



Fecha de presentación: 8/9/2022 Fecha de aceptación: 2/5/2023 Fecha de publicación: 10/5/2023

¿Cómo citar este artículo?

Sotolongo Hernández, E., Pedraza Garciga, J. y Barrios Gonzales, D. (2023). Implementación de un sistema de energía renovable para la electrificación de la Universidad de Sancti Spiritus. *Revista Márgenes*, 11(2), 63--82.
<https://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes/article/view/1537>

**TÍTULO: IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE ENERGÍA RENOVABLE PARA LA
ELECTRIFICACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE SANCTI SPÍRITUS**
**TITLE: IMPLEMENTATION OF A RENEWABLE ENERGY SYSTEM FOR THE
ELECTRIFICATION OF UNIVERSITY OF SANCTI SPÍRITUS**

Autores:

Lic. Eliecer Sotolongo Hernández¹

E-mail: esotolongo@uniss.edu.cu

 <https://orcid.org/0000-0003-2586-7391>

Dr. C Julio Pedraza Garciga¹

E-mail: jpedraza@uniss.edu.cu

 <https://orcid.org/0000-0003-1780-5297>

Lic. Daniel Barrios González¹

E-mail: dbarrios@uniss.edu.cu

 <https://orcid.org/0000-0003-1466-5719>

¹ Universidad de Sancti Spiritus “José Martí Pérez”, Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales (CEEPI). Sancti Spiritus, Cuba.



RESUMEN

Introducción: El presente artículo muestra el resultado de implementación de un sistema de energía renovable para la electrificación de la Universidad de Sancti Spíritus.

Objetivo: Realizar el análisis de las condiciones técnicas para la instalación de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica en el Docente 1, perteneciente a la Universidad de Sancti Spíritus.

Métodos: Los métodos fundamentales empleados en la investigación fueron los siguientes: teóricos como el analítico para la revisión del estado del conocimiento y la interpretación de los datos y la modelación para el diseño del procedimiento; empíricos como la observación científica, el análisis de documentos y la medición.

Resultados: Se calculó que se necesitarán para llevar a cabo la tarea técnica 70 módulos fotovoltaicos de 320Wp, con una potencia pico máxima de 22 400 Wp y 1 Inversor con una potencia nominal de 20 kW, además de 200 m de cableado.

Conclusiones: Se realizaron las evaluaciones que permitieron estudiar la estructura del edificio, así como el cálculo del potencial energético de la cubierta. Se prevé que será capaz de generar una producción anual de 28 150 kW.

Palabras clave: energía renovable; potencial energético; sistema fotovoltaico.

ABSTRACT

Introduction: This paper shows the result of implementing a renewable energy system for the electrification of the University of Sancti Spíritus.

Objective: To carry out the analysis of the technical conditions for the installation of a photovoltaic system connected to the electrical grid at Campus 1 of the University of Sancti Spíritus.

Methods: The fundamental methods used in the research were the following: theoretical, such as the analytical for the review of the state of knowledge and the interpretation of data, and modeling for the design of the procedure; and empirical such as scientific observation, document analysis and measurement.



Results: It was calculated that this technical task will require 70 photovoltaic modules of 320Wp, with a maximum peak power of 22,400 Wp and one inverter with a nominal power of 20 kW, in addition to 200 m of wiring.

Conclusions: Evaluations were carried out that allowed the study of the building structure, as well as the calculation of the energy potential of the roof. It is expected to be able to generate an annual production of 28,150 kW.

Keywords: energetic potential; photovoltaic system; renewable energy.

INTRODUCCIÓN

“Es inevitable el agotamiento de las fuentes de combustibles fósiles, sobre las cuales se ha construido la matriz energética mundial desde la Revolución Industrial” (Domínguez Piloto et al., 2019, p. 1). Por otra parte, el consumo desmesurado de combustibles fósiles ha traído “(...) la emisión a la atmósfera de más de 2 585 000 millones de toneladas de CO₂” (Rivera y Olabe Egaña, 2015, p. 2), es por esto que urge la utilización de las energías renovables para satisfacer las demandas.

En el país la utilización de la energía solar da respuesta a las exigencias energéticas de cara al desarrollo sostenible, el lineamiento 247 plantea la necesidad de “potenciar su aprovechamiento, fundamentalmente la utilización del biogás, la energía eólica, hidráulica, biomasa, solar y otras; priorizando aquellas que tengan el mayor efecto económico” (Partido Comunista de Cuba [PCC], 2011, p. 32).

