

## Diseño de un sistema fotovoltaico para reducir costos en el casino Magic center, Moquegua – 2021

*Design of a photovoltaic system to reduce costs at the Magic center casino,  
Moquegua – 2021*

**James Uriel Montesinos Araca**

[jmontesinosaraca@gmail.com](mailto:jmontesinosaraca@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0006-7241-1644>

**Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua, Perú**

Artículo recibido el 02 de noviembre 2022 | Arbitrado el 30 de octubre 2023 || Aceptado el 30 de noviembre de 2023 | Publicado el 27 de mayo 2024

### RESUMEN

**Palabras clave:**

Energía renovable;  
Consumo energético y  
Sistema fotovoltaico.

El objetivo es diseñar un sistema fotovoltaico con el fin de disminuir costos operativos en el Casino Magic Center, Moquegua-2021, debido a la alta facturación de energía eléctrica convencional, además de contribuir con el cuidado del medio ambiente. El diseño de investigación es de tipo aplicada, con un nivel descriptivo se utilizó como muestra a los equipos que presentan un consumo reducido de energía eléctrica en la empresa, asimismo, los instrumentos que se emplearon son las guías de observación y la guía de análisis documental. Como resultado, se obtuvo que para cubrir una energía de diseño de 102.678 kW/día fue necesario 54 paneles fotovoltaicos, 9 baterías, 1 regulador y 1 inversor. Finalmente, se evidencia que el diseño del sistema fotovoltaico realizado para el casino Magic Center es viable al obtener un valor actual neto positivo de S/13,478.80, un TIR de 24.34% y un costo beneficio de S/1.12.

### ABSTRACT

**Keywords:**

Renewable energy; Energy  
consumption and  
Photovoltaic system.

The objective is to design a photovoltaic system in order to reduce operating costs at the Magic Center Casino, Moquegua-2021, due to the high billing of conventional electrical energy, in addition to contributing to the care of the environment. The research design is of an applied type, with a descriptive level, the equipment that presents a reduced consumption of electrical energy in the company was used as a sample. Likewise, the instruments that were used are the observation guides and the documentary analysis guide. . As a result, it was obtained that to cover a design energy of 102,678 kW/day, 54 photovoltaic panels, 9 batteries, 1 regulator and 1 inverter were necessary. Finally, it is evident that the design of the photovoltaic system carried out for the Magic Center casino is viable by obtaining a positive net present value of S/13,478.80, an IRR of 24.34% and a cost benefit of S/1.12.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, existen problemas ambientales que son considerados muy graves y que afectan a todo el planeta, como es el cambio climático, el aumento de temperatura a nivel mundial, la contaminación atmosférica y la precipitación ácida, entre otros, que tienen entre sus principales causantes el uso de combustibles fósiles tradicionales para generar energía eléctrica. Por otra parte, el consumo de energía eléctrica en el planeta aumenta debido al uso creciente de equipos y productos que funcionan con electricidad por parte de la sociedad moderna. Ante el panorama descrito es necesario, el desarrollo de tecnologías de energías renovables para obtener precios competitivos que permitan competir con las fuentes tradicionales de energía que generan contaminación ambiental, por lo anterior, se ha planteado estudiar, el diseño de un sistema fotovoltaico para reducir costos de operación en el casino Magic Center, realizando un análisis de costo beneficio para demostrar que el diseño de un sistema fotovoltaico reduce significativamente los costos de operación en el rubro de consumo de energía eléctrica.

La industrialización, el acelerado crecimiento de la población y la globalización del mundo, (Ağbulut, Ü. y Saridemir, S., 2021) indican que, han llevado al rápido deterioro de las fuentes de energía convencionales y no sostenibles de alta energía del mundo, especialmente en productos que derivan del petróleo, donde hoy en día, aproximadamente el 85% los combustibles fósiles son los más utilizados como fuente de energía primaria. Así mismo, la Australian Greenhouse Office, indica que el diésel produce 2,9 kilogramos de la liberación de gases de efecto invernadero por litro quemado de gasolina (Ağbulut, Ü. y Bakir, H., 2019), es así que la energía renovable (ER), como la energía fotovoltaica, es una alternativa a la electricidad convencional porque podría convertir estos procesos en tecnologías más sostenibles, ecológicas y autónomas, así como reducir los problemas ambientales asociados con la energía fósil (Ganiyu, S. O. y Martínez-Huitl, C. A., 2020).

Según el Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2019) el Perú también presenta un agotamiento de las fuentes de energéticas no renovables ya que atraviesa una caída sostenida y una reducción significativa en sus reservas de hidrocarburos. Por lo mismo, diversas entidades académicas han realizado convenios de investigación acerca de la demanda de energía eléctrica empleando sistemas fotovoltaicos, por lo que recopilamos información acerca de instalaciones aisladas con inversión privada. La Dirección Ejecutiva de Proyectos (DEP) empezó un programa de energías renovables en la que consideraban la generación de dichas energías con tecnología fotovoltaica. Estas iniciativas se sustentan porque, comparando con otros países, en la mayor parte de departamentos del Perú la energía solar es uniforme y bastante grande en todo el año, haciendo que su utilización sea muy atractiva (García, J. O., García, J. O., Navarro, C. O., López, R. S., Manosalva, M. A. C., Tapia, A., León, B. A., Benavente, M. V. y Lezama, L. M. A., 2022).

El casino Magic Center se encuentra localizado en el distrito de Moquegua, provincia Mariscal Nieto en la región de Moquegua, actualmente se ve en la necesidad y obligación de optimizar recursos y disminuir el consumo energético que generan, las instalaciones de maquinarias y equipos que funcionan fundamentalmente con energía eléctrica, por lo mismo, los costos de uso de la energía eléctrica son elevados. Esta situación es un grave problema para la operación de la empresa puesto que deben limitar el aforo, generando pérdidas económicas. El diseño y funcionamiento de un sistema fotovoltaico contribuirá a suministrar energía eléctrica sin tener que aumentar el costo que se le hace a la empresa concesionaria de electricidad, además de hacerlo de forma que no afecta al medio ambiente.

