



TRABAJO TEÓRICO-EXPERIMENTAL

Eficiencia energética en edificios de oficinas mediante tecnología de iluminación LED y parque solar FV

Energy efficiency in office buildings using LED lighting and PV solar technologies

Lisan Siverio Valle¹, Diego A. Quintero Cabrera², Ernesto Yoel Fariñas Wong^{3,*}

¹Empresa de Proyectos e Ingeniería, La Habana, Cuba.

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

³Universidad Central "Martha Abreu" de las Villas, UCLV, Cuba.

*Autor de correspondencia: farinas@uclv.edu.cu

Recibido: 2 de febrero de 2021 Aprobado: 4 de mayo de 2021

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

RESUMEN/ABSTRACT

La investigación realizada expone los resultados obtenidos en la sustitución del sistema de iluminación de un edificio público de oficinas, por tecnologías más eficientes, además de la incorporación de un parque solar fotovoltaico que tribute al inmueble la energía que genera mediante fuentes renovables. Tiene como objetivo valorar la sustitución de los sistemas actuales existentes en el edificio que son altos consumidores de energía eléctrica, por tecnologías eficientes en la utilización de los portadores energéticos para disminuir el consumo de electricidad del edificio. Para ellos se utilizaron métodos teóricos como el análisis y síntesis de la información y el histórico-lógico, así como métodos empíricos como la estadística descriptiva, la revisión bibliográfica y documental actualizada sobre eficiencia energética en edificaciones. Con las propuestas de sustitución de tecnologías se demostró que es posible lograr la disminución en el consumo de electricidad en el inmueble de un 17% respecto al consumo actual.

Palabras clave: eficiencia energética, energía eléctrica, fuentes renovables de energía.

This article presents the results obtained in the replacement of the lighting system of a public office building with more efficient technologies, in addition to the incorporation of a photovoltaic solar park that contributes to generate some of the energy by renewable sources. Its objective is to assess the replacement of the current existing systems in the building that are high consumers of electricity, by efficient technologies in the use of energy to reduce the electricity consumption of the building. For them, theoretical methods such as the analysis and synthesis of the information and the historical-logical, as well as empirical methods such as descriptive statistics, as well as the updated bibliographic and documentary review on energy efficiency in buildings were used. With the proposals to changing technologies, it was demonstrated that it is possible to achieve a reduction in the electricity consumption of the property by 17% compared to current consumption.

Keywords: Energy efficiency, electricity, renewable energy sources.

INTRODUCCIÓN

Científicos han determinado que la atmosfera terrestre está cambiando como resultado de las emisiones de gases de efecto invernadero que atrapan el calor en la atmosfera. Se estima que un cambio global en los patrones climáticos del planeta, como un aumento de la temperatura comparado a niveles preindustriales, conduzcan a derretir los casquetes polares y con ello aumentar el nivel del mar, inundar zonas costeras y contaminar fuentes de agua potable [1].

Cómo citar este artículo:

Lisan Siverio Valle, *et al.* Eficiencia energética en edificios de oficinas mediante tecnología de iluminación LED y parque solar FV. 2021, vol. 42, n. 2, mayo/agosto. ISSN:1815-5901.

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

Todo esto unido a una creciente demanda de las limitadas reservas de combustibles fósiles trae consigo que cada vez más se apueste por un futuro energéticamente sostenible, eficiente, basado en los combustibles alternativos y la energía renovable. La energía es un pilar de una sociedad industrial. A medida que la población del mundo aumenta y las personas se esfuerzan por un nivel de vida más alto, la cantidad de energía necesaria para sostener nuestra sociedad es cada vez mayor. Al mismo tiempo, la disponibilidad de fuentes no renovables, en particular los combustibles líquidos, se está reduciendo rápidamente. Por lo tanto, existe un acuerdo general de que, para evitar una crisis energética, la cantidad de energía necesaria para mantener la sociedad tendrá que estar contenida y, en la medida de lo posible, deberán ser usadas las fuentes renovables [2]. Cuba está sumergida en una revolución energética iniciada en el año 2005 que tiene como objetivo el consumo eficiente de los portadores energéticos, para combatir la dependencia de combustible importado y lograr en cierta medida una soberanía energética, puesto que existe una alta dependencia de los combustibles importados para generar energía eléctrica. Actualmente se trabaja en la transformación de la matriz energética cubana donde se estableció incrementar hasta un 24% la participación de las fuentes renovables de energía (FRE) con fecha tope en 2030. Para ello se elaboró un programa que incluye la instalación de: 755 MW en 19 bioeléctricas mediante la biomasa; 633 MW eólicos distribuidos en 13 campos eólicos en el oriente y centro del país; 700 MW de solar fotovoltaica distribuidos en todo el país; 56 MW en 74 pequeñas centrales hidroeléctricas; además de la instalación de calentadores solares de agua; construcción de plantas de biogás que utilicen los desechos porcinos, vacunos, de la industria alimentaria entre otros para la producción de biogás; y el uso de biomasa forestal [3].

Por otro lado, se están aplicando decretos ley y resoluciones, como la Gaceta Oficial de la República de Cuba, en su número 95 del 28 de noviembre de 2019, así como normativas para la eficiencia energética y energía renovables a las edificaciones, tanto existentes como de nueva construcción, para disminuir los consumos energéticos de estos inmuebles, así como su huella de carbono gracias a la introducción de las energías alternativas.

Según la Comisión Europea [4], los edificios son responsables de alrededor del 40 % del consumo de energía y del 36 % de las emisiones de CO₂ en la Unión Europea. La legislación europea persigue conseguir una reducción significativa del consumo de energía de los edificios, ayudando así a combatir el calentamiento del planeta, y consolidar la seguridad energética de la Unión Europea. Para ello se ha implementado la emisión de una etiqueta de certificación energética que consiste en expresar "a través de varios indicadores que permiten explicar las razones de un buen o mal comportamiento energético del edificio y proporcionan información útil sobre los aspectos a tener en cuenta a la hora de proponer recomendaciones que mejoren dicho comportamiento. Estos indicadores, en base anual y referidos a la unidad de superficie útil del edificio, se obtendrán de la energía consumida por el edificio para satisfacer, en unas condiciones climáticas determinadas, las necesidades asociadas a unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación, que incluirá la energía consumida en: calefacción, refrigeración, ventilación, producción de agua caliente sanitaria y, en su caso, iluminación; a fin de mantener las condiciones de confort térmico y lumínico así como la calidad del aire interior. Los indicadores principales o globales de eficiencia energética son: las emisiones anuales de CO₂ y el consumo anual de energía primaria no renovable." [5].

