

ARK: <https://n2t.net/ark:/87558/tekhnc.26.2.1>

Dimensionamiento de un sistema de energía solar fotovoltaica para una vivienda familiar en Maracay, Edo Aragua.

Alexis Barroso¹, Luis Ramírez²

alexisbarroso@ucab.edu.ve¹, luisram@ucab.edu.ve²

<https://orcid.org/0000-0002-5109-9077>¹

Facultad de Ingeniería, Universidad Católica Andrés Bello¹²

Resumen

Venezuela posee recursos en energías renovables como la solar que permitirían diversificar la matriz energética, un caso de aplicación es la fotovoltaica que ha venido creciendo en su implementación a nivel mundial. Al presentarse racionamientos eléctricos en el país, se hace necesario soluciones rápidas y consonas con el ambiente y en directa vinculación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Este trabajo tiene como objetivo diseñar una alternativa para la generación de electricidad a nivel residencial, en una vivienda tipo, ubicada en la región central del país. Para el diseño se han considerado equipos disponibles en el país y que cumplan con normas de calidad internacional. Con la demanda tipo residencial media, se obtuvo un sistema de paneles fotovoltaicos de 2,2 kWp, con respaldo de baterías mayor a 6 horas y un inversor de 6 kVA. La producción de energía de este sistema fotovoltaico depende de los índices de radiación solar del lugar, pero el país ofrece condiciones idóneas para la explotación de este tipo de energía.

Palabras clave: Energía fotovoltaica, inversor, Horas solares pico, Batería, irradiación solar.

Sizing a photovoltaic solar energy system for a family home in Maracay, Aragua State.

Abstract

Venezuela has renewable energy resources, such as solar energy, which would allow diversification of the energy matrix. One case of application is photovoltaic energy, which has been growing in its implementation worldwide. Due to the presence of electricity rationing in the country, it is necessary to find quick and environmentally friendly solutions, in direct connection with the Sustainable Development Goals (SDGs). This work aims to design an alternative for the generation of electricity at the residential level, in a typical house, located in the central region of the country. For the design, equipment available in the country and that meet international quality standards have been considered. With the average residential demand, a system of 2.2 kWp photovoltaic panels was obtained, with battery backup of more than 6 hours and a 6 kVA inverter. The energy production of this photovoltaic system depends on the solar radiation indexes of the place, but the country offers ideal conditions for the exploitation of this type of energy.

Keywords: Photovoltaic energy, inverter, peak sun hours, battery, solar irradiance.

Dimensionamento de um sistema de energia solar fotovoltaica para uma casa de família em Maracay, Edo Aragua.

Abstract

A Venezuela possui recursos energéticos renováveis, como a energia solar, que permitiriam a diversificação da matriz energética. Um caso de aplicação é a energia fotovoltaica, que tem sido cada vez mais implementada em todo o mundo. Quando ocorre um racionamento de energia elétrica no país, é necessário encontrar soluções rápidas e ecologicamente corretas e diretamente ligados aos Objectivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O objetivo deste trabalho é projetar uma alternativa para a geração de energia elétrica a nível residencial, em uma casa típica, localizada na região central do país. Para o projecto, foram considerados equipamentos disponíveis no país e que obedecem a padrões internacionais de qualidade. Com a procura média residencial, obteve-se um sistema de painéis fotovoltaicos de 2,2 kWp, com bateria de reserva para mais de 6 horas e um inversor de 6 kVA. A produção de energia deste sistema fotovoltaico depende dos índices de radiação solar do local, mas o país oferece condições ideais para a exploração deste tipo de energia.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica, inversor, horas de pico solar, bateria, irradiação solar.

i. INTRODUCCIÓN

El continuo crecimiento industrial, comercial, residencial y el nivel de bienestar de la sociedad actual exige grandes cantidades de energía. En el caso particular de Venezuela la base de la matriz energética para la generación de electricidad es procedente de combustibles fósiles (petróleo y gas natural) y grandes hidroeléctricas como Guri, Caruachi y Macagua; ubicadas en la Región de Guayana. Pero, debido a la indisponibilidad térmica y falta de inversiones se presentan racionamientos eléctricos recurrentes en varias zonas del país.

