



TRABAJO TEÓRICO EXPERIMENTAL

Solución de iluminación eficiente energéticamente para una vivienda sustentable

Energy efficient lighting solution for sustainable housing

Erik García Vázquez ¹, Ana Isabel González Santos ^{2,*}

¹BDC TEC S.A. Artemisa, Cuba.

²Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”. La Habana, Cuba.

*Autor de correspondencia: anita@automatica.cujae.edu.cu

Recibido: 15 noviembre de 2019

Aprobado: 11 marzo de 2020

Licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional



RESUMEN/ ABSTRACT

La arquitectura sustentable es un modo de concebir el diseño arquitectónico de manera sostenible y tiene como uno de sus principios la reducción del consumo de energía. El uso de la domótica es también fundamental para lograr este propósito de ahorro energético ofreciendo además confort a sus clientes. Este trabajo presenta un sistema de control de iluminación dependiente de la iluminación natural como una solución viable para una vivienda sustentable. La investigación teórico práctica fue realizada en dos etapas. Durante la primera etapa se realizó la simulación del sistema en el programa Simulink® de MATLAB® mostrando cómo se logra la iluminación deseada y el control de la iluminación total. En la segunda etapa se realizó la implementación práctica del sistema a través de la plataforma Arduino®. Los resultados alcanzados fueron validados desde el punto de vista energético con el uso práctico del sistema diseñado.

Palabras clave: sustentabilidad; domótica; iluminación; Arduino®; eficiencia energética.

Sustainable architecture is a way of conceiving architectural design in a sustainable way and has as its principle the reduction of energy consumption. The use of home automation is also essential to achieve this purpose of energy saving while also offering comfort to its customers. A lighting control system dependent on natural lighting as a viable solution for sustainable home is presented in this article. The practical theoretical research was carried out in two stages. During the first stage, the system was simulated in the MATLAB® Simulink® program, showing how the desired lighting is achieved and the control of total lighting. In the second stage, the practical implementation of the system was carried out through the Arduino® platform. The results obtained were validated from the energy point of view with the practical use of designed real system.

Key words: sustainability; home automation; illumination; Arduino®; energy efficiency.

INTRODUCCIÓN

Sustentar es aquello que puede conservarse y puede responder a ciertas necesidades. Sustentar significa hacer que las cosas simplemente permanezcan, si es posible, sin cambio alguno en su estado o condición [1].

Cómo citar el artículo:

Erik García Vázquez, *et al.* Solución de iluminación eficiente energéticamente para una vivienda sustentable

y de seguimiento automático horizontal de un eje

2020, vol. 41, n. 2, mayo/agosto. ISSN: 1815-5901.

Sitio de la revista: <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE>

El término “desarrollo sustentable” surge con el afán de velar por la preservación del medio ambiente que afecta a todo el planeta, siendo un concepto válido, pero abierto a distintas interpretaciones, en ocasiones hasta contradictorias [2].

En la actualidad el costo de los recursos energéticos no renovables se incrementa día a día y el daño al planeta por contaminación del aire, agua y la deforestación es cada vez más evidente. Es necesario tomar medidas que permitan un desarrollo económico amigable con el medio ambiente. El desarrollo sustentable es fundamental para lograrlo. El diseño bioclimático de las edificaciones y el uso de la domótica, son algunas de las tecnologías que deben aplicarse inmediatamente antes de que el daño sea irreversible [1].

El concepto de domótica se refiere a la automatización y control (encendido/ apagado, apertura/cierre y regulación) de aparatos y sistemas de instalaciones eléctricas y electrotécnicos (iluminación, climatización, persianas y toldos, puertas y ventanas motorizados, el riego, entre otros) de forma centralizada y/o remota en edificaciones [3]. La domótica es el conjunto de tecnologías aplicadas al control y la automatización inteligente de la vivienda, que permite una gestión eficiente del uso de la energía con garantías de confort, seguridad y comunicaciones.

La eficiencia energética se puede definir como la reducción del consumo de energía, manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir el confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso [4]. Los servicios que ofrece la domótica se pueden agrupar según cinco aspectos o ámbitos principales: gestión energética, confort, seguridad, comunicaciones y accesibilidad [5-6]. Dado que los tres pilares del desarrollo sustentable son las dimensiones ambiental, económica y social [7-8], el servicio de la domótica, principalmente usado en las viviendas sustentables, es la gestión energética, sin descuidar el confort, la seguridad y la accesibilidad.

Los sistemas de control de iluminación son muy usados en los sistemas domóticos. La iluminación, según estimaciones de la International Energy Agency (IEA), representa casi el 20% del consumo mundial de energía eléctrica [9]. En estudios realizados se ha concluido que con un adecuado sistema de control se logra un ahorro de gasto energético considerable en luminarias.

En la bibliografía especializada se pueden encontrar diversas soluciones de iluminación. En el artículo [10], se propone el diseño de una lámpara compacta y versátil que reemplaza fácilmente a los focos tradicionales. El diseño incorpora como ventajas el control automático para el encendido y apagado en función del movimiento registrado en la habitación, el control automático del nivel de iluminación para mantener niveles óptimos en todo momento y la regulación del tono de la luz de acuerdo con la habitación y la hora del día.

