

CONTROL AUTOMÁTICO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN RESIDENCIAL Y COMERCIAL CON FUNCIONAMIENTO POR PERFILES DE DEMANDA

AUTOMATIC CONTROL OF THE RESIDENTIAL AND COMMERCIAL LIGHTING SYSTEM WITH OPERATION BY DEMAND PROFILES

Ángel Quinatoa Lema¹ Vicente Quispe Toapanta² Diego Lalaleo Achachi³

1Docente IST Cotopaxi, Latacunga, Ecuador
E-mail: quinatoa.angel@yahoo.es

2Docente IST Cotopaxi, Latacunga, Ecuador
E-mail: vj09.quispe@gmail.com

3 Docente IST Cotopaxi, Latacunga, Ecuador
E-mail: diego.lalaleo.ei@gmail.com

Resumen

Uno de los mayores consumidores de energía eléctrica son los usuarios residenciales y comerciales, dentro del sistema eléctrico de distribución, en virtud de aquello una carga importante de estos usuarios son los sistemas de iluminación, que en la mayoría presentan altos consumos de energía por su mal uso, ya que aun cuando un área no presente personas a quien brindar iluminación permanecen en funcionamiento, esto constituye en un consumo innecesario de energía provocando una ineficiencia energética. Además, en el sistema eléctrico residencial y comercial, la energía consumida por el sistema de iluminación es importante dentro del pago de la planilla del servicio eléctrico, por ello, se diseñó e implemento un dispositivo electrónico que permite la optimización del consumo de energía en los sistemas de iluminación. El sistema de control automático implementado para el control de iluminación para luminarias incandescentes y de tipo led, trabaja en forma autónoma, gracias a que se puede programar una curva de tendencia del comportamiento de personas que concurren a un área de una instalación.

El sistema de control del circuito de iluminación es a través del funcionamiento de un TRIAC para luminarias incandescentes y una señal de modulación de ancho de pulso (PWM) para luminarias de tipo led, el análisis energético fue realizado a través de un equipo analizador de red.

Palabras clave: Consumidor, Control automático, Consumo de energía, Energía eléctrica, Iluminación, Optimización

Abstract

One of the largest consumers of electrical energy is residential and commercial users, within the electrical distribution system, by virtue of which an important burden on these users is lighting systems, which in most cases present high energy consumption due to their poor use, since even when an area does not present people to whom lighting is provided they remain in operation, this constitutes unnecessary energy consumption causing energy inefficiency. In addition, in the residential and commercial electrical system, the energy consumed by the lighting system is important within the payment of the electric service bill, therefore, an electronic device was designed and implemented that allows the optimization of energy consumption in Lighting systems. The automatic control system implemented for lighting control for incandescent and LED-type luminaires works autonomously, thanks to the fact that it is possible to program a trend curve for the behavior of people who come to an area of an installation. The lighting circuit control system is through the operation of a TRIAC for incandescent luminaires and a pulse width modulation signal (PWM) for led-type luminaires, the energy analysis was performed through a network analyzer equipment.

Key Words: Consumer, Automatic control, Energy consumption, Electric energy, Lighting, Optimization

INTRODUCCIÓN

Según el Plan Nacional de Eficiencia Energética de Ecuador (PLANEE) los sectores Residencial, Comercial y Público son los responsables del 18% del consumo energético total y del 57% del consumo de energía eléctrica, por lo tanto, cualquier iniciativa que contribuya a la disminución del consumo de energía eléctrica constituye un aporte significado para mejorar la brecha del calentamiento global. La meta al año 2035, el consumo acumulado de energía del sector residencial, comercial y público se debe reducir en al menos, 88.8 Mbep (Millones de Barriles Equivalentes de Petróleo), debido a las medidas de eficiencia energética implementadas.

El Plan Maestro de Electrificación (PME) 2016 - 2025 establece como política el cambio de cultura para el uso eficiente de la energía, esto constituye no solo generar electricidad para satisfacer la demanda de potencia y energía, sino de consumirla en forma inteligente, la aplicación de estas políticas energéticas permitió reducir en el año 2015 la demanda nacional

proyectada en 362 MW como se muestra en la Figura 2, en base a estos resultados el PME tiene como objetivo lograr grandes resultados en el ahorro energético y reducir el consumo de GLP por energía eléctrica, desde el 2016 hasta que finalice en el 2025.