Cuba está avanzando hacia un cambio de su matriz energética y se pretende aumentar hasta un 24% el uso de las fuentes renovables de energía para el año 2030, donde la energía fotovoltaica deberá ocupar el 3 % de esta. En este sentido, “cada metro cuadrado del territorio cubano recibe un promedio diario de 5 kW/h con el aprovechamiento, tanto directo como indirecto, de la energía solar se pueden satisfacer todas las necesidades energéticas” (Bravo Hidalgo, 2015, p. 15).

Por otra parte, este tipo de tecnología presenta numerosas ventajas: instalación simple, emplea una fuente de energía limpia y gratuita, su operación es automática, silenciosa y requiere poco mantenimiento debido a que “(...) las cubiertas utilizadas ofrecen mayor potencial de integración



en términos de producción energética, por ser las superficies mejor situadas y de mayor extensión, libres de obstáculos y restricciones” (Osorio Laurencio y Montero Laurencio, 2016, p. 46).

Cuba dispone durante prácticamente todo el año de una alta disponibilidad de energía solar, por lo que la energía solar fotovoltaica será la considerada para el desarrollo de este trabajo, el cual tiene por objetivorealizar el correspondiente análisis de las condiciones técnicas para la instalación de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica en el Docente 1.

DESARROLLO

En América Latina, el gobierno brasileño lanzó el programa “Luz para todos”, a través del cual se electrificaron las 89 viviendas de la isla Lenco utilizando una microrred eólica-fotovoltaica-diesel-batería de 40 kW. Un sistema fotovoltaico como bien dice su nombre es un sistema que se encuentra diseñado para abastecer con energía solar la demanda eléctrica de determinado equipo que consuma electricidad. Consiste en una disposición de varios componentes, incluidos los paneles solares para absorber y convertir la luz solar en electricidad. En las islas más grandes del Caribe (Cuba, República Dominicana y Haití) las energías renovables alcanzaron el 22,8% de la matriz energética en 2006; principalmente gracias a la biomasa. Más específicamente, el gobierno cubano está impulsando el desarrollo energético sostenible de la Isla de la Juventud. En esta isla, la comunidad de Cocodrilo, con 80 viviendas y 230 habitantes, fue electrificada a través de una microrred de 50 kW cuya fuente de energía primaria es la gasificación de biomasa. Por lo tanto, la electrificación urbana basada en energías renovables representa un desafío particular en países en desarrollo. Este análisis se enfoca en dichas zonas, que concentran la mayor necesidad de inversión en electrificación. (López-González et al., 2017, p. 1258)

MATERIALES Y MÉTODOS

En cuanto a la metodología fueron utilizados tanto métodos empíricos como teóricos, se emplearon los siguientes:

- ✓ Métodos teóricos:



Analítico: Se utilizó para la realización de todo el estado del arte y su procesamiento. Así se profundizó en la esencia del objeto del estudio, sobre la base de las fuentes consultadas. Además, se empleó en el análisis e interpretación de los resultados de los instrumentos aplicados y la modelación para reproducir la realidad que se está estudiando como objeto.

✓ Métodos empíricos:

Medición: Se utilizó para precisar la información numérica relacionada con la cubierta del edificio y los paneles fotovoltaicos.

Análisis de documentos: Se aplicó para constatar el registro del consumo eléctrico del edificio tanto diario como mensual durante los últimos cuatro años en aras de obtener un diagrama de consumo de electricidad amplio.

Observación: Se utilizó la observación de tipo directa, con el propósito de constatar el recorrido del sol y su incidencia en la cubierta del edificio para así poder localizar posibles lugares donde las estructuras o árboles pudiesen generar sombra sobre los sistemas fotovoltaicos a instalar.

Inspección del sitio:

El edificio Docente No. 1 de la Universidad de Sancti Spiritus, situado en Ave. de los Mártires N° 360, Sancti Spiritus alberga a varias dependencias de esta institución, tales como la Facultad de Ciencias Agropecuarias, el Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales (Ceepi), con sus laboratorios de producción, las áreas administrativas del Dpto. de Relaciones Internacionales, un nodo computacional, así como salones de reuniones y de conferencias.