El caso de estudio es un edificio de 20 niveles donde la mayoría de los mismos están destinados a oficinas, por ello su principal consumo de portadores energéticos es la electricidad, con un promedio anual de 219,7 MWh/mes de consumo y llegando a picos de 265,3 MWh/mes de consumo para los meses de verano. El inmueble se encuentra ubicado en el municipio Plaza, en La Habana, Cuba, y fue construido en la década del 80 del siglo pasado contando con más de 30 años de explotación y sin que se le hayan realizado actualizaciones significativas a los sistemas que consumen energía eléctrica. Por ello se ha estimado realizarle una revisión, evaluación y actualización de las tecnologías de iluminación y la implementación de un parque solar FV sobre cubierta, que le permitan un ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica, además de la generación de electricidad mediante fuentes renovables, según las normas y disposiciones cubanas actuales [6, 7] y la normativa internacional [8]. Fernández, J.C [9], afirma que la iluminación es un apartado que representa un elevado consumo eléctrico dentro del sector, dependiendo este porcentaje del tamaño del edificio, de las instalaciones complementarias y del clima de la zona donde esté ubicado el consumo puede oscilar en torno a un 20%. Es por ello que cualquier medida de ahorro energético en iluminación tendrá una repercusión importante en los costes. Los tubos LED (acrónimo inglés para Diodo Emisor de Luz) son hasta un 66% (20W vs 58W) más eficientes que las lámparas fluorescentes, por lo que pueden ahorrar en costes de energía sin que se vea afectada la calidad de la iluminación.

La Empresa encargada de la explotación y mantenimiento del edificio se encuentra en medio de un proceso inversionista donde se proyecta aumentar la eficiencia energética del inmueble, mediante la sustitución del sistema de alumbrado existente, el cual se encuentra obsoleto tecnológicamente y la introducción del uso de las fuentes renovables de energía. Para ello se procedió a evaluar el estado actual de conservación de los elementos que componen el sistema de iluminación, así como el tipo de tecnología y las condiciones de explotación que demanda el edificio.

Además, se estudió la forma y ubicación del inmueble para identificar los posibles lugares donde acometer una inversión que permita generar energía limpia mediante fuentes renovables, puesto que según el Instituto Costarricense de Electricidad y Telecomunicaciones (ICE) el principal beneficio derivado de la utilización de la energía solar es la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente el CO₂, y además puede ser utilizada en entornos urbanos cerca de los puntos de consumo, lo que permite reducir los impactos negativos asociados a las infraestructuras de transporte y distribución de energía, principalmente la eléctrica.

Es de marcado carácter internacional el uso de módulos solares fotovoltaicos tanto para sistemas aislados como para sistemas de autoconsumo, este último con mayor difusión en las ciudades puesto que la tecnología actual permite utilizar primeramente la energía generada por las fuentes renovables y el resto de las necesidades energéticas serán suplidas por la red eléctrica convencional. Realizada dicha evaluación previa se procedió al estudio del sistema de alumbrado donde se propone su sustitución por tecnologías más eficientes en el consumo energético, además se presenta una propuesta de un parque solar fotovoltaico en la cubierta del edificio como un sistema de autoconsumo conectado a la red, para generar parte de la energía que se demanda mediante fuentes renovables y contribuir así con la política energética actual del estado cubano según la Gaceta Oficial de la República de Cuba, en su número 95 del 28 de noviembre de 2019. Finalmente, las propuestas son analizadas técnica y financieramente y se exponen las mejoras que traería realizar la inversión mediante los ahorros que se prevén tanto energéticos, como monetarios y sus ventajas medioambientales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los métodos teóricos empleados fueron el análisis y síntesis de la información del estado actual en el mundo y en Cuba en temas de eficiencia energética y el uso de fuentes renovables de energía en edificaciones, así como del contexto actual y la proyección en Cuba para estos temas incluyendo las normativas nacionales e internacionales sobre estos temas [7, 8 y 10]; el histórico-lógico se utilizó para analizar el consumo histórico de los portadores energéticos en el edificio obtenidos en los recibos de las facturas de la empresa eléctrica, en este caso la electricidad, lo que estableció un punto de partida y permitió evaluar las acciones propuestas. Para el caso del cálculo del parque solar fotovoltaico se utilizó el modelo de comportamiento anual descrito en [11], y tomando como referencia la disponibilidad real de espacio para colocar dicha instalación fotovoltaica calculada mediante el software SOLARPE PRO 2.2. Como métodos empíricos se utilizaron la estadística descriptiva para valorar los costos y beneficios de las propuestas de sustitución de tecnologías, además de la revisión bibliográfica y documental sobre modelos de diagnóstico energético, manuales de eficiencia energética y uso de fuentes renovables de energía para edificaciones públicas y edificios de oficinas [12-14].

REFERENCIAS Y MODELOS UTILIZADOS

Para la realización de este estudio se tomaron como referencia comparativa los registros expuestos en las facturas emitidas por la empresa eléctrica para el cobro del servicio eléctrico del inmueble. En la figura 1, se muestra el consumo de electricidad durante un año típico y su distribución mensual del edificio.

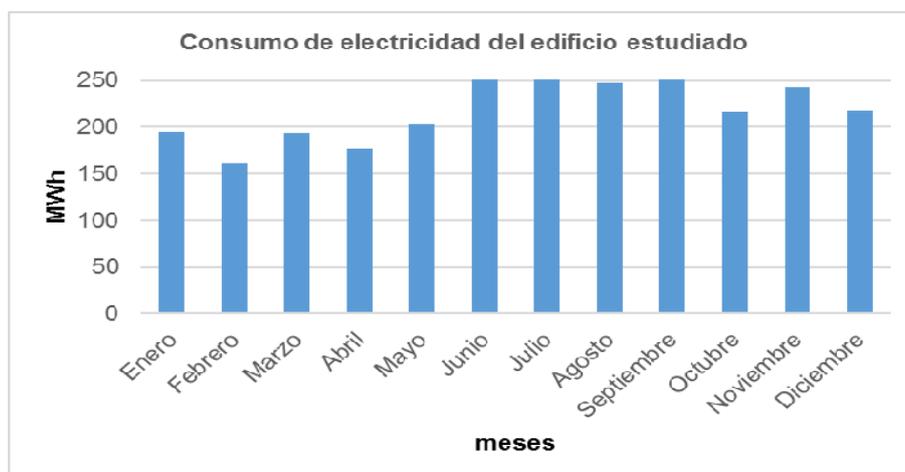


Fig. 1. Consumo de electricidad del edificio durante un año típico. Fuente: (Autores, 2019).