### Marco teórico

**Energía solar fotovoltaica y sistema fotovoltaicos** (Tobajas, 2018) el sistema fotovoltaico es un almacén de energía limpia y renovable que aprovecha la radiación solar con el propósito

de hacer electricidad. De acuerdo con el efecto fotoeléctrico, ciertos materiales son capaces de absorber fotones (partículas de luz) y liberar electrones, generando una corriente eléctrica. Según (Venkateswari, R. y Sreejith, S., 2019) los sistemas solares fotovoltaicos, son sistemas de energía cuya función es convertir la luz solar en electricidad a través de la utilización del efecto fotovoltaico. Con el objetivo de tener un provecho de la energía solar en la producción de electricidad (Venkateswari, R. y Sreejith, S., 2019) indica, se pueden diseñar dos tipos de instalaciones:

- Instalaciones aisladas de red o autónomas: se realizan en lugares en el que no hay alimentación

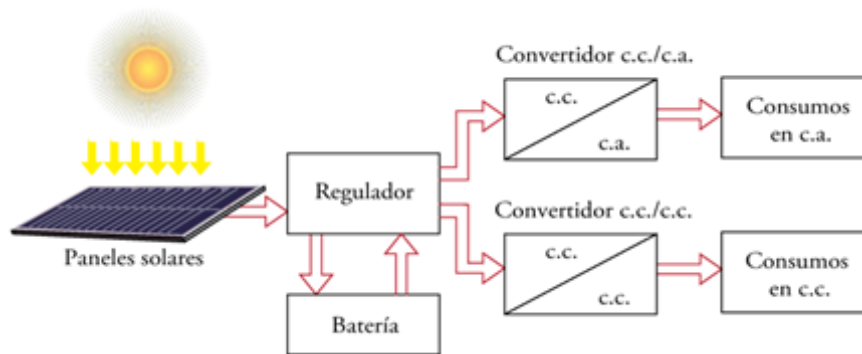
aplicaciones ganaderas y agrícolas, entre otros.

- Instalaciones conectadas a red: se tiene como objetivo obtener energía eléctrica para venderla después

Los Sistemas fotovoltaicos autónomos, son un grupo de elementos que hacen interconexión entre sí con el objetivo de proporcionar energía eléctrica a cargas determinadas, dentro de dichas cargas se encuentra equipos de telecomunicación, elementos de iluminación, frigoríficos, entre otros (Yatimi, H., Ouberri, Y. y Aroudam, E., 2019), así mismo, (Tobajas, 2018) un sistema fotovoltaico autónomo está formado por una placa o captador solar fotovoltaico, entre otros.

**Figura 1.**

Composición de una instalación solar fotovoltaica aislada



Nota: Datos tomados de Carlos Tobajas (2018)

Captador solar fotovoltaico, (Tobajas, 2018) es llamado también módulo fotovoltaico o panel solar. Constituye uno de los factores más primordiales de una instalación solar fotovoltaica porque su finalidad es recoger la energía solar radiante y transformar dicha energía en energía eléctrica. Está compuesto por una conexión de varias células solares y proporciona determinados niveles de corriente y voltaje que depende del número y tipo de células conectadas y del tipo de conexión.

La literatura sobre tecnología de paneles solares considera tres generaciones, los cuales se dividen en sistemas de primera generación (que son los que son comercialmente populares), utilizan la tecnología basada en silicio cristalino en su variante simple y policristalina; los sistemas de segunda eléctrica como viviendas aisladas, bombeo de agua,

generación que se basan en energía fotovoltaica delgada y generalmente abarcan tres grandes familias: Silicio sin estructura cristalina, compuesto de cadmio y selenio y cobre, indio y galio-diseleniuro; y las de tercera generación que están compuestas por tecnologías de células fotovoltaicas orgánicas que aún están en experimentación o aún no han sido comercializadas ampliamente, así como nuevos conceptos en desarrollo (Sampaio et al., 2018).

Paneles solares monocristalinos, Presentan el rendimiento más alto y es obtenido del silicio puro fundido y dopado con boro, tienen un precio medio alto. A pesar de ello, son las placas más utilizadas por su rentabilidad energética (Tobajas, 2018).

Paneles solares policristalinos, El rendimiento va entre los 12 y 14%, con un espesor

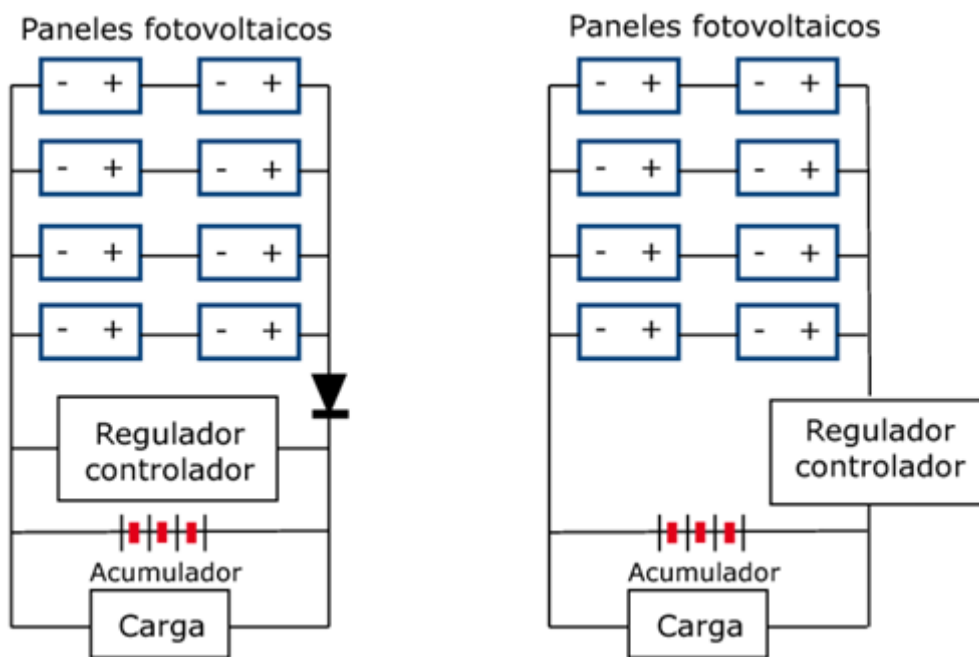
menor de muchas micras. A distinción de los monocristalinos, este tipo de paneles son de forma cuadrada permitiendo que haya un mejor provecho del espacio entre las células que lo conforman. Adicionalmente a ello, el valor por panel es reducido y se aplica menor cantidad de silicio en su fabricación haciendo un proceso menos complicado (Tobajas, 2018).

Regulador, Según Tobajas (2018) Los paneles solares fotovoltaicos producen una tensión que excede la tensión nominal de las baterías, y esto se da por dos razones: en primer lugar debido a una mayor temperatura, la tensión decrece; y en segundo lugar es porque el voltaje en la batería

ser cargada correctamente. En base a ello, el regulador tiene como fin principal prevenir sobrecargas y descargas excesivas en las baterías o acumuladores, ya que podrían causar daños permanentes. Además, garantiza que el sistema trabaje con la máxima eficiencia regulando la carga y descarga. Por su simplicidad, produce que las averías en el sistema fotovoltaico sean muy pobres, reduciendo significativamente el mantenimiento. Existen principalmente dos tipos de reguladores: regulador serie y regulador paralelo o shunt, ambos se diferencian tanto en la forma de trabajo como en el precio. El regulador shunt generalmente se utiliza en pequeñas instalaciones a comparación del regulador serie que se emplea en intensidades más elevadas.

Figura 2.

Composición de una instalación solar fotovoltaica aislada



Nota: Datos tomados de Carlos Tobajas (2018)

**Acumulador o batería.**

Según Tobajas (2018) su función es almacenar la energía eléctrica que el panel fotovoltaico captura después de que la radiación solar haya impactado en dicho módulo. En razón de uso, las baterías o acumuladores pueden ser:

- Estacionarios: Permanecen inamovibles en lugar tiene que ser superior con el fin de que pueda

específico y tienen corrientes inamovibles, no tienen la obligación de producir corrientes elevadas en cortos intervalos de tiempo y presentan mayor vida útil (Tobajas, 2018).

