

**CLASSIFICATION METHOD FOR LIGHTING AND AIR CONDITIONING
AUTOMATION TECHNIQUES IN TROPICAL WARM CLIMATE INDOOR
ENCLOSURE**

**MÉTODO PARA LA CLASIFICACIÓN DE TÉCNICAS DE AUTOMATIZACIÓN
DE ILUMINACIÓN Y CLIMATIZACIÓN EN RECINTOS INTERIORES DE
CLIMA CÁLIDO TROPICAL**

**MSc. Julian Florez-Reyes, PhD. German Osma-Pinto,
PhD. Gabriel Ordoñez**

Universidad Industrial de Santander

Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica
Carrera 27 Calle 9, Bucaramanga, Santander, Colombia.
Tel.: 57-7-6344000

E-mail: julian.florez@correo.uis.edu.co, {gealosma, gaby}@uis.edu.co

Abstract: Lighting and air conditioning systems in traditional buildings do not have design criteria geared towards the rational use of energy (RUE) and environmental sustainability. This leads to CO₂ complications, much of it produced during the period of operation of buildings. However, the control and automation of lighting and air conditioning systems present a solution by reducing energy consumption by between 20% and 40% of a building. Currently, the measures taken to implement the URE techniques turn out to be deficient or non-existent. An example of this are the remodeled, reconstructed or refurbished buildings, which are dismissed of possible improvements, due to their old appearance; as it happens in university campuses, which frequently face infrastructure adaptations lacking effective improvements in their energy consumption. This article proposes a method for the classification of control and automation techniques in university campuses, based on the joint calculation of the electrical load associated with lighting and air conditioning systems. This method considers the physical, micro-climatic and functional characteristics of the evaluated facility, together with the occupancy and operation profile of the various control and automation techniques. As a result, a ranking method of up to 40 technical combinations of control and automation (10 for air conditioning and 4 for lighting) was obtained, which can be evaluated in 14 different facilities present on a university campus, which serves as a design-oriented criterion to the RUE application.

Keywords: RUE, lighting, HVAC, Control.

Resumen: Los sistemas de iluminación y climatización en edificaciones tradicionales no cuentan con criterios de diseño orientados al uso racional de la energía (URE) y la sostenibilidad ambiental. Esto conlleva a emisiones significativas de CO₂, gran parte de ellas producidas durante el periodo de operación de las edificaciones. Sin embargo, el control y automatización de sistemas de iluminación y climatización presenta una solución al permitir disminuir el consumo energético entre el 20% y 40% de una edificación. En la actualidad, las medidas tomadas para la implementación de técnicas URE resultan ser deficientes o inexistentes. Ejemplo de esto son las edificaciones remodeladas, reconstruidas o readecuadas, las cuales son, en mayor medida, desestimadas de posibles mejoras, por su apariencia antigua; tal como sucede en campus universitarios, los cuales frecuentemente se enfrentan a adecuaciones de infraestructura carentes de mejoras eficaces en su consumo energético. Este artículo propone un método para la

clasificación de técnicas de control y automatización en recintos universitarios, basado en el cálculo conjunto de la carga eléctrica asociada a los sistemas de iluminación y climatización. Este método considera características físicas, micro climáticas y funcionales del recinto evaluado, junto al perfil de ocupación y operación de las diversas técnicas de control y automatización. Como resultado se obtuvo un método de ranking de hasta 40 combinaciones técnicas de control y automatización (10 para climatización y 4 de iluminación), las cuales pueden ser evaluadas en 14 diferentes recintos presentes en un campus universitario, lo cual sirve como criterio de diseño orientado a la aplicación del URE.

Palabras clave: URE, iluminación, HVAC, Control.

1. INTRODUCCION

El crecimiento continuo de la demanda mundial de energía es un gran reto energético. En 2050, según la *International Energy Agency* (IEA), la demanda de energía se duplicará para mantener el ritmo de crecimiento demográfico, económico e industrial en el mundo (International Energy Agency, 2011).

