

Fecha de presentación: diciembre, 2021

Fecha de aceptación: marzo, 2022

Fecha de publicación: mayo, 2022

POTENCIALIDADES

DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA SOBRE CUBIERTAS DE EDIFICACIONES EN UNA INSTALACIÓN HOTELERA.

PHOTOVOLTAIC GENERATION POTENTIALS ON BUILDING ROOFS IN A HOTEL FACILITY.

Andrés Lorenzo Álvarez González¹

E-mail: alvarez@ucf.edu.cu

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

Luis Angel Iturralde Carrera¹

E-mail: luisiturralde97@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5595-9329>

Reinier Jiménez Borges¹

E-mail: rjborges@ucf.edu.cu

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

José Pedro Monteagudo Yanes¹

E-mail: jpmyanes@ucf.edu.cu

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

Maidel Gómez Muñoz²

E-mail: maidel.gomez@etecsa.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0172-8824>

¹Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”, Cuba.

²CUM Palmira. Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”, Cuba.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Álvarez González A. L., Iturralde Carrera L. A., Jiménez Borges R., Monteagudo Yanes J. P & Gómez Muñoz M., (2022). Potencialidades de generación fotovoltaica sobre cubiertas de edificaciones en una instalación hotelera. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(3), 565-573.

RESUMEN

En la presente investigación se presenta el cálculo de las potencialidades de generación fotovoltaica a partir del aprovechamiento de las superficies de cubiertas de las edificaciones del Hotel Punta la Cueva, Cienfuegos. Para ello se partió de un estudio energético realizado en la instalación con el objetivo de identificar la demanda que se pretende satisfacer y se ejecutó el levantamiento constructivo de las edificaciones libres de sombra que pueden emplearse para el montaje de paneles fotovoltaicos considerando las dimensiones, orientación e inclinación de sus cubiertas, además se obtuvo la información meteorológica específica del territorio, necesaria para los cálculos de generación y su inclusión en el software especializado PVsyst. La simulación con el PVsyst evidenció que en el hotel existe un área disponible de cubiertas de edificaciones de 2 057.78 m², superficie donde es posible instalar un total de 891 módulos fotovoltaicos del modelo DSM-270, con una capacidad de generación de 240.33 kWp y una generación anual real de 363.96 MWh/año. Dicha instalación fotovoltaica es capaz de cubrir en su totalidad la demanda energética del hotel en el horario diurno y de entregar al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) un promedio 13.75 MWh/mes.

Palabras clave: consumo, cubiertas de edificaciones, electricidad, PVsyst, Sistema Solar Fotovoltaico (SSFV).

ABSTRACT

In the present investigation, the calculation of the potentialities of photovoltaic generation is presented from the use of the roof surfaces of the buildings of the Hotel Punta la Cueva, Cienfuegos. For this, an energy study was carried out at the facility with the aim of identifying the demand that is intended to be satisfied, and the constructive survey of the shade-free buildings that can be used for the assembly of photovoltaic panels was carried out, considering the dimensions, orientation and slope of its roofs, in addition, the specific meteorological information of the territory was obtained, necessary for the generation calculations and its inclusion in the specialized PVsyst software. The simulation with the PVsyst showed that in the hotel there is an available building roof area of 2 057.78 m², an area where it is possible to install a total of 891 photovoltaic modules of the DSM-270 model, with a generation capacity of 240.33 kWp and an actual annual generation of 363.96 MWh/year. This photovoltaic installation is capable of fully covering the hotel's energy demand during daytime hours and delivering an average of 13.75 MWh/month to the National Electric System (SEN).

Keywords: consumption, building roofs, electricity, PVsyst, PV system.