Una posible solución a este problema es la generación de electricidad limpia a partir de

energías renovables, en este caso la solar fotovoltaica. Debido a sus grandes ventajas, los sistemas fotovoltaicos han logrado un alto nivel de cobertura global y disminución de costos.

Por otra parte, se tiene la necesidad de incrementar la utilización de energías renovables y limpias en todo el mundo, expresados en los objetivos del desarrollo sostenible (ODS), específicamente el objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna; complementándola con el uso racional del recurso [1]. Donde la energía solar tiene un protagonismo fundamental a nivel mundial.

Uno de los mayores beneficios del éxito de la energía solar no es sólo la electricidad limpia y barata que puede producir, sino las lecciones que aporta a la innovación y desarrollo en otras tecnologías, necesarias para hacer frente al cambio climático y los otros aspectos vinculantes con las 169 metas propuestas desde la Organización de Naciones Unidas (ONU) como agenda común y transversal de la humanidad [2].

La energía solar presenta una gran cantidad de ventajas frente a otras tecnologías a saber de:

- Es gratuita, favorece al autoabastecimiento energético y una menor dependencia del exterior en cuanto a disponibilidad de combustibles e interconexión a la red eléctrica.
- Es una tecnología de diseño modular, que produce energía a cualquier escala permaneciendo constante el costo.
- Mantenimiento básico, puede realizarse en el ámbito local.
- Promueve el desarrollo de varios sectores de la economía.
- Presenta rentabilidad en aplicaciones de electrificación rural, esto comparado con sistemas de generación convencional.

El diseño más simple de un sistema fotovoltaico puede constar de un módulo o panel, regulador y una carga, como en la alimentación directa del motor DC de una bomba de agua, que sólo tiene que funcionar con la luz del sol [3].

Los sistemas fotovoltaicos se distinguen en tres tipos principales, según la configuración y el sistema de funcionamiento: autónomos, conectados a la red e híbridos. El sistema fotovoltaico básico y sus elementos siguen siendo los mismos [4].

Uno de los objetivos importantes en las fases de diseño de los sistemas fotovoltaicos es la selección correcta y el tamaño exacto de los componentes, además que cumplan con ciertos niveles de calidad. Esto depende de las especificaciones de carga o demanda a suministrar, irradiación, temperatura de la zona, entre otros.

Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo diseñar una alternativa para la generación de electricidad a nivel residencial, en una vivienda tipo ubicada en la región central del país.

Diseño del sistema fotovoltaico

En la Figura 1 se muestra el diagrama esquemático de un sistema fotovoltaico autónomo. En la fase de diseño se determinará el número necesario de módulos fotovoltaicos necesarios para obtener la energía solar requerida para satisfacer las demandas de carga y la capacidad de la batería, la cual almacenará energía suficiente para varios horas o días. Es decir, cuando la energía solar sea mínima, así como las características del resto de componentes que conforman el sistema como

reguladores de carga, cables e inversores [3][5][6].