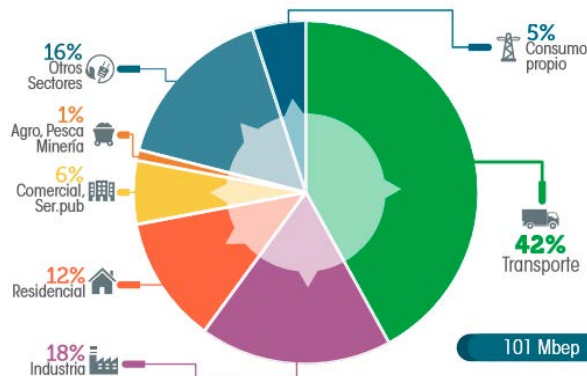


Figura 1: Estructura del consumo de energía por sectores en Ecuador

Fuente: Elaborado Por PLANEE

Muchos usuarios no cuentan con el hábito de ahorro de energía en iluminación, ya que, mantienen encendidas las luminarias de su domicilio

o su local comercial cuando no existe presencia de personal que requiera un espacio iluminado.

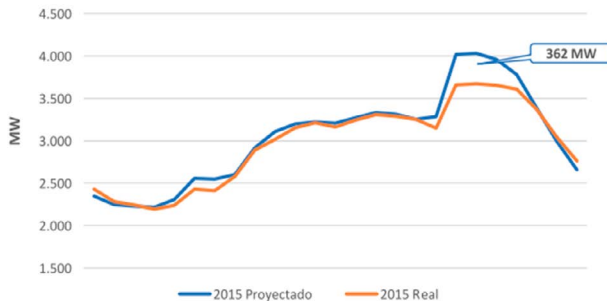


Figura 2: Demanda 2015 real vs proyectada en Ecuador
 Fuente: Elaborado Por PME 2016-2035

Al disponer de un sistema automático programable que analice una curva de tendencia de la presencia de usuarios en un área iluminada permitirá el control de la potencia que consume la luminaria, así como el nivel de iluminación de la misma, según el requerimiento lumínico mínimo, esto permitirá optimizar el uso de la energía eléctrica consumida por el sistema de iluminación.

Este sistema evitaría el consumo del sistema de iluminación a su máxima capacidad o potencia de carga, ya que, su comportamiento sería dependiente de la curva de tendencia programada.

Los domicilios que cuenten con este sistema se despreocuparían del control en forma manual de los sistemas de iluminación, ya que el nivel de iluminación dependería de la curva de tendencia programada según la hora del día.

El proyecto de investigación busca relacionar en forma directa la eficiencia energética a través de la automatización de sistemas de control electrónicos con programación de perfiles o patrones de comportamiento del uso del sistema de iluminación y cuantas personas permanecen y concurren según el área, sin afectar el confort y seguridad con inapropiados niveles de iluminación.

Este proyecto pretende innovar los controles de sistemas de iluminación convencionales a través de autómatas programables por tendencias y adaptables a la necesidad de cada usuario, contribuyendo a una optimización del consumo de energía, brindando una reducción de la demanda de potencia a nivel de empresas eléctricas de distribución y como consecuencia menos energía transmitida desde los centros de generación a nivel nacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se presenta el desarrollo en síntesis de la metodología y procedimientos que se desarrolla en el tema de investigación:

2.1 Método

Se aplica la investigación experimental partiendo de la premisa que el consumo de energía a nivel residencial y comercial es alto dentro del balance energético de un país, el estudio se centra en los sistemas de iluminación de domicilios y locales comerciales y su ineficiente ren-

dimiento energético debido a tecnología de antaño como lámparas incandescentes.

Se plantea una pregunta directriz que el control automático programable del sistema de iluminación permitirá optimizar el consumo energético independientemente de la tecnología utilizada en un domicilio o local comercial.