En la investigación [11], se presenta el desarrollo de un sistema de iluminación artificial para cultivos protegidos. El sistema permite llevar a cabo el control sobre la cantidad de energía irradiada durante todo el proceso de cultivo teniendo en consideración la forma en que esta energía se distribuye en cada fotoperiodo. Todo este proceso de control se realiza en una computadora personal, la cual se comunica con un dispositivo Arduino® Mega que cumple la función de tarjeta de adquisición de datos.

En el artículo [12], se propone un diseño para el control de la iluminación y la temperatura para una vivienda de lesionados medulares (paraplégicos). Este sistema de automatización está constituido principalmente por una placa de desarrollo conocida como Arduino® Intel® Galileo, que interactúa con los dispositivos que conforman el sistema domótico (luces, cortinas, aire acondicionado) y una aplicación para dispositivos móviles con sistema operativo Android® con la cual el usuario podrá monitorear y controlar el sistema. Otros resultados que también se soportan en placas Arduino® se presentan en [13-16].

El proyecto [17], realiza una implementación de un dispositivo domótico, para tener el control de la iluminación de forma remota mediante dispositivos con acceso a una red, usando el protocolo ZigBee®. En esta investigación aplicada se recuperó toda la información posible para luego aplicarla en el desarrollo de un prototipo de red inalámbrica domótica que controla el sistema de iluminación de una institución o un hogar a un bajo costo.

En la investigación [18], se presenta un sistema de iluminación inteligente con múltiples luminarias teniendo en cuenta la ubicación de la persona y haciendo uso continuo de los sensores de luz. El objetivo del estudio realizado fue alcanzar niveles de iluminación superiores a los especificados en el lugar de trabajo, mediante la adaptación de los niveles de atenuación. Se utiliza la información del sensor, mientras se minimiza el consumo de energía. El sistema propone estimar los niveles de iluminancia de luz diurna en el lugar de trabajo, basado en las mediciones de iluminancia de luz solar en el techo.

En el artículo [19], se presenta un sistema de iluminación adaptativo, especialmente diseñado para personas de la tercera edad. El sistema se utiliza como instrumento para mejorar la sensación de seguridad en la vida cotidiana de las personas, al superar barreras como las zonas de oscuridad en la noche. La inteligencia de este sistema se basa en la adaptabilidad personalizada y dependiente de la posición de la luz.

En el artículo [20], se realiza un resumen de las tecnologías presentes en Perú en el área de la domótica, además del diseño de un sistema de control de iluminación con una comunicación inalámbrica usando módulos Bluetooth®4.0. Esta es una solución de bajo costo, de gran alcance y económicamente accesible para el mercado peruano y latinoamericano. El mercado, a pesar de estar dominado por las tecnologías de iluminación convencionales, tiene un desplazamiento creciente hacia la tecnología de iluminación de estado sólido (SSL) como LED y OLED. No obstante, hay una serie de barreras para la adopción de productos SSL. Estas barreras comprenden, principalmente, costos iniciales, confiabilidad, estabilidad de color y compatibilidad [9].

Los beneficios energéticos y lumínicos de la radiación solar son algunos de los factores que mejor regulan la calidad de vida en el hábitat humano, tanto en los espacios privados como públicos [21]. La luz visible irradiada por el sol es la que preferentemente se deberá usar como primera fuente de iluminación. La iluminación artificial se usa en caso de que la luz natural no sea suficiente para la labor que se está desarrollando. Uno de los principios más usados en la sustentabilidad es la utilización de los recursos naturales, siendo la luz natural uno de estos casos. Lo que se percibe como luz es una estrecha banda de energía electromagnética irradiada entre 380 y 780 nanómetros [22]. La iluminancia es una medida para la densidad del flujo luminoso y su unidad de medida es el lux [23].

Las normas cubanas NC 220-2:2009 (Edificaciones - Requisitos de diseño para la eficiencia energética – Parte 2: Potencia Eléctrica e Iluminación Artificial) y la NC ISO 8995:2003 (Iluminación en los puestos de trabajo en interiores) exceptúan a las unidades habitacionales no pertenecientes a hoteles y moteles, de cumplir los requerimientos de iluminación.

Ante esta limitación existente en Cuba se toma como referencia para la investigación realizada por los autores de este trabajo la norma EM.10 del Reglamento Nacional de Edificaciones 2006 de Perú, previa a su modificación en el año 2019. Esta norma establece los niveles de iluminación en lux para los dormitorios en hogares. Recomienda que el nivel de 50 lux es el que debe garantizarse en el ambiente general y 200 lux en la cabecera de la cama [24]. Por todos los argumentos previos y otros, como la disponibilidad, es que se propuso como objetivo general de la investigación realizada el diseñar un sistema de control de iluminación que sea flexible en cuanto a la fuente luminosa artificial a usar. Como requisitos del diseño se establecieron una velocidad de encendido aceptable, la entrega de una iluminancia requerida en el sistema de control, una implementación no costosa y que esté enfocado principalmente en el ahorro energético, perfectamente aplicable a las viviendas sustentables.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la investigación fueron utilizados varios de los métodos de la investigación científica. Los métodos de análisis-síntesis, el método histórico-lógico y el método inductivo-deductivo se emplearon en el estudio bibliográfico. Se utilizaron también los métodos de simulación computacional y el método del diseño de experimentos para la comprobación del sistema de control realizado y para validar los resultados experimentales.