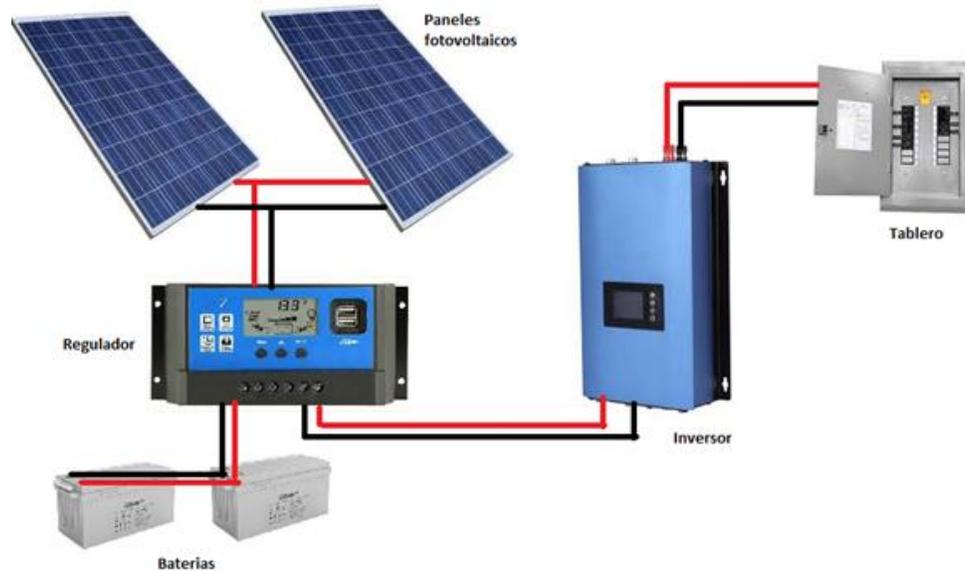


Figura 1: Diagrama de un sistema fotovoltaico autónomo [6]

Fuente: Elaboración propia

Los principales componentes de los sistemas fotovoltaicos son [6]:

- Paneles fotovoltaicos: generan electricidad a partir de la energía del Sol en corriente continua (CC).
- Baterías: almacenan la electricidad generada por los paneles para poder utilizarla en horas en que la energía consumida es superior a la generada por los módulos fotovoltaicos y en las horas nocturnas.
- Reguladores de carga: controla el proceso de carga y descarga de las baterías, evitando sobrecargas y descargas profundas y alargando

así la vida útil de las mismas. En los inversores híbridos no es necesario este equipo.

- Inversores: El inversor solar es el enlace entre el arreglo fotovoltaico y la red y las cargas que se alimentan en corriente alterna (CA). Su tarea básica es convertir la electricidad fotovoltaica generada por los módulos en corriente continua en electricidad CA y ajustar a la frecuencia y nivel de tensión del sistema eléctrico. El tamaño del inversor debe ser un 20-25% mayor que la potencia total del sistema.

La insolación solar es otro parámetro que varía a lo largo del día, debido a las nubes, niebla y lluvia. Estas situaciones son las principales

razones que explican la variación de la potencia de salida generada por los paneles fotovoltaicos.

Una Hora Solar Pico, Figura 2, es una hora equivalente a 1000 W/m² de luz solar [6]. Con

esta aproximación se puede predecir cuánta potencia puede generar determinado conjunto de paneles fotovoltaicos.

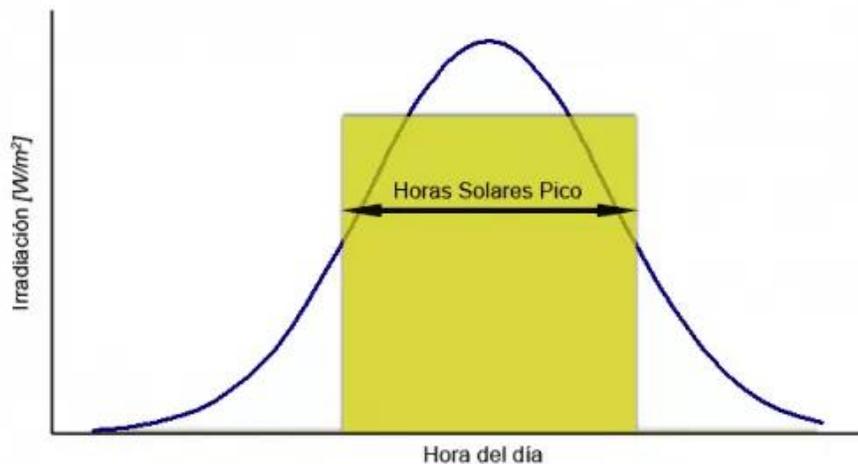


Figura 2: Horas solar pico [2]

Fuente: Elaboración propia

ii. MATERIALES Y MÉTODOS

La potencia de salida de un sistema fotovoltaico depende de las condiciones climáticas, la radiación solar y la temperatura. La intermitencia en la radiación solar provoca fluctuaciones durante el día, suele ser máxima durante las horas del mediodía, cuando la demanda, por lo general, es baja.

