

José Pedro Monteagudo-Yanes¹

E-mail: jpmynes@ucf.edu.cu

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

¹ Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez” Cuba.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Monteagudo-Yanes, J. P. (2023). Ventajas de sistema solar fotovoltaico en parque tecnológico de la Universidad de Cienfuegos. *Revista UGC 1(2)*, 64-70.

RESUMEN

La propuesta del parque tecnológico de la Universidad de Cienfuegos considera la transformación del edificio N° 7 de residencia estudiantil en edificio administrativo y de servicio científico técnico. Es interés demostrar las ventajas del uso de las fuentes renovables de energía y se solicitó considerar un sistema solar fotovoltaico en los predios del parque tecnológico. Dada las limitaciones de las áreas aledañas se decide realizar el análisis de usar la cubierta de la edificación. El estudio realizado muestra que 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/día. La evaluación económica no resulta atractiva por el largo Período de Recuperación de la Inversión cercano a los 15 años de una vida útil de 25 años y un bajo valor del VAN. Es necesario decir a su favor que las disposiciones actuales establecen que el costo del KWh comprado al SEN es cuatro veces superior al precio de venta. No fue considerada en la evaluación económica los beneficios por reducción de emisiones de CO₂. Se comprobó la resistencia de la edificación ante las cargas que origina el sistema en la cubierta, encontrando que se crean cargas del orden de los 168 kg/m² inferior a los 300 kg/m² permisible por el diseño.

Palabras clave:

Sistema fotovoltaico, fotovoltaico en edificaciones, energía solar.

ABSTRACT

The proposal of the technological park of the University of Cienfuegos considers the transformation of the N ° 7 building for student residence into an administrative and technical scientific service building. It is interesting to demonstrate the advantages of using renewable energy sources and it was requested to consider a photovoltaic solar system on the premises of the technology park. Given the limitations of the surrounding areas, it is decided to carry out the analysis of using the roof of the building. The study shows that the roof has a useful area of 260 m² with capacity for 112 panels of the DSM 270 type with an installed power of 32.4 kWp | and an electric generation capacity of 118.66 kWh/day. The economic evaluation is not attractive for the long Investment Recovery Period close to 15 years of a useful life of 25 years and a low value of the NPV. It is necessary to say in its favor that the current provisions establish that the cost of the KWh purchased from the SEN is four times higher than the sale price. The benefits of reducing CO₂ emissions were not considered in the economic evaluation. The resistance of the building to the loads caused by the system on the roof was checked, finding that loads of the order of 168 kg/m² less than 300 kg/m² allowable by the design are created.

Keywords:

Photovoltaic system; photovoltaic in buildings; solar energy in universities.

INTRODUCCIÓN

Cuba satisface el 96% de sus requerimientos energéticos con el uso de combustibles fósiles y solo el 4% restante con fuentes renovables de energía. Ello necesita ser cambiado y la propuesta gubernamental es que en el año 2030 las fuentes renovables de energía cubran el 24% de las necesidades energéticas del país.

El uso de los sistemas solares fotovoltaicos es una de las vías y su uso en las cubiertas de las edificaciones se ha extendido tanto internacionalmente como a nivel nacional. La razón está dada por ser las cubiertas áreas no utilizables en otros servicios, e igual superficie a nivel de tierra puede ser usada de forma útil en jardines, edificaciones y otras funciones.

Son varios los ejemplos en el mundo y Cuba de instalaciones de este tipo que funcionan satisfactoriamente y que contribuyen a la reducción del uso de combustibles fósiles y la contaminación ambiental.

Tomando en consideración lo anterior se desarrolla el presente trabajo que tiene como objetivo demostrar la potencialidad de instalar un sistema solar fotovoltaico en la cubierta del edificio del futuro parque tecnológico de la Universidad de Cienfuegos.

El edificio en estudio, denominado edificio 7, es un edificio de 5 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 del modelo "Girón". Colinda con el Circulo Juvenil cuya cubierta también puede ser utilizada en el análisis, pero no será tomado en consideración en esta ocasión por no poseer el estudio anual de la proyección de sombra sobre el área.