Como se puede observar en el gráfico anterior, el consumo de electricidad en el edificio muestra un valor promedio mensual de 219,7 MWh/mes con valores diarios promedios de 8,3 MWh/día, llegando a ocurrir picos de consumo diario de 10,2 MWh/día en los meses de verano. Como referencia, para el caso de la iluminación, se utilizó la tabla 1, donde se muestra el porcentaje de ahorro aproximado que se puede conseguir por sustitución de lámparas por otras más eficientes, [12], estima que podrían lograrse reducciones de entre el 20% y el 65% en el consumo eléctrico de alumbrado, merced a la utilización de componentes más eficaces, al empleo de sistemas de control y a la integración de la luz natural.

Tabla 1. Ahorro energético estimado por sustitución de lámparas. Fuente: [9]

Alumbrado interior		
Sustitución de:	Por:	% de ahorro.
Incandescencia	Fluorescente Compacta	76 %
Incandescencia	LED	85 %
Halógena Convencional	Fluorescente Compacta	74 %
Halógena Convencional	LED	85 %
Fluorescente Compacta	LED	35 %
Fluorescente Convencional	LED	55 %

Sistema de alumbrado, sustitución del existente por tecnología LED

En datos obtenidos por la empresa administradora del inmueble se ha podido establecer que el edificio cuenta con unas 7 000 lámparas, en levantamiento realizado por los autores se comprobó que el sistema de iluminación estaba constituido por lámparas fluorescentes T8 de 120 cm de 36 Watts de potencia con tecnología de balastro electrónico con un factor de potencia de 0,88 según fabricante, por lo que se propone sustituir estas por lámparas del tipo LED T8 de 120 cm de 18 Watts con un factor de potencia $\geq 0,95$ según fabricante. Para realizar esta propuesta los autores han tenido una serie de consideraciones dado el tamaño del inmueble, su utilización, el tipo de tecnología existente en el mismo, las tecnologías propuestas para este tipo de edificios y su aplicación y repercusión en el edificio estudiado, estas son:

- **Ahorro en la inversión inicial:** Sustituir solo las lámparas fluorescentes por sus homólogas de tecnología LED evitaría un incremento de la inversión por la compra de nuevas luminarias.
- **Contención de gastos extras:** La compra de nuevas luminarias puede acarrear un problema de montaje con el falso techo existente debido a la posible diferencia de dimensiones entre las luminarias antiguas y las nuevas, lo que conllevaría a gastos extras para sustituir parte del falso techo.
- **Ahorro de tiempo:** Utilizar la misma distribución de luminarias que ha sido calculada y diseñada con la construcción original del inmueble, así como su seccionalización según las dimensiones de cada local, evitaría el rediseño de todos los locales del edificio con y con ello los posibles gastos de demorar la ejecución del proyecto.
- **Mantenimiento:** La propuesta se basa en mantener la intercambiabilidad de las lámparas en un edificio de tales dimensiones, de introducir varios tipos de tecnología se encarecería el mantenimiento y la adquisición de repuestos en el tiempo dado que las tecnologías pueden caer en obsolescencia.

Además, la tecnología LED tiene grandes ventajas respecto a la tecnología fluorescente que existe en el inmueble, tales como:

- **Menor consumo:** Se reduce el consumo en más de un 50% ya que se propone sustituir las lámparas fluorescentes de 36 W por lámparas LED de 18 Watts de potencia, además, la tecnología LED no necesita elementos auxiliares como balastos o arrancadores los cuales incrementan el consumo total de la luminaria.
- **Mayor duración:** Para el caso de las lámparas LED seleccionadas la vida útil estimada según fabricantes es de 50 000 horas, en comparación con la tecnología fluorescente que se estima en alrededor de 10 000 horas. Para el caso del edificio se estima una vida útil de las lámparas LED de más de 20 años según el régimen de trabajo establecido de 9 horas diarias de trabajo, en comparación con las fluorescentes que solo duran algo más de 4 años.
- **Salud y medio ambiente:** Las lámparas fluorescentes están compuestas por sustancias como fósforo y vapor de mercurio, los cuales pueden liberarse con la ruptura de la cubierta de vidrio. Las lámparas LED no contienen gases nocivos ni emiten radiación ultravioleta ya que para su funcionamiento solo precisan componentes electrónicos, además son más resistentes y reciclables gracias a la cubierta protectora de aluminio y plástico.

Dada las ventajas y posibilidades de llevar adelante la propuesta de modernización del sistema de alumbrado del edificio, los autores consideran viable la sustitución de las lámparas existentes por tecnología LED, permitiendo un ahorro energético importante teniendo en consideración el tamaño de la instalación, que puede combinarse con sistemas de detección de presencia para ciertas áreas del edificio donde la ocupación sea de forma irregular, ejemplo áreas comunes. Además, posibilitaría ahorros colaterales por concepto de mantenimiento dada la vida útil de las lámparas LED.

Implementación de detectores de presencia y movimiento en áreas comunes y baños

En conjunto con la sustitución de luminarias por tecnología LED, se propone la incorporación de detectores de presencia y movimiento en áreas comunes y baños, con el fin de reducir el consumo energético en estas áreas dado que no estarán ocupadas el 100% del tiempo durante la jornada laboral. [9] sostiene que la tecnología LED ya ofrece un potencial considerable de ahorro energético en comparación con lámparas fluorescente T5 y T8 (son las que habitualmente se utilizan en oficinas) permitiendo ahorros superiores al 50%. Además, si se combina la tecnología LED con sistemas inteligentes de control se pueden incrementar aún más estos ahorros. El uso de la iluminación es posible limitarlo a donde realmente se necesita. Estos detectores tienen grandes ventajas para el entorno de oficinas tales como:

Ventajas de los detectores de presencia y movimiento.