Para superar esta dificultad y maximizar la utilización de la energía generada se usa el almacenamiento, que se ha convertido en una parte esencial. El objetivo es de utilizar mejor los recursos de energía renovable.

Para cumplir estas necesidades se plantea un sistema multimodo acoplado a la red eléctrica, para aprovechar los momentos de suministro de la misma. En primera instancia se determina la demanda máxima que se puede producir en la vivienda, con el fin reconocer los equipos, como la capacidad del inversor.

La presente investigación utiliza modelos de paneles fotovoltaicos, inversor y baterías disponibles en el mercado venezolano. Para calcular la capacidad del conjunto necesario para satisfacer el consumo de energía previsto, hay que dividir el consumo anual de energía eléctrica entre la Hora Solar Pico anual del lugar, tomando

en cuenta la eficiencia del sistema, para obtener el tamaño aproximado del conjunto, como se muestra en la ecuación (1):

$$\text{Energía sistema fotovoltaico} = \frac{\text{kWh anual}}{H_{\text{Panual}} \times \text{eficiencia}} \quad (1)$$

Con dicho parámetro, con información de los fabricantes de paneles fotovoltaicos a usar, se determina la cantidad necesaria mediante la ecuación (2):

$$\text{Cantidad paneles} = \frac{\text{Energía sist fotovoltaico}}{\text{Potencia del Panel}} \quad (2)$$

La generación del sistema fotovoltaico se ve afectada por la temperatura. La eficiencia de las células solares disminuye por encima de la condición de prueba estándar (STC) como un porcentaje dependiente del coeficiente de temperatura de la célula. Para ajustar el voltaje de operación, en función de la temperatura se utiliza la ecuación (3);

$$V_{MP}(T) = V_{MP(STC)} + C_{temp}(T - 25^{\circ}C) \quad (3)$$

Donde:

$V_{MP}(T)$ = Tensión MPP a la temperatura especificada

$V_{MP}(STC)$ = Tensión MPP a condiciones STC

C_{temp} = Coeficiente de temperatura de la tensión en $V/^{\circ}C$

T = Temperatura del panel

La capacidad de las baterías de almacenamiento se puede calcular según (4):

$$CB(Ah) = \frac{E_{carga}}{e_{f_{inv}} \cdot V_b \cdot PD} \cdot D_a \quad (4)$$

Donde:

CB(Ah): Capacidad total de la batería (Ah)

E_{carga} : Consumo diario de energía (Wh/día)

$e_{f_{inv}}$: Eficiencia del inversor

V_b : Tensión de la batería (V)

PD: Profundidad de descarga (%)

D_a : Día de autonomía

iii. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para diseñar el sistema solar fotovoltaico autónomo para aplicaciones residenciales es necesario estimar la demanda energética. El proyecto se ubicó en Maracay-Edo Aragua, en las coordenadas geográficas 10,22 y -67,48°, con una irradiancia solar media anual de unos 5,7 kWh/m²/día [7] y una inclinación óptima de 14°. La demanda horaria de las instalaciones fue estimada de acuerdo al conjunto de equipos y artefactos eléctricos comunes en el hogar. El total de energía demandado diariamente a estos sistemas fue estimado según se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1: Demanda estimada

Carga Conectada	Cantidad	P(W)	Hora de usos (h)	Energía (kWh)
Computadora	1	250	5	1,25
Nevera	1	300	18	5,4
TV pantalla plana	1	100	6	0,6
Microondas	1	1200	0,1	0,12
Cocina eléctrica	1	2000	0,1	0,2
Iluminación	10	10	8	0,8
Modem	1	20	24	0,48
Decodificador	1	50	6	0,3
Bomba de agua	1	750	2	1,5
Carga total Conectada (kW)			4,7	
Energía total (KWh)			10,7	

Fuente: Elaboración propia

En este diseño, la potencia de carga total es de 4,7 kW y la cantidad de energía que es necesario almacenar en las baterías para satisfacer la demanda es de 10,7 kWh/día. Para los distintos equipos que se tomaron en cuenta se consideró aquellos que cumplen con criterios de calidad y disponibilidad en el país.

a-. Paneles Fotovoltaicos

El cálculo del tamaño del campo fotovoltaico necesario para determinar el consumo de energía previsto. El resultado fue un tamaño del campo de aproximadamente (2,56 kW).