Un escenario común de análisis de esta situación son las edificaciones, por ser obras de construcción cubierta de carácter permanente (Romero Morales, Castro Lozano, & Vazquez Serrano, 2007). Dado que las personas tienden a pasar el 80% del tiempo en edificios, es fundamental garantizar un ambiente sano y cómodo para el bienestar y la productividad de sus habitantes (Dounis & Caraiscos, 2009; Yang & Wang, 2013). Tal calidad de vida en un edificio está determinada principalmente por tres factores: confort térmico, confort visual, y calidad del aire interior (Dounis & Caraiscos, 2009). Por ello, es deseable que una edificación pueda auto-ajustarse en función de las condiciones del entorno y las necesidades con los ocupantes para brindar el confort (Wang & Su, 2008).

Dado que el consumo energético tradicional representa entre el 30% y 60% del consumo energético mundial (Chen, Cook, & Crandall, 2013; Leal & Hernandez, 2013; Yang & Wang, 2013). El componente energético de una edificación es un factor de alto impacto sobre el medio ambiente. En particular, las contribuciones de los sistemas de iluminación y climatización, las cuales cerca del 60% se debe a consumo generado por climatización (refrigeración y calefacción) (Balbis, García, Cabello, & Sousa, 2018; Imran, Almusawi, & Mahdi, 2020) y un 20% corresponde a iluminación (Hong, 2009). Por ello, el URE es un reto inherente y pilar fundamental en el proceso de desarrollar una cultura sostenible.

En este contexto, los edificios verdes pueden desempeñar un papel importante, dado que estos edificios pueden reducir la demanda tipo, así

como generar y almacenar energía y aportar a la red eléctrica excedentes de energía o cuando la red eléctrica más lo necesite, garantizando así la fiabilidad y continuidad del servicio y la mejora la calidad de vida de la comunidad (Schneider Electric & O'Mara, 2012). Sin embargo, en el sector de la construcción, solo a veces se considera en sus proyectos de construcción, remodelación y adecuación de planta física, criterios URE, lo que en general no va más allá de la instalación de equipos de alta eficiencia e implementación de sistemas de automatización por tendencia sin búsqueda de un resultado serio (Romero Morales et al., 2007).

Un caso especial de interés, son las edificaciones que conforman un campus universitario, debido a que hacen parte de procesos continuos de ampliación y fortalecimiento de la infraestructura física. Estas acciones, generalmente, tiene por objeto atender necesidades de la comunidad universitaria, a partir de la creación y el mejoramiento de espacios como aulas de clase, oficinas de profesores, laboratorios, áreas administrativas y zonas sanitarias, entre otros. Sin embargo, Estas intervenciones se centran principalmente en aspectos de suministro, montajes, adecuación, construcción y puesta en marcha de redes eléctricas y sistemas de aire acondicionado. Sin una guía de diseño evidente que propendan por el URE; más allá del suministro de equipos de alta eficiencia energética. Por lo que, las actuales acciones de intervención de espacios universitarios se pueden considerar un problema el diseño por la falta de criterios de diseños sostenibles.

Es tendencia actual, la construcción verde, que tiene como objetivo reducir el consumo de energía a partir de la integración de diversas aplicaciones URE (Camargo, Coronel, & Calderón, 2017; Schneider Electric & O'Mara, 2012). No obstante, la aplicación de objetivos verdes y sostenibles en edificaciones ya existente o en remodelación es un campo que requiere de mejora.

En general, se evidencia lo siguiente (Schneider Electric & O'Mara, 2012): 1) la falta de criterios URE para el diseño de la automatización en iluminación y climatización, 2) la no implementación de medios que permitan ajustar de manera automática la iluminación y la temperatura según necesidades del espacio, 3) el uso exclusivo de unidades de aire acondicionado como estrategia de confort térmico si los recursos financieros son suficientes, 4) el no aprovechamiento de condiciones naturales del recinto, como luz natural y corrientes de aire.