- Solución adecuada para entornos de oficina.
- Aplicación inmediata en proyectos existentes y de remodelación.
- Vida útil en torno a los 10 años.
- Ahorro de energía entre un 30 y un 70% según zona de instalación.
- Fácil instalación.

Además, según [15], se hace referencia a que la utilización de estos detectores reduce el consumo eléctrico en las edificaciones de oficinas entre un 30 - 80% para pasillos y entre un 47-70% para baños. Este tipo de elementos son regulables en función de las necesidades del operador, ya sean para pasillos, oficinas o baños, figura 2, además, son de fácil instalación y se aplican tanto en obras nuevas como en remodelaciones.

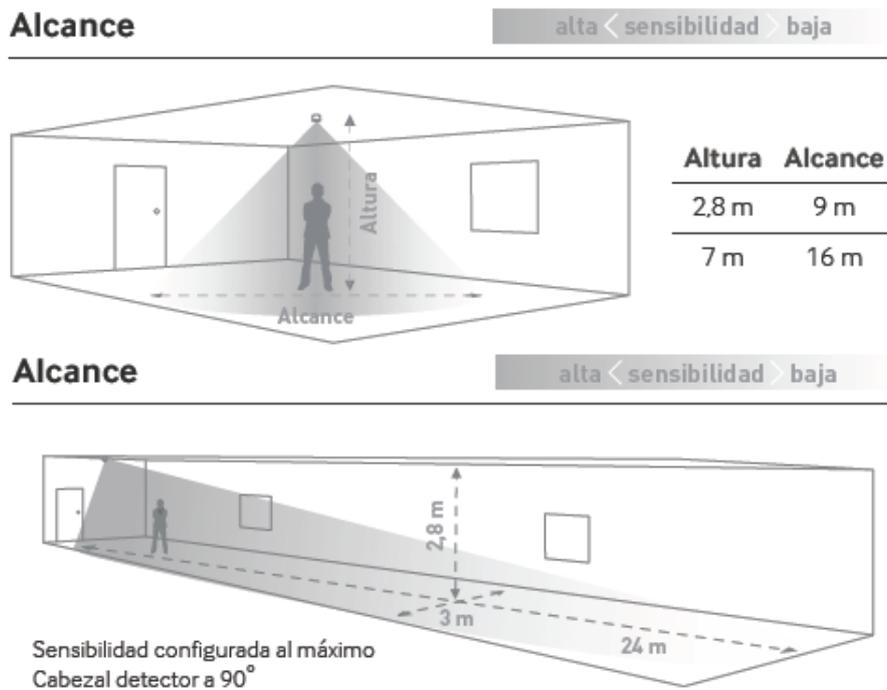


Fig. 2. Ejemplo de instalación de detectores de presencia en diferentes áreas. Fuente: [16].

Estos detectores en su conjunto actuarían sobre unas 540 lámparas en las áreas anteriormente mencionadas como se muestra en la figura 3, resaltado las áreas donde se proponen instalar. En el resto de las áreas no se proponen pues cada oficina tiene uno o varios interruptores independientes para su iluminación, permitiendo apagar las luces cuando no se esté utilizando el local, en el caso del recibidor no se propone pues este siempre se encuentra ocupado por una recepcionista asignada a cada piso. Este tipo de detectores resulta muy conveniente a utilizar en el edificio que se estudia dada su distribución arquitectónica interior, debido a que el mismo cuenta con pasillos interiores largos situados a ambos lados del recibidor, el cual da acceso al lobby de ascensores y este al área de servicios. Esta distribución es común para los 18 pisos de oficinas lo cual puede ser replicado en todos ellos acortando los tiempos de montaje e instalación. Para el estudio se propone la implementación de detectores de presencia en los pasillos, el lobby de ascensores, el área de servicios, los baños y las escaleras, por lo que cada piso contaría con 8 detectores de los presentados en la figura 2, para un total de 160 detectores repartidos por los 18 pisos del edificio.

La iluminación de cada uno de los lugares propuestos para la instalación de los detectores de presencia y movimiento, al igual que el resto de los locales del edificio, esta seccionalizada y comandada mediante interruptores independientes, lo que permite que cada sensor solo actúe sobre las lámparas comprendidas en cada área resaltada en la figura 3.

Una vez realizadas las propuestas de ahorro energético en el alumbrado del edificio mediante la eficiencia energética de la tecnología seleccionada, se propone que el edificio genere parte de la energía que consume mediante fuentes renovables, disminuyendo así la dependencia energética a base de combustibles fósiles. Esta medida viene en concordancia con la política del estado de incrementar la utilización de las fuentes renovables para la generación energética en el país.