El estado constructivo de la instalación es bueno, pues a pesar de ser un edificio construido a mediados del siglo pasado, se encuentra en perfecto estado, como se puede apreciar en las siguientes figuras:

Figura 1

Vistas del Docente 1

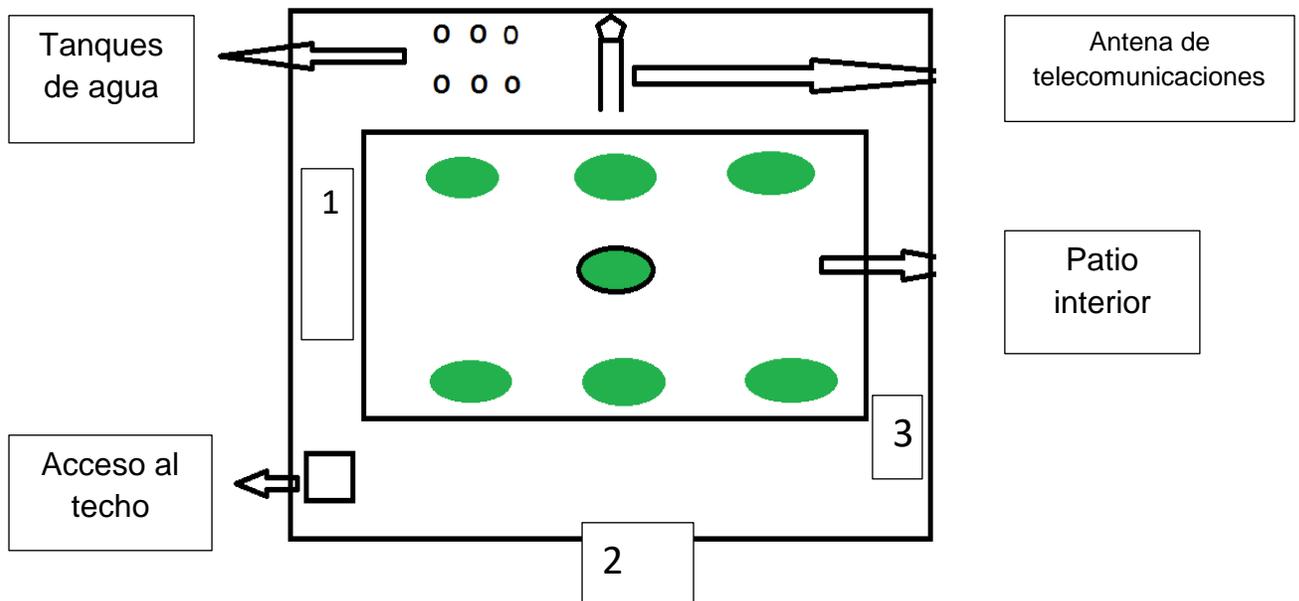




Este edificio de la universidad consta de un patio interior, donde hay árboles de hasta 10m de altura, tiene una gran demanda eléctrica pues alberga áreas de investigación con necesidades de sistemas de clima, así como la sección de laboratorios de producción que requieren de equipamientos que generan una gran demanda eléctrica. En total el edificio cuenta con aproximadamente 20 aires acondicionados y 100 computadoras. En la figura 2 se muestra un croquis simplificado del Docente 1 donde las regiones 1,2 y 3 son las elegidas para la instalación de los módulos fotovoltaicos.

Figura 2

Croquis del Docente 1



La cubierta de este edificio se encuentra en buen estado constructivo, y se puede considerar un espacio con condiciones favorables para montar un sistema solar fotovoltaico, pues a pesar de tener la caseta de la escalera y los tanques de agua, no se encuentra afectada la incidencia solar ni la acumulación de objetos físicos en el área de la cubierta que limiten la eficiencia de estos sistemas. En la figura 3 se muestra la cubierta del Docente 1 desde diferentes ángulos.

Figura 3

Cubierta vista desde diferentes ángulos



Radiación solar en el sitio

Los datos de radiación solar en el Docente 1, para la ejecución del proyecto fueron tomados con el programa METEONORM-SOLARGIS, el cual nos da la posibilidad de determinar la radiación global, la radiación plano inclinado y la temperatura promedio en cada mes del año 2019, para así poder determinar cuál es el tipo de estructura más factible para este sitio, así como la idoneidad del lugar para la ejecución de la obra. De acuerdo a lo anterior, la irradiación promedio por meses, tomando como referencia el año 2019, se muestra en la tabla 1.

