



XVII SIMPOSIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA (SIE-2017)

Fotocontrolador programable orientado al ahorro de energía.

Programmable photocontroller oriented to the saving of energy.

Carlos A. Bazán Prieto¹, Leonardo Pacheco González², Adrian Acuña Pérez³,
Alberto Bazán Guillén⁴

1- Carlos Alberto Bazán Prieto. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Cuba.

E-mail: cabazan@uclv.edu.cu

2- Leonardo Pacheco González. Fábrica de Fusibles y Desconectivos. Santa Clara,

Cuba. E-mail: leonardo@fusibles.epem.une.cu

3- Adrian Acuña Pérez. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Cuba. E-mail:

aacuna@uclv.cu

4- Alberto Bazán Guillén. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Cuba.

E-mail: abguillen@uclv.cu

Resumen: Un Fotocontrolador es un dispositivo utilizado para controlar el alumbrado público. Su funcionamiento consiste en encender las lámparas en la noche y apagarlas durante el día, basado en la medición del nivel de iluminación. En el alumbrado público en Cuba son usados diferentes tipos de Fotocontroladores, así como diferentes arquitecturas de instalación: centralizada y distribuida. El fallo de estos dispositivos provoca un aumento de consumo de energía y la reducción de la vida útil de las luminarias. En avanzadas horas de la noche, no es necesario el mismo nivel de iluminación ya que disminuye la actividad en la vía pública. Por ello se propone un Fotocontrolador electrónico, basado en un microcontrolador, con arquitectura centralizada. Se añade la posibilidad de programación de funcionamiento en modo ahorro, mediante comunicación inalámbrica del tipo Bluetooth, desde un dispositivo móvil. El programa de control incluye un algoritmo de aprendizaje de la duración de la noche, dando la posibilidad de apagar el alumbrado seleccionado en horarios de poca actividad.





Abstract: *A Photocontroller is a device used to control public lighting. Its operation consists of turning on the lamps at night and turning them off during the day, based on the measurement of the lighting level. In public lighting in Cuba different types of Photocontrollers are used, as well as different installation architectures: centralized and distributed. The failure of these devices causes an increase of energy consumption and the reduction of the life of the luminaires. In late at night, you do not need the same level of lighting as it decreases the activity on public roads. For this reason an electronic Photocontroller based on a microcontroller is proposed, with a centralized architecture. The possibility of operating programming in saving mode is added, by means of wireless communication of the Bluetooth type, from a mobile device. The control program includes an algorithm for learning the duration of the night, giving the possibility of turning off the selected lighting in low activity times.*

Palabras Clave: Iluminación; Fotocontrolador; Ahorro de energía.

Keywords: *Lighting; Photocontroller; Power Saving.*

1. Introducción

Diferentes estudios internacionales han demostrado que la iluminación juega un papel fundamental en la seguridad vial. Según cifras de la Asociación de Automovilistas Europeos, la mala iluminación de una carretera aumenta el riesgo de sufrir un accidente en un 30%. En su estudio señalan además que el 17% de los accidentes mortales se producen de noche y en vías no iluminadas. La falta de una iluminación adecuada reduce el campo de visión y la agudeza visual en un 70%, lo que aumenta la fatiga, que es un factor que incrementa el riesgo de sufrir un siniestro. Por su parte la Asociación Española de la Carretera señala que los accidentes que se producen son seis veces más graves en una carretera oscura que en una perfectamente iluminada. El estudio dice que una buena iluminación reduce hasta en un 35% los accidentes en horas de la noche [1].

Los Fotocontroladores son utilizados en lugares en donde se requiere automatizar el encendido de luminarias, es decir que se enciendan y se apaguen de acuerdo al nivel de iluminación existente en dicho lugar. Son comunes en alumbrado público o también en empresas e industrias activando lámparas por la tarde/noche, por lo que su estudio se hace muy necesario.





Algunos de los Fotocontroladores estudiados [2], incorporan histéresis en los niveles de iluminación y demoras en la conmutación ante variaciones bruscas de iluminación; las cuales pueden ser muy valiosas para hacer más eficientes las luminarias y alargar su vida útil. También en algunos casos se encuentran Fotocontroladores de estado sólido u otros programables que llegan a controlar el nivel de iluminación.