- De arranque: Pueden producir un elevado número de energía eléctrica en un breve intervalo de tiempo (Tobajas, 2018).

### Convertidor o inversor.

Según Tobajas (2018) los convertidores son instrumentos o herramientas cuya función es transformar la corriente eléctrica para que sea más adecuada para aplicaciones particulares. Los tipos más frecuentemente empleados son: la conversión de corriente continua a corriente continua (CC-CC) y la conversión de corriente continua a corriente alterna (CC-CA). Dentro de las características exigidas en un convertidor para poder ser empleado en instalaciones fotovoltaicas se tiene:

- Eficiencia razonable
- Estabilidad de voltaje
- Capacidad de resistir potencias puntas
- Baja distorsión de armónicos
- Arranque automático
- Buen manejo frente a la variación de temperatura
- Seguridad
- Señalización adecuada

### Radiación solar.

Según Tobajas (2018) es llamada también recurso solar o luz solar, es un término que se utiliza para la radiación electromagnética emitida por el sol. Puede ser capturada y convertida en maneras útiles de energía utilizando una variedad de tecnologías. La irradiancia es la magnitud que mide la cantidad de energía que llega a la Tierra en relación con el tiempo y el área. Su unidad de medida es el vatio por metro cuadrado ( $W/m^2$ ).

### Posición del sol.

Según Tobajas (2018) para realizar los cálculos solares es necesario conocer la ubicación del Sol con respecto al punto en el que se va a colocar la instalación solar. Dicha posición se determina a través de coordenadas horizontales las cuales son dos: la altura y el acimut.

- La altura es el ángulo medido entre los rayos solares y la superficie horizontal, teniendo como valor absoluto un ángulo menor a  $90^\circ$ . La inclinación entre los rayos solares y la vertical del lugar recibe el nombre de cenit y es el complemento de la altura (Tobajas, 2018).

- El acimut es el ángulo, medido sobre el horizonte y en sentido horario, entre los rayos del Sol y el sur del lugar (Tobajas, 2018).

### MÉTODO

Es investigación aplicada que se abastece de bases teóricas desarrolladas sobre sistemas fotovoltaicos, de diseño no experimental, cuyo alcance de la investigación es hasta el diseño de un sistema de generación de energía eléctrica fotovoltaica en base a datos en fuentes secundarias confiables

La Población y muestras, son la totalidad de elementos teóricos y técnicos de diseños similares desarrollados, adecuados a las condiciones y características de requerimientos de equipos que consumen energía eléctrica en el casino Magic Center, Moquegua.

#### Instrumentos para recolección de datos

- Guía de observación: Se utilizará la ficha de datos como instrumento para tener un listado de los equipos que se le suministrará energía eléctrica mediante el sistema fotovoltaico, así como la cantidad, potencia, horas de funcionamiento y energía.

- Guía de análisis documental: Se utilizará la ficha de registro como instrumento en el que se realizará una revisión en fuentes confiables como Nasa Power y PVGIS para la obtención y registro de datos como temperatura mínima, máxima e Irradiación

### RESULTADOS

#### Energía teórica requerida para las operaciones de Magic Center

Dentro de los equipos que presentan consumo energético en el casino Magic Center se encuentran las máquinas TGM, el aire acondicionado, extractor de aire y la iluminación general. En total existen un total de 115 máquinas TGM, 8 equipos de aire acondicionado, un extractor de aire y la iluminación general. El presente proyecto toma como muestra a



los equipos que presentan un menor consumo por lo que se ha considerado que el sistema fotovoltaico va a suministrar energía eléctrica a cierto número

de equipos, los cuales se presentan en la Tabla1, donde se calcula que la energía requerida es de 73,800 Wh/día o 73.8 kWh/día.

**Tabla 1.**

Demanda energética de los equipos

ITEM	Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Potencia TOTAL (W)	Horas / día	Energía (Wh/día)
1	Aire acondicionado	2	4000	8000	6	48000
2	Extractor de aire	1	1800	1800	6	9000
3	Iluminación general			1500	24	36000
	Potencia instalada (W)			11300		
<b>Energía requerida por día (Wh/día)</b>						<b>73800</b>

Elaboración Propia

**Energía real de diseño.**

Como en toda instalación eléctrica existen pérdidas en los componentes, lo mismo ocurre en un sistema fotovoltaico, presentando pérdidas en el proceso de almacenamiento, en el controlador de carga, entre otros. Por ello se considera el rendimiento global de la instalación (R) la cual se calcula con la ecuación 1.

*Ecuación [ 1 ]*

$$R = (1 - k_b - k_i - k_r - k_v) * (1 - k_a * N/P_d)$$

En el caso en que Kb representa el coeficiente de pérdida debido al rendimiento del acumulador, Ka refleje la fracción de energía que se disipa por autodescarga, Ki indique las pérdidas vinculadas al rendimiento del inversor, Kr denote las pérdidas en el controlador de carga, Kv incluya otras pérdidas no previamente mencionadas, N determine el número de días de autonomía necesario para garantizar un servicio sin carga y, por último, Pd representa la profundidad máxima de descarga permitida (Cantos, 2016).

Para el desarrollo de la ecuación 1, se utilizan los datos de la tabla mostrada en el apéndice G.

$$R = (1 - 0.05 - 0.05 - 0.1 - 0.05) * (1 - 0.005 * 5/0.6)$$

$$R = 0.719$$

Por lo que la energía real de diseño se halla mediante la ecuación 2.

$$E = \frac{\text{Energía teórica}}{\text{Rendimiento global de la instalación}} \quad \text{Ecuación [ 2 ]}$$

$$E = \frac{73800 \text{ Wh/día}}{0.719}$$

$$E = 102678.261 \text{ Wh/día} = 102.678 \text{ kWh/día}$$

**Evaluar el recurso solar en la zona del casino Magic Center, Moquegua**

**Temperatura máxima y mínima.**

El casino Magic Center se encuentra localizado en el distrito de Moquegua, provincia Mariscal Nieto en la región de Moquegua y presenta las coordenadas (latitud: - 17.1926 y longitud: -70.9363). En base a las coordenadas se recopilieron datos de la Irradiación, temperatura máxima, temperatura mínima obtenidos del sistema NASA – POWER (NP). Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2.**