Tabla 1

Irradiación promedio por meses

Meses	Irradiación horizontal global	Irradiación plano inclinado 25°	Temp. ambiente (°C)
-------	-------------------------------	---------------------------------	---------------------



	(kWh/m ²)	(kWh/m ²)	
Enero	137,6	176,8	22,4
Febrero	135,87	166,23	22,6
Marzo	186,2	200,4	23,9
Abril	193,6	193,2	24,9
Mayo	193,7	178,9	26,4
Junio	185,2	165,7	26,8
Julio	193,4	171,7	27,8
Agosto	169,91	163,2	27,2
Septiembre	155,8	161,1	26,6
Octubre	143,5	159,6	26,3
Noviembre	134,7	167,3	24,5
Diciembre	120,69	155,61	23,1
Año	1950,03	2059,74	25,20
Ganancia		5,62%	

Características de la red eléctrica

La red eléctrica de la edificación se encuentra en buen estado técnico, cuenta con un transformador eléctrico trifásico que permite, según criterio de la Unión Eléctrica (UNE) en el territorio, la instalación del sistema fotovoltaico proyectado. El sistema de distribución en el campo de módulos fotovoltaicos, incluye los conductores activos de cobre que transportan la energía producida y los conductores auxiliares. Todos los conductores que van de la caja de conexiones cercana al generador hasta el inversor serán de doble aislamiento e irán bajo tubo protector, en la medida de lo posible.

Propuesta de sistema fotovoltaico

Características de la instalación:

La instalación fotovoltaica se realizará sobre la cubierta del edificio, anteriormente mencionada, la cual se divide en 3 secciones: una



de 275,1 m², la segunda de 354,7m² y la última de 413,8m². Teniendo una ocupación total de 1043,6 m² con los módulos que está previsto a instalar. La instalación que se va a proyectar está formada por los siguientes componentes principales:

- Módulos fotovoltaicos
- Estructura
- Inversor
- Cableado y línea general
- Conexión a red

Se prevé la instalación de 70 módulos de 320Wp de la marca JinKO o similar de Silicio Policristalino, por tanto una potencia pico máxima de 22 400 Wp y un precio de 140 euros cada una. Para su conexión se utilizará 1 Inversor SunnyTripower 20000TL-30 SMA o similar, con un precio de 3341 euros y una potencia nominal de 20 000 W por tanto la potencia nominal de la instalación será de 20 kW.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Generador fotovoltaico

La conexión de estos módulos se configurará formando una asociación en paralelo de 2líneas de 9 paneles conectados en serie para la región número 1, de 2 líneas de 10 paneles conectados en serie para la región 2 y de 2 líneas de 16 paneles conectados en serie para la región 3, (70 paneles), de 1000W/m², temperatura de la célula de 25 °C y una masa de aire de 1,5 AM. Las regiones utilizadas son las previamente mostradas en la figura 1. Estos paneles de células de Silicio Policristalino, garantizan un eficiencia del 16,49 % con un máximo rendimiento del 98,4%, mientras exista radiación solar. Las cajas de conexiones para intemperie incorporan diodos de derivación (by-pass), para evitar la posibilidad de la rotura del circuito eléctrico en el interior del módulo como consecuencia de sombreados parciales de alguna célula.

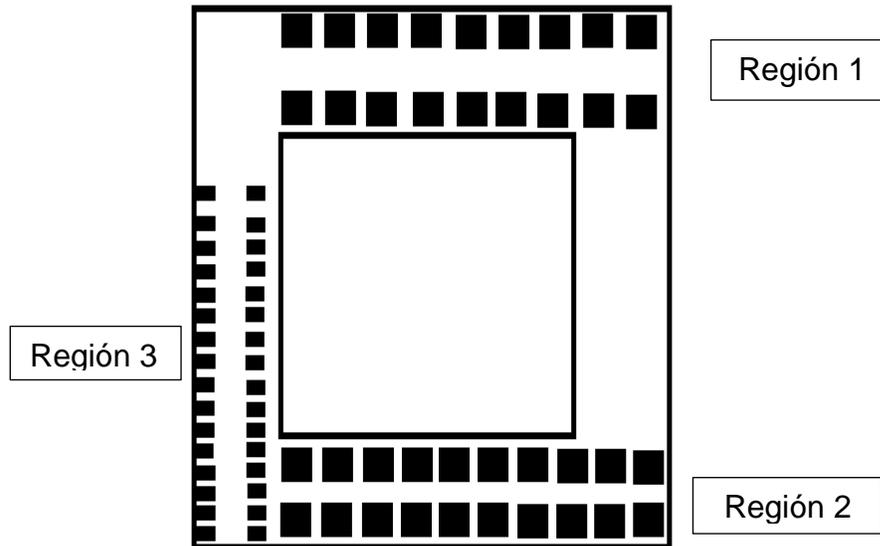
Plano en planta del sistema fotovoltaico propuesto

En la figura 4 se muestra el plano de la ubicación de los strings de los paneles solares en la cubierta del Docente 1.