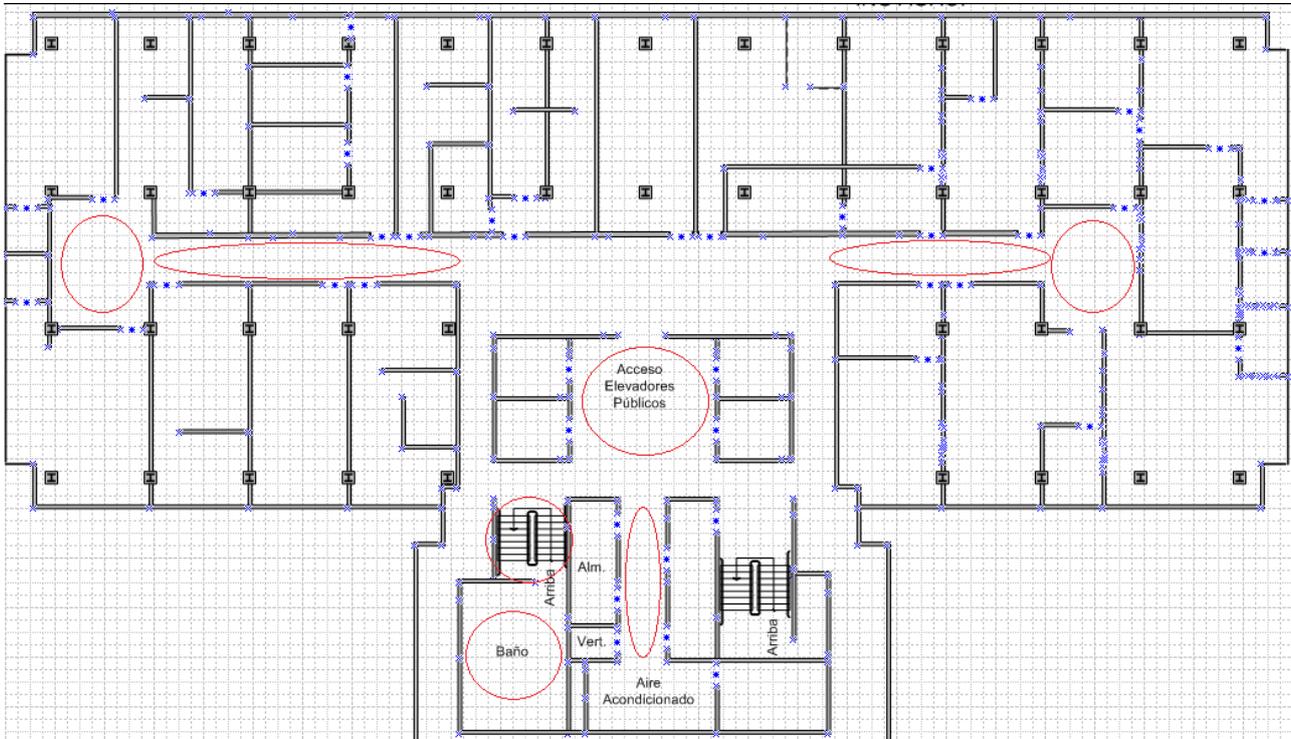


Fig. 3. Esquema de planta típico para los pisos de oficinas del edificio. Fuente: (Autores, 2019).

Parque solar fotovoltaico sobre la cubierta del edificio

Se valora la instalación de un parque solar fotovoltaico sobre cubierta del edificio, que genere parte de la energía eléctrica que se consume en el edificio. Para ello se seleccionó el área enmarcada en azul de la azotea del bloque anexo al edificio principal de oficinas, figura 4, esta edificación está localizada al sur del complejo lo que permite que exista una exposición al sol ininterrumpida durante todo el año, dado que el edificio principal, que es de mayor altura, no le genera sombra por su posición al norte de la instalación. Otras consideraciones que se tuvieron presentes fue el área disponible y la altura construida, este bloque cuenta con un área despejada de azotea mayor a la del edificio principal, permitiendo la posibilidad de incrementar el número de módulos y con ello aumentar el tamaño total de la instalación FV.

Además, en este bloque se localiza la pizarra de distribución del complejo donde será conectada la instalación fotovoltaica, y añadiendo a esto la baja altura que tiene, resulta en una ventaja adicional al momento del cableado pues reduce la distancia del parque FV a la pizarra de conexión y con ello las pérdidas energéticas asociadas. Se propone que la instalación FV sea de autoconsumo, dado que la relación entre el área disponible para el montaje del parque solar fotovoltaico y con ello la producción energética, es muy baja relativo al consumo del edificio. La instalación contará con un metrocontador bidireccional proporcionado por la Empresa Eléctrica, que permita medir, tanto la energía consumida, como la entregada a la red, de existir el caso.



Fig. 4. Imagen satelital del edificio "caso de estudio", resaltado las áreas destinadas al parque solar fotovoltaico. Fuente: (SAS Planet y autores, 2019).

Una vez identificada el área para la instalación del parque solar fotovoltaico, enmarcada en azul en la figura 4, se procede al cálculo y dimensionamiento de la instalación, y con ello su análisis económico y ecológico, que demostrará si es viable ejecutar esta inversión.

Cálculo de la instalación fotovoltaica

Para el cálculo de la instalación fotovoltaica se utilizó la metodología del modelo de comportamiento anual dado que: "este modelo es adecuado cuando se posee un mínimo de información" [11] y la producción anual estimada de energía se calculó a partir de los datos de radiación solar disponibles en la base de datos de la NASA [17], tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de irradiación solar para La Habana. Fuente: [17]

Parámetros para dimensionar aplicaciones de solar térmica y solar fotovoltaica													
Promedio mensual de la insolación incidente sobre una superficie horizontal (kWh/m ² /día)													
Latitud: 23,13 Longitud: -82,38	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio Anual
Promedio: 22 años	4.09	5.03	6.03	7.01	7.14	6.82	7.05	6.78	5.90	5.05	4.24	3.77	5.74

El módulo fotovoltaico seleccionado fue el DSM-250, de 250 Wp de potencia, ensamblado y disponible en el país. "Si se considera que el sistema fotovoltaico puede tener una eficiencia interna del 67,3%" [11] y tomando la eficiencia del módulo fotovoltaico seleccionado de 15,39%, según catálogo [11], tendremos como eficiencia de conversión total o integral: vea ecuación (1).

$$\eta = (0,673)(0,1539) = 0,1036 \quad (1)$$

Por tanto, la eficiencia total del sistema es de 10,36%

Entonces este sistema podrá aprovechar o convertir en energía eléctrica: vea ecuación (2).

$$E = (0,1036)(5,74kWh / m^2 día) = 0,595kWh / m^2 día \quad (2)$$

En mediciones realizadas durante esta investigación, se calculó un área de cubierta aprovechable de aproximadamente 1 000 m², donde se propone el montaje de la instalación, a esta área se le debe restar el espacio necesario entre los paneles y el pretil de la azotea del edificio, además de las áreas destinadas a pasillo entre cada fila de paneles para evitar la proyección sombras sobre los módulos. Mediante el *software SOLARPE PRO* se calculó que la distancia mínima necesaria entre paneles debe ser de 2,03 m, tomando como referencia la latitud donde será instalado el parque solar fotovoltaico y con una inclinación de los módulos de 15° según estudios previos [18], y para el día 21 de diciembre que es el solsticio de invierno y donde el sol está más bajo por lo que las sombras que proyectan los módulos son mayores.

En este cálculo obtuvo como resultado que es viable colocar 400 módulos, dado que cada módulo ocupa un área de 1,623 m² y respetando la separación mínima entre paneles calculada anteriormente. Ver figura 5.