Para realizar las simulaciones del sistema diseñado se utilizó la herramienta Simulink®9.3 del programa MATLAB® versión 9.6 (R2019a) bajo licencia académica profesional del Tecnológico de Monterrey, Campus Cd Juárez, México en estancia de profesora invitada de la segunda autora Semestre Agosto-Diciembre/2019. Para la confección de la maqueta, necesaria para comprobar experimentalmente el sistema diseñado, se utilizó una placa de micro controlador Arduino® Uno R3, un sensor de luminosidad BH1750FVI, una tarjeta módulo relé con cuatro canales con optoacoplador para Arduino®, un sensor infrarrojo de movimiento PIR HC-SR501, tres bombillos LED marca RCA® de 5 W de potencia y una computadora personal marca Acer®, modelo Aspire ES1-531, además del IDE Arduino® versión 1.8.10 para la programación del controlador.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para lograr el objetivo propuesto, se evaluaron varias alternativas de solución en dos etapas. La primera etapa se desarrolló a través de la simulación, y la segunda etapa a través de la implementación práctica del sistema electrónico de control.

Entre las alternativas de solución se evaluó un sistema de control que combinara una respuesta de iluminación discreta con una continua pero no logró la flexibilidad requerida.

Sistema de control de iluminación

Para darle solución a este problema se implementó un sistema de control discreto mediante varios escenarios. Los mismos consisten en combinaciones de dos lámparas que aporten 80 lux cada una y otra que aporte 40 lux, para lograr 200 lux \pm 20 lux en la cabecera de la cama de una habitación, en dependencia de la luz natural, logrando mejores resultados. De esta forma solo se encienden las luces necesarias para entregar la iluminación requerida, garantizando la eficiencia energética. Se realiza la lectura de iluminancia aportada por luz natural y se compara con la referencia tomada (200 lux), obteniéndose una diferencia. Los escenarios se formalizan en la tabla 1. En la figura 1, se muestra el diagrama en bloques del sistema diseñado en la herramienta Simulink® del programa MATLAB®, en el cual se realizan las simulaciones requeridas. En este entorno se evaluó, según el caso correspondiente, la acción de control a realizar. Para verificar la efectividad del sistema de control para distintos valores de iluminación natural se simuló variaciones de ésta, lo cual conlleva a un ajuste de la iluminación artificial para mantener la iluminación total en el rango de valores requeridos (200 \pm 20 lux).

Tabla 1. Escenarios de simulación del sistema de control de iluminación

Casos	Diferencia entre el valor de referencia y el valor de iluminancia aportado por la luz natural (en lux)	Nivel de iluminación artificial requerida (en lux)	Combinación de bombillos
0	Menor de 20	-	
1	20-60	40	El bombillo que aporta 40 lux
2	60-100	80	Un bombillo que aporte 80 lux
3	100-140	120	El bombillo que aporta 40 lux y un bombillo que aporte 80 lux
4	140-180	160	Los dos bombillos que aportan 80 lux
5	Mayor que 180	200	El bombillo que aporta 40 lux y los dos bombillos que aportan 80 lux