Figura 4



Ubicación de los paneles solares en la cubierta del edificio

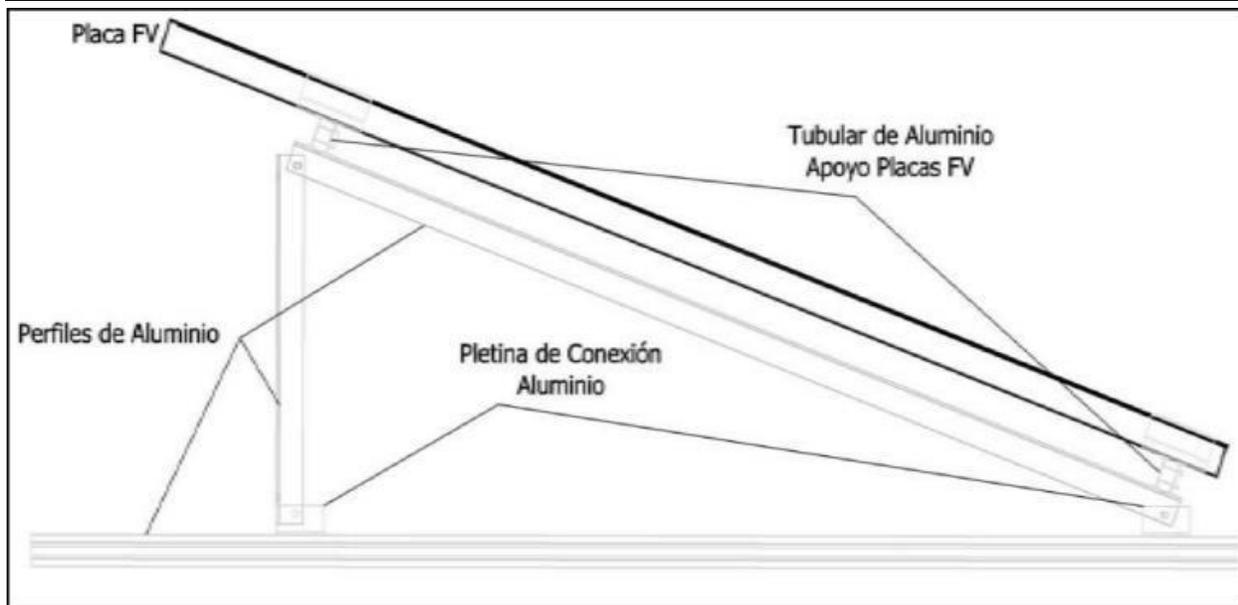


Propuesta de sistema de fijación del sistema fotovoltaico

La cubierta existente se acoplará a un sistema de tipo Chapa o Sándwich, el sistema a proponer se realizará mediante una estructura de aluminio que se fijará en la chapa sándwich mediante las piezas de unión. Los paneles van unidos a los perfiles tubulares, sobre los que se apoyan las placas fotovoltaicas y los que sirven de apoyo a los triángulos, son unidos entre sí para conseguir la continuidad del sistema. En la figura 5 se muestra la estructura propuesta para el soporte de los paneles solares.

Figura 5

Estructura de soporte propuesta para la fijación de los paneles fotovoltaicos



Las estructuras de fijación entre la cubierta y los paneles fotovoltaicos serán de producción extranjera, similares a las que suele utilizar la UNE, con una inclinación de 15°.

Características de los equipos tecnológicos que integran el Panel Fotovoltaico

Figura 6

Características del Panel fotovoltaico 320W

Características mecánicas	
Tipo de célula	Policristalina 156×156 mm (6 pulgadas)
Nº de células	72 (6×12)
Dimensiones	1956×992×40mm (77,01×39,05×1,57 pulgadas)
Peso	26,5 kg (58,4 libras.)
Vidrio frontal	4,0mm, alta transmisión, bajo contenido en hierro, vidrio templado
Estructura	Aleación de aluminio anodizado
Caja de conexión	Clase IP67
Cables de salida	TÜV 1×4,0 mm ² , Longitud: 900mm

Tomado de Solartex, Chile (pp. 1-3), 2020.