INTRODUCCIÓN

La energía es un factor esencial para el desarrollo de la sociedad y la prosperidad de hoy en día. La diversificación de las fuentes de energía es vital, particularmente para los países desarrollados dependientes del petróleo, en orden de alcanzar una mayor seguridad en las opciones de suministro. Actualmente se vive en una sociedad cuyo desarrollo viene de la mano de un consumo insostenible, en donde se exigen unos estándares de calidad y confort cada vez mayores, los cuales deben ser suplidos a través de las fuentes actuales de producción de energía, y con el ritmo actual de crecimiento, su sostenibilidad es discutible. Dentro de este marco los Sistemas Solares Fotovoltaicos (SSFV) se están desarrollando rápidamente desde hace varios años y en estos momentos se han establecido como fuentes importantes de energía alrededor del mundo en correspondencia con el creciente agotamiento de las fuentes convencionales.

Es por ello que ya los gobiernos centrales y estatales de la mayoría de los países del mundo promueven iniciativas para su utilización no solo en emplazamientos terrenales sino también sobre las cubiertas de las instalaciones, debido principalmente a la conveniencia de producir energía in situ para la edificación en el que van a ser instalados los módulos fotovoltaicos (Kumar et al., 2017).

La eficiencia de un SSFV depende en gran medida de las condiciones meteorológicas de su entorno (es decir, las condiciones meteorológicas del lugar de instalación) (Junaidh et al., 2017). Por lo tanto, es esencial estudiar la viabilidad del rendimiento del sistema fotovoltaico solar antes de su instalación. Hay formas de evaluar el rendimiento, y son mediante simulación utilizando las herramientas de modelado de energía o modelado numérico, o estudiando los parámetros del sitio utilizando modelos experimentales. Entre estos, el método más popular es la simulación utilizando herramientas de modelado de energía como PVsyst, HOMER, PVGIS, PV Watts, PV Online, SSISSIFO, RETScreen, etc. (Kumar, 2017; Kumar et al., 2017; Vishnupriyan & Manoharan, 2018, 2017). Entre las diversas herramientas de software mencionadas anteriormente, la más popular y ampliamente utilizada para el análisis de viabilidad es PVsyst (Belmahdi & Bouardi, 2020; Sharma et al., 2018; Vasudev et al., 2018).

En esta investigación se presenta el cálculo de las potencialidades de generación fotovoltaica a partir del aprovechamiento de las superficies de cubiertas de las edificaciones del Hotel Punta la Cueva, Cienfuegos. La instalación fotovoltaica en cuestión tiene como objetivo principal cubrir la demanda energética del hotel, aunque esta será concebida como un sistema conectado a red,

por lo que los excedentes de energía serán entregados al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), vendiéndose la energía al precio establecido por la Unión Eléctrica según Resolución correspondiente (Ministerio de Justicia de la República de Cuba, 2019). Entre los principales beneficios que esta inversión supondría para la instalación hotelera se puede destacar que esta presentará: una mayor independencia energética, una reducción de costos de energía anuales tanto por la reducción en el consumo como por los ingresos obtenidos de la venta de energía, y una mejora de su imagen corporativa por el hecho de fomentar energías limpias según (García et al., 2021; Jiménez Carmona, 2020; Sanz Muñoz, 2020).

MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso utilizado para el dimensionamiento del SSFV fue:

1. Análisis del consumo eléctrico de la instalación.
2. Levantamiento constructivo de las edificaciones que conforman la instalación.
3. Análisis de incidencia de la sombra sobre los techos de las edificaciones.
4. Selección de las áreas disponibles según los resultados de las acciones anteriores.
5. Simulación en el software especializado PVsyst para determinar potencial de generación fotovoltaico y características del SSFV.
6. Análisis de los resultados obtenidos en la simulación.

Características de la instalación

El hotel "Punta la Cueva" fue construido por trabajadores del Ministerio de la Construcción (MICONS) de Cienfuegos con el propósito original de funcionar como casa de visita del PCC. El proyecto original fue del arquitecto Roberto Cabrera de la EMPROY 9 de Santa Clara y a cargo de la obra estuvo el arquitecto Omar Moreira. Hoy en día forma parte de la cadena hotelera ISLAZUL.