Por consiguiente, es deseable contar con un método de integración de criterios de diseño para la automatización de aplicaciones energéticas orientadas al URE en edificaciones, orientadas a sistemas de iluminación y climatización. Por ello, este artículo propone un método para la integración del cálculo de carga eléctrica de iluminación y climatización asociadas al empleo de diversas estrategias de automatización para recintos típicos de un campus universitario. Esta integración permite la comparación, en términos de proyección de la carga eléctrica consumida de los recintos evaluados, al aplicar diversas estrategias de automatización, facilitando su selección.

La Sección 2 de este documento se expone el método implementado junto a al análisis de los requisitos para el cálculo de la carga de iluminación y refrigeración. En la Sección 3 se adecuaran estos cálculos para que incluyeran la operación de las técnicas de control y automatización. Y en la Sección 4 se integraran los dos cálculos para operar de forma conjunta.

2. CÁLCULO DE CARGA DE ILUMINACIÓN Y CLIMATIZACIÓN

El método implementado para la integración de los procesos de cálculo de la carga de iluminación y refrigeración es mostrado por la Fig. 1. Se consideraron las normativas UNE-EN-15193 y UNE-EN-378 para establecer los requisitos del cálculo de carga de iluminación y de ventilación respectivamente. En estas normativas resalta la falta de integración o inclusión de las características de operación y funcionamiento de técnicas de control y automatización. En particular, estas normativas exponen sistemas para la determinación de la carga de iluminación y ventilación en un recinto sin la integración de técnicas de control y automatización. Por ende se requiere la adecuación de los requisitos y su posterior integración para así obtener un cálculo de carga energética orientada al URE.

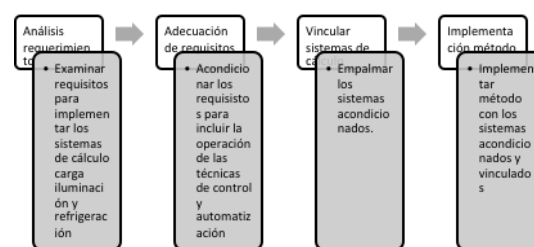


Fig. 1. Método de Integración.

2.1 Análisis de requerimientos para el cálculo de carga iluminación

El sistema para el cálculo de iluminación está basado en la normativa EN-15193, la cual establece los requisitos energéticos para la iluminación enfocado en la eficiencia energética de los edificios (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2007). Esta normativa se ha concebido para establecer convenios y procedimientos para la estimación de requisitos de energía de iluminación en edificios. Este cálculo diferencia dos clases de potencia instalada en edificios, Ecuación (1), una asociada a la potencia de luminaria y otra a potencias parásita. La potencia de luminaria se refiere a la potencia que se proporciona para el funcionamiento de la iluminación. La potencia parásita se refiere a la potencia de los sistemas de control de alumbrado y para cargar baterías para el alumbrado de emergencia.

$$W = W_{L,t} + W_{P,t} \mapsto (kWh) \quad (1)$$

W - La energía total utilizada para la iluminación corresponde a la cantidad de energía consumida en el período t por: luminarias durante la operación y cargas parasitarias cuando las luminarias no están encendidas. $W_{L,t}$ - Demanda de energía de las luminarias en el intervalo t que depende de cuatro factores: La potencia del sistema de iluminación, un factor de dependencia de luz natural, un factor de ocupación y un factor de iluminación constante. $W_{P,t}$ - Demanda de energía de las cargas parasitarias durante el intervalo t , por el circuito de carga de iluminación de emergencia y por el sistema de control.

La iluminación y su control representan una contribución significativa al consumo de energía del edificio. Estas dos clases de potencia son gobernadas por diferentes factores, expuestos en la Tabla 1. De igual manera se muestra las contribuciones de los requisitos a cada uno de estos factores y por ende a la demanda total.