Tabla 2

Características mecánicas y especificaciones del panel solar JinKO



Tipo de modulo	JKM320PP	
	STC	NOCT
Potencia nominal (P _{máx.})	320Wp	238Wp
Tensión en el punto P _{máx.} -VMPP(V)	37,4V	34,7V
Corriente en el punto P _{máx.} -IMPP(A)	8,56A	6,86A
Tensión en circuito abierto-VOC(V)	46,4V	43,7V
Corriente de cortocircuito-ISC(A)	9,05A	7,30A
Eficiencia del módulo (%)	16,49%	16,49%
Temperatura de funcionamiento(°C)	-40.+85°C	-40.+85°C
Tensión máxima del sistema	1000VDC(IEC)	1000VDC(IEC)
Temperatura operacional nominal de célula	45 ± 2°C	45 ± 2°C



Tomado de Eficiencia Ecológica (p. 2), 2020.

Figura 7

Temperatura e irradiancia de la célula fotovoltaica



La empresa se reserva el derecho final de explicación de toda la información presentada por este medio. SP-MKT-320PP_rev2015

Tomado de Eficiencia Ecológica (p.3), 2020.

El inversor utilizado en la instalación tendrá una potencia nominal de 20 000 W, modelo SunnyTripower 20000TL-30SMA o similar.

El inversor es un equipo diseñado para inyectar a la red eléctrica convencional la energía producida por un generador fotovoltaico. Su principal misión es garantizar la calidad de la energía suministrada a la red, así como facilitar una serie de protecciones de la instalación.

Tabla 3

Datos técnicos del inversor SunnyTripower 20000TL-30SMA

Datos técnicos	SunnyTripower 20000TL
Entrada (CC)	
Potencia máxima de CC	20440 W
Tensión de entrada máx.	1000 V



Rango de tensión 320 V a 800 V/600 V

MPP/tensión asignada de
entrada

Tensión de entrada 150 V /188V
min/de inicio

Corriente máxima de 33 A
entrada

Número de entradas de 2
MPP independientes

Salida (CA)

Potencia asignada(a 230 20 000 W
V, 50 Hz)

Potencia máxima 20 000 VA
aparente de CA

Rango de tensión de CA 180 V a 280 V

Frecuencia de red de CA / 50 Hz / 44 Hz a 55 Hz
rango 60 Hz / 54 Hz a 65 Hz

Frecuencia asignada de 50 Hz / 230 V
red/ tensión asignada de
red

Corriente máx. de salida 29 A /29 A
/corriente asignada de
salida

Fases de 3 /3
inyección/conexión



Rendimiento

Rendimiento máx./europeo 98,4 % / 98,0 %

Datos generales

Dimensiones (ancho/ alto / fondo) 661 /682/264 mm

Peso 61 kg

Rango de temperatura de servicio -25°C a +60°C

Emisión sonora, típica 51 dB(A)

Autoconsumo nocturno 1 W

Tomado de Sunny Tripower,(pp. 1-3), SMA, 2016.

Propuesta del sistema de fijación del sistema fotovoltaico

Uno de los elementos más importantes de una instalación fotovoltaica, para asegurar un perfecto aprovechamiento de la radiación solar, es la estructura-soporte, encargada de sustentar los módulos solares y formar el propio panel, dándole la inclinación más adecuada en cada caso para que los módulos reciban la mayor radiación, consiguiendo un aumento en su eficacia.

La estructura para el soporte de los módulos se realizará en aluminio-magnesio, toda la tornillería será de acero inoxidable. Dicha estructura soporte de las placas deberá aguantar la fuerza del viento, como mínimo de 140 km/h. El tipo de anclaje para las placas solares dependerá de su ubicación, en nuestro caso se trata de una cubierta, y de las fuerzas que actúan sobre ella como consecuencia de la presión del viento a que se encuentre sometida.

Con ella se le dará al campo fotovoltaico una inclinación adecuada respecto de la horizontal para optimizar el rendimiento del mismo en función de la latitud del emplazamiento, además de buscar la integración



arquitectónica. En el caso de estudio la inclinación será de: 15° con Desviación Sur-Este: -32°.