Dentro de los servicios más significativos que presta, está el alojamiento para el cual cuenta con 67 habitaciones climatizadas, 64 dobles estándar y 3 cuádruples, TV satélite. Además, ofrece otras facilidades como son: restaurante a la carta, bar, parrillada, sala de fiestas, piscina, enfermería, caja de seguridad central, teléfono, y parqueo. Otro servicio importante es la venta de alimentos, a través del restaurante "Yaima" de comida internacional para 52 capacidades, y la parrillada "El Crepúsculo" (40 capacidades), una sala de fiestas "Imago", (100 capacidades) que funciona con espectáculos nocturnos los fines de semana y ofrece servicios de alquiler para eventos

de empresas. En el lobby-bar se oferta un servicio de coctelería de 10:00 am a 3:00 am. También posee una piscina y zona de playa que prestan servicios de pasadía y las llamadas fiestas piscina con la participación de cantantes y DJ. Además, tiene servicio de enfermería, alquiler de medios pasivos para la recreación y la realización de encuentros de softball. Además, tiene un área de estacionamiento y ofrece servicios de comedor para los trabajadores de la empresa y actividades gastronómicas a los mismos.

Localización y orientación de las edificaciones incluidas en el estudio

El SSFV estará emplazado sobre las cubiertas de las edificaciones del Hotel Punta la Cueva, el cual se encuentra situado en la ciudad de Cienfuegos, perteneciente a la provincia del mismo nombre, en el centro-sur de Cuba. Las coordenadas geográficas y datos meteorológicos del lugar están dados en la tabla 1, mientras que en la Figura 1 se presenta la climatología mensual.

Tabla 1. Datos meteorológicos de la región donde está enclavado el hotel. Fuente: Tomado de (RETScreen Plus, 2020).

N°	Magnitud	Valor	Unidades
1	Latitud	22,15	°N
2	Longitud	- 80,43	°E
3	Elevación	58	m
4	Temperatura diseño de calefacción	16,2	°C
5	Temperatura diseño de aire acondicionado.	30,6	°C
6	Amplitud de la temperatura del suelo	10,9	°C
Valores medios anuales			
7	Temperatura del aire	24,5	°C
8	Humedad Relativa	76,7	%
9	Radiación solar diaria	5,06	kWh/m2/día
10	Presión atmosférica	101,3	kPa.
11	Velocidad del viento	4,1	m/s
12	Temperatura del suelo	25,3	°C
13	Días Grado de calentamiento	0	°C-d
14	Días Grado de enfriamiento	5 290	°C-d anual

Lugar: **Punta la Cueva_Cienfuegos (Cuba)**
 Origen de datos: **Meteonorm 7.1 (2000-2009), Sat=100%**

	Irrad. Global kWh/m ² .mes	Difuso kWh/m ² .mes	Temp. °C	VelViento m/s
Enero	125.2	45.0	19.9	2.29
Febrero	122.3	53.4	21.5	2.20
Marzo	168.0	66.8	23.6	2.49
Abril	176.2	75.1	24.5	2.70
Mayo	179.2	82.0	26.3	2.30
Junio	169.1	82.4	26.6	1.59
Julio	177.8	85.1	27.3	1.59
Agosto	167.4	82.2	27.1	1.49
Septiembre	139.7	82.3	25.6	1.30
Octubre	128.8	71.4	24.9	1.70
Noviembre	121.2	52.0	22.2	2.00
Diciembre	108.8	50.6	21.5	2.09
Año	1783.7	828.3	24.3	2.0

Figura 1. Climatología mensual del lugar donde está emplazado el hotel. Fuente: Confección propia (PVsyst),2021.