Se implementa un sistema de control aplicando conceptos de la electrónica de potencia que permita el control de los sistemas de ilumi-

nación tanto para lámparas incandescentes o de tipo led regulable.

Las pruebas de funcionamiento se las realiza con luminarias incandescentes y led, siendo monitoreadas a través de un analizador de red eléctrica de bajo voltaje para determinar los parámetros eléctricos en tiempo real, esta información nos permite el análisis del prototipo diseñado.

2.2 Análisis de la curva de demanda para la determinación de los estados.

Los valores analizados para la determinación del número de estados son realizados en función de la curva de duración de la demanda diaria de un usuario residencial estándar, obtenida en un análisis de demanda máxima con el analizador de red, la Figura 3 representa la demanda máxima de consumo por intervalos por cada hora del día, finalmente a través de histogramas que se ajustan a la curva se crea cuatro escenarios diferentes según el aumento del consumo.

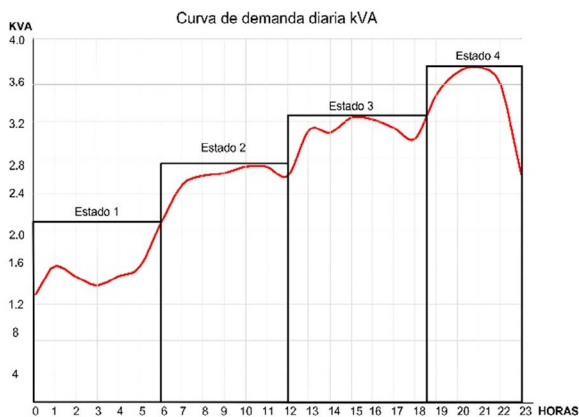


Figura 3: Curva de duración de la demanda diaria de un consumidor residencial.

Fuente: Propia

Con la selección de los estados se transforman los valores de la potencia registrados cada hora en valores por unidad para la interpretación y calibración con los valores PWM, en la Tabla 1 se describe los valores medidos con el analizador de redes eléctricas por un tiempo de

7 días e intervalos de 10 minutos como lo sugiere la regulación ARCONEL 005/18 de calidad de servicio eléctrico.

Tabla 1

Registro de valores de demanda de potencia por horas de un consumidor residencial.

HORA	KVA	P.U.
0	1.2	0.33
1	1.5	0.41
2	1.4	0.38
3	1.3	0.35
4	1.4	0.38
5	1.5	0.41
6	1.9	0.54
7	2.4	0.65
8	2.5	0.68
9	2.5	0.69
10	2.6	0.70
11	2.6	0.70
12	2.5	0.68
13	3.0	0.81
14	2.97	0.81
15	3.13	0.85
16	3.11	0.84
17	3.02	0.82
18	2.90	0.79
19	3.38	0.92
20	3.63	0.98
21	3.69	1.00
22	3.52	0.95
23	2.52	0.68

Fuente: Propia.

2.3 Materiales

2.3.1. Análisis técnico del circuito control

Se presenta el diagrama de bloque para utilizado en la investigación y posterior implementación del proyecto, como se muestra en la Figura 4.

ESQUEMA DE CONTROL

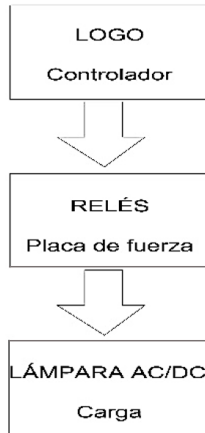


Figura 4: Diagrama de bloque de control.
Fuente: Propia

En esta etapa del proyecto se realizó el análisis de los principales elementos de control, placa electrónica y la carga para la cual está diseñada el circuito de iluminación.

En la Figura 5 se indica de manera general la arquitectura del sistema automatizado, con los principales elementos de maniobra y control requeridos para realizar el control automático de iluminación.

