de energía eléctrica (U.S. Energy Information Administration, 2017).

En Estados Unidos durante el 2011 representó el 21% (Muhamad et al., 2010) y en México durante el 2010 representó el 18% (Secretaría de Energía, 2010), de manera que representa una aplicación importante y sujeta a optimización para reducir su impacto económico y ambiental.

El objetivo de este proyecto es desarrollar un control automático utilizando una SBC (del inglés Single on Board Computer, Computadora de Tarjeta Sencilla) para controlar el encendido y apagado de las luces en un aula de clases del Instituto Tecnológico de Hermosillo, con la intención de promover el desarrollo tecnológico y el ahorro de energía eléctrica.

Desarrollo.

Una forma de controlar el consumo de energía en diversos tipos de cargas se logra a través de la implementación de sistemas de control y automatización de edificios (BACS por las siglas en inglés de Building Automation and Control System) (Hoyo-Montano, Valencia-Palomo, Galaz-Bustamante, & Espejel-Blanco, 2016).

El uso de redes alámbricas e inalámbricas para la implementación de BACS (Bellido-Outeirino et al., 2012) (Tariq et al., 2012) ha reportado buenos resultados en la reducción del uso de energía eléctrica en iluminación.

Aunado al uso de esta tecnología, se está presentando también un cambio en la naturaleza de las fuentes de iluminación. El uso de Diodos Emisores de Luz de alta intensidad (HB LED por las siglas en inglés de High Brightness Light Emitting Diode) es cada vez más atractivo como un elemento adicional de ahorro energético por su alta eficiencia luminosa, la cual actualmente puede fácilmente alcanzar rangos de 100lm/W (Secretaría de Energía, 2010) (Tan, Huynh, & Wang, 2013).

En el año 2016 (Philips, 2016), La compañía Philips anunció una lámpara LED con eficiencia luminosa de 200 lm/W, llamada lámpara Dubai, y de acuerdo con ellos, es la lámpara comercial de mayor eficiencia energética con tecnología LED disponible en el mercado.

Algunas de las estrategias de administración que se pueden implementar en los BACS son las siguientes (Hoyo-Montano, Valencia-Palomo, Galaz-Bustamante, & García-Barrientos, 2015): 1) Dividir por zonas el sistema de iluminación de acuerdo a su uso y requerimientos de luz; 2) Programar el encendido/apagado del interruptor general por medio de un actuador remoto; 3) Integrar el uso de luz natural con artificial en las áreas a iluminar; 4) Controlar el encendido/apagado de las luces en respuesta a la ocupación real en las diferentes zonas a controlar la iluminación; 5) Controlar el encendido/apagado y temperatura de operación de equipos HVAC (del inglés Heat, Ventilation and Air Conditioning); y 6) Definir posibles escenarios donde sea posible el control manual del sistema por medio de interruptores manuales.

La implementación de los BACS requiere de una infraestructura de comunicación. Esta infraestructura puede ser implementada por medio de dispositivos y estándares de tipo abierto como BACNet, LonWorks, KNX, DALI o Zigbee (Bellido-Outeirino et al., 2012; Tariq et al., 2012). Cada una de estas soluciones tiene sus pros y sus contras.

Existen varios desarrollos de controles de iluminación que emplean tecnología Zigbee, que incluyen aplicaciones en alumbrado exterior (Lee et al., 2006) (Siddiqui, Ahmad, Yang, & Lee, 2012), oficinas (Hsu, Yang, Hsu, & Wu, 2010; Hung & Bai, 2010), y casas (Han, Lee, & Park, 2009; Wang & Wang, 2010). Existen estudios que estiman que se puede lograr con el empleo de BACS una reducción del consumo de energía eléctrica de un 20% a un 30% para el control de iluminación y HVAC (Fugate, Fuhr, & Kuruganti, 2011).

El control de las diferentes cargas de un edificio, en particular la iluminación y de los equipos de HVAC, utilizando una aplicación de control automático, permite que se tenga control sobre dichas cargas y esto a su vez permite disminuir el consumo diario de energía eléctrica de las mismas. Si esto lo ponemos en el escenario de consumo excesivo de los aparatos de uso cotidiano, y que gran parte de este consumo es destinado a sistemas de iluminación artificial y HVAC, el uso de tecnologías de control que garanticen un ahorro en el consumo de energía eléctrica se convierte en una opción viable a considerar (Hoyo-Montano et al., 2016).