Descripción energética de la instalación. Consumo energético demandado

Los estados de consumos de electricidad mensuales (demanda que se pretende satisfacer) del hotel en el horario diurno (horario donde se encontrará operando el SSFV) para los tres últimos años (2017-2019) están dados en la Figura 2. En ella se puede apreciar que el máximo consumo de energía eléctrica mensual es de 22 839 kWh correspondiente al mes de agosto del año 2019, mientras que el valor medio del consumo de energía eléctrica mensual de los tres años es de 16 575 kWh.

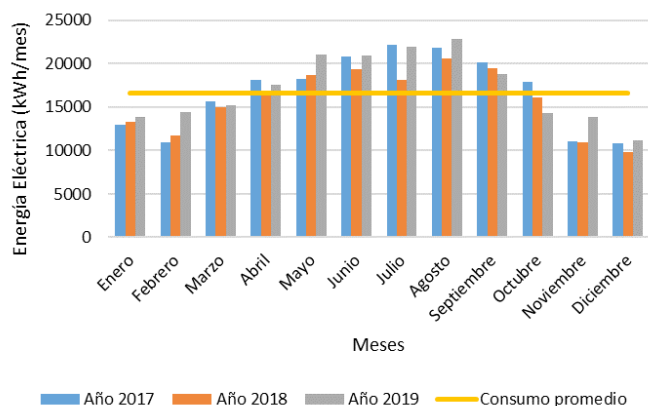


Figura 2. Consumo mensual de energía eléctrica en el horario diurno del Hotel Punta la Cueva en los años 2017, 2018 y 2019. Fuente: Confección propia (Excel),2021.

Levantamiento de las dimensiones de las cubiertas de las edificaciones.

La ubicación cardinal de esta instalación hotelera (22N; -80W), así como las edificaciones utilizadas en el estudio en cuestión se muestran en la Figura 3. Es válido destacar

que, debido a la incidencia de sombras y la utilización de parte de los techos en otras funciones, no en todas las cubiertas de las edificaciones se pudieron colocar módulos fotovoltaicos.



Figura 3. Vista superior de la distribución por áreas dentro del hotel. Fuente: Tomado de Google Earth, 2021.

Las edificaciones seleccionadas para la instalación del SSFV sobre sus cubiertas son los tres bloques habitacionales, la cocina y el lobby. Sobre estos dos últimos, la sujeción de los paneles se realizará sobre sus cubiertas, aprovechando la inclinación y orientación cardinal de estas, mientras que para el resto (bloques habitacionales), los módulos fotovoltaicos serán colocados en ramas (filas de módulos) con una inclinación de 15° sobre la horizontal en aras de: garantizar un mayor potencial de generación (incremento en la colocación de paneles) y una mayor resistencia a los vientos, privilegiar la generación en verano, además de que la disminución de energía solar captada por módulo no es influyente con respecto a la inclinación recomendada para este tipo de estudios en nuestro país de 22° (Santos et al., 2018; Stolik Novygrad, 2019). Las dimensiones del largo y ancho de cada una de las áreas de que dispone cada edificación sobre su cubierta son mostradas en la tabla 2.

Tabla 2. Dimensiones de las cubiertas de las edificaciones y áreas disponible para instalación de sistemas fotovoltaicos. Fuente: Confección propia (Excel),2021.

Edificación	Dimensión de la cubierta	Orientación cardinal	Ángulo de superficie	Área de las superficies
Nombre	m		Grados	m ²
Lobby	6.76x60	Sur	16	405.6
Cocina	12.42x8	Sur	15	99.36
Bloque habitacional # 1	40x15	-	0	600
Bloque habitacional # 2	40x15	-	0	600
Bloque habitacional # 3	40x15	-	0	600

Para el caso de las edificaciones con cubierta a dos aguas (cocina y lobby), las cuales tienen por supuesto diferente orientación (norte-sur), solo se tuvo en cuenta en este estudio el ala orientada al sur ya que la inclinación de estas (alas) es superior a los 5 grados con respecto a la horizontal, por lo que el ala orientada al norte incumple con los

requerimientos de la carta del 16 de marzo de 2020 de la Directora General de INEL, la compañera Delice Moreno García (García, 2020).

