

VENTAJAS DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN EL PARQUE TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO

Por M. Sc. Reinier Jiménez Borges*, Ing. Andrés L. Álvarez González**
y Dr. C. José P. Monteagudo Yanes***

Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos. Cienfuegos, Cuba.

* E-mail: rjborges@ucf.edu.cu; rjimenezborges@gmail.com.

<https://orcid.org/0000-0002-3430-0322>

** E-mail: alvarez58216055@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3302-1540>

*** E-mail: jpmayanes@ucf.edu.cu

<https://orcid.org/0000-0001-7234-7853>

Resumen

El estudio propone el montaje de un parque tecnológico en la Universidad de Cienfuegos, en donde se valora transformar un edificio de la residencia estudiantil en inmueble administrativo. Se utilizará un sistema solar fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica instalado en la cubierta de la edificación. La cubierta dispone de un área útil de 260 m² con capacidad para 112 paneles del tipo DSM 270, con una potencia instalada de 32,4 kWp y una capacidad de generación eléctrica de 118,66 kWh por día. La evaluación económica tiene un largo Período de Recuperación de la Inversión (PRI), cercano a los 15 años de una vida útil de 25 años, y un bajo Valor Actual Neto (VAN) dado que la Resolución N° 435/2017 establece el costo del kWh, vendido por el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), cuatro veces el precio que paga a los organismos en la compra. No fueron considerados en la evaluación los beneficios económicos por reducción de emisiones de CO₂. Se comprobó la resistencia de la edificación ante las cargas que origina el sistema en la cubierta. Se crean cargas del orden de los 168 kg/m² inferiores a los 300 kg/m² permisible por el diseño. Ello permite afirmar que es posible el montaje del parque fotovoltaico.

Palabras clave: sistema solar fotovoltaico, panel solar, montaje de paneles en cubiertas de edificios, energía solar en universidades.

ADVANTAGES OF PHOTOVOLTAIC GENERATION IN UNIVERSITY TECHNOLOGY PARK

Abstract

The study proposes the construction of a technology park at the University of Cienfuegos, where a student residence building will be transformed into an administrative building. A photovoltaic solar system will be used to supply electricity installed on the roof of the building. The roof has a usable area of 260 m² with capacity for 112 panels of type DSM 270, with an installed power of 32.4 kWp and an electricity generation capacity of 118.66 kWh per day. The economic evaluation has a long Investment Recovery Period (IRP), close to 15 years out of a useful life of 25 years, and a low Net Present Value (NPV) given that Resolution No. 435/2017 establishes the cost of the kWh, sold by

SEN, four times the price it pays to the agencies in the purchase. The economic benefits due to CO₂ emissions reduction were not considered in the evaluation. The resistance of the building to the loads caused by the system on the roof was tested. Loads of the order of 168 kg/m² were created, lower than the 300 kg/m² allowed by the design. This allows us to affirm that it is possible to assemble the photovoltaic park.

Palabras clave: solar photovoltaic system, solar panel, solar panel mounting on building roofs, solar energy in universities.

I. Introducción

Cuba satisface 96 % de sus requerimientos energéticos con el uso de combustibles fósiles y solo 4 % restante con fuentes renovables de energía. Urge entonces cambiar esta realidad. Para el 2030, la propuesta gubernamental estima que las fuentes renovables de energía cubrirán 24 % de las necesidades energéticas del país.

El uso de sistemas solares fotovoltaicos es una de las vías para alcanzar este objetivo y su instalación en cubiertas de edificaciones es una práctica extendida a nivel global. La razón está dada por ser las cubiertas áreas no utilizables en los servicios del inmueble. Igual superficie en tierra puede ser también usada de manera que se logren espacios útiles. Son varios los ejemplos en el mundo y en Cuba de instalaciones de este tipo que funcionan satisfactoriamente y contribuyen a la reducción del uso de combustibles fósiles y la contaminación ambiental.