Tabla 1. Requisitos para el cálculo de la carga de iluminación

Depende de Cálculo de		Radiación solar	Dimensiones del recinto	Orientación del recinto	Área de ventanas	Tipo de ventana	Tipo de pared	Tipo de techo	actividad personas	número de claraboyas	Nivel de iluminación	luminaria y lámpara	Tipo de obstrucciones	Equipos de automatización
Carga de Iluminación	Energía Luminarias	Potencia iluminación	X	X								X		
		Factor de iluminación constante										X		
		Factor de ocupación							X					
		Factor de dependencia luz natural	X		X	X	X	X	X	X	X		X	
	Energía Parasitas	Energía parasitas										X		X

2.2 Análisis de requerimientos para el cálculo de carga refrigeración

La carga de refrigeración corresponde a la velocidad con la que se extrae la carga neta de calor por unidad de tiempo dentro del recinto, para mantener las condiciones de diseño cuando se presenta una temperatura y humedad diferentes, generalmente, inferiores a la del exterior (Miranda, 2010).

El calor que ingresa como consecuencia de las diferencias de temperaturas, se llama calor sensible y, el calor introducido por causa de la diferencia de humedades, se llama calor latente. La Tabla 2 relaciona los factores de cálculo para estos dos tipos de carga. Este método determina la carga de climatización en un período de tiempo t , como sigue: primero, se calculan las cargas sensibles debido a la diferencia de temperaturas; luego, se estudian las cargas latentes debido a la diferencia de humedad; posteriormente, se suman con las cargas sensible y latente, procedentes del aire de ventilación (Miranda, 2010).

Adicional, se utilizó el sistema diferencial de carga de enfriamiento (CLTD/CLF) para determinar la conducción de calor a través de muros y techos. Esto hace posible el cálculo de las cargas por conducción y radiación en vidrios exteriores y otras fuentes de calor interior. Para ello, se siguió el sistema propuesto por Miranda (Miranda, 2010).

Tabla 2.a Requisitos método cálculo refrigeración

			Radiación solar	Temperatura Ambiente	Temperatura de trabajo	Humedad relativa ambiente	Humedad relativa de trabajo	Dimensiones del recinto	Orientación del recinto
Carga de refrigeración	Calor Sensible	radiación solar a través de ventanas	X						X
		radiación y transmisión a través de ventanas exteriores		X	X			X	
		radiación y transmisión a través de techos exteriores		X	X				
		transmisión a través de paredes no exteriores		X	X			X	
		aire de infiltración		X	X				
	Calor Latente	generado por las personas							
		generado por la iluminación							
		generado por las personas							
		aire de infiltración							
		procedente de aire de ventilación		X	X				
		procedente del aire de ventilación				X	X		

Tabla 2.b Requisitos método cálculo refrigeración

		Área de ventanas	Tipo de ventana	Tipo de pared	Tipo de techo	número personas	actividad personas	número puertas	Potencia iluminación
Carga de refrigeración	Calor Sensible	radiación solar a través de ventanas	X	X					
		radiación y transmisión a través de ventanas exteriores			X				
		radiación y transmisión a través de techos exteriores				X			
		transmisión a través de paredes no exteriores			X				
		aire de infiltración				X	X		
	Calor Latente	generado por las personas				X	X		
		generado por la iluminación							X
		generado por las personas				X	X		
		aire de infiltración				X	X		
		procedente de aire de ventilación							
		procedente del aire de ventilación							

2.3 Adecuación de métodos

Los cálculos expuestos definen la forma de determinar la carga instantánea para la refrigeración e iluminación de acuerdo a características físicas y condiciones climáticas del recinto; de tal forma que el cálculo toma como referencia una condición favorable que permita determinar la mayor carga requerida en sólo un instante. Es necesario resaltar que los sistemas evaluados para el cálculo de carga de refrigeración y iluminación son independientes. Y que, no incorporan factores o requisitos relacionados la implementación y operación de técnicas de control y automatización.

Así pues, este método de adecuación presenta la cohesión de estos dos sistemas. La cohesión se origina con la adecuación de los cálculos en base horaria, la inclusión las condiciones micro climáticas, la incorporación de factores de operación de las técnicas de control y automatización, y el ajuste de los cálculos a los perfiles de ocupación de los recintos. Esto permite genere un método que implemente el URE, ajustado a las condiciones climáticas y recintos presentes en un campus universitario.