Descripción técnica de los módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos son los equipos encargados de producir, a través de una radiación solar incidente en ellos, una energía eléctrica en forma de corriente continua (CC).

El módulo fotovoltaico elegido es el DSM-270 de la marca NUMEN Solar de fabricación nacional. Se trata de un módulo de dimensiones 1650x990x40mm y un peso de 18,1 kg. El módulo fotovoltaico serie DSM-270 está compuesto por 60 celdas solares de formato 156,75mm x 156,75mm, conectadas en serie.

El arreglo de celdas solares se encuentra encapsulado en el interior de dos láminas de EVA (*Etilen Vinil Acetato*), insertado a la vez entre un vidrio templado con un espesor de 3,2mm por la parte frontal y por el dorso una lámina multicapas con excelentes propiedades eléctricas, químicas y mecánicas, la cual garantiza la protección del módulo y una adherencia perfecta con el EVA.

Las características mecánicas del módulo garantizan un fácil montaje de este tanto en instalaciones sobre cubierta, como es el caso, como en parques solares.

El fabricante asegura que la potencia de salida de los módulos fotovoltaicos se mantendrá en:

- 90% a los 10 años,
- 80% a los 25 años y
- 10 años de garantía contra defectos de fabricación.

Los módulos DSM cumplen con todos los requerimientos establecidos en las normas internacionales:

- IEC 61215 – Edición 2, IEC 61730 y
- Clase de protección II.

Cálculos del potencial de generación fotovoltaica de la entidad. Propuesta de los sub-arreglos por edificaciones

Para el cálculo del SSFV primeramente se hace necesario determinar algunos parámetros necesarios para su dimensionamiento. A continuación, se presentan algunas consideraciones que permiten el cálculo de estos:

- » El área disponible para la colocación de los módulos fotovoltaicos debe tomar en consideración la creación de pasillos en las cubiertas, garantizándose con esto una mayor accesibilidad de los operarios para el mantenimiento de los paneles y sus agregados. Para todas las cubiertas de edificaciones consideradas en este

estudio, los pasillos fueron estimados en los extremos de la superficie, a una distancia de 0.5m y a todo lo largo y ancho de la cubierta.

- » Para el caso de los bloques de habitaciones (como los módulos serán colocados en ramas ya que las superficies de sus cubiertas no presentan ninguna inclinación con respecto a la horizontal) se hace necesario la determinación de la distancia entre las filas de módulos. La distancia D , medida sobre la horizontal, entre filas de módulos o entre una fila y un obstáculo de altura h que pueda proyectar sombras (Figura 4), se puede determinar por medio de la siguiente expresión:

$$D = a + \frac{h}{\tan(61^\circ - \text{latitud})} \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

$$a = l * \cos \beta \quad \text{Ec.2}$$

$$h = l * \sin \beta \quad \text{Ec.3}$$

l → longitud de los módulos u objetos que proyecten sombra.

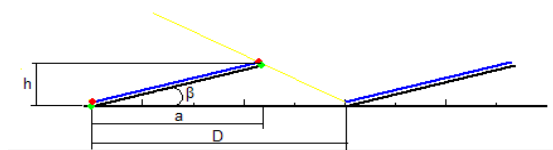


Figura 4. Esquema para la determinación de la distancia entre ramas. Fuente: Confección propia (PVsyst.7.1),2021.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En vistas de obtener un comportamiento lo más cercano posible con la realidad, se procedió a realizar la simulación del SSFV con el Programa PVsyst.6.7.0. Dicha versión del programa tiene como limitación, que solo permite realizar simulaciones a capacidades inferiores a 30 kWp. Ello obligó a que, en el caso de las edificaciones con capacidades totales superiores a este valor, realizar la simulación como sub-arreglos de forma independiente y luego sumar los resultados obtenidos para obtener el total de generación en cada una de las edificaciones. En la tabla 3 y en la tabla 4 se presentan un resumen de los resultados de las simulaciones de las cubiertas de conjunto con la estimación de la generación del SSFV a partir del criterio dado en la OM – 344 por Liván Arronte Cruz Ministro de Energía y Minas (Cruz., 2020), dirigida a los ministros, y en la cual incluye las indicaciones de la Directora General de INEL Delice Moreno García¹.

