

CAPÍTULO 9

DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA SOLAR AISLADO DE LA RED CASO DE ESTUDIO VIVIENDA ASEQUIBLE



<https://doi.org/10.22533/at.ed.654112526029>

Data de aceite: 18/09/2025

Mauricio Ivan Huchin Miss

Universidad Autónoma de Campeche,
Posgrado de la Facultad de Ingeniería,
San Francisco de Campeche, Campeche,
México.
ORCID: 0000-0002-5669-9098

Germán Escalante Notario

Universidad Autónoma de Campeche,
Posgrado de la Facultad de Ingeniería,
San Francisco de Campeche, Campeche,
México.
ORCID: 0000-0002-5900-4570

Felipe Noh Pat

Universidad Autónoma de Campeche,
Facultad de Ingeniería,
San Francisco de Campeche, Campeche,
México.
ORCID: 0000-0003-1981-8323

Miguel Jiménez Xaman

Universidad Autónoma de Campeche,
Facultad de Ingeniería,
San Francisco de Campeche, Campeche,
México.
ORCID: 0000-0002-6895-8421

RESUMEN :En el presente capítulo se describe una metodología para el dimensionamiento de los componentes de

un sistema fotovoltaico aislado de la red así como de cables conductores y protecciones de manera que el proyecto satisfaga la necesidades energéticas de una pequeña vivienda asequible, destinada a rentas para estudiantes foráneos y que ha presentado interrupciones en el servicio eléctrico de manera ocasional.

El dimensionamiento propuesto, se basa en un sistema de pequeña escala menor a 1000 W de potencia instalada con módulos de celda partida y diseñada para operar a 48 V de corriente directa y entregar una tensión en corriente alterna de 127 V de onda senoidal pura.

PALABRAS CLAVE: Energía solar, sistema fotovoltaico, aislado de la red.

CONCEPTOS BÁSICOS

Radiación

Se llama irradiancia (I), a la potencia de la radiación que incide en un instante sobre una superficie determinada (W/m^2). Su integración en un intervalo de tiempo irradiación (kJ/m^2 o Wh/m^2), se representa por la letra H [1].

En función de cómo inciden los rayos solares en la tierra, se puede identificar tres componentes de la radiación solar:

Radiación directa (B): es la radiación solar recibida sin modificar su dirección al atravesar la atmósfera terrestre. La dirección de la radiación solar directa depende de la localidad geográfica y del instante de tiempo considerado.

Radiación difusa (D): es la radiación solar recibida después de modificar su dirección al atravesar la atmósfera como consecuencia de la dispersión atmosférica.

Radiación solar reflejada o albedo (A): es la radiación solar recibida después de reflejarse en una superficie.

Radiación global: está conformada por la suma de estas tres: $G = B + D + A$.

Condiciones estándares de prueba.

Son las condiciones para la medición de la potencia nominal de salida de los módulos fotovoltaicos (FV) a 1000 W/m^2 , espectro solar AM 1.5 y una temperatura de la celda o módulo de 25°C [2].

Tipos de módulos y eficiencias.

En el mercado se cuenta con distintos tipos de módulos para aplicaciones interconectadas y fuera de red. Sin embargo, los más empleados actualmente se muestran en la tabla 1.

Tipo	Eficiencia	Característica
Amorfo	< 10%	En general requiere de $14-20 \text{ m}^2/\text{kWp}$. Tiene un color marrón en su parte frontal.
Monocristalino	15 - 18%	En general requiere de $7-9 \text{ m}^2/\text{kWp}$. Su color característico en la parte frontal es negro y se observa la división de celdas.
Policristalino	12 - 14%	En general requiere de $7-10 \text{ m}^2/\text{kWp}$. Su color característico en la parte frontal es azul y se observa la división de celdas.

Tabla 1. Tipos de módulos

Para el caso de módulos monocristalino y policristalino existen arreglos de 36, 60, 72 y 144 celdas. Esta variedad se debe a las distintas aplicaciones o su conectividad con la red.

