

+ SOL + LUZ

Guía práctica para la implementación de
sistemas fotovoltaicos en proyectos de
infraestructura social

Mauro Passos
Arturo Alarcon
Wilhelm Dalaison

Sector de
Infraestructura y Energía

Sector Social

NOTA TÉCNICA N°
IDB-TN-1459

+ SOL + LUZ

Guía práctica para la implementación de sistemas fotovoltaicos en proyectos de infraestructura social

Mauro Passos
Arturo Alarcon
Wilhelm Dalaison

Agosto 2018

Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo

Passos, Mauro.

+ SOL + LUZ: guía práctica para la implementación de sistemas fotovoltaicos en
proyectos de infraestructura social / Mauro Passos, Arturo Alarcón, Wilhelm Dalaison.
p. cm. — (Nota técnica del BID ; 1459)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Photovoltaic power generation-Latin America. 2. Solar energy-Latin America. 3.
Buildings-Environmental aspects-Latin America. 4. Climate change mitigation-Latin
America. 5. Infrastructure (Economics)-Social aspects-Latin America. I. Alarcón,
Arturo. II. Dalaison, Wilhelm. III. Banco Interamericano de Desarrollo. Sector de
Infraestructura y Energía. IV. Banco Interamericano de Desarrollo. Sector Social. V.
Título. VI. Serie.

IDB-TN-1459

Códigos JEL:I00, O13, O18, Q42

Palabras claves: infraestructura social, sistemas fotovoltaicos, energías renovables,
salud y educación.

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2018 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Contactos: Arturo Alarcon, arturoal@iadb.org

Wilhelm Dalaison, wilhelmd@iadb.org



+ S + luz

**Guía práctica para la implementación de sistemas
fotovoltaicos en proyectos de infraestructura social**

Mauro Passos – Arturo Alarcon – Wilhelm Dalaison

Índice

Antecedentes	3	Módulo 7: ¿Cómo dimensionar los Sistemas Fotovoltaicos?	37
Introducción.....	4	Módulo 8: ¿Cómo instalar los Sistemas Fotovoltaicos?	61
Módulo 1: ¿Qué son los Sistemas Fotovoltaicos?	7	Módulo 9: ¿Cómo operar y mantener los Sistemas Fotovoltaicos?	73
Módulo 2: ¿Cómo funcionan los Sistemas Fotovoltaicos?	12		
Módulo 3: ¿Por qué utilizar Sistemas Fotovoltaicos?	18		
Módulo 4: ¿Cómo calcular el costo de los Sistemas Fotovoltaicos?	22		
Módulo 5: ¿Qué se requiere para emplear los Sistemas Fotovoltaicos?	27		
Módulo 6: ¿Dónde instalar los componentes de los Sistemas Fotovoltaicos?	32		

Antecedentes

En el año 2017, la gerencia del Sector de Infraestructura y Energía (INE/INE) y la gerencia del Sector Social (SCL/SCL) del Banco, acordaron la creación de la Unidad de Infraestructura Social para brindar apoyo técnico especializado en los programas y proyectos financiados por SCL/SCL que tienen componentes de infraestructura.

La Unidad de Infraestructura Social tiene los siguientes objetivos: (i) Fortalecer a los equipos del sector social, y a través de ellos, a las unidades ejecutoras, ofreciéndoles expertise técnica para la preparación, ejecución y supervisión de los componentes de infraestructura incluidos en la cartera de operaciones; y (ii) Generar conocimiento dirigido a fomentar las buenas prácticas en planificación, adquisiciones, diseño, construcción y supervisión de infraestructura social.

Una de las dificultades encontradas durante la ejecución de proyectos de infraestructura social era que, en muchos

casos, la única forma de resolver la falta de energía eléctrica era por medio de Sistemas Fotovoltaicos, pero se carecía de un instrumento simple e integral, que permitiera el rápido análisis y evaluación de la solución más apropiada, al momento de la toma de decisiones.

+ SOL + LUZ pone a la mano de cualquier persona, en un lenguaje y formato simple, las respuestas a muchas de las inquietudes en cuanto a qué son los Sistemas Fotovoltaicos, cómo funcionan, por qué utilizarlos, cómo calcular su costo, dónde es posible emplearlos, qué se requiere para emplearlos, cómo dimensionarlos, cómo instalarlos y cómo operarlos y mantenerlos.

+ SOL + LUZ se organiza en una serie de módulos, dirigidos a los diferentes actores interesados en conocer y emplear Sistemas Fotovoltaicos en edificaciones, incluyendo directores de infraestructura, administradores, técnicos en arquitectura, ingeniería y electricidad, docentes, padres, alumnos o usuarios en general.

+ SOL + LUZ surge por iniciativa de Cristian Santelices, y es producto del trabajo colaborativo entre la División Energía (INE/ENE) y la Unidad de Infraestructura Social en INE/INE.

La guía fue desarrollada con base en los contenidos elaborados por el ingeniero Mauro Passos con el apoyo de Kathlen Schneider y André Cechinel, la supervisión técnica de Arturo Alarcón (INE/ENE) y la coordinación y edición general de Wilhelm Dalaisón (INE/INE).

Asimismo, contó con la invaluable colaboración de Virginia Snyder (INE/ENE) y los integrantes de la Unidad de Infraestructura Social: Marcos Camacho, Livia Minoja, Iciar Hidalgo Roca y Juliana de Moraes (INE/INE), quienes colaboraron en la revisión y complementación del documento.