¹ Considerar un factor de 9 m²/kWp para estimar la potencia a instalar en la edificación.

La Figura 5 presenta el esquema simplificado de los sub-arreglos que componen la instalación fotovoltaica.

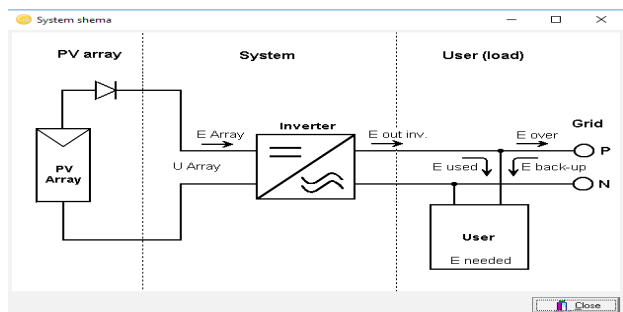


Figura 5. Esquema simplificado de los sub-arreglos de la instalación fotovoltaica. Fuente: Confección propia (PVsyst.7.1),2021.

Tabla 3. Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico según INEL y la simulación con PVsyst.6.7.0 (A). Fuente: Confección propia (Excel),2021.

CÁLCULO PRELIMINAR POR DIMENSIONES FÍSICAS Y ORIENTACIÓN (INEL)							
Edificación	Subarreglos	Dimensión de la cubierta	Orientación cardinal	Área de la superficie de la cubierta	Área disponible para la colocación de los módulos	HSP Cienfuegos	Energía generada anual según INEL
Nombre		m		m ²	m ²	HSP	MWh/año
Lobby	1	6.76X60	Sur	405.60	339.84	5.00	67.97
	2		Sur				
Cocina	-	12.42x8	Sur	99.36	79.94	5.00	15.99
Bloque Habitacional # 1	1	40x15	Sur (ramas)	600.00	546.00	5.00	109.20
	2		Sur (ramas)				
Bloque Habitacional # 2	1	40x15	Sur (ramas)	600.00	546.00	5.00	109.20
	2		Sur (ramas)				
Bloque Habitacional # 3	1	40x15	Sur (ramas)	600.00	546.00	5.00	109.20
	2		Sur (ramas)				
Total				2304.96	2057.78		411.56

Tabla 4. Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico según INEL y la simulación con PVsyst.6.7.0 (B). Fuente: Confección propia (Excel),2021.

PREDIMENSIONADO PVsyst.					
Edificación	Colocación de los módulos	Arreglo propuesto (módulos en serie X # de cadenas)	Ángulo superficie o inclinación de las ramas	Pot. Nominal	Energía generada anual (real)
Nombre			Grados	kWp	MWh/año
Lobby	Horizontal (landscape)	18x5	16	24.30	36.381
		17x5	16	22.95	34.258
Cocina	Horizontal (landscape)	11x4	15	11.88	17.843
Bloque Habitacional # 1	Vertical (portrait)	14x8	15	30.20	45.913
		14x8	15	30.20	45.913
Bloque Habitacional # 2	Vertical (portrait)	14x8	15	30.20	45.913
		14x8	15	30.20	45.913
Bloque Habitacional # 3	Vertical (portrait)	14x8	15	30.20	45.913
		14x8	15	30.20	45.913
Total				240.33	363.96

En el resumen de resultados mostrado en las tablas anteriores se puede visualizar que a partir de la simulación con el PVsyst la instalación cuenta con un área disponible de cubiertas de edificaciones de 2 057.78 m² con la posibilidad de instalar un total de 891 módulos fotovoltaicos del modelo DSM-270, con una capacidad de generación de 240.33 kWp y una generación anual real de 363.96 MWh/año. Por su parte en la Figura 6 se puede apreciar que dicha instalación cuenta con un factor de rendimiento (expresa la relación entre la productividad final y de referencia de la instalación) que se encuentra para todos los meses del año en el intervalo recomendado (0,74-0,80) según (Faiz et al., 2021; Jamil et al., 2019; Salazar Alava, 2016).