Tomando ello en consideración, el estudio tiene como objetivo demostrar la potencialidad de instalar un sistema solar fotovoltaico en la cubierta del edificio donde se emplazará el parque tecnológico de la Universidad de Cienfuegos.

II. Materiales y métodos

Características constructivas de la edificación

El edificio en estudio, denominado edificio 7, es un edificio de cinco plantas destinados a la función de hospedaje estudiantil y se prevé aloje las funciones administrativas y de servicio científico técnico del parque tecnológico de la Universidad de Cienfuegos.

Es una construcción típica, modelo Girón, colindante con el Círculo Juvenil cuya cubierta también puede ser utilizada en el análisis, pero no será tomado en cuenta por no poseer aún el estudio anual de la proyección de sombra sobre el área.

El edificio 7 está orientado de este a oeste, cubierta orientada perpendicularmente en la dirección norte-sur, como muestra la Figura 1, donde se observan las dimensiones básicas del área a utilizar para el sistema solar fotovoltaico.

Se deja un pasillo, de 1 m de ancho en los bordes, para el movimiento del personal que trabaja en el montaje, operación y mantenimiento. El lado frontal del edificio está orientado al sur, con una longitud de 42 m en total y 40 m

efectivos para la colocación de paneles. El edificio tiene un ancho de 8,5 m y puede usarse 6,5 m en la colocación de los módulos fotovoltaicos.

El área disponible para el parque fotovoltaico en la cubierta del edificio está dada en la ecuación 1.

$$A_{\text{útil}} = a * l = 6,5 * 40 = 260,0 \text{ m}^2 \quad (1)$$

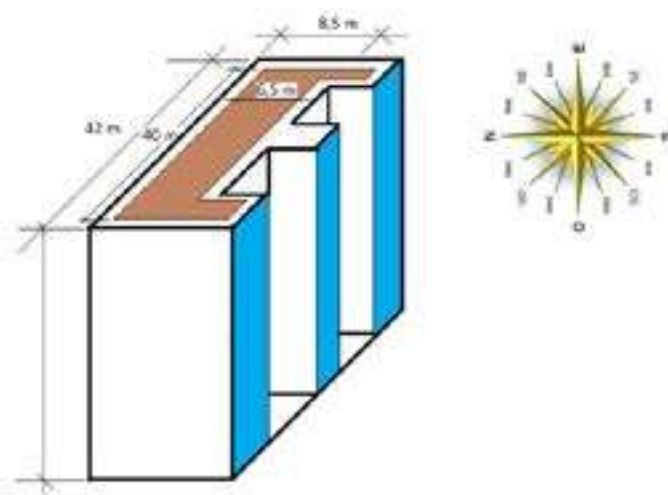


Fig. 1. Dimensiones de la cubierta y orientación geográfica del edificio 7.

Por la orientación al sur, los paneles deberán ubicarse en filas a lo largo del edificio, con un ángulo de inclinación igual a la latitud de la región que es de 22,17°.

Es práctica de la Unión Eléctrica (UNE) instalar sus paneles con un ángulo de 15° (Stolik, 2019) ello da un buen nivel de generación y se aprovecha mejor el área para la generación, al reducir la distancia entre paneles (Suárez, 2014). Este criterio no fue tomado en consideración.

Cálculo del Sistema Solar fotovoltaico

La Empresa de Componentes Electrónicos Ernesto Guevara de Pinar del Río, sugirió el uso del módulo fotovoltaico DSM 270 (Tabla1).