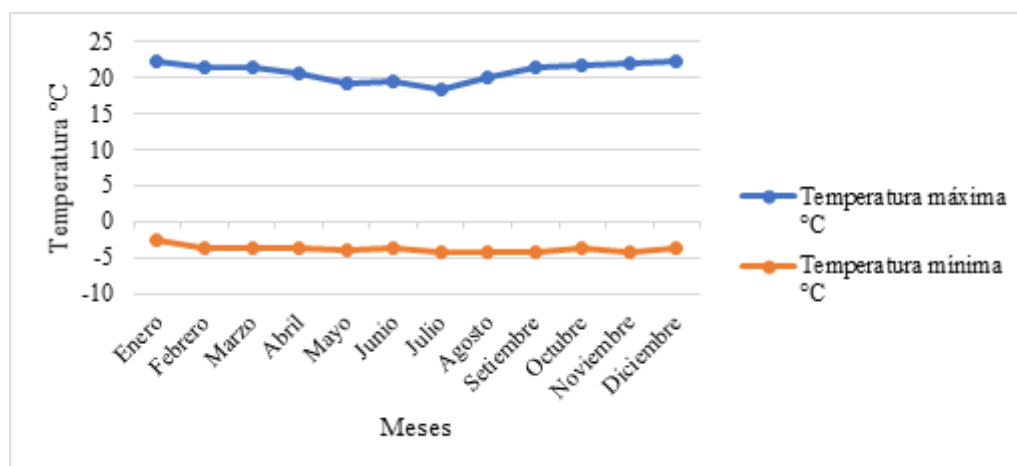
Temperaturas máximas y mínimas en la zona del casino Magic Center, Moquegua

Mes	Temperatura máxima °C	Temperatura mínima °C
Enero	22.15	-2.67
Febrero	21.51	-3.77
Marzo	21.5	-3.72
Abril	20.51	-3.64
Mayo	19.25	-3.85
Junio	19.38	-3.53
Julio	18.47	-4.31
Agosto	19.98	-4.22
Setiembre	21.34	-4.27
Octubre	21.68	-3.78
Noviembre	21.87	-4.31
Diciembre	22.12	-3.57
Promedio	20.81	-3.80
Máximo	22.15	-2.67
<b>Mínimo</b>	<b>18.47</b>	<b>-4.31</b>

Nota: Tomado de Nasa Power (2022)

**Figura 3.**

Composición de una instalación solar fotovoltaica aislada



En base a los datos mostrados, se observa que enero es el mes con mayor temperatura con 22.15 °C, mientras que los meses de julio y noviembre son los que menor temperatura presentan con -4.31°C

**Irradiación solar y Hora Solar Pico.**

Al igual que en la temperatura, mediante el sistema NASA – POWER se obtienen los datos de

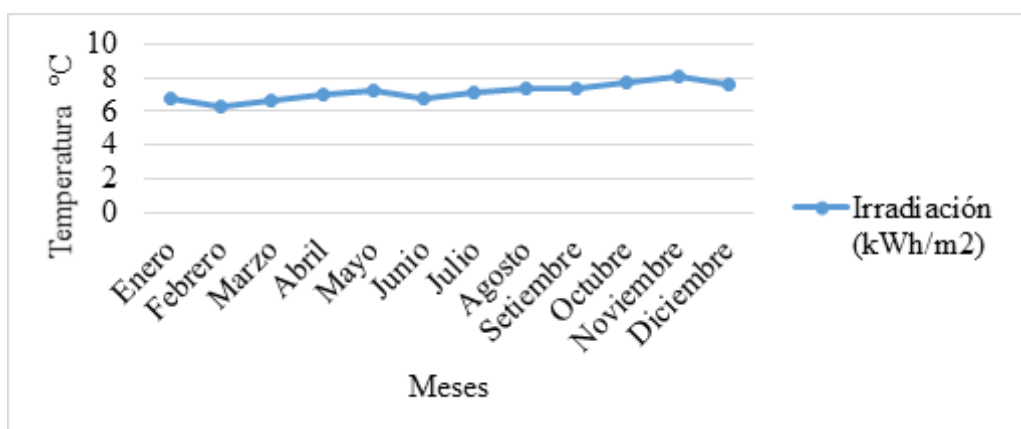
irradiación y se toma al mínimo valor presentado en la Tabla 3 como el valor de Hora Solar Pico.

**Tabla 3.**  
Irradiación solar en la zona del casino Magic Center, Moquegua

Mes	Irradiación (kWh/m <sup>2</sup> )
Enero	6.73
Febrero	6.28
Marzo	6.68
Abril	7
Mayo	7.26
Junio	6.76
Julio	7.16
Agosto	7.36
Setiembre	7.38
Octubre	7.7
Noviembre	8.05
Diciembre	7.59
Promedio	7.16
Máximo	8.05
<b>Mínimo</b>	<b>6.28</b>

Nota: Tomado de Nasa Power (2022)

**Figura 4.**  
Irradiación solar en la zona del casino Magic Center, Moquegua



En base a los datos mostrados, el valor de la Hora Solar Pico es de 6.28 horas.



### Ángulo de inclinación.

Para elegir el ángulo de inclinación se toma como promedio una serie de ángulos óptimos para

cada mes, obtenidas del sistema Nasa – Power, como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4.**

Ángulo óptimo de Irradiación en la zona del casino Magic Center, Moquegua

Mes	Irradiación (kWh/m <sup>2</sup> )
Enero	0
Febrero	0.5
Marzo	14
Abril	30
Mayo	42.5
Junio	45.5
Julio	45.5
Agosto	37
Setiembre	22
Octubre	6
Noviembre	0
Diciembre	0
Promedio	20.25
Máximo	8.05
<b>Mínimo</b>	<b>6.28</b>

Nota: Tomado de Nasa Power (2022)

Se toma el ángulo promedio de irradiación como el ángulo de inclinación que va a permitir obtener la mayor cantidad de energía posible, es decir 20°.

De la información mostrada anteriormente acerca de las temperaturas e irradiación, los datos más primordiales son aquellos que muestran las condiciones más adversas en las que el sistema fotovoltaico va a operar y estas son: la temperatura máxima, la cual es 22.15 °C; la temperatura mínima, la cual es -4.31 °C y la irradiación mínima, la cual es 6.28 kWh/m<sup>2</sup>.

**Calcular y seleccionar los componentes del sistema fotovoltaico en la zona del casino Magic Center, Moquegua**

### Tensión del sistema.

El sistema posee una tensión en base a la demanda o carga ya establecida, si dicha carga supera los 5 kW se elige una tensión de 48V.

### Cálculo de la potencia del generador.

Se tiene en cuenta la energía real de diseño de 102.678 kWh/día, en la cual se considera el rendimiento global de la instalación. Para hallar la Potencia del generador fotovoltaico (PG-FV) se aplica la ecuación 3 (Cantos, 2016).

$$P_{G-FV} = \frac{\text{Energía real de diseño}}{\text{Hora solar pico}} \quad \text{Ecuación } [3]$$

$$P_{G-FV} = \frac{102678.26 \text{ Wh/día}}{6.28 \text{ h/día}} = 16350 \text{ W}$$

**Número de paneles.**

El número de paneles depende del panel elegido, en este estudio es de la marca Era Solar y

cuyas características más importantes se presentan en la Tabla 5. Las características adicionales se presentan en Anexo 4.