La Fig. 2. muestra el diagrama de bloques del método desarrollado. Este método presenta 6 requisitos de entrada. Primero, las diferentes técnicas de control y automatización en iluminación y refrigeración. Segundo, el perfil operativo de estas técnicas. Tercero, los tipos de recintos presentes en los campus universitarios. Cuarto, las características micro climáticas del lugar de establecimiento de los recintos. Quinto los periodos promedio de ocupación, de acuerdo con los tipos de recinto. Sesto, características físicas y funcionales del recinto, agrupadas en una serie de preguntas al usuario.

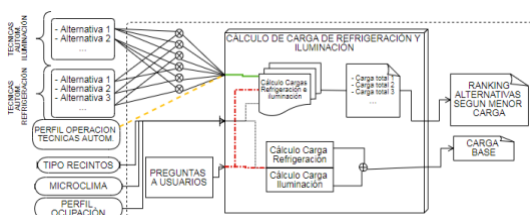


Fig. 2. Implementación métodos acondicionados y vinculados.

Referente a la forma de asociación entre los dos sistemas de cálculo; se destaca que, el cálculo de la energía de refrigeración posee un apartado denominado “Calor sensible generado por la iluminación” Ecuación (2). Este apartado depende directamente del sistema de iluminación del recinto, lo que, facilita una relación directa entre los dos sistema de cálculo.

$$Q_{SIL} = I * Q_l [W] \quad (2)$$

Este calor sensible esta directamente relacionado con: Potencia eléctrica de iluminación instalada (I), su valor corresponde a la totalidad de la potencia lumínica que se encuentra instalada dentro del espacio. Factor lumínico de potencia (QI): Este es un elemento que depende de las características termodinámicas del tipo de iluminación que está instalada en el local.

En primer lugar, respecto a los requisitos de entrada del método, se encuentran un conjunto de técnicas de control y automatización que posiblemente pueden ser utilizadas en el recinto.

Se consideraron 10 técnicas de control en refrigeración que propenden por menor consumo energético y la satisfacción del confort de los usuarios.

Interrupción: Operación del sistema de refrigeración ajustada a los horarios de ocupación del recinto.

Apagado Temprano: Operación de sistema de refrigeración inicia en el inicio de ocupación del recinto y finaliza dos horas antes del fin de la ocupación.

Reducción de demanda: Inicia la operación del sistema de refrigeración (2 horas) en periodos fuera de ocupación, seguido de no operación en la hora previa a las ocupaciones pico.

Encendido/Apagado: Una hora de operación del sistema de refrigeración seguido de una hora de no operación, de forma repetida durante todo el periodo de ocupación del recinto.

Ciclo de trabajo agresivo: Una red de sensores determina el estado de ocupación del recinto, y por ende la operación o no del sistema de refrigeración.

Línea Base: la temperatura de consigna se ajusta para estar en el límite inferior de la zona de confort térmico durante el período de ocupación, durante la operación desocupada, se utiliza la reducción nocturna, en el que la temperatura se ajusta para que sea significativamente mayor.

Step Up: Ajusta la temperatura de consigna a 21 °C para pre-enfriar la habitación al inicio del período de ocupado. Después de 12:00 h, la temperatura de consigna se eleva a un valor más alto.

Incremento lineal: Eleva el punto de temperatura con patrón lineal hasta alcanzar la temperatura de consigna final deseada al terminar el período de ocupación.

Optimización de trayectoria: Determina la trayectoria optima de la temperatura consigna durante el periodo de descarga.

Pre-enfriamiento extendido con pre-ajuste: inicialmente se hace un pre-ajuste donde el recinto es enfriado a una temperatura más baja en comparación con la temperatura de pre-enfriamiento normal. A continuación, la temperatura de consigna se incrementará en 1°C o 2°C hasta la hora de máxima demanda, cuando la temperatura de consigna se incrementará aún más.