Tipos de baterías y sus características.

Las baterías son el medio de almacenamiento de energía en los sistemas fotovoltaicos fuera de red, su principal características es que son de ciclo profundo, por lo que se pueden descargar más del 50% aunque en las baterías del tipo plomo-ácido esto no es recomendable ya que se acorta significativamente la vida útil.

Es común que las baterías se conecten en serie o paralelo mediante un conjunto denominado banco. Éste se diseña en función de la capacidad en Amperes·hora (Ah) requerida por los equipos eléctricos. Otras funciones que también son de relevancia son:

- Almacenar energía para cierta cantidad de días de autonomía.
- Fijar el voltaje de operación del sistema fotovoltaico.

La tabla 2 resume la clasificación de los distintos tipos de baterías.

Tipo	DOD	Característica	Capacidad máxima a 12 V
Plomo ácido	50%	Requiere mantenimiento	357 Ah
Gel	60%	Libre de mantenimiento	225 Ah
AGM	50%	Libre de mantenimiento	250 Ah
Litio	80 - 100%	Libre de mantenimiento	Variedad de capacidades

Tabla 2. Clasificación de baterías [3].

Tipos de controladores en sistemas fuera de red.

Los controladores solares también conocidos como reguladores. Son convertidores de corriente directa a corriente directa, que tienen la función de gestionar la energía generada por los módulos evitando la descarga y sobrecarga de la batería. Otras funciones para algunos modelos comprenden:

- Protección contra polaridad inversa
- Sensor de temperatura
- Alimentación hacia cargas de corriente directa

En aplicaciones fotovoltaicas, se pueden emplear principalmente dos tipos de reguladores, siendo PWM o MPPT (ver figura 1).



Figura 1. Controladores solares PWM y MPPT [4].

El regulador PWM utiliza el voltaje que necesita la batería o el banco de baterías para su carga o descarga, por ejemplo, en una batería o banco de baterías de 12V, en un determinado momento, el módulo fotovoltaico está generando 16V, al cargar la batería el regulador suministrará el voltaje de la batería y los 4V de diferencia no se aprovecharán. En cambio, el regulador MPPT identifica el voltaje de la batería o banco y la del módulo

fotovoltaico, de manera que aprovecha el máximo voltaje disponible del arreglo (punto de máxima potencia) para cargar el banco [3].

1.6. Inversores y características para sistemas fuera de red.

Otro elemento que compone un sistema fuera de red es el inversor, se encarga de convertir la corriente directa en corriente alterna y estos no requieren ser interconectados a la red (ver figura 2).



Figura 2. Inversores para aplicaciones fuera de red [5].

En el mercado se cuenta con tres tipos de inversores según la aplicación y capacidad, como se muestra en la tabla 3.

Voltaje (V)	Capacidad (W)	Aplicación	Tipo
12	100 - 999	Iluminación	Onda cuadrada
12 - 24	1000 - 1999	Televisión, bluray, taladros	Onda senoidal modificada
12 - 24	2000 - 2999	Motores de capacidad media	
12 - 48	3000 - 7000	Bombas, aire acondicionado	Onda senoidal pura

Tabla 3. Tipos de inversores para aplicaciones fuera de red [5].

USO DE LA ENERGÍA EN LA VIVIENDA.

A partir de un levantamiento de cargas se identificaron las diversas tecnologías instaladas, así como las características constructivas y secciones que integran el edificio. Estas se muestran en la figura 1.

En paralelo, se llevaron a cabo encuestas para conocer las horas de operación de los equipos y las actividades rutinarias que se realizan.