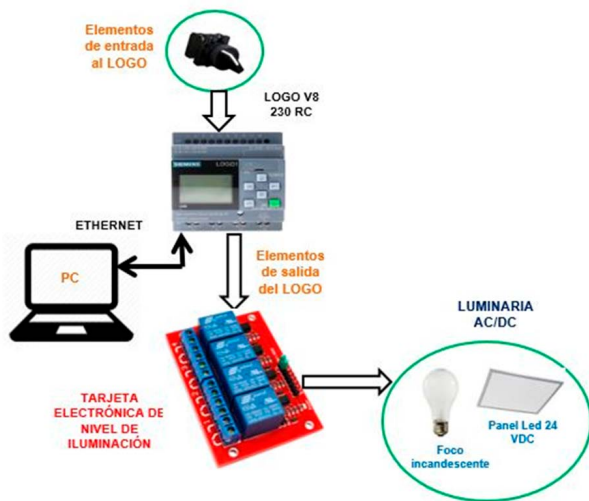


Figura 5: Arquitectura del sistema de iluminación.
Fuente: Propia

2.3.2. Selección del controlador

Se utilizó un relé lógico programable, más conocido como LOGO, para programar la lógica de control del sistema de iluminación, pues tiene la capacidad de recibir, acondicionar y ejecutar las señales digitales presentes en la aplicación. Se selecciona el LOGO V8, modelo 230RC de Siemens de la Figura 6.



Figura 6: LOGO V8, 230RC.
Fuente: Por determinar

2.3.3. Tarjeta electrónica de control

Se diseñó e implementó dos tarjetas electrónicas con componentes de semiconductores electrónicos de potencia como son: relés, transistores, triac y mosfet. Adicional a esto en el circuito se utiliza 4 resistencias de 1/4 vatio para obtener cuatro diferentes estados de control de iluminación en las lámparas de AC y se utiliza un control PWM para obtener los mismos estados en lámparas DC, presentado en la Figura 7.

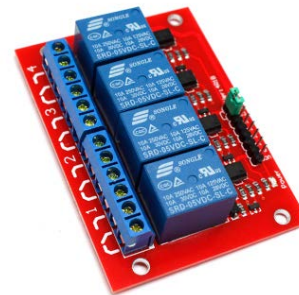


Figura 7: Placa electrónica de nivel de iluminación
Fuente: Propia

2.3.4. Esquema de placa electrónica de control de un sistema de iluminación tipo AC.

Usando el programa Proteus se diseñó y simuló el circuito de control de nivel iluminación con los elementos electrónicos necesarios para su funcionamiento, posteriormente se realizó su implementación.

En la Figura 8 se observa el esquema del circuito electrónico para una lámpara incandescente de voltaje alterno de 120 VAC de 110 W.

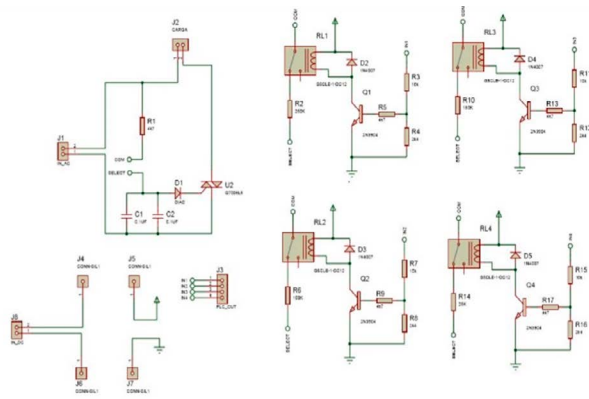


Figura 8: Esquema nivel de iluminación AC.
Fuente: Propio

2.3.5. Esquema de placa electrónica de control de un sistema de iluminación tipo DC.

Mediante el programa Proteus se diseñó y simuló el circuito de control de nivel iluminación donde se utiliza un microcontrolador y a través del PWM se logra variar el ancho de pulso del voltaje para su funcionamiento.

En la Figura 9 se muestra el diagrama del circuito electrónico para un panel led de 40 vatios de 24 VDC de características dimerizable.