Energía anual generada por el sistema fotovoltaico

En la tabla No. 4 están reflejados los valores de energía generada que se prevén en este proyecto.

Tabla 4

Producción diaria y mensual de energía

Mes	Producción diaria kWh/día	Producción kWh/mes
Enero	106	3140
Febrero	106	3018
Marzo	60	2206
Abril	70	2198
Mayo	56.6	2067
Junio	55	2023
Julio	61	2050
Agosto	51	1995
Septiembre	66	2007
Octubre	82	2470
Noviembre	95.5	3025
Diciembre	101	2096
Media anual	79	2346
	Producción anual	28.150

Listado general (preliminar) de equipos y materiales y costo aproximado de la inversión

- 1- Obra civil para colocación de estructuras.
- 2- Línea de cableado de paneles a inversores y de inversores a red (100m de cables).
- 3- 70 módulos de 320 Wp de la marca JinKO con un precio de 140 euros cada uno.
- 4- 1 Inversor SunnyTripower 20000TL-30 SMA con un precio de 3341 euros.



CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en esta propuesta de proyecto eléctrico, se definen las obras e instalaciones necesarias para la planta solar fotovoltaica a instalar en la cubierta de la Universidad de Sancti Spíritus(Uniss), en el Docente 1. Se prevé que esta planta sea capaz de generar una potencia pico máxima de 22 400Wp y una producción anual de 28150 kW lo que traerá a la universidad una mayor independencia energética, el uso de una fuente renovable de energía, amigable con el medio ambiente, incrementando la calidad y fiabilidad en la prestación de los servicios docentes e investigativos de la institución.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bravo Hidalgo, D. (2015). Energía y desarrollo sostenible en Cuba. *Centro Azúcar*, 42(4), 14-25. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v42n4/caz02415.pdf>
- Domínguez Piloto, A., Jáuregui Rigó, S. y Beltrán Marrero, J. (2019). Sistema fotovoltaico conectado a la red para alimentar la división territorial Copextel Cienfuegos. Anteproyecto y simulación. *Revista Centro Azúcar*, 46(4),39-49. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v46n4/2223-4861-caz-46-04-39.pdf>
- Eficiencia Ecológica. (2020). Características mecánicas del Panel Solar Jinko. <https://eficienciaecologica.com/tienda/paneles-solares/panel-solar-320w-jinko-solar/>
- López-González, A., Domenech, B., Gómez-Hernández, D. y Ferrer-Martí, L. (2017). Renewable microgrid projects for autonomous small-scale electrification in Andean countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1255-1265. <https://core.ac.uk/download/pdf/87657496.pdf>
- Osorio Laurencio, L. y Montero Laurencio, R. (2016). Análisis energético de un sistema fotovoltaico integrado a una cubierta plana horizontal. *Ingeniería Energética*, 37(1), 45-54. <http://scielo.sld.cu/pdf/rie/v37n1/rie06116.pdf>
- Partido Comunista de Cuba [PCC] (2011). *Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución*
-



[Lineamiento]. VI Congreso del Partido, La Habana, Cuba.
<https://www.tsp.gob.cu/sites/default/files/documentos/1%20lineamientos-politica-partido-cuba.pdf>

Rivera, T. y Olabe Egaña, A. (2015). La cumbre del clima en París: Documento de trabajo 3/2015. *Real Instituto Elcano*, 1-25.
https://observatorio.dadep.gov.co/sites/default/files/documentos/wp17_la_cumbre_del_clima_en_paris.pdf

SMA Solar Technology A. G. (2016). *Instrucciones de funcionamiento. SunnyTripower 15000TL / 20000TL / 25000TL*. <https://files.sma.de/downloads/STP15-25TL-30-BE-es-17.pdf>

Solartex. (2020). *Características Panel Solar Jinko 320W*.
<https://www.solartex.co/tienda/producto/panel-solar-320-watts-60-celdas-jinko-solar-mono/>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

E.S.H.: Diseño de la investigación, recolección de datos y modelación matemática, análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, la revisión crítica de su contenido ya probación final.

D.B.G.: Diseño de la investigación, recolección de datos, análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, revisión crítica de su contenido y aprobación final.

J.P.G.: Diseño de la investigación, análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, revisión crítica de su contenido ya probación final.



Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](#)