El desarrollo de BACS modernos permite optimizar el consumo de energía eléctrica sin sacrificar el confort de sus ocupantes, en particular en edificios de oficinas y edificios industriales (Hoyo-Montano et al., 2016). Esto se puede lograr a través de la utilización de software y hardware computacional para controlar los itinerarios de encendido y apagado de las cargas presentes de iluminación y HVAC. El sistema de control de iluminación se instalará en el aula A58, aula que pertenece al edificio A5 del Instituto Tecnológico de Hermosillo.

Dicha aula tiene una superficie de 60.48 metros cuadrados, esto es, 7.2 metros de largo y 8.4 metros de ancho. En primer lugar el sistema de iluminación con lámparas fluorescentes que actualmente tiene dicha aula, será reemplazado con un sistema de iluminación con lámparas de tecnología LED. Además, se requiere controlar el encendido y apagado de las lámparas que se utilizan para dar iluminación artificial a dicha aula, por ello, se instalará el actuador de iluminación en el lugar que ocupan los interruptores de las mismas.

Se desarrollará un actuador de iluminación que será controlado por una Raspberry Pi 3 quien será la responsable de encender y/o apagar las lámparas según sea la programación del uso de cada una de las aulas. El uso de las aulas se encuentra cargado en el Sistema Integral de Información (SII) del ITH, que es el sistema donde se programan las clases que cursarán los estudiantes, incluyendo las aulas. Dicho sistema es alimentado por las Jefaturas de carrera y por las coordinaciones de carrera, para que contenga los horarios de las clases, los profesores y las aulas.

Resultados

El primer paso para realizar el proyecto consiste en el reemplazo de las lámparas fluorescentes actuales por lámparas con tecnología LED. El sistema de iluminación actual consta de 4 gabinetes de dos tubos fluorescentes de 48 pulgadas tipo T8 de 32W. La Figura 1 muestra el aula A58 con el sistema de iluminación fluorescente.



Figura 1 Aula A58 con sistema de iluminación Fluorescente

Fuente: Elaboración Propia

El sistema de iluminación propuesto con lámparas de tecnología LED está integrado por 9 gabinetes de lámpara sencilla de 48 pulgadas con tubos T8 de tecnología LED de 12W con una eficiencia luminosa de 140 lumens/W. La Figura 2 muestra el plano de instalación de las lámparas en el techo del aula y la Figura 3 muestra el aula A58 con el sistema de iluminación LED propuesto.

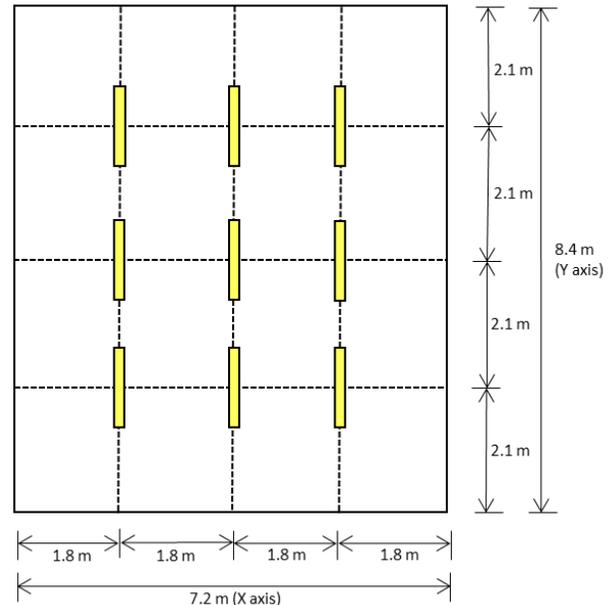


Figura 2 Plano de distribución de lámparas LED

Fuente: Elaboración Propia



Figura 3 Aula A58 con sistema de iluminación LED
Fuente: *Elaboración Propia*

Se utilizó un medidor de calidad de la energía marca Fluke modelo 43B para monitorear el consumo de energía de ambos sistemas de iluminación. Los resultados de las mediciones se muestran en la Tabla 1.