Tabla 2: Datos del lugar [7]

Irradiación directa normal	1824,8	kWh/m ²
Irradiación horizontal global	2099,4	kWh/m ²
Irradiación horizontal difusa	822,3	kWh/m ²
Irradiación global inclinada en ángulo óptimo	2149,5	kWh/m ²
Temperatura del aire	25,6	°C
Inclinación óptima de los módulos	14	°
Elevación del terreno	465	m

Fuente: Elaboración propia

Para la instalación Fotovoltaica, consideración inicial:

$$Energía\ sistema\ fotovoltaico = \frac{3887}{2097,5 \times 0,84}$$

$$= 2,2\ kWp$$

Para una energía diaria de 10,7 kWh/día se especifica un inversor de 6 kVA, considerando una reserva 15%, los datos de la Tabla 3 están las especificaciones del equipo.

Tabla 3: Especificaciones inversor Growatt

SPF 6000 T DVM		
Especificaciones	48	Vdc
Potencia	6	kW
Rango de voltaje de entrada	60-145	Vdc
Voltaje nominal	120/220	Vac
Forma de onda de la señal	Sinusoidal pura	
Eficiencia del inversor	85%	
Factor de cresta	3:01	
Intensidad	60	A
Máximo voltaje de entrada	150	Vdc

Fuente: Elaboración propia

Para dimensionar la cantidad de paneles fotovoltaico en serie se debe disponer de información del inversor a usar, en este caso se eligió el Growatt SPF según datos presentados en la Tabla 4:

$$\begin{aligned} \text{Máx numero paneles en serie} &= \frac{150 \text{ V}}{49,4\text{V}} \\ &= 3 \text{ paneles en serie} \end{aligned}$$

Tabla 4: Datos del panel UkSol USK-158M-HS-410W [3]

Especificaciones	
Tipo	Monocristalín o
Máxima potencia a STC	410 Wp
Voltaje de operación óptimo (Vmp)	42,2 V
Corriente de operación óptima (Imp)	9,72 A
Voltaje a circuito abierto (Voc)	49,4 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	10,31 A
Eficiencia del módulo	20,40%
Máximo voltaje del sistema	1000 V

Fuente: Elaboración propia

Por consiguiente, los paneles necesarios para el suministro de la carga 2,2 kWp:

$$\text{Cantidad paneles} = \frac{2200\text{W}}{410\text{W}} = 5,4 \text{ paneles} = 6$$

Luego, se debe verificar el máximo número de paneles en serie que el sistema soporta, en los datos del inversor Growatt se observa que dicho voltaje es de 150V. Para el panel corresponde al voltaje de circuito abierto 50 V.

$$\begin{aligned} \text{Máx numero paneles en serie} &= \frac{150 \text{ V}}{50\text{V}} \\ &= 3 \text{ paneles en serie} \end{aligned}$$

Por lo tanto, cumple con el requisito, la cantidad de paneles necesario en serie es de tres (3). Con ello, el voltaje de circuito abierto máximo de una cadena serie será 145 V. El voltaje de operación, información en los datos del panel a utilizar, en este caso $V_{MP}=42,2\text{V}$:

$$V_{operación} = \text{Cantidad de módulos} \times V_{MP}$$

$$V_{operación} = 3 \times 42,2\text{V} = 126,6 \text{ V}$$

Con esto se verifica que está dentro del rango de operación del inversor, que es entre 60 y 145V, según información de datos del inversor.