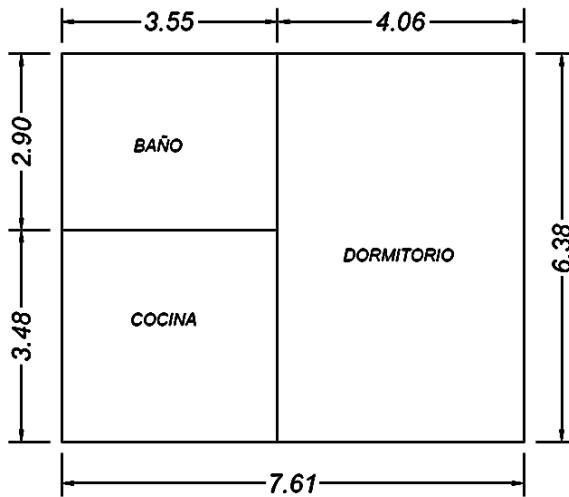


Figura 1. Secciones identificadas en la vivienda

La vivienda está construida con block hueco de 6 pulgadas y muros orientados hacia el noroeste, mientras que en la parte superior consta de bovedillas para losa estructural. Comúnmente por las mañanas se encuentra deshabitada, por lo que los equipos permanecen sin uso, sin embargo de forma ocasional se presentan interrupciones en el suministro del servicio eléctrico en tarifa 1F, sobre todo en temporadas de lluvias.

En la tabla 4 se muestra con mayor detalle la energía consumida por cada tecnología considerando un uso promedio de horas por día. En cuanto al número de habitantes, al ser vivienda asequible, solo un estudiante la habita y ésta permanece sin ocupación en períodos vacacionales y de receso escolar.

Equipo	Cantidad	Potencia W	Uso por día h	Wh/día
Luminaria baño	1	9	1	9
Luminaria cocina	1	8	2	16
Luminaria cuarto	2	9	3	54
Laptop	1	55	2	110
TV	1	14	0.5	7
Modem	1	5	24	120
Refrigerador	1	138	12	1,656
Ventilador	1	86	10	860
Aire acondicionado	1	980	5	4,900
Celular	1	6	3	18
Total		1,310		7,750

Tabla 4. Levantamiento de cargas

A partir del levantamiento de cargas se identifican 4 usos finales de la energía y se clasifican en base a la tecnología como se muestra en la figura 2, siendo estos, iluminación, oficina, refrigeración y aire acondicionado.

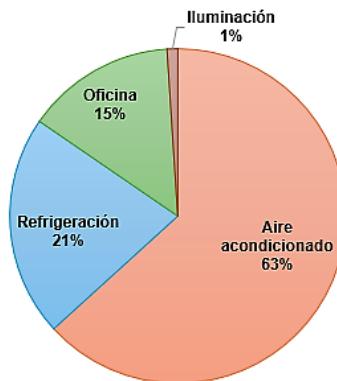


Figura 2. Usos de la energía identificados

A partir del diagrama Pareto de la figura 3, se demuestra que el Uso Significativo de Energía (USEn) es por aire acondicionado siendo de hasta 147 kWh/mes, lo que corresponde a un consumo superior al 60 %. Esto concuerda con lo mencionado por Morales en 2014, ya que señala que en regiones de clima tropical el consumo energético por aire acondicionado es mayor del 60 % [6].