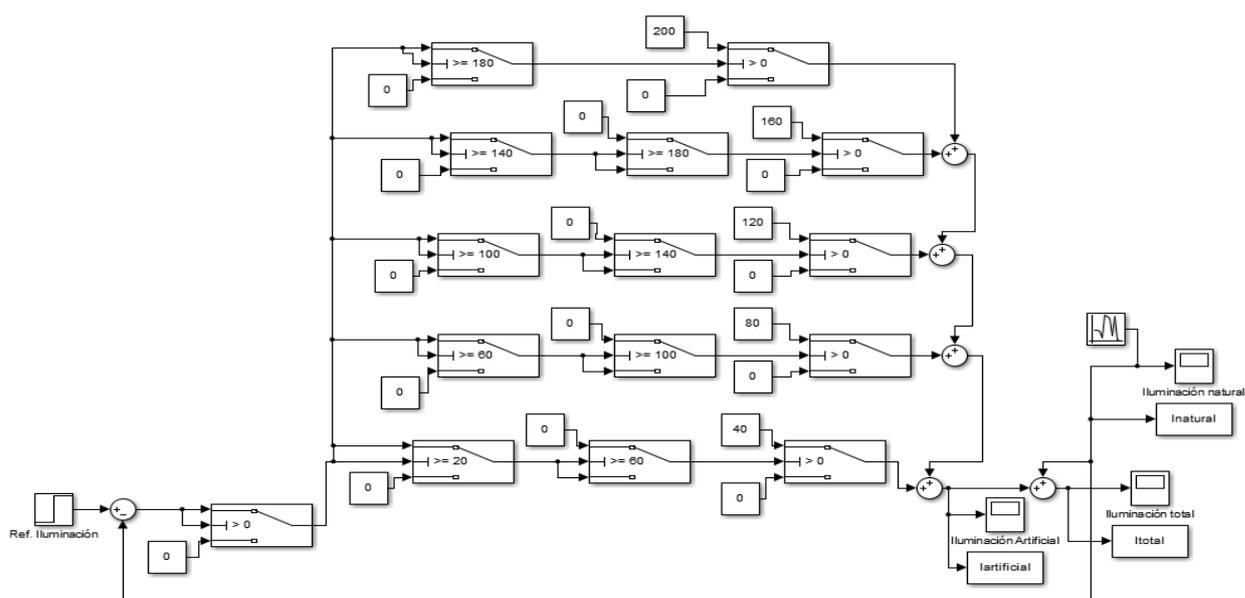


Fig. 1. Diagrama en bloque del sistema en Simulink®.

En la figura 2, se puede observar la simulación de variaciones en la iluminación natural alrededor del valor de 65 lux. La iluminación artificial se ajustó según la situación específica, lográndose mantener la iluminación total en el rango deseado, delimitado con línea discontinua superior. Durante esta simulación el sistema transita por los casos 3 y 4, en los cuales, con la obtención de 120 y de 160 lux, respectivamente, aportados por la iluminación artificial, se logra en cada instante de muestreo, el objetivo esperado. En la figura se puede observar cómo ante una disminución de la iluminación natural se aumenta la iluminación artificial para lograr mantener la iluminación total en el rango de 200 ± 20 lux. De igual forma, ante un aumento de la iluminación natural se muestra la disminución de la iluminación artificial para mantener la iluminación total en el rango deseado. Se puede observar como el error se mantiene en el rango de ± 20 lux.

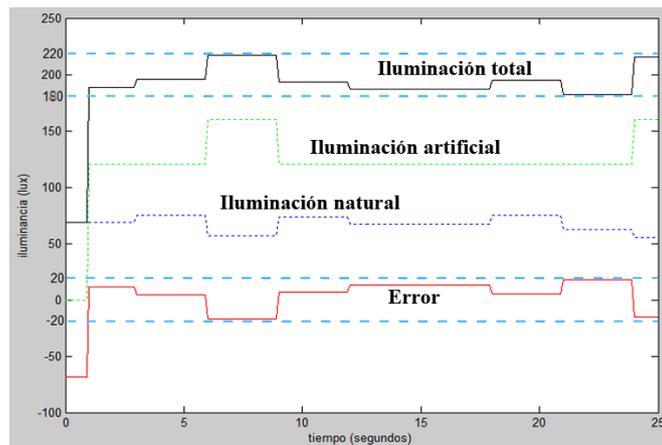


Fig. 2. Simulación número 1.

En el caso de la figura 3, se presenta la simulación de variaciones en la iluminación natural alrededor del valor de 135 lux. Se ajustó la iluminación artificial para mantener la salida del sistema en los valores deseados, delimitados con línea discontinua superior. Durante esta simulación el sistema transita por los casos 1 y 2, en los cuales se obtienen 40 y 80 lux, respectivamente, de la iluminación artificial, necesarios en cada instante de muestreo para lograr el objetivo esperado. En la figura se muestra cómo ante una disminución de la iluminación natural se incrementa la iluminación artificial para lograr mantener la iluminación total en el rango de 200 ± 20 lux. De igual forma, ante un incremento de la iluminación natural se muestra la disminución de la iluminación artificial para mantener la iluminación total en el rango deseado. Se puede percibir como el error se mantiene en el rango de ± 20 lux.

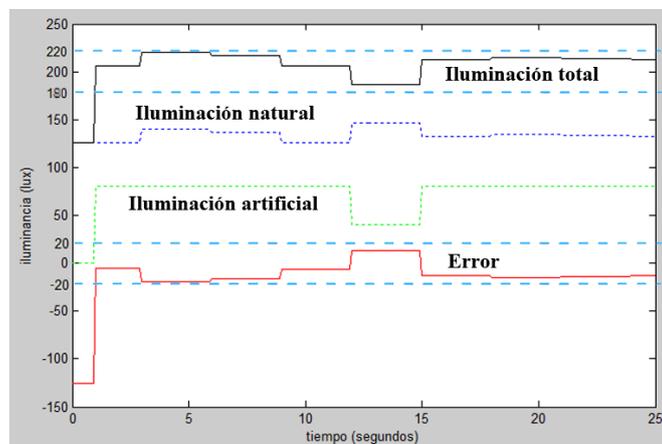


Fig. 3. Simulación número 2.