La eficiencia de los paneles solares disminuye por encima de la condición de prueba estándar (STC) como un porcentaje dependiente del coeficiente de temperatura de la célula. Para ajustar el voltaje de operación, en función de la temperatura:

$$V_{MP}(T) = V_{MP(STC)} \times [100\% - C_{temp}(T - 25^{\circ}C)] / 100$$

Es importante de calcular porque impacta el voltaje de encendido del inversor. Según la data del fabricante se tiene los datos de Tabla 5:

Tabla 5: Coeficientes de Temperatura panel UkSol [3]

Coeficientes de temperatura panel UkSol	
Temperatura nominal de operación	42+2 °C
Coeficiente de temperatura de Pmax	-0.37%/°C
Coeficiente de temperatura de Voc	- 0.304%/°C
Coeficiente de temperatura de Isc	0.050%/°C

Fuente: Elaboración propia

Según la variación de temperatura ambiente en el año de 34°C, en tejados o azoteas se debe añadir 30°C a la temperatura ambiente, es decir, 64°C. Para el panel a ser usado, el $V_{MP}=41,6V$, el voltaje ajustado será:

$$V_{MP}(64^{\circ}C) = 42,2V \times [100\% - 0,304\%/V(64^{\circ}C - 25^{\circ}C)] = 37,5 V$$

$$V_{operación} = 3 \times 37,5V = 112,5 V$$

De esta manera está dentro del rango de operación del inversor. En cuanto a la corriente se debe comprobar el valor máximo, que es la condición de cortocircuito, I_{sc} del panel, en este caso:

$$I_{sc} \times \text{Circuitos en paralelo} = I_{max}$$

En este caso son dos cadenas en paralelo, por lo tanto, la corriente máxima será de 20,62 A, la máxima aceptada por el inversor es de 80 A. Por lo que dicho equipo cumple con este requisito.

La capacidad de las baterías de almacenamiento se especifica según condiciones como: días de autonomía (D_a), Energía de la carga a suministrar (E_{carga}), voltaje del arreglo (V_b), eficiencia del inversor (ef) y la capacidad de Descarga de la batería (PD); por ejemplo; si se desea un día de autonomía, $E_{carga}=10,7$ kWh, $ef=0,85$; $V_B=48V$; $PD=90\%$; $D_a=0,5$ días (autonomía de 12 horas).

$$CB(kWh) = \frac{10,7}{0,85 \times 0,90} \times 0,5 = 6,7 kWh$$

O también: $CB(Ah) = 145,7 Ah$

La capacidad de la batería es de 2,56 kWh de litio, con tres unidades se tendrá una capacidad de 7,68 kWh.

El principal parámetro afectado por la generación de energía del sistema fotovoltaico es la irradiancia media, la Figura 3 muestra la media diaria del lugar.