Debido a las condiciones particulares del clima en Cuba, las características propias del Sistema Electroenergético Nacional y las limitaciones económicas; obligan a una selección rigurosa de los Fotocontroladores a emplear. La necesidad de ahorro de energía impone, en ocasiones, modificaciones en el alumbrado público. Las roturas de los Fotocontroladores provocan un aumento de consumo de energía y la reducción de la vida útil de las luminarias.

La Fábrica de Fusibles y Desconectivos de Santa Clara tiene, entre sus líneas de trabajo, las luminarias y su control. En este sentido, ha firmado un proyecto de colaboración con la Universidad Central de Las Villas (UCLV), para realizar las investigaciones pertinentes y diseñar un Fotocontrolador adecuado a las necesidades del alumbrado público en Cuba. Ya se dispone de algunos resultados de esta colaboración, con el diseño de un Fotocontrolador programable [3].

Los objetivos de este trabajo son, un nuevo diseño de Fotocontrolador programable para controlar el encendido en función del entorno, el encendido selectivo, horario y en especial orientado al ahorro de energía. Estas funciones deben acompañarse de un adecuado sistema de comunicaciones para facilitar el establecimiento de los parámetros de funcionamiento.

2. Metodología

Un Fotocontrolador es un dispositivo destinado a conectar o desconectar un circuito en forma automática, en función del nivel luminoso del entorno en el cual se encuentra. Es utilizado fundamentalmente para encender instalaciones de alumbrado durante la noche e interrumpir el circuito cuando llega el día. Es común en alumbrado público, empresas e industrias activando lámparas por la tarde/noche. Su utilización es muy importante ya que reduce el consumo eléctrico y brinda comodidad. El principio de funcionamiento de un Fotocontrolador está basado en un sensor fotoeléctrico. El sensor fotoeléctrico actúa como transductor, produciendo una variación de un determinado parámetro físico en función del nivel luminoso del entorno. Esta variación es controlada por un circuito





quién será el encargado de realizar la conmutación por debajo y por encima de determinados valores de iluminación [4].

En [2] se presenta un estudio de los Fotocotroladores comerciales y se clasifican según el tipo y esquema de alumbrado, resumiendo que:

Los Fotocontroladores se pueden clasificar según su estructura y funcionamiento en electromecánicos y electrónicos. Los electromecánicos son fundamentalmente pasivos y están formados básicamente por un elemento fotoresistivo del tipo LDR (*Light Dependent Resistor*), que varía su valor resistivo en función de la iluminación y un relé como elemento actuador final. Los electrónicos utilizan dispositivos fotosensibles como el LDR u otros como fototransistores o fotodiodos. Tienen además circuitos electrónicos activos y generalmente un relé como elemento actuador final. Estos tienen además de su función principal, otras prestaciones como la incorporación de histéresis en los niveles de iluminación y demoras en la conmutación ante variaciones bruscas de iluminación, entre otras.

Los esquemas de alumbrado tradicionales utilizan dos arquitecturas de encendido de luminarias: distribuida y centralizada. En la arquitectura distribuida cada luminaria se controla directamente con un Fotocontrolador. En la práctica esta arquitectura queda limitada a espacios donde se deben colocar pocas lámparas o sea muy costoso el uso de circuitos independientes de alumbrado. La arquitectura distribuida tiene la ventaja que al fallar el Fotocontrolador solo una lámpara deja de tener conexión o desconexión automática. Pero presenta el inconveniente que las luminarias se enciendan y/o apaguen a distinto tiempo, existiendo algunos minutos de separación entre operaciones similares. Además de que cada luminaria necesita un Fotocontrolador. Por otra parte en la arquitectura centralizada un Fotocontrolador actúa sobre un contactor magnético, que conjuntamente con otros circuitos de protección, controlan varias luminarias. Esta arquitectura consta de un contactor, mono o trifásico. Este elemento dotado de interruptores con robustos contactos posee capacidad para manejar gran cantidad de luminarias. Por ello la arquitectura centralizada es usada en calles y/o avenidas, donde se colocan muchas lámparas. Dicha arquitectura tiene la desventaja que al fallar el Fotocontrolador todas las lámparas de un gran sector dejan de tener conexión o desconexión automática. Este diseño de circuito presenta una reducción en la cantidad de Fotocontroladores, pero implica un incremento de costo por la colocación de un contactor magnético. A pesar de ello, en la actualidad es el diseño más usado



prefiriéndose un Fotocontrolador de mayor calidad y un circuito de conmutación debidamente protegido. En la figura 1 se presenta un Fotocontrolador del tipo CRL-JL-201 [5], muy utilizado en Cuba, en [2] se describen sus características, ventajas y desventajas.