Aplicación práctica

En una maqueta confeccionada en el marco de la segunda etapa de la investigación se realizaron las pruebas prácticas. En la figura 4, se puede apreciar el diagrama eléctrico del sistema diseñado. Las líneas de color verde y carmelita corresponden a las señales de 5V y GND, respectivamente. Las líneas de color rosado son las señales de activación para los relés. Las líneas naranja y amarilla corresponden a las señales SCL (reloj serial) y SDA (línea de datos), respectivamente, para la comunicación I²C (del inglés *Inter-Integrated Circuit*/ Circuito Inter integrado). La línea morada se corresponde con la señal de alarma de movimiento. Una vez culminado con las señales de corriente directa y comunicación, se mencionan las líneas correspondientes a la corriente alterna, siendo las líneas negras y grises la fase y el retorno, respectivamente, además de la línea azul que corresponde al neutro.

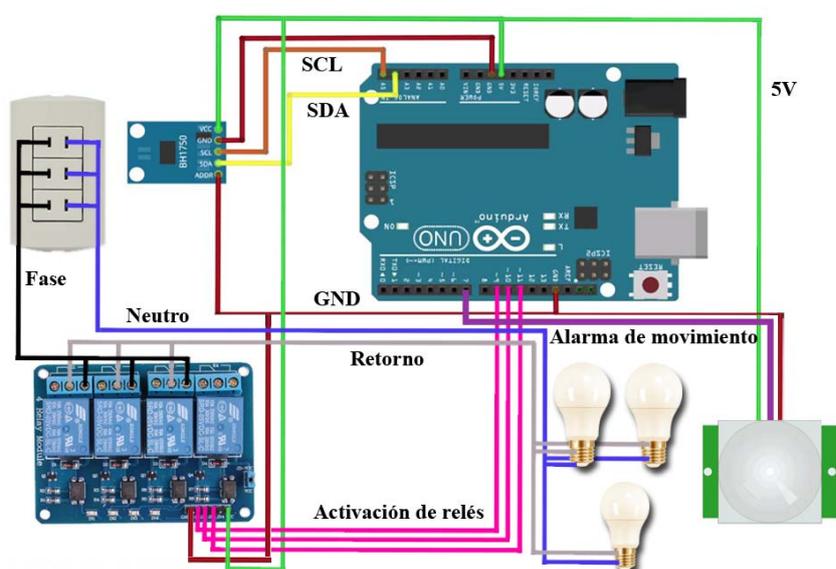


Fig. 4. Diagrama eléctrico del sistema diseñado.

Los elementos usados en la maqueta para el ensayo práctico se muestran en la figura 5.



Fig.5.Principales dispositivos de la maqueta.

- Arduino® Uno R3

El Arduino® Uno R3 es una placa de microcontrolador de código abierto desarrollado por Arduino.cc. La placa está equipada con un conjunto de pines de E/S digitales y analógicas que pueden conectarse a varias placas de expansión y otros circuitos, programable con el Arduino® IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) a través de un cable USB.

- Sensor de luminosidad BH1750FVI

El sensor de luminosidad BH1750FVI es un sensor que entrega valores de medición en luxy se comunica por la interfaz de comunicación I²C.

- Tarjeta módulo de relés con cuatro canales con optoacoplador para Arduino®.

La tarjeta módulo relé con cuatro canales con optoacoplador produce cambios de estado, de salida, en sí mismo por la acción directa de alguna señal de entrada.

- Sensor infrarrojo de movimiento PIR HC-SR501

El sensor PIR HC-SR501 tiene como función la detección de movimiento de personas dentro del rango del sensor. Son baratos, pequeños y de bajo consumo.

- Bombillos Led

Bombillos LED marca RCA® con 5W de potencia.

- Computadora personal

Computadora personal marca Acer®, modelo Aspire ES1-531.

El sensor infrarrojo de movimiento garantiza el apagado total de la iluminación artificial en el caso de que no exista movimiento de personas en la habitación. Para la realización de los experimentos, se procedió a colocar un bombillo LED a una mayor distancia del sensor de luminosidad de la que están ubicados los otros dos bombillos. Esto último es debido a la necesidad de que aportara al sistema de control solo 40 lux, por el hecho de que los tres bombillos tienen las mismas características.

Para la programación de la tarjeta Arduino®, se realizó una estimación de la luz natural a través de la luz total medida, para realizar el control exactamente como la simulación mostrada, pero el control no fue totalmente efectivo. Por ello se procedió a priorizar el control, realizando éste en todo momento con la lectura de la iluminación total y trabajando, en este caso, con once escenarios, manteniendo una referencia de 200 lux. Se logró un control efectivo de la iluminancia. En la tabla 2, se presentan los escenarios realizados en la validación práctica.

Tabla 2. Escenarios de validación práctica del sistema de control de iluminación

Casos	Diferencia entre el valor de referencia y el valor de iluminancia aportado por la luz total (en lux)	Nivel de iluminación artificial(en lux)
0	Menor de +/-20	-
1	+(20-60)	+40
2	+(60-100)	+80
3	+(100-140)	+120
4	+(140-180)	+160
5	Mayor que +180	+200
6	-(20-60)	-40
7	-(60-100)	-80
8	-(100-140)	-120
9	-(140-180)	-160
10	Mayor que -180	-200

En la programación del controlador de la tarjeta Arduino®, se analiza primeramente que existe la presencia de personas en la habitación. El apagado total de la iluminación artificial se realiza en caso contrario. Después de haber realizado esta verificación, se realiza la lectura de la iluminación total, para poder analizar cada caso que se presentó en la tabla 2 y se prosigue a comparar con la referencia del sistema (200 lux).