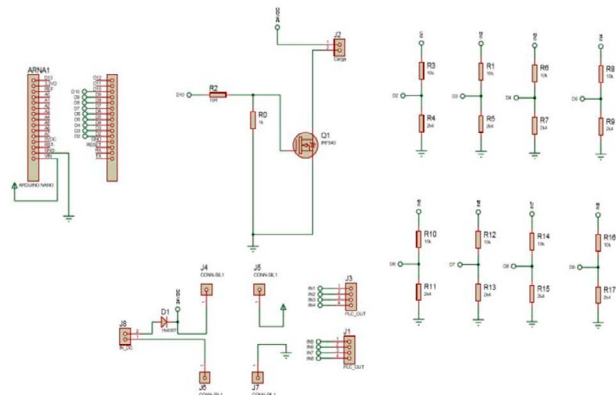


Figura 9: Esquema nivel de iluminación DC.
Fuente: Propio

2.3.6. Diagrama de conexión eléctrico del sistema de iluminación

En la Figura 10 se indica la conexión eléctrica del control automático de iluminación para la comprobación de su funcionamiento.

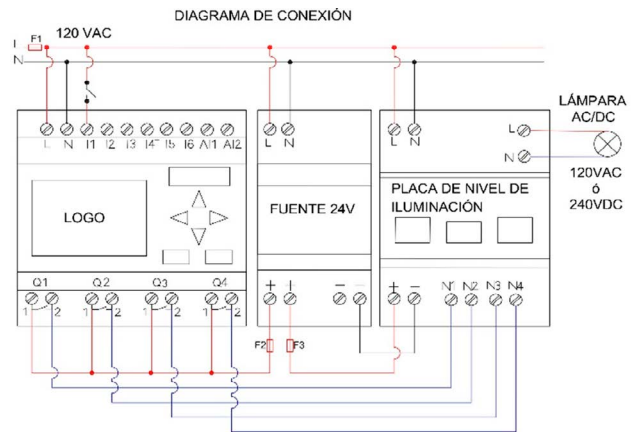


Figura 10: Diagrama de conexión eléctrico del sistema.
Fuente: Propio

2.3.7. Lógica de control

Para la automatización del sistema de iluminación residencial y comercial, es necesario realizar la programación del LOGO V8, se utiliza el programa LOGO SOFT COMFORT V8.2 de la compañía Siemens, mismo que posee una licencia libre y evita inconvenientes de compatibilidad al trabajar con la misma marca. Mediante este software se procede a programar los equipos que realizarán el control del proyecto.

La programación del sistema se basa en una curva de demanda y mediante el control del tiempo se puede determinar los niveles de iluminación que requiere el lugar residencial o comercial sin afectar el uso y confort del usuario.

2.3.8. Lenguaje Ladder

El lenguaje ladder o escalera se caracteriza por ser de fácil programación y de simple lógica de control.

En la Figura 11 se observa un segmento de la programación realizada para este trabajo, en lenguaje ladder, como es la activación de los niveles de iluminación.

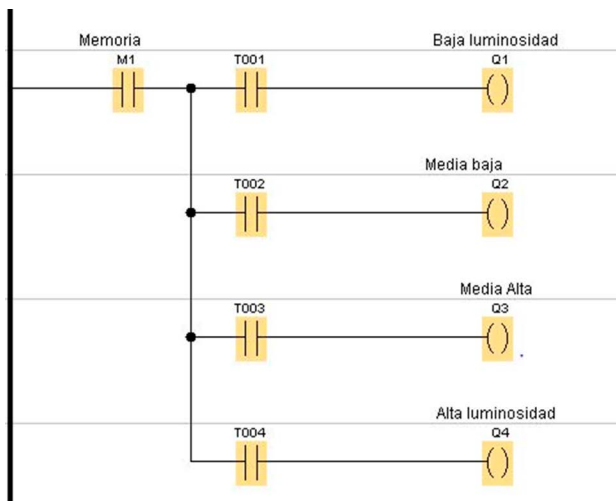


Figura 11: Segmento de programación en Ladder
Fuente: Propio

2.3.9. Comunicación PC y LOGO V8

Para que exista comunicación entre los equipos se debe verificar las direcciones IP, tanto del LOGO V8 y computadora. Así se designó las siguientes direcciones IP, para el LOGO V8 192.168.1.8 y computadora la 192.168.1.20. En la Figura 12 se observa la dirección IP del LOGO V8.