Figura 1. Fotocontrolador del tipo CRL-JL-201.

Una luminaria de las actualmente utilizadas en el alumbrado en Cuba, de Vapor de Sodio de alta presión de 250 W, en una noche promedio de 10 horas consume 2500 W [6]. En el período de tiempo de iluminación, no se comporta de igual forma el tráfico o usuarios necesitados de la iluminación. Existen alternativas para reducir el consumo de energía: disminuir la intensidad de la iluminación o apagar convenientemente en períodos de tiempo donde la iluminación es menos necesitada y con ello ahorrar energía sin afectar su función principal. En ambos casos se requiere de un Fotocontrolador programable, pero en la primera alternativa adicionalmente se necesita un driver ajustable, que encarece esta variante. En la segunda alternativa se puede controlar el encendido alternado de las luminarias presentes en una avenida (encender una sí y otra no), de manera que baje el nivel de iluminación sin dejar zonas oscuras.

En los Fotocontroladores que utilizan relé como actuador de salida, la corriente consumida en la fuente varía bruscamente con la conmutación, afectando el correcto funcionamiento de la fuente capacitiva y su tiempo de vida útil. En [2] se propone un Fotocontrolador de estado sólido, basado en un elemento actuador del tipo TRIAC (*Triode for Alternating Current*) y se evalúa su desempeño. El microcontrolador seleccionado es el PIC12F675, por ser de los más pequeños, económicos y cumplir con los requerimientos: convertidor análogo-digital de 10 bits de resolución, contadores-temporizadores de 8 bits y 16 bits, puertos de entrada-salida, memoria de dato SRAM (64 bytes), EEPROM (128 bytes), memoria de programa FLASH (1024 words), así



como un oscilador interno de 4 MHz de frecuencia, entre otras características [7]. Partiendo de este diseño, se propone un nuevo Fotocontrolador programable orientado al ahorro de energía, que utiliza la segunda alternativa. Para determinar los períodos de encendido y apagado, se necesita la estimación de duración de la noche.

La duración del día y de la noche varía con la época del año. Esta variación se hace mayor a medida que el lugar geográfico se aleje más del Ecuador, tanto hacia el Norte como hacia el Sur. En verano, más tiempo de la trayectoria solar está por encima del horizonte, o sea, hay más horas con Sol. En invierno, más tiempo de la trayectoria solar está por debajo del horizonte, o sea, las noches son más largas. En un lugar como La Habana, situado a una latitud 23° N, las horas de Sol son de 13,4 durante el solsticio de verano; de 10,6 en el de invierno y de 12 horas en los equinoccios [8].

En ese sentido se propone utilizar dos circuitos de salida para controlar los dos correspondientes circuitos de carga que recibirán un encendido y apagado alterno. Esta variante se aplicaría en esquemas de iluminación de dobles luminarias como es el caso de avenidas con separador central u otros apropiados, evitando zonas oscuras. El encendido de las dobles luminarias se hará de forma alternada, en horarios de poca actividad asociado a la madrugada. Un algoritmo de estimación de duración de la noche, relacionado con los momentos de encendido y apagado de las luminarias, será el encargado de controlar este proceso.

3. Resultados y discusión

En la figura 2 se presenta el esquema del Fotocontrolador propuesto, el esquema está basado en el controlador centralizado con dos circuitos de alumbrado para poder alternar el encendido en los períodos de tiempos programados en la función de ahorro. Los TRIAC conmutan los contactores magnéticos de cada línea de alumbrado, para esta función se utiliza un detector de cruce por cero que toma la muestra de la línea con el resistor R2. La fuente de alimentación capacitiva con regulador de voltaje integrado, ofrece una solución de bajo costo [2]. Como elemento de medición de iluminación se utiliza un elemento fotoresistivo del tipo LDR acoplado al convertidor análogo-digital. Para la configuración del Fotocontrolador se utiliza comunicación inalámbrica del tipo Bluetooth, utilizando el módulo HC-06 [9].