**Tabla 5.**

Características del panel ERA SOLAR

Mes	Temperatura máxima °C	Temperatura mínima °C
Pmax	340	W
Vnom	48	V
Vpm	38.5	V
Ipm	8.84	A
Voc	46.4	V
Isc	9.45	A
TNOCT	45	°C
Coef. Temp. Pmax	-0.38001	%
Coef. Temp. Voc	-0.29506	%
<b>Coef. Temp. Isc</b>	<b>0.08558</b>	<b>%</b>

Nota: Tomado de AutoSolar (2022)

Se halla la temperatura de la celda (Tc) en base a la temperatura máxima, obtenida de la Tabla 5 temperaturas máximas y mínimas en la zona de casino Magic Center, Moquegua y de la Temperatura Nominal de Operación del Módulo (TNOCT) mediante la ecuación 4.

$$T_c = T_a + G * \frac{TNOCT - 20}{800} \quad \text{Ecuación [ 4 ]}$$

Dónde, Ta: Temperatura ambiente, G: Irradiancia, la cual tiene como valor normalizado 1000W/m2 (Escalante, Pourjafari, Peralta, Riquelme, & Sánchez, 2021), TNOCT: Temperatura Nominal de Operación del Módulo (Cantos, 2016).

Por lo que obtenemos:

$$T_c = 22 + 1000 * \frac{45-20}{800} = 53.40 \text{ °C}$$

Para elegir adecuadamente el número de paneles fotovoltaicos, se deben hacer correcciones, esto debido a la temperatura. Es por ello que se aplican las ecuaciones 5, 6 y 7, para hallar la

variación de la potencia máxima, voltaje de circuito abierto y la corriente de corto circuito (Cantos, 2016).

$$\Delta P_{max} = (T_{cmax} - 25)^\circ C * \text{Coef. } T_{Pmax} \% / ^\circ C \quad \text{Ecuación [ 5 ]}$$

$$\Delta V_{OC} = (T_{cmin} - 25)^\circ C * \text{Coef. } T_{Voc} \% / ^\circ C \quad \text{Ecuación [ 6 ]}$$

$$\Delta I_{SC} = (T_{cmax} - 25)^\circ C * \text{Coef. } T_{Isc} \% / ^\circ C \quad \text{Ecuación [ 7 ]}$$

Por lo que se obtiene:

$$\Delta P_{max} = (53.40 - 25)^\circ C * -0.38001 \% / ^\circ C = -10.79\%$$

$$\Delta V_{OC} = (-4 - 25)^\circ C * -0.29506 \% / ^\circ C = 8.65\%$$

$$\Delta I_{SC} = (53.40 - 25)^\circ C * 0.08558 \% / ^\circ C = 2.43 \%$$

En base a las variaciones anteriormente determinadas y aplicando las ecuaciones 8, 9 y 10, se hallan las correcciones de la potencia máxima, el voltaje de El circuito en su estado abierto y la corriente de cortocircuito, que corresponden a finalmente se harán los cálculos para el número de paneles.

$$P_{\max \text{ correg}} = P_{\max} + \Delta P_{\max}$$

Ecuación [ 8 ]

$$V_{OC \text{ correg}} = V_{OC} + \Delta V_{OC}$$

Ecuación [ 9 ]

$$I_{SC \text{ correg}} = I_{SC} + \Delta I_{SC}$$

Ecuación [ 10 ]

$$P_{\max \text{ correg}} = 340 \text{ W} - 36.694 \text{ W} = 303.31 \text{ W}$$

$$V_{OC \text{ correg}} = 46.4 \text{ }^\circ\text{C} + 4.01 \text{ }^\circ\text{C} = 50.41 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$I_{SC \text{ correg}} = 9.45 \text{ A} + 0.23 \text{ A} = 9.68 \text{ A}$$

El número de paneles fotovoltaicos en serie se determina mediante la ecuación 11.

$$N^{\circ}_{PS} = \frac{V_{NOM}}{V_{pm}} \quad \text{Ecuación [ 11 ]}$$

Donde:

$N^{\circ}_{PS}$ : Número de paneles en serie,  $V_{NOM}$ : Voltaje o Tensión del sistema y  $V_{PM}$ : Voltaje o Tensión de potencia máxima (Cantos, 2016).

$$N^{\circ}_{PS} = \frac{48 \text{ V}}{38.5 \text{ V}}$$

$$N^{\circ}_{PS} = 1.247$$

$$N^{\circ}_{PS} \approx 2 \text{ paneles}$$

El número de paneles fotovoltaicos en paralelo se determina mediante la ecuación 12 (Cantos, 2016).

$$N^{\circ}_{PP} = \frac{P_{G-FV}}{P_{\max \text{ correg}} * N^{\circ}_{PS}} \quad \text{Ecuación [ 12 ]}$$

$$N^{\circ}_{PP} = \frac{16350 \text{ W}}{303.31 \text{ W} * 2}$$

$$N^{\circ}_{PP} = 27 \text{ paneles}$$

Por lo tanto, el número total de paneles utilizados se determina mediante la ecuación 13 (Cantos, 2016).

$$N^{\circ}_{PF} = N^{\circ}_{PS} * N^{\circ}_{PP} \quad \text{Ecuación [ 13 ]}$$

$$N^{\circ}_{PF} = 2 * 27$$

$$N^{\circ}_{PF} = 54 \text{ paneles}$$

Es decir, son 54 paneles de la marca Era Solar y para determinar la potencia que generan, se toma en cuenta la potencia máxima corregida por el número de paneles, empleando la ecuación 14

(Cantos, 2016).

Potencia total generada

$$= N^{\circ}_{PF} * P_{\max \text{ correg}} \quad \text{Ecuación [ 14 ]}$$

$$\text{Potencia total generada} = 54 * 303.31 \text{ W}$$

$$\text{Potencia total generada} = 16378.74 \text{ W} = 16.38 \text{ kW}$$

### Cálculo de la batería.

Para calcular la capacidad de la batería se halla en base a la energía de diseño o demanda energética, los días de autonomía, así como también el voltaje de la batería y profundidad de descarga, tomados del Apéndice I, obteniendo la ecuación 15 (Cantos, 2016).

$$\text{Capacidad (Ah)} = \frac{\text{Demanda Energética} * \text{Días de autonomía}}{V_{NOM} * \text{Profundidad Descarga}} \quad \text{Ecuación [ 15 ]}$$

$$\text{Capacidad (Ah)} = \frac{102678.26 \text{ Wh/día} * 1.21 \text{ día}}{48 \text{ V} * 0.6}$$

$$\text{Capacidad (Ah)} = 4313.91 \text{ Ah}$$

De acuerdo al almacenamiento de la batería se ha elegido la batería solar 48V 500Ah Sopzs, cuyas características se encuentran en Apéndice E Para elegir el número de baterías en serie y en paralelo, así como el número total de baterías, se aplican las ecuaciones 16, 17 y 18 respectivamente.

$$N^{\circ} \text{ de bat. en serie} = \frac{\text{Tensión del sistema}}{\text{Tensión de la batería}} \quad \text{Ecuación [ 16 ]}$$

$$N^{\circ} \text{ de bat. en paralelo} = \frac{\text{Capacidad de la batería calculada}}{\text{Capacidad de la batería}} \quad \text{Ecuación [ 17 ]}$$

$$N^{\circ} \text{ Total bat.} = N^{\circ} \text{ de bat. en serie} * N^{\circ} \text{ de bat. en paralelo} \quad \text{Ecuación [ 18 ]}$$