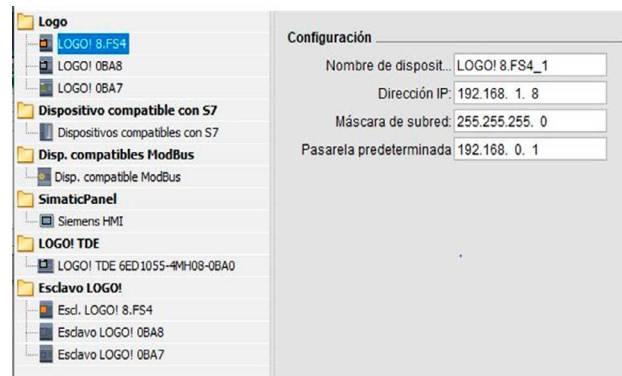


Figura 12: Dirección IP del LOGO V8
Fuente: Propio

2.4 Resultados.

2.4.1. Pruebas y resultados de mediciones en DC

Las mediciones se realizaron con un analizador redes eléctricas de marca Metrel MI 2883 en un intervalo de tiempo de cada segundo, creando dos escenarios diferentes con una luminaria led dimerizable de 40 vatios en DC, en el primer escenario la luminaria funciona de forma convencional con el voltaje nominal y en el segundo escenario se conectó el controlador de iluminación que consta de cuatro estados de funcionamiento, cada estado presenta un diferente nivel de iluminación con accionamiento autónomo, cada ciclo es monitoreado por el analizador de red.

Los valores registrados se realizan un promedio de cada estado, se puede observar la variación de la potencia de la luminaria con los registrados mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2
Estados de funcionamiento de la luminaria dimerizable con la potencia consumida.

Estado	Potencia [w]
1	0.91
2	3.39
3	11.45
4	18.38

Fuente: Propia.

En la curva de demanda diaria se identificó la duración de los estados similares, por lo que las mediciones de la luminaria encendida se realizaron durante 6 horas en cada estado, el consumo en todos los estados del escenario 1 es de 19.61 Wh, y el consumo en el escenario 2 varía dependiendo el estado, en el estado 1 es de 0.45 Wh y en el estado 4 es de 9.19 Wh, los valores se presentan en Tabla 3.

Tabla 3
Medidas de la luminaria sin controlador y con el controlador de iluminación.

Estado	Escenario 1 [Wh]	Escenario 2 [Wh]	Energía neta consumida [%]
1	19.61	0.45	2.33
2	19.61	1.69	8.66
3	19.61	5.72	29.20
4	19.61	9.19	46.89

Fuente: Propia.

Con los datos registrados en la Tabla 3 se realiza la gráfica convirtiendo en por unidad, la curva de color rojo corresponde a la curva de demanda diaria con los valores representativos de cada estado tabulado, se observa que la curva de color azul que corresponde al consumo de la luminaria sin control la tendencia es uniforme lineal, el consumo de energía es aproximadamente igual en todo el tiempo, la curva de color verde corresponde al consumo del escenario 2 con la luminaria funcionando con el controlador de iluminación en cuatro estados, el consumo de energía crece en forma escalonada, se observa en la Figura 13.

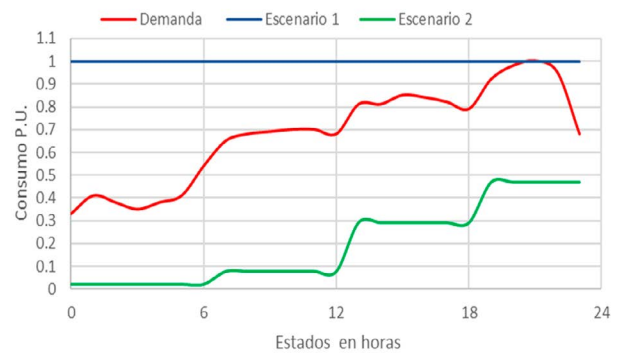


Figura 13: Comparación de consumos en el consumo diario de los estados de luminarias en DC.