Tabla 1. Especificaciones técnicas del módulo DSM 270

Especificaciones técnicas		
Celda solar	Silicio Multicristalino 156,75 mm x 156,75 mm	
Número de celdas y conexiones	60 (6 x 10)	
Dimensiones del módulo	1650 mm x 990 mm x 40 mm	
Cubierta frontal	Vidrio templado	
Material del marco	Aleación de aluminio anodizado	
Peso	18,1 kg	
Características eléctricas		
Modelo	DSM-270	
Voltaje a circuito abierto (Voc) [V]	38,0	
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmp) [V]	32,1	
Corriente de corto circuito (Isc) [A]	9,11	
Corriente en el punto de máxima potencia (Imp) [A]	8,42	
Potencia máxima a STC (Pm) [Wp]	270	
Tolerancia [%]	±3	
STC	1000 W/m², 25oC, AM 1,5	
Límites		
Temperatura de operación	-40 a +85 °C	
Voltaje máximo del sistema	1000 VDC	
Valor máximo del fusible de la serie	15 A	
Parámetros térmicos		
NOCT	[oC]	45±2
Coefficiente de temperatura (Isc)	[%/ C]	0,04478
Coefficiente de temperatura (Voc)	[%/ C]	-0,30537
Coefficiente de temperatura (Pmp)	[%/ C]	-0,41004

En la Tabla 2, considerando el módulo DSM 270, se muestra el proceso de cálculo y los resultados. Se elaboraron las figuras 1 y 2 para el dimensionamiento.

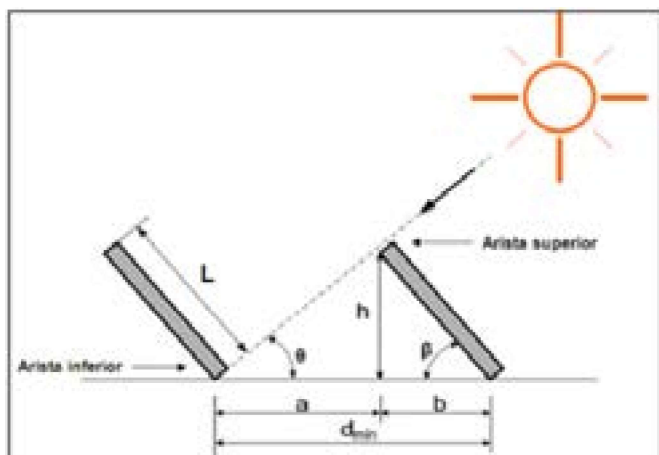


Fig. 2. Distancia entre paneles y ángulos de inclinación.

III. Resultados y discusión

Tabla 2. Secuencia de cálculo y resultados del Sistema Solar Fotovoltaico para el edificio del parque tecnológico

Nº	Parámetro (unidad)	Ecuación	Magnitud	Observaciones
1	Selección del panel fotovoltaico	sin ecuación (s/e)	Tabla 1	Recomendación del fabricante
2	Ángulo de inclinación del panel (β)	s/e	Figura 1	El ángulo (β) = Latitud del lugar. Para Cienfuegos $\beta=22^\circ$. La Unión Eléctrica en Cuba considera $\beta=15^\circ$.
3	Cálculo de la componente de la altura (h) del panel (m)	$h = L * \sin \beta$	0,62	
4	Cálculo de la distancia de la arista inferior del panel a la arista superior del mismo medido horizontalmente (b) (m).	$b = L * \cos \beta$	1,53	
5	Cálculo del ángulo de incidencia del rayo solar respecto a tierra (θ) (grados).	$\theta = 180 - 90 - \beta$	68°	
6	Cálculo de la distancia entre borde superior panel anterior y borde inferior panel posterior (a) (m).	$A = h / \tan \theta$	0,25	Se toma 0,5 m (pasillo para limpieza y mantenimiento)
7	Cálculo de la distancia mínima entre paneles (d_{min}) (m)	$d_{min} = a + b$	2,03	Se considerará $d_{min} = 2,00$ m para el montaje del sistema
8	Cálculo del número máximo de filas de paneles	# máx. filas = Ancho del edificio / Distancia entre paneles	3,25	Se decide colocar 3 filas de paneles.
9	Nº Máximo de paneles por filas	# máx. paneles por filas = long. edif. / ancho del panel	40,04	Se limitan a 40 paneles por fila