Por lo tanto, el número de baterías son:

$$N^{\circ} \text{ de baterías en serie} = \frac{48 \text{ V}}{48 \text{ V}}$$

$$N^{\circ} \text{ de baterías en serie} = 1$$

$$N^{\circ} \text{ de baterías en paralelo} = \frac{4313.91 \text{ Ah}}{500 \text{ Ah}}$$

$$N^{\circ} \text{ de baterías en paralelo} = 8.63 \approx 9$$

$$N^{\circ} \text{ total de baterías} = 1 * 9$$

$$N^{\circ} \text{ total de baterías} = 9$$

Para determinar la capacidad total de las baterías, se tiene:

$$\text{Capacidad total de las baterías} = 9 * 500 \text{ Ah}$$

$$\text{Capacidad total de las baterías} = 4500 \text{ Ah}$$

### Cálculo del regulador.

Para la corriente del regulador se determina mediante la corriente pico del generador, la cual es el producto del número de paneles en paralelo con su corriente en corto circuito rectificada. Además de considerar un margen de seguridad con un factor de seguridad, por lo que se aplica la ecuación 19.

$$I_{reg} = N_{pp} * I_{SC\ correj} * f.seg. \quad \text{Ecuación [19]}$$

Dónde

$I_{reg}$ : Corriente del regulador

$N_{pp}$ : Número de paneles en paralelo

$I_{SC\ correj}$ : Corriente de corto circuito corregida

f.seg.: Factor de seguridad

Se aplica un factor de seguridad del 15% por lo tanto se tiene una corriente de regulador de:

$$I_{reg} = 27 * 9.68 * 1.15$$

$$I_{reg} = 300 \text{ A}$$

### Cálculo del inversor.

El inversor se determina en base a la potencia total del consumo, es decir, a la demanda energética. Dicha demanda se va a ver afectada por un factor de simultaneidad el cual se aplica puesto que no todos los equipos que consumen energía eléctrica van a ser puestos en funcionamiento a la vez. La potencia del inversor se calcula o establece mediante la ecuación 20.

$$P_{inv} = \text{Demanda energética} * f.s \quad \text{Ecuación [20]}$$

Dónde:  $P_{inv}$ : Potencia del inversor, f.s.: Factor de simultaneidad, en este caso es 0.7, el cual se halla mediante la (carga máxima total/Suma de potencias nominales de los dispositivos).

$$P_{inv} = 11300 \text{ W} * 0.7$$

$$P_{inv} = 7910 \text{ W}$$

### Cálculo de la sección cable.

Para determinar la sección de un conductor eléctrico en mm<sup>2</sup> se aplica la ecuación 21.

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{\% \Delta V} \quad \text{Ecuación [21]}$$

En esta fórmula, S representa la sección transversal del conductor en milímetros cuadrados (mm<sup>2</sup>), L es la longitud del conductor en metros (m), I denota la corriente en amperios (A), %ΔV representa el porcentaje de caída de tensión, y ρ es la conductividad del material, 0.017 Ω mm<sup>2</sup>/m (Cantos, 2016).

Los tramos que el conductor eléctrico va a recorrer empiezan desde el generador fotovoltaico al regulador, del regulador a las baterías, del regulador al inversor y del inversor al tablero. Es por ello que, por cada tramo considerado se debe analizar la sección del conductor.

$$S_{\text{generador-regulador}} = \frac{2 * 0.017 * 7 * 238.68A}{3\% * 48}$$

$$S_{\text{generador-regulador}} = 39.4 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{regulador-baterías}} = \frac{2 * 0.017 * 4 * 238.68A}{3\% * 48}$$

$$S_{\text{regulador-baterías}} = 22.5 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{baterías-inversor}} = \frac{2 * 0.017 * 6 * 164.79}{1\% * 48}$$

$$S_{\text{baterías-inversor}} = 70 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{inversor-tablero}} = \frac{2 * 0.017 * 12 * 164.79}{3\% * 220}$$

$$S_{\text{inversor-tablero}} = 0.6 \text{ mm}^2$$

### Evaluación económica del sistema fotovoltaico

En primer lugar, se realiza un presupuesto económico basado en las cotizaciones realizadas a proveedores de la zona, en el que se consideran los equipos que componen el sistema fotovoltaico, así como los conductores.

**Tabla 6.**  
Costo de inversión para sistemas fotovoltaicos

Descripción	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Panel fotovoltaico	Policristalino Era	54	S/ 638.32	S/ 34,469.28
Batería	Batería Solar 48V 500Ah Sopzs	9	S/ 6,450.00	S/ 58,050.00
Regulador fotovoltaico	SR-MC45100N25	1	S/ 3,224.12	S/ 3,224.12
Inversor	Huawei SUN2000-8KTL Trifásico 8 kW	1	S/ 10,159.80	S/ 10,159.80
<b>Total</b>				<b>S/ 105,903.20</b>

Adicionalmente, se presenta un costo por mantenimiento para garantizar la disponibilidad del sistema fotovoltaico.

**Tabla 7.**  
Costo de mantenimiento

Recursos	Cantidad	Costo H/H	Horas	Total, S/.
Técnico electricista	1	12	40	S/480.00
Ayudante electricista	1	6	40	S/240.00
Otros	1	7	8	S/56.00
<b>Total</b>				<b>S/776.00</b>

El mantenimiento a paneles solares se realiza cada 3 o 4 veces al año para su óptimo funcionamiento. Por lo que el costo anual de mantenimiento será de S/ 776.00.

### Evaluación económica proyectado del sistema fotovoltaico

En la tabla 9 se muestra el resultado del ingreso anual ahorrado que se genera por el sistema fotovoltaico, que asciende a S/ 26,882.51

**Tabla 8.**  
Ingreso anual del sistema fotovoltaico

kWh-día	kWh-mes	kWh-año	Costo kWh (S/)	Total, S/
102.678	3080.34	36964.08	0.727	S/ 26,882.51

Así mismo, en la tabla 9 se muestra los cálculos del flujo de caja anual que se ha obtenido de los ingresos ahorrados y restando los egresos, durante el periodo de 20 años, obteniendo un flujo de caja neto, lo que indica la viabilidad del proyecto.