Por otra parte, se consideraron 4 técnicas de control en iluminación que buscan reducir la energía de consumida por los sistemas de iluminación al tiempo que mejoran el confort visual de los ocupantes.

Por programación: permite determinar el tiempo de encender o apagar automáticamente en función de horarios y los patrones de ocupación.

Anochecer/amanecer: estrategia predictiva. El sistema entre en operación cuando se hace de noche, y se apaga cuando hay suficiente luz del día.

Ocupación Real: El sistema detecta cuando la habitación está ocupada y luego enciende las lámparas. Si el sistema no detecta ninguna actividad en la sala, se considera desocupada y apaga las luces.

Complemento de Luz Natural: permite que las instalaciones reduzcan el consumo de energía de iluminación mediante el uso de la luz del día, complementada con iluminación artificial, según sea necesario para mantener el nivel de iluminación requerido.

En segundo lugar, el perfil de operación de las técnicas nombradas anteriormente. Este perfil, debe contener la característica de operación de cada técnica, momentos en los que el sistema esta operativo o no, junto a los valores de consigna (temperatura e irradiancia) requeridos. Este perfil de operación debe estar en base horaria.

En tercer lugar, el ajuste del cálculo de carga eléctrica total y las técnicas de control y automatización a una operación en base horaria, requiere general un perfil de ocupación horaria para cada recinto a evaluar. Este perfil de ocupación debe considera el horario de funcionamiento del campus universitario al igual que: las variaciones debidas al comportamiento de sus ocupantes (e.g. estudiantes, profesores, administrativos, público en general), el tiempo de permanencia y tipo de recinto (e.g. Aula de clase, laboratorios, Oficinas, salas de computo, salas de reunión, comercios).

Adicional, el cálculo de carga eléctrica total del recinto requiere información micro climática de un día promedio hora a hora. La información requerida va desde la radiación solar, humedad relativa hasta la temperatura del ambiente circundante al recinto.

Por último, se encuentran las preguntas al usuario, las cuales refieren a las características

físicas, tipo, cantidad de personas del recinto y algunos otros detalles que son descritos a continuación, **Error! Reference source not found.**, con un posibles ejemplos.

Tabla 3. Preguntas al usuario

Preguntas	Respuestas
Tipo de espacio	Aula de clase
Altura del espacio [m]	3
Longitud fachada Norte o Sur [m]	11
Longitud fachada Este u Oeste [m]	5
Altura plano de trabajo [m]	0,85
Altura plano luminarias [m]	0
Número de personas	40
Actividad realizada por las personas	Sedentario
Número de puertas	1
Tipo de pared	Exterior
Factor de reflexión pared	0,5
Tipo de techo	Interior
Factor de reflexión de techo	0,75
Tipo de iluminaria	Fluorescentes
Tipo de persiana	Ordinaria
Angulo inclinación claraboya [°]	N/A
Área claraboya [m ²]	N/A
Cantidad Claraboyas	N/A
Tipo de acristalamiento de claraboya	N/A
Fachada con abertura	SUR
Tipo de espacio adyacente	Patio
Altura espacio adyacente [m]	10
Longitud espacio adyacente [m]	20
Ancho espacio adyacente [m]	30
Área de ventana [m ²]	15
Tipo de acristalamiento	Simple
Angulo de obstrucción vertical [°]	5
Angulo de obstrucción horizontal [°]	45
Angulo de voladizo horizontal [°]	0
Temperatura de trabajo [°C]	24
Humedad relativa de trabajo [%]	60
Potencia equipos adicionales [W]	N/A
Eficiencia equipos adicionales [%]	N/A

Como resultado, el método de implementación procura entregar la clasificación de las 3 primeras técnicas de iluminación y ventilación con mayor ahorro energético, para el recinto universitario evaluado. Para esto, el consumo energético de cada técnica es comparado con un escenario base (escenario donde se evalúa el mismo recinto, pero sin incluir la aplicación de técnicas de control y automatización).

3. CONCLUSIÓN

Se integra al cálculo de carga eléctrica total las características de operación de técnicas de control y automatización, para ser evaluadas y comparadas entre sí. En general, esto permite establecer nuevos criterios de diseño para URE de los sistemas de iluminación y climatización en recintos presentes en campus universitarios.