Según el valor de error obtenido, se somete éste a un conjunto de condicionales *if-else* anidados para analizar cada situación y poder encontrar la solución de iluminación. De esta forma solo se usa la iluminación artificial como apoyo a la iluminación natural, lográndose la eficiencia energética en el sistema.

Costo de los elementos de la maqueta confeccionada

En la tabla 3, se relaciona el costo de los elementos usados en la maqueta confeccionada tomando como referencias proveedores internacionales.

Tabla 3. Costo de los elementos de la maqueta

No.	Nombre del elemento	Cantidad.	Precio (USD)	Precio Total (USD)
1	Arduino® Uno R3	1	12.99	12.99
2	Sensor de luminosidad BH1750FVI	1	7.50	7.50
3	Tarjeta módulo de relé con 4 canales	1	4.99	4.99
4	Sensor infrarrojo de movimiento PIR HC-SR501	1	5.17	5.17
5	Bombillos Ledmarca RCA® con 5W de potencia	3	2.80	8.40
Total				39.05

Experimento práctico

En la maqueta confeccionada se forzaron cambios de iluminación, simulando aumentos y disminuciones en la iluminación natural cada 20 segundos. Estos cambios fueron realizados por una fuente externa de iluminación artificial, como se puede percibir en la parte inferior de la figura 6. Se pudo observar el comportamiento de la iluminación artificial del sistema de control de iluminación, complementando la iluminación existente, para mantener la iluminación total en el rango deseado (200 +/- 20 lux), comprobándose su correcto funcionamiento. En la figura 6, se muestra la iluminancia total medida durante la realización del experimento mencionado, delimitada con líneas discontinuas.

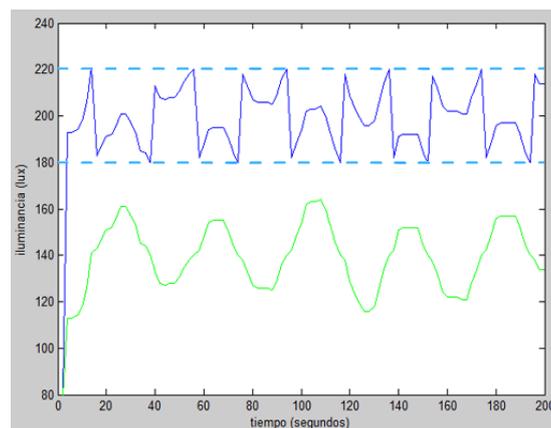


Fig. 6. Iluminancia total medida (superior) y la iluminación aportada por la luz natural (inferior).

Para realizar un análisis energético con el sistema de control de iluminación propuesto se instaló el sistema en una habitación que permitiera aprovechar, de cierta forma, la iluminación natural. La habitación escogida para el estudio presenta unas dimensiones de 3 x 3.60 m (10.8 m²) y tiene una ventana de 2.10 x 1.6 m (3.36 m²).

El análisis del ahorro energético se realizó comparando el consumo de energía eléctrica usando el sistema de iluminación propuesto (tres bombillos de 5 W) con el consumo de los tres bombillos usados de forma permanente (0.015 kWh). El análisis se efectuó durante cuatro horas (240 minutos), desde las 7:30 am hasta las 11:30 am, lográndose un ahorro de energía eléctrica del 60.7% con el uso del sistema de control diseñado. El consumo fue de 0.0236 kWh, de un total de 0.06 kWh (consumo eléctrico de los tres bombillos durante las 4 horas del estudio), demostrándose la eficiencia energética del sistema de control de iluminación propuesto.

Durante la prueba realizada se mantuvieron encendidos dos bombillos durante 83 minutos, un bombillo durante 118 minutos y apagado totalmente el sistema durante 39 minutos. En la figura 7, se muestra, en porcentaje, la duración del uso de la iluminación artificial durante la prueba realizada, además de los datos del consumo de energía eléctrica.

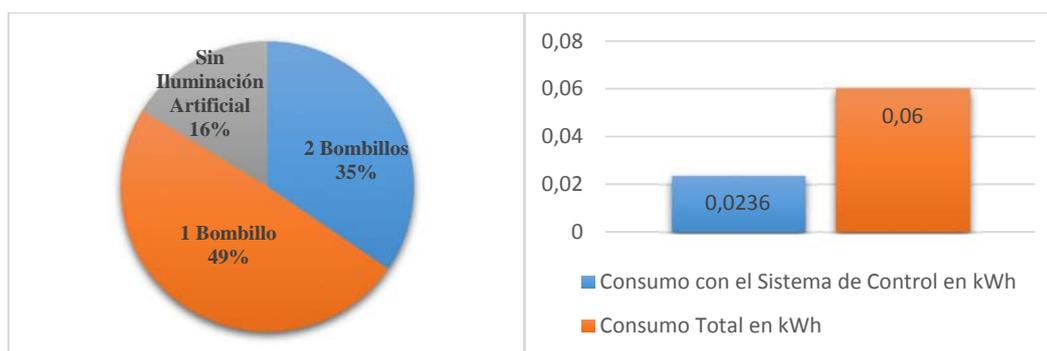


Fig. 7. Duración, en porcentaje, de uso de la iluminación artificial (izquierda). Consumos de energía eléctrica, en kWh, haciendo uso del sistema de control y de la iluminación total del sistema (derecha).