Sistema de Iluminación	Consumo energético (W)
Fluorescente	342
LED	155

Tabla 1 Consumo de energía en ambos sistemas de iluminación
Fuente: *Elaboración Propia*

Como se puede apreciar en la Tabla 1, el solo reemplazo de las lámparas fluorescentes por las lámparas LED logra una reducción del 54.7% en el consumo de energía eléctrica. Para poder integrar soluciones de control automático que integren software y hardware, es necesario tomar en cuenta los diferentes factores que contribuyen al consumo energético. Estos factores van desde el diseño y desarrollo del sistema de control, hasta los elementos que se involucran para controlar el sistema de iluminación artificial.

3.1 Diseño del Actuador de Iluminación

En el diseño del actuador para controlar el encendido y apagado de las lámparas del edificio, se construyó un interruptor de estado sólido con un TRIAC 2N6344A de 8 amperes. El circuito está integrado además de un módulo XBEE S2C para tener comunicación inalámbrica con el circuito de control. La Tabla 2 muestra la lista de materiales utilizados en el desarrollo del actuador para iluminación y la Figura 4 el circuito esquemático.

Cantidad	Referencia	Parte
2	C1,C2	100nF
1	Q1	2N2222A
1	Q2	2N6344A
1	R1	10k Ω
1	R2	220 Ω
1	R3	180 Ω
1	R4	1k Ω
1	U1	Xbee S2C
1	U2	LM1086
1	U3	MOC3031

Tabla 2 Lista de materiales del actuador de iluminación
Fuente: *Elaboración Propia*

El circuito mostrado en la Figura 1, el XBEE recibe la instrucción vía inalámbrica (a través de otro XBEE) de enviar un “alto” en su pin 20, el cual polariza la base del transistor Q1 poniéndolo en conducción y alimenta el MOC3031 que permite que el TRIAC se encienda. De igual forma sucede lo contrario para el apagado pero con el envío de un “bajo” para el pin 20 del XBEE. El TRIAC, tiene conectado entre sus terminales T1 y T2 las lámparas que se desean controlar. Se diseñó el circuito impreso del actuador y se construyó un prototipo del mismo para realizar las pruebas de encendido y apagado de las lámparas así como la comunicación vía XBEE del actuador con una Raspberry Pi funcionando como control. La Figura 5 muestra el circuito impreso desarrollado (a) y una foto del prototipo construido (b).

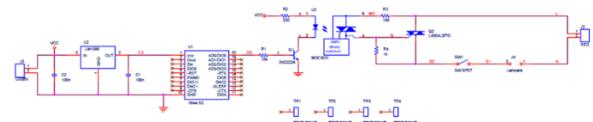


Figura 4 Circuito esquemático del actuador de iluminación
Fuente: *Elaboración Propia*

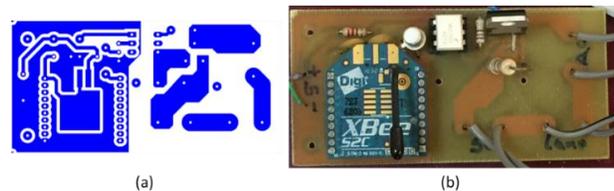


Figura 5 (a) Circuito impreso del actuador, (b) foto de actuador construido
Fuente: *Elaboración Propia*

3.2 Conexión de la Raspberry Pi 3 con el Actuador de Iluminación

Con el diseño del actuador para el control del encendido y apagado de las lámparas del edificio, se realizó la programación de los XBEE que funcionarían como enlace entre la Raspberry y el actuador. Lo principal es que ambos XBEE tengan la misma “PAN ID” para que puedan funcionar en la misma red, se utiliza “FFFF” para los 2 XBEE a utilizar en esta conexión.

La dirección de destino alta (DH) del primer XBEE debe ser la dirección alta (SH) del otro XBEE, y la dirección de destino baja (DL) del primer XBEE debe ser la dirección baja (SL) del otro XBEE. Ambos números de dirección (alta y baja) se pueden ver en el software XCTU o están impresos en la etiqueta debajo del módulo XBEE.