Nº	Parámetro (Unidad)	Ecuación	Magnitud	Observaciones
10	Número máx. de paneles en la edificación (Nº máx. de paneles)	$N^{\circ} \text{ máx. paneles} = N^{\circ} \text{ de filas} * N^{\circ} \text{ de paneles por filas}$	120	
11	Cálculo de la energía generada (Eu.) Energía útil generada (kWh por día)	$Eu = 0,654 * HSP * P_n * N$	118,66	Dónde: Eu: Energía útil generada (kWh por día); 0,654 factor que toma en cuenta rendimientos y suciedad; HSP: Hora Solar Pico de la región (para Cienfuegos es 5,6) Pn: Potencia nominal del panel FV (kW por panel) N.- Número de paneles
12	Cálculo de la potencia instalada (Pinst.) (kWp)	$P_{inst} = N * (P_n / 1000)$	32,4	
13	Disposición (Área / Potencia) (m²/kW)	$A/Pot = \text{Área Edif.} / \text{Pot. Instalada}$	8,02	Ver Tabla 3
14	Cálculo del número de inversores	$N^{\circ} \text{ de Inversores} = \text{Pot. Demandada} / \text{Pot. Inversor}$	1,296	Se decide incluir dos inversores del tipo Sunny Tripower 25000TL.

Según los criterios dados en la Tabla 3 (Intelligent Energy Europe, 2017) el sistema propuesto cumple con los requerimientos de la organización al encontrarse la relación Potencia/Área, del parque de módulos de silicio policristalino, en un valor de 8.02 m²/kWp.

Tabla 3. Superficie de módulo fotovoltaico requerida para 1 kWp

Tecnología	Superficie (m²)
Silicio monocristalino	7-9
Silicio policristalino	8-11
Diseleniuro de indio cúprico (CIS)	11-13
Teluro de Cadmio (CdTe)	14-18
Silicio amorfo	14-20

El Sistema Solar Fotovoltaico sobre la edificación debe quedar según muestra la Figura 3.

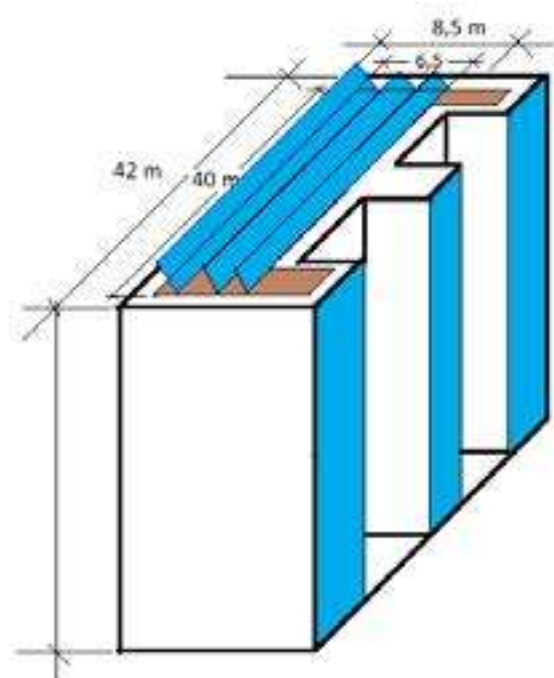


Fig. 3. Estructura sugerida de ubicación de los paneles sobre la edificación.

La forma aproximada de colocación de los paneles sobre la estructura se muestra en la Figura 4.



Fig. 4. Colocación de paneles sobre la estructura.

Cálculo de resistencia de la edificación

La resistencia de la cubierta de la edificación se realizó según las normas del Ministerio de la Construcción (Ministerio de la Construcción, 1978).

El edificio posee un área de 260 m² de superficie, sobre la cual se instalarán 120 paneles solares, en 20 mesas de fijación considerando el peso total del cableado, los tornillos de fijación y el peso que ejerce el viento sobre los paneles.

El peso por unidad de área incluye el peso de enrajonado y de la capa de papel asfáltico, ya incluidas en la cubierta de la edificación para su impermeabilización (Oficina Nacional de Normalización, 2003). Los resultados están dados en la Tabla 4, según NC 283. El valor obtenido debe ser inferior al valor de la carga de utilización permisible de 300 kg/m², según el tipo de edificación Girón.