Fuente: Propia

2.4.2 Pruebas y resultados de mediciones en AC

En corriente alterna para el funcionamiento en diferentes estados se realizó con una lámpara incandescente, que al variar el nivel de voltaje se obtiene control de la iluminación, en la Tabla 4 se representa los valores de voltaje configurados.

Tabla 4
Potencias configuradas en la lámpara incandescente.

Estado	Voltaje Nominal [v]	Voltaje Controlado [v]	Potencia consumida [w]
1	124.34	48.3	16.60
2	124.34	85.23	51.68
3	124.34	98.41	68.90
4	124.34	124.34	110.00

Fuente: Propia.

Con los datos registrados en la Tabla 4 se realiza la gráfica convirtiendo en por unidad, la curva de color rojo corresponde a la curva de demanda diaria, la curva de color azul que corresponde a la potencia nominal del foco incandescente funcionando sin controlador al 100% de la capacidad, en la curva de color verde se observa que con el control de la iluminación se va variando el voltaje creciendo en forma escalonada y se obtiene diferentes potencias controladas de la luminaria incandescente, como se muestra en la Figura 14.

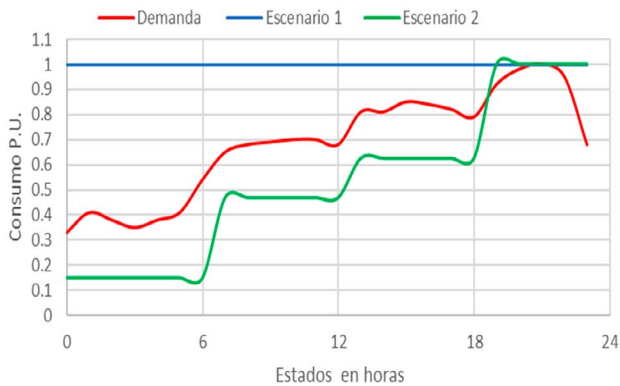


Figura 14: Comparación de consumos en el consumo diario de los estados de luminarias en AC.
Fuente: Propia

En la Figura 15 se presenta la forma de onda sinusoidal completa del funcionamiento de la luminaria que representa el en estado 4, la lámpara se comporta en forma convencional. Además la operación de la luminaria al 100% del voltaje nominal. (Carga AC - Foco Incandescente).

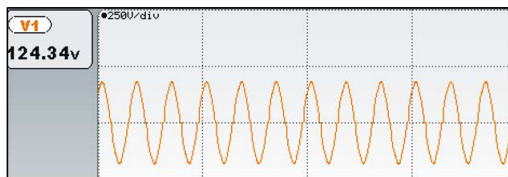


Figura 15: Señal de voltaje en Estado 4
Fuente: Propia

En las Figuras 16, 17, 18, se presenta la forma de onda sinusoidal controlado por ángulo de disparo por el TRIAC del circuito electrónico de control, la lámpara funciona en forma controlada. (Carga AC - Foco Incandescente).

Para la Figura 16 el funcionamiento representa el estado 3, la lámpara funciona con el 79% del voltaje nominal.

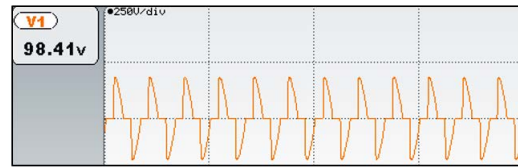


Figura 16: Señal de voltaje en Estado 3.
Fuente: Propia

Para la Figura 17 el funcionamiento representa el estado 2, la lámpara funciona con el 69% del voltaje nominal.

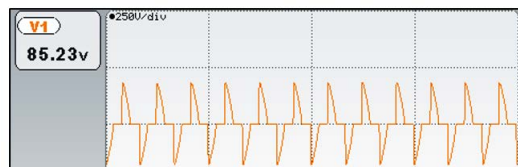


Figura 17: Señal de voltaje en Estado 2.
Fuente: Propia

Para la Figura 18 el funcionamiento representa el estado 1, la lámpara funciona con el 39% del voltaje nominal.