CONCLUSIONES

Se pudo comprobar la aplicación práctica del sistema implementado: un sistema de control de iluminación enfocado principalmente en el ahorro energético, demostrando su eficiencia energética. Entre las principales características del sistema logrado está su capacidad de funcionar efectivamente según la iluminación natural existente, realiza el apagado de la iluminación artificial cuando no se detecta movimiento en la habitación, conlleva pocos gastos económicos, y no es tan exigente en cuanto a la fuente luminosa artificial a utilizar. Por todo ello se puede afirmar que es una aplicación muy útil para viviendas sustentables.

REFERENCIAS

- [1] Aguilar, J., *et al.* "Edificación Sustentable", *Caos Conciencia*. 2013, vol.6, n. 1, p. 31-37. Consultado el: 2 de marzo de 2020. Disponible en: <http://dci.uqroo.mx/htm/caos.htm>. ISSN 1870-1221.
- [2] Dueñas del Río, A. "Reflexiones sobre la arquitectura sustentable en México", *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*. 2013, vol. 8, n. 14, p. 77-91. Consultado el: 16 de febrero de 2020. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477947373007>. ISSN 2007-3615.
- [3] Miroslava Cano, L. "Diseño y simulación de un sistema de control Smart Home", *Revista de Aplicación Científica y Técnica*. 2016, vol.2, n.4, p. 13-19. Consultado el: 18 de febrero de 2020. Disponible en: http://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Aplicacion_Cientifica_y_Tecnica/vol2num4/Revista_de_Aplicacion_Cientifica_y_Tecnica_V2_N4_3.pdf. ISSN 2444-4928.
- [4] Martínez, F. "La energía. Su ahorro y eficiencia energética. Papel del Mantenimiento", *Revista Ingeniería Agrícola*. 2017, vol. 7, n. 3, p.61-68. Consultado el: 27 de junio de 2020. Disponible en: <http://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/774/924>. ISSN 2306-1545.
- [5] Quintana, B. A., *et al.* "Automatización en el hogar: un proceso de diseño para viviendas de interés social", *Revista Escuela de Administración de Negocios*. 2015, n.78, p. 108-121. Consultado el: 20 de junio de 2020. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=20640430008>. ISSN 0120-8160.
- [6] Quintana, B. A., *et al.* "El factor para dignificar espacios de vivienda social se encuentra en la Domótica", *Entre Ciencia e Ingeniería*. 2015, vol. 9, n.17, p. 81-89. Consultado el: 21 de junio de 2020. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v9n17/v9n17a11.pdf>. ISSN 1909-8367.