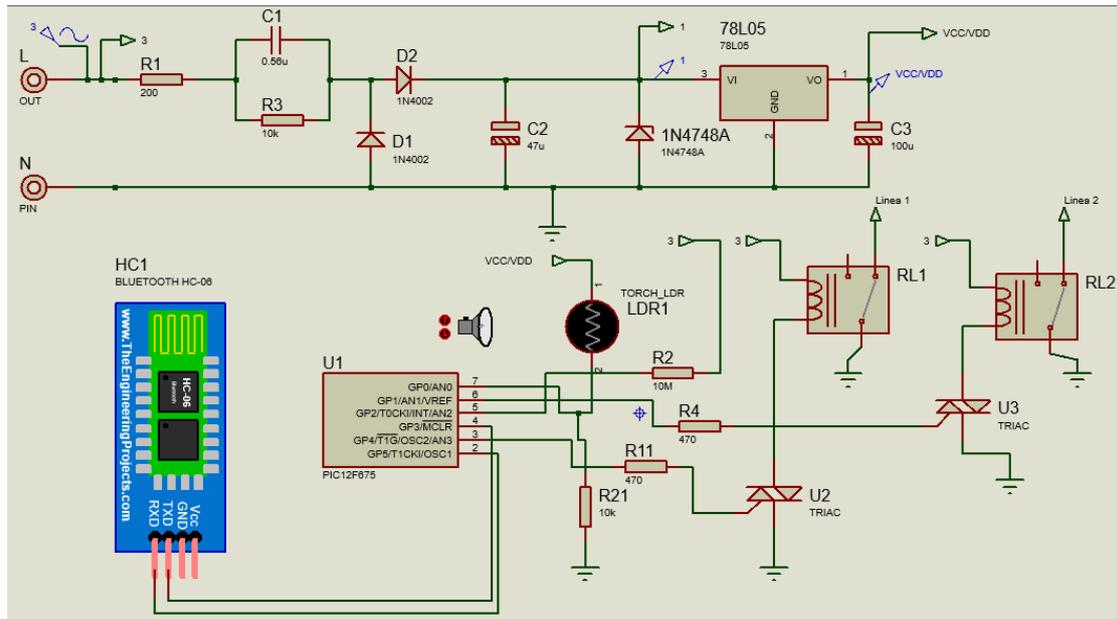


Figura 2. Esquema del Fotocontrolador propuesto.

El funcionamiento de esta propuesta se basa en los siguientes modos de trabajo:

Normal: los dos circuitos de alumbrado funcionan de igual manera, controlados únicamente por el nivel de iluminación.

Manual: cada circuito de alumbrado se puede encender o apagar manualmente. Esta función está orientada al mantenimiento o reparación.

Ahorro: define el por ciento del tiempo estimado de encendido en el que las luminarias encenderán de forma alterna.

Para el modo de ahorro, el programa de estimación y aprendizaje de la duración de la noche, que controla al Fotocontrolador, mide la intensidad de la luz cada 2 minutos. Se establecieron dos niveles de iluminación, Lux_{ON} y Lux_{OFF} , para el encendido y apagado respectivamente. La diferencia de estos niveles $Lux_{\Delta} = |Lux_{OFF} - Lux_{ON}|$ y el tiempo entre mediciones, garantizan un margen de seguridad para evitar la oscilación de la operación de encendido/apagado, evitando errores y protegiendo la luminaria.

Para la estimación de la duración del tiempo de encendido (noche), se utiliza un contador/temporizador por interrupción de 0.5 segundos, con una variable de conteo de 2 minutos y una variable de tiempo de duración: D_x que acumula lapsos de 4 minutos. Se definen cinco variables en memoria EEPROM, cuatro para las duraciones de los cuatro días anteriores $D_{-4}, D_{-3}, D_{-2}, D_{-1}$ y el valor medio de estos cuatro días D_M . Para la función de ahorro, se utilizan dos parámetros para controlar el funcionamiento del

fotocontrolador: $\%D_{N1}$ y $\%D_{AHORRO}$. Donde $\%D_{N1}$ es el porciento del valor medio estimado del tiempo de encendido D_M de funcionamiento normal al encender la luminaria y $\%D_{AHORRO}$ es el porciento del valor medio estimado del tiempo de encendido D_M , donde se implementará el ahorro a través del encendido alterno de los circuitos de alumbrado (días alternos de encendido). En la figura 3 se presenta el esquema de funcionamiento, donde $\%D_{N2} = 100\% - \%D_{AHORRO} - \%D_{N1}$.