Por cuestiones de orden y fácil localización en la red con el software XCTU, se le asigna un nombre a cada XBEE, en este caso se llaman “Coord2” y “luces”, para la conexión con la Raspberry y el actuador respectivamente. Hay que modificar la configuración en el XBEE coordinador y habilitar la capacidad de funcionar como coordinador.

El parámetro AP de ambos XBEE se coloca en 1 (API enabled, Application Programming Interface) ya que este modo en los XBEE permite la comunicación de un XBEE como coordinador con varios XBEE en la misma red. El resto de los parámetros de ambos XBEE se dejan los de default.

Se conecta un XBEE a la Raspberry (coordinador) a través de una base “XBEE USB explorer” (es una base para poder conectar un XBEE a través de un puerto USB) y se conecta de forma directa a uno de los puertos USB de la Raspberry. Se coloca el XBEE en la base del circuito impreso mostrado en la Figura 5(b) y se ejecuta el programa mostrado en el Figura 6. En la Figura 7 se muestra el circuito de conexión de la Raspberry y el Actuador.

```
File Edit Format Run Options Windows Help
from digi.xbee.io import IOLine, IOValue, IOMode
from digi.xbee.devices import XBeeDevice
import traceback
import time
import threading

# Variables de configuración, cambiar estos valores a los que se utilizaran para el script:
io_line = IOLine.DIGI_ADO_ADO # Pin de IO a modificar
io_value = IOValue.HIGH # Estado a cambiar del IO
port = "/dev/ttyUSB0" # Puerto utilizado para la comunicación
baud_rate = 9600 # Velocidad configurada en XBee local para comunicación
node_id = "luces" # Node Identifier del XBee remoto con el que se conectará

try:
    local_device = XBeeDevice(port, baud_rate) # Crea un objeto XBee con la velocidad y el puerto a comunicarse
    local_device.open() # Inicializa la comunicación con el XBee declarado previamente
    xbee_network = local_device.get_network() # Obtiene la red de XBee's a la cual pertenece el XBee local
    device = xbee_network.discover_device(node_id) # Se conecta con el XBee remoto con el NI (Node ID) definido

    stop = False
    th = None

    try:
        def io_detection_callback():
            while not stop:
                device.set_io_value(io_line, io_value) # Cambia el pin de la línea 'io_line' y lo pone a 'io_value'
                time.sleep(0.2)

            th = threading.Thread(target=io_detection_callback) # Crea un nuevo thread
            device.set_io_configuration(io_line, IOMode.DIGITAL_OUT_LOW) # Cambia la configuración del XBee remoto
            time.sleep(0.2)

            th.start() # Inicia el thread en espera para llamar el método arriba.

        finally:
            stop = True # Detiene el thread
            if th is not None and th.is_alive():
                th.join()

    except Exception as ex:
        print(f"Error: {ex.__name__} - {str(ex)}")
        traceback.print_exc()

    finally:
        if local_device: # En caso de que todavía exista el objeto y haya comunicación, cierra el link con el objeto
            if local_device.is_open():
                local_device.close()

    print("Fin")
```

Figura 6 Programa en Python para controlar el XBEE conectado a la Raspberry y el XBEE conectado al actuador de iluminación

Fuente: Elaboración Propia

El programa mostrado en la Figura 6 realiza la conexión entre el XBEE que se encuentra conectado por el puerto USB a la Raspberry con el XBEE que está en el circuito del actuador. El programa mostrado es una modificación del ejemplo de comunicación entre dispositivos XBEE que vienen en la librería de digi-xbee.

La única función que realiza es la habilitación del pin ADO del XBEE (pin 20), que es el pin que se utiliza para activar el TRIAC del circuito del actuador y así encender y/o apagar las lámparas conectadas a él. En la Raspberry se debe instalar la librería para manejar los XBEE de Digi a través de la instrucción “sudo pip3 install digi-xbee”.