Tabla 4. Cargas sobre la edificación

Producto	Cantidad	Peso (kg)	Densidad (kg/m³)	Espesor (cm)	Carga total (kg/m²)
Enrajonado	-	-	18	5	90
Capa asfáltica	2	-	5	-	50
Estructura metálica	20	4 560	7	-	17,5
Paneles solares	120	2 172	-	-	8,35
Carga producida por los vientos	-	-	-	-	1,1
Cableado	350 m	100	-	-	0,4
Tornillos	-	60	-	-	0,23
Total					167,58

El valor de la carga de utilización es 167,58 kg/m² menor a los 300 kg/m² dados como valor mínimo permisible. Ello permite afirmar que la edificación resistirá las cargas que origina el sistema.

Evaluación económica

Al no poseer un sistema actualizado de costos de los elementos para la evaluación económica se consideran los criterios dados por Stolik (2019). (Ver Figura 5).



Fig. 5. Costo total por kilowatt pico por países.

Por ser la República Popular China el principal suministrador de Cuba, se toma el valor correspondiente a esta nación para los cálculos preliminares.

El sistema calculado posee una potencia instalada de 32,4 kWp, por lo que la inversión debe ser de 36 612,00 USD y el ingreso por ahorro y exportación de energía puede ascender a la cifra de 7 865,67 USD al año, según las ecuaciones 2, 3 y 4.

$$\text{Ingreso ahorro} = 118,66 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * 0,2275 \frac{\$}{\text{kWh}} * 265 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 7 153,71 \frac{\$}{\text{año}} \quad (2)$$

$$\text{Ingreso exportación} = 118,66 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * 0,06 \frac{\$}{\text{kWh}} * 100 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 711,96 \frac{\$}{\text{año}} \quad (3)$$

$$\text{Ingreso total} = \text{Ingreso ahorro} + \text{Ingreso exportación} = 7 153,71 + 711,96 = 7 865,67 \frac{\$}{\text{año}} \quad (4)$$

Los datos básicos para la evaluación económica en el año 0 y 1 están dados en la Tabla 5. La inversión tiene una vida útil de 25 años.

Tabla 5. Datos básicos para la evaluación económica

No.	Datos iniciales	Año 0	Año 1
1	Ingresos (I), \$		7865,67
2	Gastos (G), \$		1000,00
3	Costo inversión (K ₀) (\$)	-36612,00	
4	Tasa de descuento (r), %		16,35
5	Tasa de inflación (f), %		8,00
6	Margen de riesgo, %		3,00
7	Tasa de impuesto (t), %		35,00
8	Vida útil estimada, años		25

El resultado principal de la evaluación económica se expresa en la Figura 6.

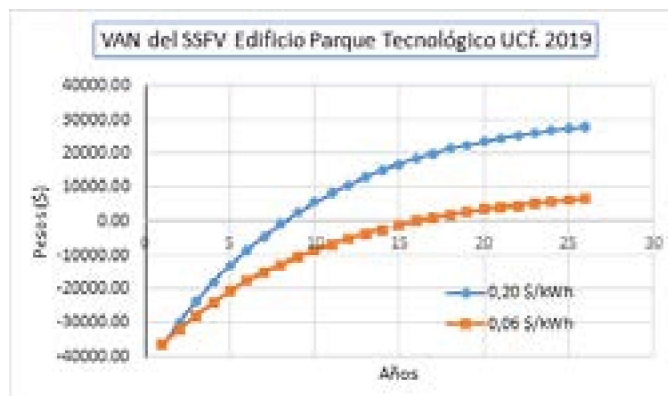


Fig. 6. VAN y PRI del sistema solar fotovoltaico propuesto.

Aprecie en la línea anaranjada que el Período de Recuperación de la Inversión (PRI) es de 15 años y el VAN alcanza

valores de 6 500,00 pesos. Aunque la evaluación económica no resulta atractiva, está destinada a mostrar cómo se puede reducir el consumo de energía eléctrica producida con combustible fósil, el impacto ambiental y garantizar el servicio energético con una fuente renovable.