**Tabla 9.**

Flujo de caja

Año	Egresos			Ingresos		Total, de ingresos	Flujo de caja
	Inversión	Cambio de equipos	Costos operativos	Total, de egresos	Cobro de energía		
0	S/105,903.20	0	0	S/105,903.20	S/ 0.00	-S/105,903.20	-S/105,903.20
1	0	0	S/776.00	S/776.00	S/26,882.51	S/ 26,106.51	-S/79,796.69
2	0	0	S/776.00	S/776.00	S/26,882.51	S/ 26,106.51	-S/53,690.18
3	0	0	S/776.00	S/776.00	S/26,882.51	S/ 26,106.51	-S/27,583.67
4	0	0	S/776.00	S/776.00	S/26,882.51	S/ 26,106.51	-S/1,477.16
5	0	0	S/776.00	S/776.00	S/26,882.51	S/ 26,106.51	S/24,629.35
6	0	0	S/776.00	S/776.00	S/26,882.51	S/ 26,106.51	S/50,735.86
7	0	0	S/776.00	S/776.00	S/26,882.51	S/ 26,106.51	S/76,842.37
8	0	0	S/776.00	S/776.00	S/26,882.51	S/ 26,106.51	S/102,948.88
9	0	0	S/776.00	S/776.00	S/26,882.51	S/ 26,106.51	S/129,055.39
10	0	0	S/776.00	S/776.00	S/26,882.51	S/ 26,106.51	S/155,161.89
11	0	0	S/776.00	S/776.00	S/26,882.51	S/ 26,106.51	S/181,268.40
12	0	0	S/776.00	S/776.00	S/26,882.51	S/ 26,106.51	S/207,374.91
13	0	0	S/776.00	S/776.00	S/26,882.51	S/ 26,106.51	S/233,481.42
14	0	0	S/776.00	S/776.00	S/26,882.51	S/ 26,106.51	S/259,587.93
15	0	0	S/776.00	S/776.00	S/26,882.51	S/ 26,106.51	S/285,694.44
16	0	0	S/776.00	S/776.00	S/26,882.51	S/ 26,106.51	S/311,800.95
17	0	0	S/776.00	S/776.00	S/26,882.51	S/ 26,106.51	S/337,907.46
18	0	0	S/776.00	S/776.00	S/26,882.51	S/ 26,106.51	S/364,013.97
19	0	0	S/776.00	S/776.00	S/26,882.51	S/ 26,106.51	S/390,120.48
<b>20</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>S/776.00</b>	<b>S/776.00</b>	<b>S/26,882.51</b>	<b>S/ 26,106.51</b>	<b>S/416,226.99</b>

**Cálculos del TIR y VAN.**

TIR (Tasa Interna de Retorno) y VAN (Valor Actual Neto) son herramientas financieras esenciales para evaluar proyectos e inversiones. TIR determina la tasa que iguala flujos de efectivo con inversión inicial, mientras que VAN compara flujos de efectivo con inversión. Ambos guían decisiones financieras, con TIR positivo y VAN mayor a cero indicando rentabilidad. (Bonilla, Guzmán, & Gutiérrez, 2022)

Para hallar la cantidad de los valores económicos como es el TIR y el VAN, se desarrollará una caja de flujo durante los 20 años que es el tiempo de duración del sistema fotovoltaico a excepción de las baterías que, según su estado de carga, pueden ser reemplazadas cada 12 años según especificaciones técnicas de fabricante y el regulador fotovoltaico en el año 13 años por la profundidad de descarga y según especificaciones técnicas. Los resultados de los indicadores del VAN y TIR se muestran en la tabla 10.



**Tabla 10.**  
Indicadores económicos del proyecto

Indicador económico	Monto
Cálculo del VAN	S/13,478.80
Cálculo de la TIR	24.34%
<b>Cálculo de la ratio Beneficio / Costo</b>	<b>S/1.12</b>

## DISCUSIÓN

El diseño de un sistema fotovoltaico para cubrir la demanda energética diaria del casino Magic Center en Moquegua ha culminado en un proyecto altamente eficiente. La necesidad de energía eléctrica en un establecimiento como este es considerable, dado el funcionamiento continuo de equipos esenciales como aires acondicionados, extractores de aire e iluminación general. Para satisfacer esta demanda, se optó por suministrar energía a equipos de luminarias y ventilación que en conjunto requerían una potencia instalada de 11.3 kW. Este enfoque se tradujo en un diseño que genera una energía real de 102.678 kWh/día, proporcionando un suministro confiable y sostenible para el casino.

Es importante destacar la elección estratégica de la ubicación geográfica del casino Magic Center, que se encuentra en las coordenadas de latitud igual -17.1926 y longitud igual a -70.9363. Estas coordenadas colocan al establecimiento en un área con un clima favorable para la generación de energía solar. Durante enero, la temperatura máxima alcanza los 22.15 °C, mientras que en noviembre la temperatura mínima desciende a -4.31°C. Además, la irradiación mínima de 6.28 kWh/m<sup>2</sup> y un ángulo de inclinación óptimo de 20° para aprovechar al máximo la radiación solar contribuyen a la viabilidad de este proyecto. Estas condiciones climáticas brindan una base sólida para la explotación efectiva de la energía solar en esta región.

La selección cuidadosa de los componentes del sistema fotovoltaico fue un factor determinante en el éxito de este proyecto. La combinación de 54

paneles fotovoltaicos Policristalino Era de 340 W, 9 Baterías Solar 48V 500Ah Sopzs, un regulador fotovoltaico SR-MC45100N25 y un inversor Huawei SUN2000-8KTL trifásico de 8 kW resultó en un sistema óptimamente dimensionado. Estos componentes fueron elegidos para asegurar que el sistema generara suficiente energía para satisfacer el 100% de la demanda diaria del casino, cumpliendo así con los requisitos operativos del establecimiento.

Desde una perspectiva económica, la implementación de este sistema fotovoltaico implica una inversión inicial de S/105,903.20. Aunque esta cifra representa un desembolso significativo, el proyecto demuestra su valía a largo plazo. El análisis financiero revela un valor actual neto (VAN) positivo de S/13,478.80, lo que indica que la inversión inicial se recupera y genera beneficios adicionales. La tasa interna de retorno (TIR) del 24.34% también indica una rentabilidad sustancial a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Asimismo, el índice de costo beneficio de S/1.12 demuestra que cada unidad monetaria invertida genera un beneficio adicional, lo que subraya aún más la viabilidad económica de este proyecto. Incluso con el precio actual de 0.727 kWh en el mercado, el proyecto sigue siendo económicamente atractivo, respaldando su viabilidad en el contexto actual.