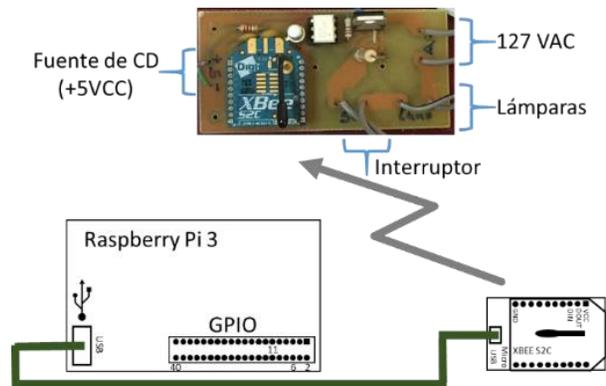


Figura 7 Circuito de conexión entre la Raspberry y el Actuador

Fuente: Elaboración Propia

Una vez puesto en marcha el sistema de control propuesto, implementado en el aula A58 del ITH, se espera obtener ahorros en el consumo de energía eléctrica, los cuales pueden oscilar entre el 5% y el 7% por concepto de iluminación, adicionales al ahorro obtenido por el reemplazo de las lámparas fluorescentes por las lámparas LED, dependiendo de la programación de uso de las aulas.

Agradecimiento

Agradecimiento especial al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Hermosillo, por proporcionar los fondos para que este proyecto se llevara a cabo.

Conclusiones

Se presentó un sistema de control automático para encender y/o apagar las lámparas del aula A58 con el fin de promover el desarrollo tecnológico y el ahorro energético. Dicho control se logra a través de una Raspberry Pi 3 utilizando XBEE para la conexión inalámbrica con el actuador y así poder encender y apagar las lámparas vía remota.

Se logró una disminución del consumo de energía del 54.7% con el reemplazo del sistema de iluminación artificial utilizado con lámparas fluorescentes por un sistema de iluminación con lámparas de tecnología LED. Además se espera lograr más ahorros de energía al controlar el encendido y apagado de las lámparas en el horario programado de uso.

Se está trabajando en este momento con el manejo del “cron” en la Raspberry para poder ejecutar el itinerario de encendido y apagado de las lámparas, lo anterior en función de la programación oficial del uso de aula. Con esta opción se permitirá el control de las lámparas sólo en los horarios que este en ocupación, en los horarios en que el espacio esté desocupado el actuador estará deshabilitado y las lámparas no podrán ser encendidas con el interruptor destinado a ello.

Referencias

- Bellido-Outeirino, F. J., Flores-Arias, J. M., Domingo-Perez, F., Gil-De-Castro, A., & Moreno-Munoz, A. (2012). Building lighting automation through the integration of DALI with wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 58(1), 47–52. <https://doi.org/10.1109/TCE.2012.6170054>
- Bessho, M., & Shimizu, K. (2012). Latest trends in LED lighting. *Electronics and Communications in Japan*, 95(1), 1–7. <https://doi.org/10.1002/ecj.10394>
- Fugate, D., Fuhr, P., & Kuruganti, T. (2011). Instrumentation systems for commercial building energy efficiency. In *2011 Future of Instrumentation International Workshop (FIIW) Proceedings* (pp. 21–24). Oak Ridge, TN, USA: IEEE. <https://doi.org/10.1109/FIIW.2011.6476826>
- Han, J., Lee, H., & Park, K. R. (2009). Remote-Controllable and Energy-Saving Room Architecture based on ZigBee Communication. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 55(1), 264–268. <https://doi.org/10.1109/TCE.2009.4814444>
- Hoyo-montano, J. A., Espejel-blanco, D. F., & Schurch-sanchez, D. G. (2016). Retrofitting and Energy Control of an Academic Building. In *IEEE Conference on Technologies for Sustainability* (pp. 114–118). Phoenix.
- Hoyo-Montano, J. A., Valencia-Palomo, G., Galaz-Bustamante, R. A., & Espejel-Blanco, D. F. (2016). Software Development of a Building Automation and Control System for Educational Institutions. *XIII Congreso Internacional Sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico CIINDET 2016*, 1–6.
- Hoyo-Montano, J. A., Valencia-Palomo, G., Galaz-Bustamante, R. A., & García-Barrientos, A. (2015). Sistema De Control De Consumo De Energía Eléctrica Para Edificios. *Congreso Internacional En Ingeniería Electrónica. Mem. Electro 2015*, 37, 176–180.