Se desarrolla un método de integración para el cálculo de la carga eléctrica total de un recinto, a partir de dos sistemas de cálculo de carga, uno de iluminación y otro de refrigeración, mediante el ajuste de base de cálculo, la cual se transforma

de una base de cálculo energético instantáneo a una base horaria.

De igual forma la integración posibilita tener en cuenta los efectos en el cálculo de la carga eléctrica total relacionados con las condiciones climáticas, el perfil de ocupación, las dimensiones, características de puertas y ventanas, junto al tipo de recinto que va a ser evaluado. Esto facilita el análisis de sensibilidad de cada factor asociado al resinto.

Según los parámetros requeridos para la evaluación del método, se obtuvo que los requisitos de mayor persistencia son los siguientes, enumerados de mayor a menor recurrencia: Tipo de recinto, Perfil de ocupación, Temperatura ambiente y de trabajo y actividad a realizar de las personas en el recinto.

REFERENCIAS

- Asociación Española de Normalización y Certificación. Ediciencia Energética de los Edificios Requisitos Energéticos para la Iluminación UNE-EN 15193 (2007). España: 91.140.99.
- Balbis, M., García, F., Cabello, J., & Sousa, V. (2018). Caracterización Energética Del Funcionamiento De Un Equipo De Aire Acondicionado En Un Local Dado. *Revista Colombiana De Tecnologías De Avanzada (Rcta)*, 2(32). <https://doi.org/10.24054/16927257.v32.n32.2018.3030>
- Camargo, E., Coronel, C., & Calderón, M. (2017). Hogar Inteligente Por Control De Voz Usando Redes Neuronales. *Revista Colombiana De Tecnologías De Avanzada (Rcta)*, 1(25), 16–20. <https://doi.org/10.24054/16927257.v25.n25.2015.2366>
- Chen, C., Cook, D. J., & Crandall, A. S. (2013). The user side of sustainability: Modeling behavior and energy usage in the home. *Pervasive and Mobile Computing*, 9(1), 161–175. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2012.10.004>
- Dounis, A. I., & Caraiscos, C. (2009). Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6–7), 1246–1261. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.015>
- Hong, T. (2009). A close look at the China Design Standard for Energy Efficiency of Public Buildings. *Energy and Buildings*, 41(4), 426–435. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.11.003>
- Imran, A. M., Almusawi, K., & Mahdi, J. A. (2020). Experimental and Theoretical Investigation of Reducing Energy Consumption for a Building using Geothermal Water through the Glass. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 671(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/671/1/012020>
- International Energy Agency. (2011). *World Energy Outlook*. (IEA International Energy Agency, Ed.) (ilustrada). Paris: IEA Publications.
- Leal, F., & Hernandez, M. (2013). Estudio Del Potencial Eólico Y Solar De Cúcuta, Norte De Santander. *Revista Colombiana De Tecnologías De Avanzada (Rcta)*, 2(22). <https://doi.org/10.24054/16927257.v22.n22.2013.407>
- Miranda, Á. L. (2010). *Técnicas de Climatización 3a*. Marcombo.
- Romero Morales, C., Castro Lozano, C. de, & Vazquez Serrano, F. (2007). *DOMOTICA E INMOTICA : VIVIENDAS Y EDIFICIOS INTELIGENTES* (2nd ed.). Mexico: ALFAOMEGA.
- Schneider Electric, & O'Mara, M. (2012). Why invest in high-performance green buildings ? North Andover.
- Wang, Y. N., & Su, Y. R. (2008). Evaluation system to the sustainable development of human resource based on entropy method. *Automation and Logistics, 2008. ICAL 2008. IEEE International Conference On*. <https://doi.org/10.1109/ICAL.2008.4636615>
- Yang, R., & Wang, L. (2013). Development of multi-agent system for building energy and comfort management based on occupant behaviors. *Energy and Buildings*, 56, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.10.025>