- [7] González, D. “Vivienda y sustentabilidad urbana. Conceptos y propuestas”, *Arquitectura y Urbanismo*. 2003, vol. 24, n. 2. Consultado el: 16 de febrero de 2020. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/388163531/Vivienda-y-sustentabilidad-urbana-conceptos-y-propuestas-pdf>. ISSN 1815-5898.
- [8] González, M. C. y Álvarez, A. E. “Debate sobre el desarrollo del turismo y la sustentabilidad”, *Arquitectura y Urbanismo*. 2016, vol. 37, n. 2, p. 88-94. Consultado el: 22 de junio de 2020. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/3768/376846860008.pdf>. ISSN 1815-5898.
- [9] Saavedra, E. *et al.* “Sistemas de iluminación, situación actual y perspectivas”, *Revista TECNIA*. 2016, vol. 26, n. 2. Consultado el: 17 de febrero de 2020. Disponible en: <http://revistas.uni.edu.pe/index.php/tecnia/article/view/57>. ISSN 2309-0413, DOI: 10.21754/tecnia.v26i2.57.
- [10] López, D. y Mideros, D. “Diseño de un sistema inteligente y compacto de iluminación”, *Enfoque UET*. 2018, vol. 9, n. 1, p. 226 – 235. Consultado el: 4 de marzo de 2020. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422018000100226 ISSN1390-6542.
- [11] Al-Hadithi, B. *et al.* “Desarrollo de un Sistema de Iluminación Artificial Inteligente para Cultivos Protegidos”, *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*. 2016, n. 13, p. 421–429. Consultado el: 5 de marzo de 2020. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1697791216300346>. DOI: 10.1016/j.riai.2016.07.005.
- [12] Vieira, A. *et al.* “Sistema domótico para control de temperatura e iluminación de un apartamento para lesionados medulares (paraplégicos)”, *Revista Tekhné*. 2018, vol. 25, n. 5, p. 23-45. Consultado el: 8 de marzo de 2020. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Sistema-dom%C3%B3tico-para-control-de-temperatura-e-de-Vieira-Blanco/5f754689880215712fd15f48a2fb4c659a88dabe>. ISSN 1316-3930.
- [13] Balarabe, A. T. *et al.* “An Arduino UNO Based Environment Monitoring System”, *Electronics and Communication Engineering*. 2019, vol. 14, n. 2, p. 04-09. Consultado el 28 de junio de 2020. Disponible en: <http://www.iosrjournals.org/iosr-jece/papers/Vol.%252014%2520Issue%25202/Series-2/B1402020409.pdf>, ISSN 2278-8735, DOI: 10.9790/2834-1402020409.
- [14] Bilici, A. *et al.* “Improving Energy Efficiency for Lighting Systems by Using Arduino”. En III Congreso Internacional de Energía e Ingeniería. Gaziantep, Turquía. 2018. p. 1034-1041. Consultado el: 28 de junio de 2020. Disponible en: http://www.academia.edu/download/57633278/UEMK_2018-25-15-20-c.pdf#page=1034. ISBN 978-975-7375-45-6.
- [15] Rodríguez, A. A. *et al.* “Sistema de control y telemetría de datos mediante una aplicación móvil en Android basado en IoT para el monitoreo de datos”, *Revista Espacios*. 2018, vol. 39, n. 22, p. 30-45. Consultado el 28 de junio de 2020. Disponible en: <http://pdfs.semanticscholar.org/d714/a98c083449042f20181f76519951f769e752.pdf>. ISSN 0798-1015.
- [16] Farooq, M. U. *et al.* “ARM based Bidirectional Visitor Counter and Automatic Room Light Controller using PIR sensors”, *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*. 2016, vol. 1, n. 5, p. 10-15. Consultado el 28 de junio de 2020. Disponible en: <http://umar17.github.io/papers/2.pdf>. ISSN 2415-6698, DOI: 10.25046/aj010503.
- [17] Alvarino, E. *et al.* “Diseño de un dispositivo domótico para control de iluminación”, *Revista Investigación y Desarrollo en TIC*. 2015, vol. 6, n. 1, p. 26-33. Consultado el: 2 de marzo de 2020. Disponible en: <http://publicaciones.unisimonbolivar.edu.co/rdigital/ojs/index.php/identific/article/view/1544/1467>. ISSN 2216-1570.
- [18] Borile, S. *et al.* “A Data-Driven Daylight Estimation Approach to Lighting Control”, *IEEE Access*. 2017, vol. 5, n. 7875101, p. 21461-21471. Consultado el: 7 de mayo de 2020. Disponible en: <https://research.tue.nl/en/publications/a-data-driven-daylight-estimation-approach-to-lighting-control>. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2679807.
- [19] Aleithe, M. *et al.* “Adaptive Lighting System as a Smart Urban Object”, *Communication Papers of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems*. 2018, vol. 17, p. 145–149. Consultado el: 7 de mayo de 2020. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/327893559_Adaptive_Lighting_System_as_a_Smart_Urban_Object. ISSN 2300-5963, DOI: 10.15439/2018F30.

- [20] López, C. *et al.* “Implementación de una solución de domótica basado en las mejores soluciones y prácticas del mercado actual”, Revista Sinergia e Innovación. 2015, vol. 3, n. 1, p. 88-120. Consultado el: 6 de marzo de 2020. Disponible en: <http://revistas.upc.edu.pe/index.php/sinergia/article/view/409/372>. ISSN 2306-6431, DOI: 10.19083/sinergia.2015.409.
- [21] Inzulza, J.; Wolff, C. y Vargas, K. “Acceso solar: un derecho urbano para la calidad de vida vulnerado desde la gentrificación contemporánea. El caso de la comuna de Estación Central, Chile”, Revista 180. 2017, n. 39. Consultado el 6 de mayo de 2020. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/149636>. ISSN 0718-2309, DOI: 10.32995/rev180.Num-39.(2017).art-283.
- [22] Gordon, G. *Interior Lighting for Designers*. 5th ed. Kittery: John Wiley & Sons, 2015. (Consultado el: 6 de marzo de 2020). Disponible en: <https://www.wiley.com/en-us/Interior+Lighting+for+Designers%2C+5th+Edition-p-9780470114223>. ISBN 978-0-470-11422-3.
- [23] Ganslandt, R. y Hofmann, H. “Cómo planificar con luz”. Madrid: Erco, 2009. (Consultado el: 6 de marzo de 2020). Disponible en: <https://arquinue.com/como-planificar-la-luz/>.
- [24] Dirección General de Políticas y Regulación en Construcción y Saneamiento. Instalaciones eléctricas interiores. Norma Técnica EM.010. Perú. 2006. Disponible en: <https://es.slideshare.net/mobile/jantayalva82/norma-em-010>.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Erik García Vázquez, <https://orcid.org/0000-0003-4019-3954>

Participó en el diseño de la investigación, recolección de los datos, modelación matemática, análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

Ana Isabel González Santos, <https://orcid.org/0000-0002-7969-4070>

Participó en el diseño de la investigación, recolección de los datos, modelación matemática, análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.