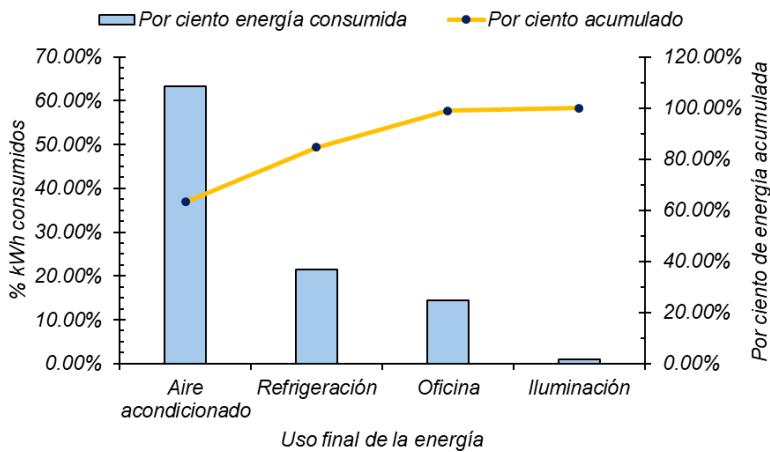


Figura 3. Diagrama Pareto del Uso Significativo de energía

DIMENSIONAMIENTO

Como alternativa a las interrupciones del servicio eléctrico y dado los valores de consumo energético que se presentan por día, aunado al USEn por aire acondicionado, se propone la opción de diseñar y dimensionar un sistema fotovoltaico aislado de la red.

Ante ello, al existir variedad de cargas eléctricas que operan bajo la tensión suministrada por la red, se optó por diseñar un sistema a 48 V con inversor de onda senoidal pura de manera que la capacidad de almacenamiento de energía será de acuerdo con la ecuación 1.

$$Ah_{banco} = \frac{\text{Energía requerida}}{\text{Tensión Banco} * \text{DOD}} \quad (1)$$

La energía requerida serán los 7,750 Wh/día de la tabla 1, a una tensión de 48 y profundidad de descarga (DoD) del 62% [7], esto resulta en una capacidad con valor de 260 Ah. Se propone una batería AGM libre de mantenimiento con un diseño del banco de baterías como se muestra en la figura 4.



Figura 4. Banco de baterías a 48 V

Las baterías que se ajustan a las necesidades del banco son el modelo PS-122500 12V-260 Ah.

Respecto al dimensionamiento del inversor, se selecciona un equipo que soporte los 1,310 W de potencia para una operación al 80% de capacidad con la finalidad de tener un 20% de capacidad adicional para el funcionamiento de los equipos de fuerza como los compresores empleados en los equipos de refrigeración, por lo que de acuerdo con la ecuación 2:

$$\text{Capacidad} = \frac{1310 \text{ W}}{0.8} = 1,638 \text{ W} \quad (2)$$

Comercialmente se requiere un inversor de 1600 W a 48 W del tipo onda senoidal pura, por lo que el modelo IP2000-41 se ajusta a las características requeridas como se muestra en la figura 5.

Item	IP1500-21	IP2000-21	IP2000-41
Continuous output power	1200W	1600W	1600W
Output power 15 min.	1500W	2000W	2000W
Surge power	2400W	3200W	3200W
Output voltage	110VAC(±3%) 120VAC (-7% ~ +3%)	110VAC(±5%) 120VAC (-10% ~ +5%)	110VAC(±5%) 120VAC (-10% ~ +5%)
Output frequency		50/60±0.1Hz	
Output wave		Pure sine wave	
Rated input voltage	24VDC	24VDC	48VDC
Input voltage range	21.6 ~ 32VDC	21.6 ~ 32VDC	43.2 ~ 60VDC

Figura 5. Especificaciones del Inversor IP2000-41

Las principales características que se deben tomar en cuenta en este modelo son:

1. Rango de tensión de entrada = 43.2-60 VCD
2. Onda senoidal pura = 120 VCA
3. Potencia continua de salida= 1,600 W

La carga del banco de baterías se realizará mediante un conjunto de módulos, para lo cual deben cumplir con determinada potencia fotovoltaica, tal como se calcula en la ecuación 3:

$$P_{FV} = \frac{(Energía\ diaria\ requerida)\ (1.3)}{HSP} \quad (3)$$

La energía requerida se refiere a los 7,750 Wh/día de la tabla 1, considerando un valor de 5.2 Horas Solares Pico para la ciudad de Campeche y además, es necesario compensar el 30% de las pérdidas típicas en estas tecnologías [3]. Con estos datos se obtiene una potencia fotovoltaica de 1,938 Wp, de manera que la cantidad de módulos de 550 Wp requeridos será de:

$$No.\ módulos = \frac{1938\ Wp}{550\ W} = 3.5 \approx 4$$

Por lo que serán necesarios 4 módulos monocristalinos en conexión serie-paralelo. Las características de la conexión serie-paralelo se muestran en la tabla 5.