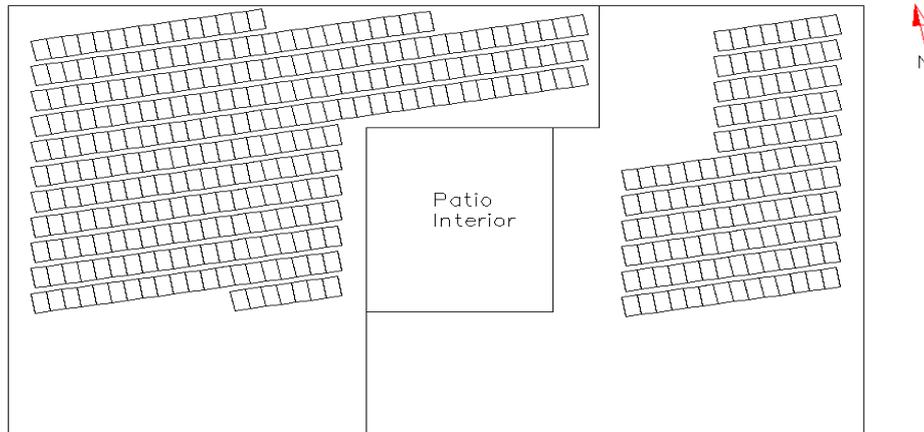


Fig. 5. Propuesta de distribución de los paneles del parque solar fotovoltaico. Fuente: (Autores, 2019)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de lo expuesto en epígrafes anteriores, se analizaron económicamente las propuestas de mejoras tecnológicas. Para los cálculos económicos se utilizaron como referencia los valores en USD del costo de generación y distribución de energía eléctrica en Cuba según lo difundido en el programa Mesa redonda: Presente y futuro de la Energía Eléctrica en Cuba, emitido por el canal CUBAVISION de la Televisión Cubana el día 12 de agosto de 2004, en el caso de los equipos se utilizaron los precios de referencia internacionales dado por los fabricantes. [15]

Análisis económico de la propuesta. Tecnología LED.

Se tomó en consideración el precio de referencia de compra de cada una de las 7000 lámparas a sustituir en el edificio, el resto de las erogaciones corre por parte de la Empresa de Aseguramiento y Servicios (EAS) que es la entidad administradora del inmueble, incluyendo los gastos del recableado de las luminarias y el montaje de las lámparas, que se realizará con la propia brigada de mantenimiento del edificio. Además, se utilizarán las antiguas luminarias desconectando el balastro electrónico, esto tiene como ahorro la compra de luminarias nuevas.

Con la implementación de esta tecnología se logran ahorrar unos 294 840 kWh/año, se dejan de consumir 84,7 toneladas de combustible y se dejan de emitir aproximadamente 332 toneladas de CO₂ a la atmósfera cada año. La inversión asciende a unos 36 000,00 USD y se recupera en 6 meses aproximadamente solo con el ahorro de divisas por concepto de gastos para generar electricidad, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3: Resultados esperados con la implementación de la propuesta tecnología LED. Fuente: (Autores, 2019)

Propuesta tecnológica	Inversión estimada (USD)	Ahorro o producción de Energía Eléctrica (kWh)		Ahorro de Combustibles Fósiles (t)		Ahorro por generación de Electricidad (USD)		CO ₂ dejado de emitir a la atmósfera (t)		Ahorro de energía del total
		Año 1	* Vida útil	Año 1	* Vida útil	Año 1	* Vida útil	Año 1	* Vida útil	%
Luminarias	36.000,0	294.840,0	5.896.800,0	84,7	1.693,6	70.761,6	1.415.232,0	332,3	6.645,7	11,2

Análisis económico de la propuesta. Detectores de presencia y movimiento.

Para el análisis económico, como en el epígrafe 3.1.2, solo se tomó en consideración el precio de referencia de compra de los 160 detectores de presencia y movimiento en Internet, el resto de las erogaciones corre por parte de la empresa EAS, incluyendo el montaje de los mismos con la brigada de mantenimiento del edificio.

Con la implementación de esta tecnología se logran ahorrar unos 18 500 kWh/año, se dejan de consumir 5,3 toneladas de combustible y se dejan de emitir aproximadamente 21 toneladas de CO₂ a la atmósfera cada año. La inversión asciende a unos 2 000,00 USD y se recupera en menos de 6 meses solo con el ahorro de divisas por concepto de gastos de importación de combustible para generación y distribución de electricidad por el Sistema Electroenergético Nacional (SEN). Tabla 4.

Tabla 4: Resultados esperados con la implementación de la propuesta detectores de presencia y movimiento.

Fuente: (Autores, 2019)

Propuesta tecnológica	Inversión estimada (USD)	Ahorro o producción de Energía Eléctrica (kWh)		Ahorro de Combustibles Fósiles (t)		Ahorro por generación de Electricidad (USD)		CO ₂ dejado de emitir a la atmósfera (t)		Ahorro de energía del total
		Año 1	* Vida útil	Año 1	* Vida útil	Año 1	* Vida útil	Año 1	* Vida útil	%
Detectores	2.000,0	18.509,4	185.094,0	5,3	53,2	4.442,3	44.422,6	20,9	208,6	0,7

Análisis económico de la propuesta. Instalación Solar Fotovoltaica

Con la implementación de esta tecnología se logran generar unos 141,0 MWh/año, se dejan de consumir 40,5 toneladas de combustible y se dejan de emitir aproximadamente 159 toneladas de CO₂ a la atmósfera cada año. Esto significa un ahorro a la economía nacional de 857 812,00 USD y de 3 525,3 MWh de electricidad que será suministrada directamente, en casi su totalidad, al edificio durante la vida útil de la instalación. La inversión asciende a aproximadamente unos 200 000,00 USD según [19] y se recupera en menos de 6 años solo con el ahorro de divisas por concepto de gastos de importación de combustible para generación y distribución de electricidad por el Sistema Electroenergético Nacional (SEN). Tabla 5.

Tabla 5: Resultados esperados con la implementación de la propuesta instalación solar fotovoltaica.