El edificio 7 está orientado de este a oeste, con su cubierta alargada expuesta perpendicularmente a la dirección norte sur como muestra la figura 1.

Las dimensiones básicas del área a utilizar para el sistema solar fotovoltaico están dadas en la figura 1. 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.

La cara frontal del edificio está orientada al sur, con una longitud de 42 m totales y 40 metros 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.

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

(Área de la cubierta del edificio)

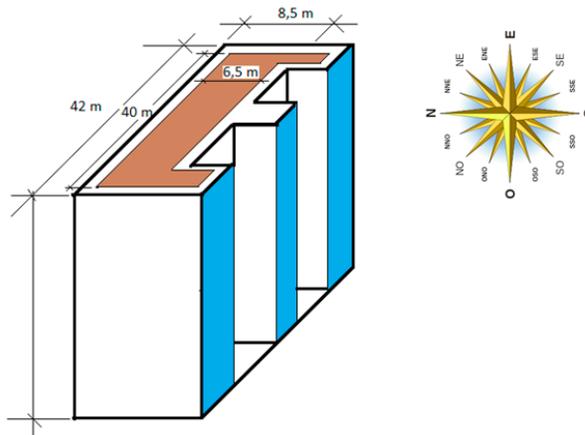


Figura 1. Dimensiones de la cubierta y orientación geográfica del edificio 7.

Por la orientación al sur los paneles deben 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 Empresa Eléctrica Cubana instalar sus paneles con un ángulo de 15° (Stolik, 2019) ello da un buen nivel de generación y aprovecha más el área para la generación al reducir la distancia entre paneles (Suárez, 2014). Esta opción no fue tomada en consideración.

DESARROLLO

La Empresa de Componentes Electrónicos "Comandante Ernesto Guevara" en Pinar del Río, sugirió el uso del módulo fotovoltaico DSM 270. Sus características técnicas están dadas en la tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones técnicas del módulo DSM 270.

Especificaciones técnicas	
Celda solar	Silicio Multicristalino 156.75mm x 156.75mm
No. de celdas y conexiones	60 (6X10)
Dimensiones del módulo	1650mm x 990mm x 40mm
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/m ² , 25°C, AM 1.5		
Límites		
Temperatura de operación	-40 a +85°C	
Voltaje máximo del sistema	1000 VDC	
Valor máximo del fusible de la serie	15A	
Parámetros térmicos		
NOCT	[°C]	45±2
Coeficiente de temperatura (Isc)	[%/°C]	0.04478
Coeficiente de temperatura (Voc)	[%/°C]	-0.30537
Coeficiente de temperatura (Pmp)	[%/°C]	-0.41004

Considerando el módulo DSM 270, el proceso de cálculo y los resultados están dado en la tabla 2. Para el dimensionamiento se hizo uso de las figuras 1 y 2.

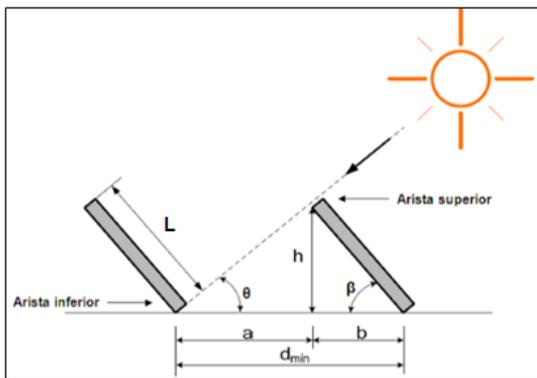


Figura 2. Distancia entre paneles y ángulos de inclinación.