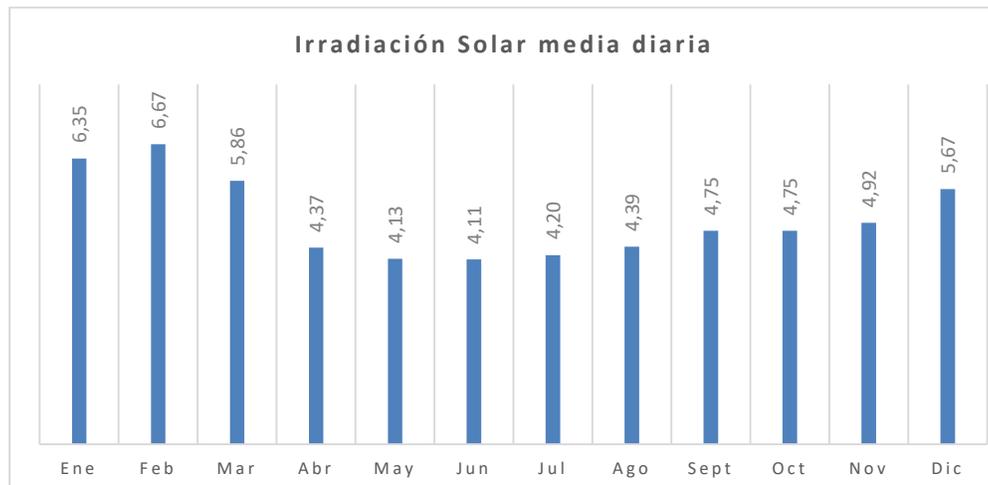


Figura 3: Irradiación diaria de Maracay, Edo. Aragua

Fuente: Elaboración propia

Los valores de irradiancia solar son diferentes para cada mes del año. El valor más bajo de irradiancia solar se da en los meses de mayo, junio y julio; el más alto diciembre, enero, febrero

y marzo; afectando la producción de energía de los paneles.

En cuanto a la energía eléctrica mensual se presenta en la Figura 4:

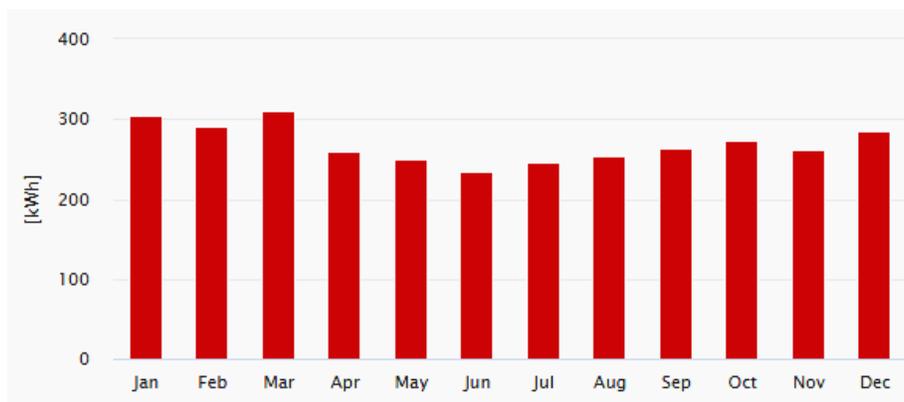


Figura 4: Producción de energía eléctrica mensual

Fuente: Elaboración propia

El mes de menor producción es junio, cuyo rango medio es de 352 kWh,

iv. CONCLUSIÓN

La instalación de generación solar fotovoltaica en usuarios residenciales en Venezuela podría ser una opción ante los racionamientos de energía eléctrica que se presentan. Los altos niveles de radiación solar representan una ventaja para el país. Para ello, será preciso determinar una serie de elementos de diseño como las condiciones en que operará el sistema y los factores ambientales como temperatura, irradiación entre otros, que afectarán la producción de electricidad. Por otra, es importante calcular el consumo energético mensual, la potencia activa de los dispositivos conectados, la capacidad de las baterías y la potencia máxima que pueden gestionar los diferentes dispositivos que conforman la instalación.

REFERENCIAS

- [1] Contreras Lisperguer, R., Salgado, R. (2021). Informe regional sobre el ODS 7 de sostenibilidad energética en América Latina y el Caribe.
- [2] Nemet, G. F. (2019). *How solar energy became cheap: A model for low-carbon innovation*. Routledge.
- [3] Y. Chu. (2011). Review and comparison of different solar energy technologies. *Research Associate, Global Energy Network Institute (GENI)*.
- [4] K. Jager, O. Isabella, Arno H. M. Smets, René, V. Swaaij and M. Zeman .(2014). *Solar energy fundamentals, technology, and systems*. UIT Cambridge.

[5] A. McEvoy, T. Markvart, and L.Castañer. (2012) *Practical handbook of photovoltaics*. 2nd ed. Academic Press, Boston, Massachusetts.

[6] L., Ramírez; A., Barroso. (2022). *Metodología para desarrollar proyectos de energía eólica y fotovoltaica*. ABediciones_UCAB.

[7] Global Solar ATLAS. World Bank Group. 2023. URL: <https://globalsolaratlas>.