Fuente: (Autores, 2019)

Propuesta tecnológica	Inversión estimada (USD)	Ahorro o producción de Energía Eléctrica (kWh)		Ahorro de Combustibles Fósiles (t)		Ahorro por generación de Electricidad (USD)		CO ₂ dejado de emitir a la atmósfera (t)		Ahorro de energía del total
		Año 1	* Vida útil	Año 1	* Vida útil	Año 1	* Vida útil	Año 1	* Vida útil	%
Parque FV	200.000,0	141.013,8	3.525.345,6	40,5	1.012,5	33.843,3	846.082,9	158,9	3.973,1	5,3

Resultados económicos y ecológicos de las propuestas

La inversión total para la adquisición e implementación de las propuestas tecnológicas anteriores expuestas asciende a 238 000,00 USD, durante la vida útil del equipamiento se dejarían de consumir 2 759,2 toneladas de combustible y se evitaría emitir a la atmósfera 10 827,4 toneladas de CO₂. Esto se convierte en un ahorro la economía nacional de 2 305 737,50 USD por concepto de gastos asociados para generar más de 9 600 MWh de energía eléctrica. En la tabla 3, se presentan los resultados económicos y ecológicos esperados con la implementación de cada una de las propuestas tecnológicas. Tabla 6.

Tabla 6: Resultados esperados con la implementación de las propuestas tecnológicas. Fuente: (Autores, 2019)

Propuesta tecnológica	Inversión estimada (USD)	Ahorro o producción de Energía Eléctrica (kWh)		Ahorro de Combustibles Fósiles (t)		Ahorro por generación de Electricidad (USD)		CO ₂ dejado de emitir a la atmósfera (t)		Ahorro de energía del total
		Año 1	* Vida útil	Año 1	* Vida útil	Año 1	* Vida útil	Año 1	* Vida útil	%
Luminarias	36.000,0	294.840,0	5.896.800,0	84,7	1.693,6	70.761,6	1.415.232,0	332,3	6.645,7	11,2
Detectores	2.000,0	18.509,4	185.094,0	5,3	53,2	4.442,3	44.422,6	20,9	208,6	0,7
Parque FV	200.000,0	141.013,8	3.525.345,6	40,5	1.012,5	33.843,3	846.082,9	158,9	3.973,1	5,3
Total	238.000,0	454.363,2	9.607.239,6	130,5	2.759,2	109.047,2	2.305.737,5	512,1	10.827,4	17,2

Nota: *La vida útil varía según la propuesta tecnológica, para las luminarias se tomó de 20 años, para los detectores de presencia es de 10 años y para la instalación solar fotovoltaica de 25 años, todos los datos según fabricantes.

Análisis de iluminación y fuentes renovables de energía para edificios de oficinas

Como se pudo demostrar en el epígrafe 4.4, la implementación de este tipo de tecnologías en el ámbito de las oficinas resulta económicamente viable, por lo que puede generalizarse a otros edificios del país. Para ello es necesario realizar un estudio previo de cada inmueble, el cual permita identificar si es posible realizar este tipo de inversiones dada las características puntuales de cada instalación. Primeramente, se debe realizar un levantamiento del tipo de tecnología existente, la cantidad de elementos donde incidir, así como la explotación que tienen estos sistemas, lo que permitiría proponer la tecnología más adecuada a cada inmueble.

En el caso de la iluminación es necesario comprobar que el diseño existente cumple con la normativa vigente y permite que sea sustituido por tecnología de mayor eficiencia. Otra característica importante a tener en cuenta es la seccionalización de los circuitos de iluminación, que permita controlar la iluminación por secciones tales que se evite mantener lámparas encendidas innecesariamente. Para acometer la instalación de un parque solar fotovoltaico es necesario contar con la demanda energética del inmueble y el área disponible para su emplazamiento, permitiendo dimensionar correctamente el equipamiento en función de la demanda energética y las posibilidades reales de espacio óptimo utilizable, el cual, además, debe garantizar la menor distancia desde este hasta el punto de conexión donde se va utilizar y distribuir la energía.

CONCLUSIONES

- El ahorro de electricidad que se alcanzará por la introducción de estas tecnologías, de un 17,2% respecto al consumo actual, permitirá recuperar la inversión en 2,2 años, como muestra el epígrafe 3.4.
- Se generará un impacto ecológico positivo al evitar emitir a la atmósfera cientos de toneladas de CO₂ cada año, alcanzando más de 10 800 toneladas durante toda la vida útil de estas tecnologías.
- El impacto positivo esperado de las propuestas presentadas, demuestra la factibilidad de implementar medidas similares en otros edificios altos consumidores de energía eléctrica existentes en el resto del país, como un paso previo a la implementación de certificaciones energéticas.

REFERENCIAS

- [1] Canadian Industry Program for Energy Conservation. (2002). ``Energy Efficiency Planning and Management Guide. Natural Resources Canada``. Canada. ISBN 0-662-31457-3. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjhsfKx0NPwAhXpkOAKHRMFBUQFjABegQIAxAD&url=http%3A%2F%2Fwww.idc-online.com%2Ftechnical_references%2Fpdfs%2Felectrical_engineering%2FEnergy_Efficiency_Planning_and_Management_Guide.pdf&usg=AOvVaw2ycQkFUJjmxibHANKezZhZ
- [2] Kreith, F., Goswami, D.Y. ``Handbook of energy efficiency and renewable energy``. NY, EUA: Taylor & Francis Group. 2007. ISBN: 0-8493-1730-4. Disponible en: https://books.google.com/cu/books?hl=es&lr=&id=cxDNBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Handbook+of+energy+efficiency+and+renewable+energy&ots=DoSOKhssHo&sig=qve7uP4-VkbiYuHckbTgr4skNpY&redir_esc=y#v=onepage&q=Handbook%20of%20energy%20efficiency%20and%20renewable%20energy&f=false
- [3] UNE. ``La operación del sistema eléctrico cubano con la introducción de las fuentes renovables de energía``. En: Conferencia Internacional de Desarrollo Energético Sostenible. Matanzas: 2017. ISBN: 978-959-312-258-0.
- [4] European Commission. (2019). Energy performance of buildings directive. Recuperado de: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
- [5] Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja – IETcc-CSIC y de la Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía, AICIA. ``Calificación de la eficiencia energética de los edificios``. Noviembre 2015, p. 34. Disponible en: <https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/normativamodelosutilizacion/20151123-Calificacion-eficiencia-energetica-edificios.pdf>
- [6] NC. *Edificaciones – Requisitos de diseño para la eficiencia energética – Parte 2: Potencia eléctrica e iluminación artificial*. NC 220-2. 2da edición. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 2009. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjo8uiF9PwAhULQTABHYLTBYcQFjAAegQIAxAD&url=http%3A%2F%2Frepositorio.cict.umcc.cu%2Fvfm-admin%2Fvfm-downloader.php%3Fq%3DumVwb3NpdG9yaW8vSW5nZW5pZXIIQzMIQRhJTIwQ2I2aWwvTm9ybWFzJTlwY29tcGxldGFzJTlwcGFyYSUyMHNpdGlvJTlwV2ViJTlwZW4lMjBhZG1pbmlzdHJhZG9yJTlwJTl4UG93ZXJlZGdlJTl5L05DJTIwMjAwOS90OQyUyMDIyMC01LnBkZg%3D%3D%26h%3De9cb5a7087055b529737d9f5b6cddb2f&usg=AOvVaw3f-X2Ee9NbgqYMS2b_kYBC