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. Cienfuegos $\beta=22^\circ$.
3	Cálculo de la componente de la altura (h) del panel (m)	$h = L * \text{sen } \beta$	0,62	
4	Cálculo de la distancia de la arista inferior del panel a la arista superior del mismo medido horizontalmente. (b) (m).	$b = L * \text{cos } \beta$	1,53	
5	Cálculo del ángulo de incidencia del rayo solar respecto a tierra (θ) (Grados)	$\theta = 180 - 90 - \beta$	68°	
6	Cálculo distancia entre borde superior panel anterior y borde inferior panel posterior (a) (m)	$a = h / \text{tg } \theta$	0,25	Se toma 0,5m (pasillo para limpieza y mantenimiento.)
7	Cálculo de la distancia mínima entre paneles (d_{min}) (m)	$d_{\text{min}} = a + b$	2,03	Se considerará $d_{\text{min}} = 2,00$ 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.
10	Número máx. de paneles en la edificación. (Nº máx. de paneles)	Nº máx. paneles=Nº de filas*Nº de paneles por filas	120	
11	Cálculo de la energía generada. (Eu.) Energía útil generada (kWh/día)	$Eu=0,654*HSP*PN*N$	118,66	Dónde: Eu. - Energía útil generada (kWh/día); 0,654. Factor que toma en cuenta rendimientos y suciedad.; HSP. - Hora Solar Pico de la región. (Cienfuegos es 5,6) Pn.- Potencia nominal del panel FV. (kW/panel) N.- Número de paneles.
12	Cálculo de la potencia instalada. (Pinst.) (KWp)	$Pinst.=N*(Pn/1000)$	32,4	
13	Disposición (Área/Potencia) (m2/kW)	$A/Pot.=Área Edif./Pot. Instalada$	8,02	(Ver tabla 3)
14	Cálculo del número de inversores.	$Nº de Inversores=Pot. Demandada/Pot. Inversor$	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 dado por 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 (m ²)
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 Fotovoltaicos sobre la edificación debe quedar según muestra la figura 3.

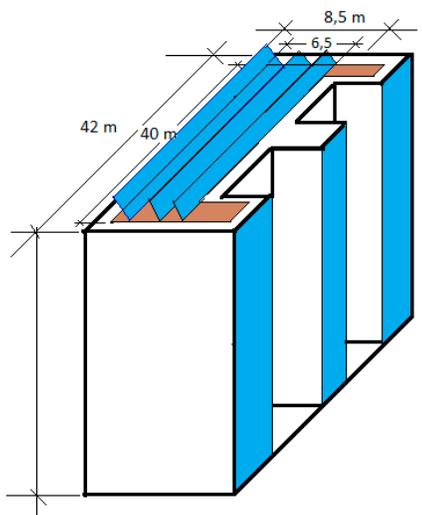


Figura 3. Estructura sugerida de ubicación de los paneles sobre la edificación.

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

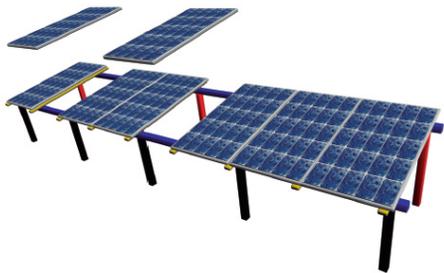


Figura 4. Colocación de paneles sobre la estructura.

Cálculo de resistencia de la edificación.

La resistencia de la cubierta de la edificación se realizó según las normas del Ministerio de la Construcción (Cuba. 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 y en esta se tendrá en consideración 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 (Cuba. 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/m ³)	Espesor (cm)	Carga total (Kg/m ²)
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) (Figura 5).

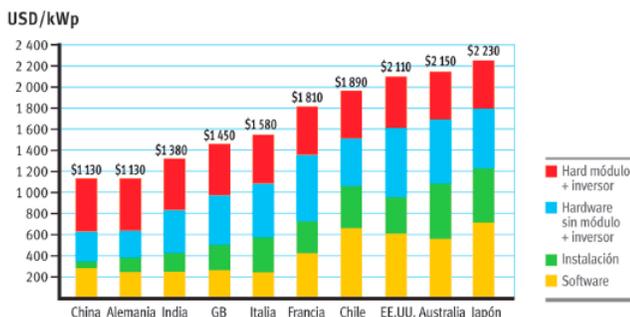


Figura 5. Costo total por kilowatt pico por países.

Por ser la República Popular China el principal suministrador a 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 \$/año según las ecuaciones 2, 3 y 4.

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

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

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

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 económicos básicos para la evaluación económica.