Potencia pico	2200 Wp
Degrado inducido por luz (LID)	2 %
Voltaje máxima potencia	83.92 V
Corriente máxima potencia	26.22 A
Voltaje de circuito abierto	99.8 V
Corriente de corto circuito	28 A
Coeficiente de temperatura	-0.275 %/°C

Tabla 5. Características del arreglo

Debido al uso de módulos de media celda, se optó por usar un controlador MPPT con las siguientes características:

1. Soportar una potencia de = $4 \times 550 \text{ Wp} = 2200 \text{ Wp}$
2. Soportar una corriente de carga de hasta = $\frac{2,200 \text{ Wp}}{48 \text{ V}} = 46 \text{ A}$
3. Soportar una tensión de circuito abierto de = $2 \times 49.9 = 99.8 \text{ V}$

El controlador que se ajusta a las necesidades es el modelo Tracer 5415AN como se observa en la figura 7. Soporta 12/24/48 V, 150 V en circuito abierto y hasta 2,500 W a 48 V con una corriente de carga de 50 A.



Figura 7. Controlador Tracer 5415AN

Los componentes integrados se muestran en la figura 8

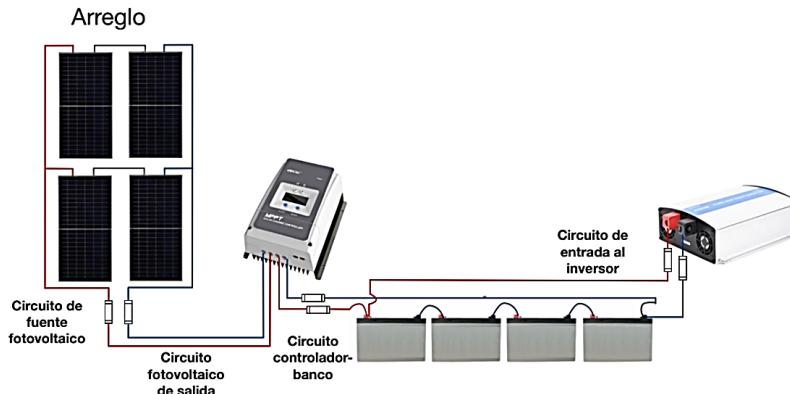


Figura 8. Componentes del sistema aislado propuesto [8]

CÁLCULO DE CONDUCTORES

Se debe dimensionar el calibre de cada circuito que integra el sistema fotovoltaico, en concordancia con la NOM-001-SEDE 2012, de manera que:

El circuito de fuente fotovoltaico se determina mediante la ecuación 4

$$I = I_{sc} \text{ modulo en paralelo} \times 1.25 = (28)(1.25) = 35 \text{ A} \quad (4)$$

El circuito fotovoltaico de salida será (ecuación 5):

$$I = (35)(1.25) = 44 \text{ A} \quad (5)$$

La intensidad de corriente en el circuito controlador-banco se obtiene por la ecuación 6

$$I = \frac{2200 \text{ W}}{48 \text{ V}} = 46 \text{ A} \quad (6)$$

Para el circuito de entrada al inversor la intensidad de corriente se calcula mediante la ecuación 7

$$I = \frac{1600 \text{ W}}{43.2 \text{ V}} = 37 \text{ A} \quad (7)$$

Por lo tanto, en cada circuito, se usarán los conductores según su ampacidad en la columna de 60 °C de la figura 8 de acuerdo con lo señalado por en el artículo 110-14 (c) (1)(a)