Magnitud del combustible ahorrado (ecuación 5).

$$\text{Comb. Ahorrado} = \frac{E * g}{1000} = \frac{118 * 265 * 0.236}{1000} = 7.37 \text{ t/año} \quad (5)$$

CO₂ no emitido (ecuación 6).

$$\text{CO}_2 \text{ no emitido} = \frac{\text{Combustible ahorrado} * k}{\rho} = \frac{7.37 * 3.119}{0.9781} = 28.80 \text{ t/año} \quad (6)$$

Donde:

K: coeficiente que relaciona el combustible no quemado con las toneladas de CO₂ no vertidas a la atmósfera.

K= 3,119 kg/l.

ρ: densidad del combustible y es igual a 0,9781 kg/l.

Se aprecia la diferencia en cuatro veces, entre los costos de la energía suministrada y comprada por el Sistema Eléctrico Nacional (ecuaciones 2 y 3) lo cual no estimula la generación con fuentes renovables y no hace rentable muchas inversiones de este tipo.

En la Figura 6 se observa qué ocurre cuando el valor del kWh generado con el sistema solar fotovoltaico pasa de 0,06 \$/kWh (marcadores cuadrados) a 0,20 \$/kWh (marcadores redondos en azul) valor totalmente justo por ser lo que la empresa paga al SEN cuando consume energía de la red. Aprecie que se reduce a 8 años el Período de Recuperación de la Inversión (PRI) y el Valor Actual Neto (VAN) pasa de \$ 6 500,00 a \$ 30 000, 00 lo que hace atractiva la inversión.

IV. Conclusiones

El sistema solar fotovoltaico propuesto tiene la capacidad de generar una potencia de 32,4 kWp con 120 paneles del tipo DSM 270, lo que satisface una demanda energética de 118 kWh por día.

De ser comprado directamente en el extranjero, la inversión es de un monto de 36 612 USD y los ingresos que genera alcanzan una magnitud de 7 900 \$/año.

El Período de Recuperación de la Inversión (PRI) es cercana a los 15 años, en parte debido a las diferencias entre el precio de compra y venta del kWh establecido para el SEN. Si se iguala a 0,20 \$/kWh, el precio de compra y venta se reduce en 7 años el Período de Recuperación de la Inversión (PRI) y se incrementa en cinco veces el valor del VAN, haciendo factible la inversión.

La cubierta de la edificación resiste los esfuerzos creados por el sistema, el cual genera cargas en el orden de 167 kg/m² y la edificación puede soportar cargas hasta 300 kg/m² como valor mínimo permisible.

El sistema tiene la capacidad para ahorrar hasta 7 toneladas al año de combustible y reducir las emisiones de CO₂ al medioambiente en 28 toneladas al año, garantizando un suministro de energía eléctrica en horario diurno independiente del SEN como parte de las acciones de sostenibilidad energética.

V. Referencias bibliográficas

- Intelligent Energy Europe (2017). *Dimensionado de SFCR*. Madrid. España: Intelc. ingeniería.
- Ministerio de la Construcción (1978). *Sistema Constructivo Girón. Especificaciones Técnicas*. La Habana, Cuba: CEDITEC.
- Oficina Nacional de Normalización (2003). *Densidad de materiales naturales, artificiales y de elementos de construcción como cargas de diseño*. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- Stolik, D. (2019). *Energía fotovoltaica para Cuba. Revista Ecosolar*.
- Suárez, I. R. (2014). *Variación del rendimiento de un sistema Fotovoltaico de Conexión a Red con el ángulo de inclinación de los módulos y su orientación*. La Habana, Cuba.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Reinier Jiménez Borges, conceptualización, curación de datos, investigación, supervisión, redacción-revisión y edición; Andrés L. Álvarez González, análisis formal, supervisión y redacción-borrador original; y José P. Monteagudo Yanes, curación de datos, análisis formal e investigación.

Recibido: 3 de agosto de 2022

Aceptado: 24 de agosto de 2022