N°	Datos iniciales	Año 0	Año 1
1	Ingresos (I), \$		7865.67
2	Gastos (G), \$		1000.00
3	Costo inversión (Ko) (\$)	-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 está dado en la figura 6.

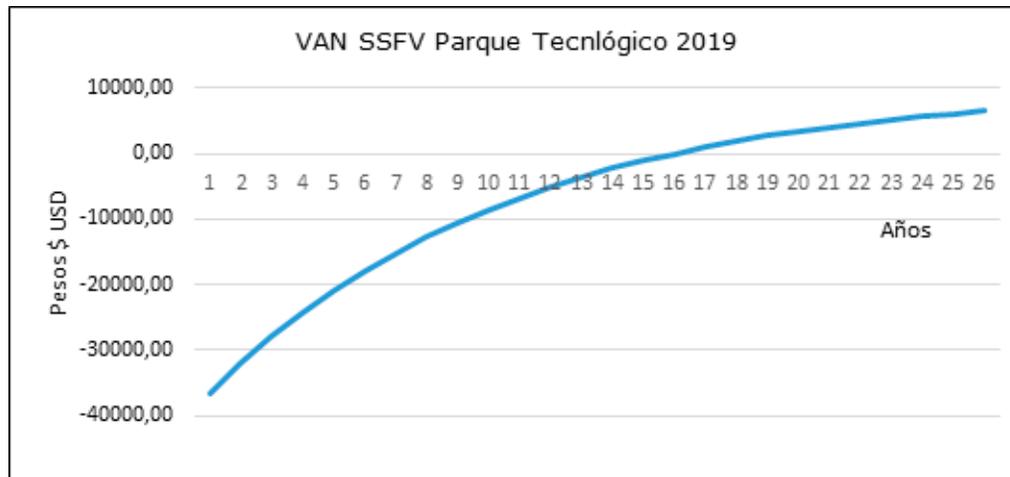


Figura 6. VAN y PRI del sistema solar fotovoltaico propuesto.

Aprecie 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.

$$\text{Comb. Ahorrado} = \frac{E \cdot g}{10000} = \frac{118 \cdot 265 \cdot 0.236}{10000} = 7.37 \text{ t/año} \quad (4)$$

CO₂ no emitido.

$$\text{CO}_2 \text{ no emitido} = \frac{\text{Combustible ahorrado} \cdot k}{\rho} = \frac{7.37 \cdot 3.119}{0.9781} = 28.80 \text{ t/año} \quad (5)$$

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.

Aprecie la diferencia de 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.

CONCLUSIONES

El sistema solar fotovoltaico propuesto, tiene capacidad de generar una potencia de 32,4 kWp con 120 paneles del tipo DSM 270 y puede satisfacer una demanda energética de 118 kWh/día.

De ser comprado directamente en el extranjero la inversión es de un monto de 36 612,00 \$ USD y los ingresos que genera alcanzan una magnitud de 7 900,00 \$/año. El Período de Recuperación de la Inversión (PRI) es cercana a los 15 años en parte debida a las diferencias entre los precios de compra y venta del kWh.

La cubierta de la edificación resiste los esfuerzos creado 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 capacidad para ahorrar hasta 7 t/año de combustible y reducir las emisiones de CO₂ al medio en 28 t/año, garantizando un suministro de energía eléctrica en el horario diurno independiente del SEN como parte de las acciones de sostenibilidad energética.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cuba. Ministerio de la Construcción. (1978). *Sistema Constructivo Girón. Especificaciones Técnicas*. CEDI-TEC.

Cuba. Oficina Nacional de Normalización. (2003). *Densidad de materiales naturales, artificiales y de elementos de construcción como cargas de diseño*. ONN. <https://ftp.isdi.co.cu/Biblioteca/BIBLIOTECA%20UNIVERSITARIA%20DEL%20ISDI/COLECCION%20DIGITAL%20DE%20NORMAS%20CUBANAS/2003/NC%20283%20%20a2003%2010p%20sax.pdf>

Intelligent Energy Europe. (2017). *Dimensionado de SFCR*. Intel. ingeniería.

Stolik, D. (2019). *Energía fotovoltaica para Cuba*. Cuba Solar.

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. Universidad de Cienfuegos.