Finalizando con ello, el diseño e implementación de este sistema fotovoltaico para el casino Magic Center en Moquegua es un ejemplo sólido de cómo la energía solar puede ser utilizada de manera efectiva y rentable para abastecer las necesidades energéticas de establecimientos comerciales. Además de ser una solución ambientalmente sostenible, este

proyecto destaca la importancia de aprovechar fuentes de energía renovable para garantizar un futuro energético más seguro y sostenible; estos resultados son similares a trabajos de investigación tales como (El-Houari, H., Allouhi, A., Rehman, S., Buker, M. S., Kousksou, T., Jamil, A. y El Amrani, B., 2019), donde diseñan, simulan y optimizan un sistema fotovoltaico autónomo (SAPV) con el fin de proporcionar energía eléctrica no contaminante basada en una fuente renovable para una casa rural, concluyeron que el sistema SAPV propuesto pudo satisfacer una parte considerable de la carga de la vivienda, además, el uso fotovoltaico de estos sistemas puede mitigar la contaminación ambiental y brindar medidas correctivas, por su parte (Urgilés, 2019) en su artículo de investigación tuvo como fin principal analizar, simular e implementar un sistema fotovoltaico que aproveche la radiación solar con el propósito de transformar energía eléctrica. Concluyó que el sistema fotovoltaico está de acuerdo a la demanda eléctrica que tiene la capilla permitiendo garantizar la eficiencia energética. A nivel nacional también se han realizados trabajos de investigación similares, como de (Flores, 2018) en su tesis tuvo como principal propósito realizar una propuesta de diseño de un sistema fotovoltaico con el fin de suministrar energía eléctrica a la localidad de Parque Bajo-Sector La Tuna, donde concluyó que el sistema fotovoltaico logró cubrir la máxima demanda requerida; (Florián, 2022) tuvo como objetivo dimensionar un sistema eléctrico fotovoltaico para realizar la demanda eléctrica del Taller de Procesos de Manufactura de la Universidad Politécnica Amazónica, concluyó que el proyecto es si tiene viabilidad con un retorno de inversión a largo plazo; (Mejía, 2019) diseña un sistema fotovoltaico autónomo con el propósito de suministrar energía eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica, donde concluye que los sistemas fotovoltaicos pueden asegurar calidad de suministro eléctrico, reducción del impacto ambiental y garantizar calidad de suministro eléctrico del campus universitario.

## CONCLUSIONES

Primera. Se logró realizar el diseño de un sistema fotovoltaico para el casino Magic Center de la ciudad de Moquegua que cubre una demanda diaria de 102.678 kWh/día que cubre el consumo de los equipos de aire acondicionado, extractor de aire e iluminación general.

Segunda. Se optó por suministrar energía con el sistema fotovoltaico a equipos de luminarias y ventilación que poseen una potencia instalada de 11.3 kW, siendo la energía real de diseño de 102.678 kWh/día.

Tercera. Se identificó que el casino Magic Center se encuentra localizado en las coordenadas (latitud: - 17.1926 y longitud: -70.9363), por ende, posee enero la temperatura máxima de 22.15 °C y en noviembre la temperatura mínima de -4.31°C, mientras que la irradiación mínima de 6.28 kWh/m<sup>2</sup> y un ángulo de inclinación de 20° para el máximo aprovechamiento de la irradiación. Por lo expuesto, el casino Magic Center presenta condiciones favorables con la finalidad de aprovechar la radiación solar.

Cuarta. Se logró abastecer el 100% de la demanda de 102.678 kWh/día mediante el cálculo y posterior selección del sistema fotovoltaico que requirió contar de 54 paneles fotovoltaicos Policristalino Era de 340 W, 9 Baterías Solar 48V 500Ah Sopzs, un regulador fotovoltaico SR-MC45100N25 y un inversor Huawei SUN2000-8KTL trifásico de 8 kW.

Quinta. Para la implementación del sistema fotovoltaico se requiere una inversión inicial de S/105,903.20 y el sistema fotovoltaico presenta un valor actual neto positivo de S/13,478.80, un TIR de 24.34% y un costo beneficio de S/1.12. Por lo expuesto, se observa que es un proyecto viable a pesar de poseer un precio en el mercado de 0.727 kWh.

## REFERENCIAS

- Ağbulut, Ü. y Bakir, H. (2019). The Investigation on Economic and Ecological Impacts of Tendency to Electric Vehicles Instead of Internal Combustion Engines. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 25–36. <https://doi.org/10.1080/01430750.2018.1563822>
- Ağbulut, Ü. y Sarıdemir, S. (2021). A general view to converting fossil fuels to cleaner energy source by adding nanoparticles. *International Journal of Ambient Energy*, 42(13), 1569–1574. <https://doi.org/10.1080/01430750.2018.1563822>
- Arias, J. y Covinos, M. (2021). Diseño y Metodología de la Investigación. Enfoques Consulting EIRL.
- Bartolini, A., Corti, F., Reatti, A., Ciani, L., Grasso, F. y Kazimierzczuk, M. K. (2020). Analysis and Design of Stand-Alone Photovoltaic System for precision agriculture network of sensors. 2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe). <https://doi.org/10.1109/EEEIC/ICPSEUROPE49358.2020.9160554>
- El-Houari, H., Allouhi, A., Rehman, S., Buker, M. S., Kousksou, T., Jamil, A. y El Amrani, B. (2019). Design, Simulation, and Economic Optimization of an Off-Grid Photovoltaic System for Rural Electrification. *Energies*, 12(24). <https://doi.org/10.3390/EN12244735>
- Flores, E. (2018). Diseño de un Sistema fotovoltaico para el suministro de Energía Eléctrica a la localidad de Paruque Bajo-Sector La Tuna, Distrito de Julcán [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/25299>
- (Florián, 2022)Ganiyu, S. O. y Martínez-Huitle, C. A. (2020). The use of renewable energies driving electrochemical technologies for environmental applications. *Current Opinion in Electrochemistry*, 22, 211–220. <https://doi.org/10.1016/J.COEELEC.2020.07.007>
- García, J. O., García, J. O., Navarro, C. O., López, R. S., Manosalva, M. A. C., Tapia, A., León, B. A., Benavente, M. V. y Lezama, L. M. A. (2022). Meta Análisis de los Sistemas Fotovoltaicos en Viviendas Rurales. Casos: Perú y Bolivia. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 6(1), 21–35. <https://doi.org/10.25127/aps.20221.852>
- Hernández-Callejo, L., Gallardo-Saavedra, S. y Alonso-Gómez, V. (2019). A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance. *Solar Energy*, 188, 426–440. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2019.06.017>
- Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa cualitativa y mixta. In universidad tecnologica laja Bajio. McGraw Hill. <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/handle/54000/1292>
- (Mejía, 2019)Ministerio de Energía y Minas. (2019). Libro Anual de Recursos de Hidrocarburos 2019. [https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/LARH\\_2019\\_Resumen\\_Ejecutivo\\_31\\_08\\_2021.pdf](https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/LARH_2019_Resumen_Ejecutivo_31_08_2021.pdf)
- Real Academia Española. (2022). Costo. <https://dle.rae.es/costo>
- Sampaio, P., González, M., De Vasconcelos, R., Dos Santos, M., De Toledo, J. y Pereira, J. (2018). Photovoltaic technologies: Mapping from patent analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 215–224. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2018.05.033>
- Tobajas, M. C. (2018). Energía solar fotovoltaica. Cano Pina.
- Urgilés, E. (2019). Diseño, modelado e implementación de un sistema fotovoltaico para la capilla de la comunidad Macas alto de la parroquia Quingeo del cantón Cuenca [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Cuenca]. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/8250>
- Venkateswari, R. y Sreejith, S. (2019). Factors influencing the efficiency of photovoltaic system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 376–394. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2018.11.012>
- Yatimi, H., Ouberrri, Y. y Aroudam, E. (2019). Enhancement of Power Production of an Autonomous PV System Based on Robust MPPT Technique. *Procedia Manufacturing*, 32, 397–404. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.232>