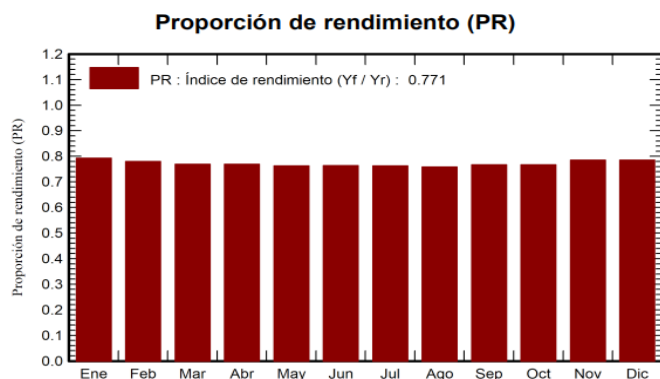


Figura 6. Proporción de rendimiento del SSFV. Fuente: Confección propia (PVsyst),2021.

En lo que concierne a las pérdidas de la instalación podemos observar en la Figura 7 que las mayores pérdidas del SSFV están dadas por el incremento de la temperatura y representa alrededor del 40% del total de pérdidas de la instalación.



Figura 7. Diagrama de pérdidas de la instalación en el año. Fuente: Confección propia (PVsyst),2021.

CONCLUSIONES

La determinación de los estados de consumos de energía eléctrica en el horario diurno para el periodo analizado (2017-2019) en la instalación arrojó que el máximo consumo es de 22 839 kWh/mes, correspondiente al mes de agosto del año 2019; mientras que el valor medio del consumo de energía eléctrica mensual de los tres años es de 16 575 kWh.

Las cubiertas seleccionadas para la instalación del SSFV fueron las de los tres bloques habitacionales, la cocina y el lobby. Para la colocación de los módulos fotovoltaicos sobre estas dos últimas se aprovechó la inclinación y orientación cardinal que estas poseen, mientras que para los bloques habitacionales los paneles serán colocados en ramas con una inclinación de 15° con respecto a la horizontal. Los módulos fotovoltaicos utilizados en esta investigación fueron los DSM-270 y han sido seleccionados por ser de producción nacional.

La simulación con el PVsyst para determinar las potencialidades de generación fotovoltaica sobre las cubiertas de las edificaciones del hotel mostró que en este existe un área disponible de cubiertas de edificaciones de 2 057.78 m², superficie donde existe la posibilidad de instalar un total de 891 módulos fotovoltaicos del modelo DSM-270, con una capacidad de generación de 240.33 kWp y una generación anual real de 363.96 MWh/año. Dicha instalación fotovoltaica es capaz de cubrir en su totalidad