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor					
		60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
mm ²	AWG o kcmil	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THHW-LS, THW, THW-LS, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THHW- LS, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW- 2, ZW-2	TIPOS UF	TIPOS RHW, XHHW, USE	TIPOS SA, SIS, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2
		COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE		
0.824	18"	—	—	14	—	—	—
1.31	16"	—	—	18	—	—	—
2.08	14"	15	20	25	—	—	—
3.31	12"	20	25	30	—	—	—
5.26	10"	30	35	40	—	—	—
8.37	8	40	50	55	—	—	—
13.3	6	55	65	75	40	50	55
21.2	4	70	85	95	55	65	75
26.7	3	85	100	115	65	75	85
33.6	2	95	115	130	75	90	100
42.4	1	110	130	145	85	100	115

Figura 8. Ampacidad de conductores eléctricos a 30°C [9]

Los resultados se muestran en la tabla 6

Circuito	Columna 60 °C
Fuente fotovoltaico = 35 A	8 AWG – 40 A (RHW-2)
Salida fotovoltaico = 44 A	6 AWG – 55 A (RHW-2)
Controlador – banco = 46 A	6 AWG – 55 A (THHW-LS)
Entrada al inversor = 37 A	8 AWG – 40 A (THHW-LS)

Tabla 6. Conductores por emplear en los diversos circuitos

El circuito de salida fotovoltaico será canalizado en tubería conduit expuesta al medio, por lo que se debe determinar la ampacidad y caída de tensión con el propósito de corroborar que el calibre 6 AWG sea capaz de conducir la corriente aplicando factores de corrección por temperatura y agrupamiento.

Considerando una temperatura máxima histórica de 40 °C, el factor de corrección de temperatura será de 0.82, de acuerdo con la figura 9 en la columna de 60 °C.

Para temperaturas ambiente distintas de 30 °C, multiplique las anteriores ampacidades permisibles por el factor correspondiente de los que se indican a continuación:			
Temperatura ambiente (°C)	Rango de temperatura del conductor		
	60 °C	75 °C	90 °C
10 o menos	1.29	1.20	1.15
11-15	1.22	1.15	1.12
16-20	1.15	1.11	1.08
21-25	1.08	1.05	1.04
26-30	1.00	1.00	1.00
31-35	0.91	0.94	0.96
36-40	0.82	0.88	0.91
41-45	0.71	0.82	0.87
46-50	0.58	0.75	0.82
51-55	0.41	0.67	0.76
56-60	-	0.58	0.71
61-65	-	0.47	0.65
66-70	-	0.33	0.58
71-75	-	-	0.50
76-80	-	-	0.41
81-85	-	-	0.29

Figura 9. Factores de corrección por temperatura [9]

El circuito de salida tiene dos conductores portadores de corriente, por lo que el factor de corrección por agrupamiento será de 1.

$$F_{CA}=1$$

Por lo tanto, la corriente corregida para el conductor calibre 6 AWG-55 A

$$I_c = \frac{35 A}{(0.82)(0.1)} = 43 A < 44 A$$

Por comparación resulta mayor los 44 A de la ecuación 5, y como el calibre 6 AWG-55 A a 60 °C soporta una intensidad de 45.1 entonces el conductor si cumple.

Para evaluar la caída de tensión en corriente directa, se considera una longitud del conductor de 5 m y el resultado debe ser menor al 3%, por lo que, a partir de la ecuación 8:

$$e\% = \frac{2 i R L}{V_{mp}} (100) \quad (8)$$

Donde:

$$\text{Longitud} = 5 \text{ m} = 0.005 \text{ km}$$

$$I_{mp} = 26.22 \text{ A}$$

$$V_{mp} = 83.92 \text{ V}$$

$$R_{\frac{\Omega}{km}} = 1.608 \frac{\Omega}{km}$$

$$e\% = \frac{(2)(26.22 \text{ A})\left(1.608 \frac{\Omega}{km}\right)(0.005 \text{ km})}{83.92 \text{ V}} (100) = 0.5\% < 3\%$$

Respecto a las protecciones para cada circuito, se determina la protección correspondiente (tabla 7) de acuerdo con los valores calculados en la tabla 6