- Hsu, C. L., Yang, S. Y., Hsu, T. Y., & Wu, W. Bin. (2010). Practical design of active & intelligent energy-saving system with modules strategy. In *2010 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, ICMLC 2010* (Vol. 6, pp. 3002–3008). <https://doi.org/10.1109/ICMLC.2010.5580737>
- Hung, C.-H., & Bai, Y.-W. (2010). Halftone control method in white light LEDs by using an embedded remote controller with zigbee communication. *23rd Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2010*, 1–6.
- Lee, J. D., Nam, K. Y., Jeong, S. H., Choi, S. B., Ryoo, H. S., & Kim, D. K. (2006). Development of Zigbee based street light control system. In *2006 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, PSCE 2006 - Proceedings* (pp. 2236–2240). <https://doi.org/10.1109/PSCE.2006.296311>
- Ma, L., Liu, N., Wang, L., Zhang, J., Lei, J., Zeng, Z., ... Cheng, M. (2016). Multi-party energy management for smart building cluster with PV systems using automatic demand response. *Energy and Buildings*, *121*, 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.072>
- Martirano, L. (2011). Lighting systems to save energy in educational classrooms. In *2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering, IEEEIC.EU 2011 - Conference Proceedings* (pp. 1–5). Rome: IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEEIC.2011.5874691>
- Muhamad, W. N. W., Zain, M. Y. M., Wahab, N., Aziz, N. H. A., & Kadir, R. A. (2010). Energy Efficient Lighting System Design for Building. In *2010 International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation* (pp. 282–286). Liverpool: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISMS.2010.59>
- Neweys online. (2013). Reducing the Energy Consumption of Light. Retrieved January 29, 2017, from <http://www.neweysonline.co.uk/Reducing-The-Energy-Consumption-Of-Light/Static.raction>
- Parise, G., & Martirano, L. (2013). Daylight impact on energy performance of internal lighting. *IEEE Transactions on Industry Applications*, *49*(1), 242–249. <https://doi.org/10.1109/TIA.2012.2229454>
- Philips. (2016). Dubai Municipality and Philips Lighting announce launch of Dubai Lamp Initiative. Retrieved August 23, 2018, from <http://www.newsroom.lighting.philips.com/news/2016/20161005-dubai-municipality-and-philips-lighting-announce-launch-of-dubai-lamp-initiative#>
- Pimputkar, S., Speck, J. S., DenBaars, S. P., & Nakamura, S. (2009). Prospects for LED lighting. *Nature Photonics*, *3*(4), 180–182. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2009.32>
- Secretaria de Energia. (2010). Boletín 001.2010. Retrieved February 5, 2015, from <http://www.sener.gob.mx/portal/Default.aspx?id=902>
- Sehar, F., Pipattanasomporn, M., & Rahman, S. (2017). Integrated automation for optimal demand management in commercial buildings considering occupant comfort. *Sustainable Cities and Society*, *28*, 16–29. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.08.016>
- Siddiqui, A. A., Ahmad, A. W., Yang, H. K., & Lee, C. (2012). ZigBee based Energy Efficient Outdoor Lighting Control System. *Advanced Communication Technology (ICACT), 2012 14th International Conference On*, 916–919.
- Tan, Y. K., Huynh, T. P., & Wang, Z. (2013). Smart personal sensor network control for energy saving in DC grid powered LED lighting system. *IEEE Transactions on Smart Grid*, *4*(2), 669–676. <https://doi.org/10.1109/TSG.2012.2219887>
- Tariq, M., Zhou, Z., Wu, J., MacUha, M., & Sato, T. (2012). Smart grid standards for home and building automation. In *2012 IEEE International Conference on Power System Technology, POWERCON 2012* (pp. 1–6). <https://doi.org/10.1109/PowerCon.2012.6401448>
- U.S. Energy Information Administration. (2017). How much electricity is used for lighting in the United States? - FAQ - U.S. Energy Information Administration (EIA). Retrieved May 21, 2018, from <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=99&t=3>

Wang, Y., & Wang, Z. (2010). Design of Intelligent Residential Lighting Control System Based on ZigBee Wireless Sensor Network and Fuzzy Controller. In *2010 International Conference on Machine Vision and Human-Machine Interface (MVHI)* (pp. 561–564). <https://doi.org/10.1109/MVHI.2010.9>