la demanda energética del hotel en el horario diurno y de entregar al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) un promedio 13.75 MWh/mes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Belmahdi, B., & Bouardi, A. E. (2020). Solar Potential Assessment using PVsyst Software in the Northern Zone of Morocco. *Procedia Manufacturing*, *46*, 738-745. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.03.104>
- Faiz, F. U. H., Shakoor, R., Raheem, A., Umer, F., Rasheed, N., & Farhan, M. (2021). Modeling and Analysis of 3 MW Solar Photovoltaic Plant Using PVSyst at Islamia University of Bahawalpur, Pakistan. *International Journal of Photoenergy*, *2021*, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2021/6673448>
- García, F. N. J., Cardona, L. F. E., Ocampo, O. L., & Franco, A. M. R. (2021). Caracterización de sistemas de energía solar fotovoltaica en una región colombiana. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, *9*(2 (Julio-Diciembre)), 157-174.
- Jamil, I., Zhao, J., Zhang, L., Rafique, S. F., & Jamil, R. (2019). Uncertainty Analysis of Energy Production for a 3 x 50 MW AC Photovoltaic Project Based on Solar Resources. *International Journal of Photoenergy*, *2019*, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2019/1056735>
- Jiménez Carmona, M. (2020). *Diseño de una instalación de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria en un hotel* (p. 87) [Tesis de grado]. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/103334/TFG-2989-JIMENEZ%20CARMONA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Junaidh, P. S., Vijay, A., & Mathew, M. (2017). Power enhancement of solar photovoltaic module using micro-climatic strategies in warm-humid tropical climate. *2017 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/IPACT.2017.8245137>
- Kumar, N. M. (2017). Simulation Tools for Technical Sizing and Analysis of Solar PV Systems. *Proceedings of the 6th World Conference on Applied Sciences, Engineering and Technology (WCSET-2017)*, 26-27 August 2017, UMPO, Indonesia, ISBN 13: 978-81-930222-3-8, 218-222, At Universitas Muhammadiyah Ponorogo, Indonesia., 26-27.
- Kumar, N. M., Das, P., & Krishna, P. R. (2017). Estimation of grid feed in electricity from roof integrated Si-amorph PV system based on orientation, tilt and available roof surface area. *2017 International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICICT)*, 588-596. <https://doi.org/10.1109/ICICICT1.2017.8342629>
- Ministerio de Justicia de la República de Cuba. (2019). *Gaceta oficial de la República de Cuba. Decreto ley N° 345. Del desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía.*
- RETScreen Plus. (2020). *Datos Meteorológicos de la Nasa* (p. RETScreen Plus). Minister of Natural Resources Canada. <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465>
- Salazar Alava, E. J. (2016). *Análisis del factor de rendimiento y eficiencia para centrales de generación de energía solar fotovoltaica.* <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13100>
- Santos, R. D., Fuentefría, A. S., Fernández, M. C., & Llanes, M. V. (2018). Análisis de la influencia del ángulo de inclinación en la generación de una central fotovoltaica. *Revista de Ingeniería Energética*, *39*(3), 11.
- Sanz Muñoz, J. (2020). *Estudio de eficiencia energética con energía solar en un hotel.* [Tesis de grado]. ICAI de la Universidad Pontificia Comillas. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/45741/TFG-Sanz%20Munoz%20Jaime.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sharma, S., Kurian, C. P., & Paragond, L. S. (2018). Solar PV System Design Using PVsyst: 2018 International Conference on Control, Power, Communication and Computing Technologies, ICCPCCT 2018. *2018 International Conference on Control, Power, Communication and Computing Technologies, ICCPCCT 2018*, 123-128. <https://doi.org/10.1109/ICCPCCT.2018.8574334>
- Stolik Novygrad, D. (2019). *Energía fotovoltaica para Cuba* (Vol. 13). Cubasolar. <https://isbn.cloud/9789597113591/energia-fotovoltaica-para-cuba/>
- Vasudev, K. P., Mathew, M., Anand, A., & Hossain, J. (2018). Performance Analysis of a 48 kWp Grid connected Rooftop Photovoltaic System. *2018 4th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/I2CT42659.2018.9058318>

Vishnupriyan, J., & Manoharan, P. (2018). Optimizing an On-Grid Hybrid Power System in Educational Institution in Tamil Nadu, India. *Springer Transactions in Civil and Environmental Engineering*, 93-103. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1202-1_8

Vishnupriyan, J., & Manoharan, P. S. (2017). Demand side management approach to rural electrification of different climate zones in Indian state of Tamil Nadu. *Energy*, 138, 799-815. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.140>