Figura 3. Esquema de funcionamiento del modo de ahorro.

Se utiliza el modulo Bluetooth HC-06, para comunicar el Fotocontrolador con un dispositivo móvil, desde el cual se realiza la programación de los parámetros de funcionamiento (ver figura 4). Este dispositivo sirve como interfaz Bluetooth a un puerto serie, programado en el microcontrolador. Esto permite que, a una distancia menor a los 70 metros, se pueda realizar la configuración sin necesidad de contacto físico con el Fotocontrolador.

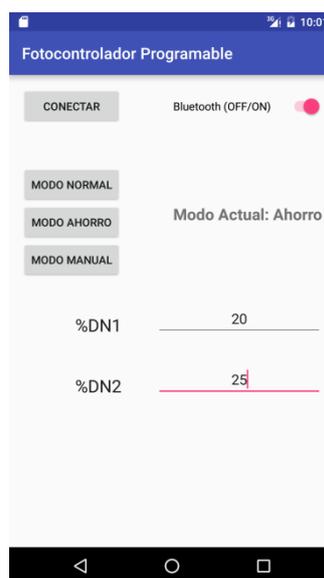


Figura 4. Aplicación para dispositivo móvil que permite configurar el Fotocontrolador de forma inalámbrica.



Para el ejemplo de los circuitos con 1030 luminarias de 250 W, correspondientes a la Circunvalación de la Ciudad de Santa Clara [6], en 10 horas de funcionamiento y un 50 % de ahorro según el método descrito, representa un ahorro de 640 KW, el 25% de la energía a consumir en ese período.

4. Conclusiones

Con la realización de este trabajo se dispone de un Fotocontrolador programable orientado al ahorro de energía, con la posibilidad de programar su funcionamiento de forma inalámbrica en modo normal, manual o ahorro.

Este dispositivo contribuye al ahorro de energía eléctrica y al alargamiento de la vida útil de dichas luminarias, sin afectar la funcionalidad de las mismas. La utilidad del dispositivo puede ampliarse al control de cualquier red que necesite automatizar el encendido/apagado de cualquier red de elementos eléctricos por acción del nivel de iluminación ambiente.

Se recomienda seguir trabajando en la mejora del Fotocontrolador inteligente propuesto, específicamente con la inclusión de los parámetros de consumo eléctrico y en la implementación de una comunicación más compleja e interactiva.

5. Referencias bibliográficas

- [1] GE Lighting. (2014). *Iluminación LED en carreteras es una seguridad vial*. Available: <http://www.analitica.com/noti-tips/iluminacion-led-en-carreteras-es-una-seguridad-vial>
- [2] A. A. Pérez, "Diseño de fotocontroladores programables para el control de luminarias," Trabajo de Diploma, Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2016.
- [3] P. C. A. Bazán, "Fotocontrolador programable," presented at the CIE 2015, 2015.
- [4] (2013). *¿QUE ES UN FOTOCONTROL?* Available: <http://www.factor-electrico.blogspot.com/2013/12/que-es-un-fotocontrol.html>
- [5] CR Technology Systems. (2013). *Photocontrols CRL-JL*. Available: <http://www.crtsgroup.com>
- [6] L. P. González, "Estudio para la mejora y eficiencia del alumbrado público en la ciudad de Santa Clara," Trabajo de Diploma, Departamento de Electroenergética, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2012.
- [7] M. Technology. (2008). *PIC12F675 Data Sheet*. Available: <http://www.microchip.com>
- [8] Luis Bériz and B. Henríquez. (2012). *El horario de verano: Un ejemplo de ahorro y uso racional de la energía*. Available: <https://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia>
- [9] L. Guangzhou HC Information Technology Co. (2011). *HC-06 Data Sheet*. Available: www.wavesen.com