- [7] NC. *Edificaciones – Requisitos de diseño para la eficiencia energética – Parte 5: Administración de energía*. NC 220-5. 2da edición. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 2009. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjo8uiF9PwAhULQTABHYLTBYcQFjAAegQIAxAD&url=http%3A%2F%2F repositorio.cict.umcc.cu%2Fvfm-admin%2Fvfm-downloader.php%3Fq%3DUMVwb3NpdG9yaW8vSW5nZW5pZXIIQzMIQRhJTIwQ2I2aWwvTm9ybWFzJTlwY29tcGxldGFzJTlwcGFyYSUyMHNpdGlvJTlwV2ViJTlWZW4lMjBhZG1pbmlzdHJhZG9yJTlWJTl4UG93ZXJlZGdlJTl5L05DJTIwMjAwOS90OQyUyMDIyMC01LnBkZg%3D%3D%26h%3De9cb5a7087055b529737d9f5b6cddb2f&usg=AOvVaw3f-X2Ee9NbgqYMS2b_kYBC
- [8] ISO. *Sistemas de gestión de la energía – Requisitos con orientación para su uso*. ISO 50001. 2da edición. Ginebra: Secretaría Central de ISO, 2018. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjqlqmmwNPwAhUuRjABHfcCBicQFjAAegQIAhAD&url=https%3A%2F%2Fwww.unionelectrica.cu%2Fwp-content%2Fuploads%2F2018%2F08%2F00-NC-ISO-50001.pdf&usg=AOvVaw0qucrj5eCDQqx6ebfw05zE>
- [9] Fernández, J.C., *et al.* ``Guía de ahorro y eficiencia energética en oficinas y despachos``. 2da edición. Comunidad de Madrid, España. Mares Ideas Publicitarias, S.L. 2017. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewiE3fzUu9PwAhXIQzABHVXXCIYQFjAAegQIAxAD&url=https%3A%2F%2Fwww.fenercom.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2017%2F04%2FGuia-de-Ahorro-y-Eficiencia-Energetica-en-Oficinas-y-Despachos-fenercom-2017.pdf&usg=AOvVaw3du-J7dUeEBkMNWODhh2E->
- [10] NC. *Reglamento Electrotécnico Cubano para instalaciones eléctricas en edificaciones*. NC 800: 2017. 2da edición. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 2017. ICS: 29.020. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewiuo6b-3vbwAhWgSzABHelkBucQFnoECAUQAA&url=https%3A%2F%2Fwww.cogitiss.es%2Fwp-content%2Fuploads%2F2018%2F09%2FREGLAMENTO-ELECTRoNICO-DE-BT-2002.pdf&usg=AOvVaw1Aex289o50pTve0Wa33YIf>
- [11] SARMIENTO, Antonio. *Energía Solar Fotovoltaica*. La Habana, 2018. ISBN: 978-959-237-551-2. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewiolK223_bwAhXhQjABHULkCecQFnoECAMQAA&url=https%3A%2F%2Fwww.imosver.com%2Fes%2Flibro%2Fenergia-solar-fotovoltaica_0010133642&usg=AOvVaw25xoT2-zgsg1Pc-p7FdqpX
- [12] Monserrat, S. ``Eficiencia energética en edificios residenciales y metodología para su calificación energética``. Tesis de maestría. Universidad de Barcelona – Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. 2012. Disponible en: <https://core.ac.uk/reader/41806890>
- [13] Montero, S., *et al.* ``Eficiencia energética de Edificios Residenciales``. España, Barcelona. 2009. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewj449OxsdPwAhU8RjABHR5NB4YQFjAAegQIAhAD&url=https%3A%2F%2Fwww.ccoc.cat%2Ffinnocons%2F99_pdf%2Fgp5.pdf&usg=AOvVaw2-LcXlkfmTQalD7UI29Kj-
- [14] Pulido, S. ``Certificación energética de edificios``. (Tesis de pregrado). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. 2012. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewi2oaHXydPwAhXCSDABHekCD4YQFjAAegQIAxAD&url=http%3A%2F%2Foa.upm.es%2F14006%2F1%2FFPFC_SERGIO_PULIDO_MARTIN.pdf&usg=AOvVaw33j1Z11sNUpHR9X_q9is7k
- [15] E.U. Instalaciones S.L. ``Los detectores de presencia: comodidad y ahorro al mismo tiempo. Disponible en: <http://www.euinstalaciones.es/los-detectores-de-presencia-comodidad-y-ahorro-al-mismo-tiempo/>
- [16] Legrand Group. ``Detectores de movimiento y presencia``. Catálogo técnico. 2018. Disponible en: <http://www.legrand.es/documentos/Catalogo-Tecnico-Detectores-de-Movimiento-CP-Legrand.pdf>
- [17]. *NASA Surface meteorology and Solar Energy La Habana – Available Tables*. Recuperado de: <https://earthdata.nasa.gov/eosdis/daacs/asdc>
- [18] Castillo, O. y Sarmiento, A. ``Influencia combinada del espaciamiento y la inclinación de módulos en generación fotovoltaica``. Revista Cubana de Ingeniería, vol. 8, n. 2, p. 29-34. 2017. Disponible en: <https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/639/0>
- [19] STOLIK, Daniel. ``La energía FV: oportunidad y necesidad para Cuba``. 2014. Econ. y Desarrollo, vol 152, núm. 2. ISSN: 0252-8584. Recuperado de: <http://scielo.sld.cu/scielo.php>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Lisan Siverio Valle: <https://orcid.org/0000-0002-2215-193X>

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

Diego A. Quintero Cabrera. <https://orcid.org/0000-0001-6576-5627>

Participó en el análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

Ernesto Yoel Fariñas Wong. <https://orcid.org/0000-0002-8798-0114>

Participó en el análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.