Circuito	Cantidad	Protección
Salida fotovoltaico = 44 A	2	Fusibles de 45 ACD
Controlador – banco = 46 A	2	Fusibles/Interruptor termomagnético 50 ACD
Entrada al inversor = 37 A	2	Fusibles/Interruptor termomagnético 40 ACD

Tabla 7. Protecciones del sistema

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de los principales resultados, se obtienen las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- El estudio se apoya en una auditoria energética bajo la norma ISO 50002:2014.
- La metodología que abarcada satisface las necesidades energéticas de una vivienda asequible con un consumo promedio mensual de 600 kWh.
- Cada uno de los componentes fueron dimensionados de forma individual, para que en caso de daño se pueda reemplazar rápidamente.
- El sistema puede generar ahorros de hasta \$1,500 pesos bimestrales, siempre que se cumpla con las horas de uso por día señaladas en la tabla 4.
- Un proyecto de este tipo, al ser de aplicación aislada de la red y bajo consumo, representa una inversión considerable, de manera que el retorno de inversión en este caso resultó mayor de 11 años.
- Es recomendable identificar las potencias de mejora energética, para realizar proyectos de eficiencia energética y con esto disminuir el tamaño del sistema, los costos y el periodo de retorno de la inversión.

REFERENCIAS

1. J. M. Bérmeudez Díaz, «Sistemas de energía solar a baja temperatura en viviendas multifamiliares,» Sevilla, 2013
2. CFE, Agosto 2008. [En línea]. Available: <https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/f/G0100-04.pdf>. [Último acceso: 01 agosto 2023].
3. M. Alvarado Contreras y G. Cruz Peralta, Manual del instalador fotovoltaico, México: 1450 Ediciones, 2021.
4. Carmona Rubio y Díaz Corcobado, Instalaciones solares fotovoltaicas, Madrid: Mc Graw Hill, 2018..
5. M. Alvarado Contreras y G. Cruz Peralta, Manual de instalador fotovoltaico, México, 2016.
6. G. C. Bravo Morales, «Repositorio Universidad Politécnica de Madrid,» 2014. [En línea]. Available: https://oa.upm.es/32901/1/GAUDY_CLARET_BRAVO_MORALES.pdf.
7. DGS, Planing and installing photovoltaic system, Berlin: Earthscan, 2008.
8. M. Huchin Miss, G. Escalante Notario, A. M. Zunza Carenzo, M. C. Camacho Yah y E. Romero Ramirez, «Selección de conductores y producción energética de un sistema fotovoltaico autónomo,» *REVISTA DEL CENTRO DE GRADUADOS E INVESTIGACIÓN. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MÉRIDA*, vol. 40, nº 109, pp. 219-223, 2025.
9. SENER, «NOM 001 SEDE 2012,» de *Conductores para alambrado en general*, México, SENER, 2012.
10. R. A. López Meraz, «Repositorio Intitucional Universidad Veracruzana,» Noviembre 2012. [En línea]. Available: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/31564/lopezmerazraulalberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 01 Agosto 2023].
11. «TVC en línea.com,» junio 2019. [En línea]. Available: <https://tvc.mx/products/24843/sam-250-12-inversor-de-corriente-cd-ca-potencia-nominal>. [Último acceso: 15 Junio 2023].
12. SENER, «Gobierno de México,» Noviembre 2012. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/512096/NOM-001-SEDE-2012.pdf>. [Último acceso: Julio 2023].
13. A. Goetzberger y V. U.Hoffmann, Photovoltaic Solar Energy Generation, Springer, 2005.
14. T. Markvart, Solar Electricity, Southampton, 2000
15. M. Mattei, G. Notton, C. Cristofari, M. Muselli y P. Poggi, «Calculation of the polycrystalline PV module temperature using a simple method of energy balance,» *Renewable energy*, p. 15, 2006.
16. G. B. Morales, « Universidad Politécnica de Madrid,» 2014. [En línea]. Available: https://oa.upm.es/32901/1/GAUDY_CLARET_BRAVO_MORALES.pdf. [Último acceso: 6 junio 2025].