Figura 18: Señal de voltaje en Estado 1.
Fuente: Propia

DISCUSIÓN

El control propuesto se puede aplicar en sistemas de iluminación que utilicen un comportamiento rutinario en forma diaria como es la curva de demanda, ayudando a reducir gastos innecesarios por mantener encendidas luminarias que no sean necesarias, también se puede adaptar al sistema de iluminación existente si se trata de iluminación incandescente evitando costos por el cambio de tecnología, si se planifica una nueva instalación con luminarias tipo led debe ser de característica dimerizable para

optar por la propuesta y obtener los beneficios que conlleva. Los estados de programación dependerán del patrón de comportamiento de la curva que la define cada tipo de usuario en la forma de consumir la energía.

Los costos de la implementación del control propuesto tanto en AC como en DC son relativamente iguales, es decir, que no existe problema para su utilización en todos los usuarios residenciales y comerciales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema implementado es un controlador de voltaje automatizado, no requiere de un usuario para su operación, la forma de control por un PWM y de relés para carga DC y AC respectivamente, los circuitos de control son muy versátiles en caso que se requiera realizar algún cambio en la programación del proyecto.

La determinación de los estados de funcionamiento se realiza en función del comportamiento de la curva de duración de la demanda diaria de un usuario residencial, siendo cuatro estados de control adaptados a la curva, en el sistema de control DC la luminaria LED (40w) reduce la energía consumida al 46.89% en el estado más alto (4) y 2.33% en el estado más bajo (1), en el sistema AC la luminaria incandescente (110w) reduce la potencia consumida al 15% en el estado más bajo (1). El tiempo de funcionamiento de la luminaria para cada estado fue de 6 horas.

Con la automatización del sistema de iluminación residencial y comercial se logra la disminución del consumo de energía eléctrica debida al olvido en el encendido y apagada del sistema de iluminación. Además, el consumo de energía de los sistemas de iluminación es constante una vez que entra en funcionamiento, aunque su tendencia obedece a la curva de duración de la demanda diaria afectando el pico de la demanda, al lograr optimizar la energía consumida por los sistemas de iluminación se puede disminuir la demanda máxima de un sistema eléctrico, su efecto se puede evidenciar en una aplicación a gran escala.

El principio de la tele gestión se aplica en el presente proyecto a nivel residencial y comercial, ya que son consumidores que influyen directamente en la demanda de potencia y energía de un sistema eléctrico, siendo que la tele gestión es una tecnología actualmente aplicada en alumbrado público por su alto costo de instalación e implementación.

REFERENCIAS

- Ecolumen. (2011, 3 de enero). Manual de mantenimiento preventivo y correctivo. <https://ecolumen.net/uploads/0d067f495a055a-7f1022c4159f46de3d.pdf>.
- Martínez, F. J. R., & Gómez, E. V. (2006). Eficiencia energética en edificios: certificación y auditorías energéticas. Paraninfo.
- Muhammad H. Rashid. (2004). Electrónica de potencia. Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones. Prentice hall.
- PARA, R. D. C. P. C., EL EMPLEO, E. P., & DE LA CONSTRUCCIÓN, V. A. S. (2011). Eficiencia Energética en Edificios.
- Peña, A. C., & Sánchez, J. M. G. (2012). Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora. AENOR.
- Plan Maestro de Electrificación 2016-2035 (2016) <https://www.celec.gob.ec/hidroa-goyan/images/PME%202016-2025.pdf>
- Plan nacional de eficiencia energética 2016-2035 (2016) <https://www.celec.gob.ec/hidronacion/images/stories/pdf/PLANEE%20version%20espa%C3%B1ol.pdf>
- Salazar, P. R. (2011, 9 de enero). Equipamiento tecnológico. <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/eu/equipamiento-tecnologico/hardware/954-libros-electronicos>
- Vásquez, R. (2015, 4 de agosto). Certicalia.com. https://www.certicalia.com/empresa/roberto_aira_vazquez/108422315
- Vilarrasa, J. F. (2012). Iluminación con tecnología Led. En A. G. Calderón, 318-320