Introducción

La energía generada a través de fuentes consideradas inagotables o que se autogeneran, es conocida como energía renovable. Dentro de este grupo se encuentra la energía solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica, mareomotriz y la biomasa.

La energía solar es, además, considerada energía limpia, porque no genera residuos (o genera muy pocos en comparación con otros sistemas) al producirse o emplearse.



Figura 1: Energías limpias y renovables. Fuente BID.

La energía solar es aprovechada principalmente con dos finalidades, por un lado, para calentar agua y proveer calefacción, lo que se conoce como energía solar térmica, y por otro, para generar electricidad directamente desde la luz solar, conocida como energía solar fotovoltaica.

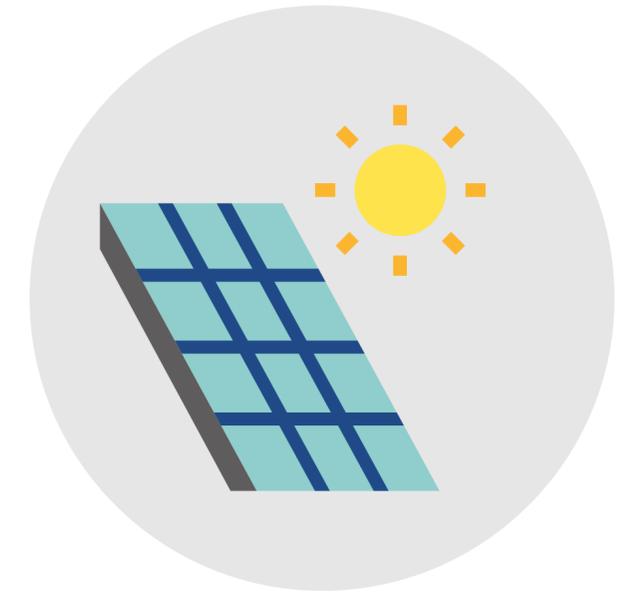
Además del suministro de un insumo esencial para el funcionamiento de una edificación como lo es la energía eléctrica, el empleo de la energía solar fotovoltaica puede perseguir objetivos económicos, al reducir el costo del suministro de energía, y ambientales, al sustituir una fuente de energía contaminante por una fuente de energía limpia.

Por otro lado, en edificios escolares, por ejemplo, el empleo de Sistemas Fotovoltaicos puede servir también como instrumento para transmitir a las nuevas generaciones los principios y conceptos básicos sobre el empleo de las energías renovables y cómo éstas pueden cambiar vidas en América Latina y el Caribe (ALC). Por ese motivo, el empleo de Sistemas Fotovoltaicos en escuelas representa mucho más que solamente el suministro de energía.

Los diferentes módulos temáticos de esta guía abarcan diferentes necesidades de conocimiento básico que puede tener cualquier persona interesada en conocer y emplear **Sistemas Fotovoltaicos**, e incluye ejemplos de aplicación y normas de referencia.

Es necesario advertir que los contenidos de los módulos son informativos y fueron confeccionados a efectos de introducir en el tema a los diferentes usuarios, y facilitar la toma de decisiones. Las actividades específicas para diseño, instalación, mantenimiento y operación deben ser realizadas por un profesional capacitado en este tipo de sistemas, para así garantizar procedimientos seguros y resultados óptimos.

Por último, es importante mencionar que, aunque los contenidos y principalmente los ejemplos están dirigidos a instalaciones de Sistemas Fotovoltaicos en escuelas, la metodología es aplicable a cualquier otro tipo de infraestructura social de bajo nivel de complejidad, incluyendo viviendas unifamiliares.



M1: ¿Qué son?

M2: ¿Cómo funcionan?

M3: ¿Por qué utilizarlos?

M4: ¿Cómo calcular su costo?

M5: ¿Dónde es posible emplearlos?

M6: ¿Qué se requiere para emplearlos?

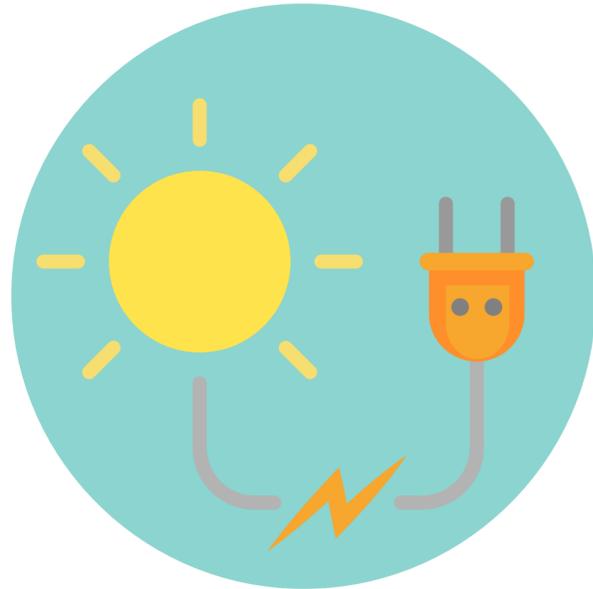
M7: ¿Cómo dimensionarlos?

M8: ¿Cómo instalarlos?

M9: ¿Cómo operarlos y mantenerlos?



¿Qué son los Sistemas Fotovoltaicos?



El sol tiene una constante presencia en nuestras vidas, por lo que el aprovechamiento de su energía radiante es algo accesible y relativamente simple. La energía solar es limpia, renovable, prácticamente infinita y se puede aplicar de varias maneras.

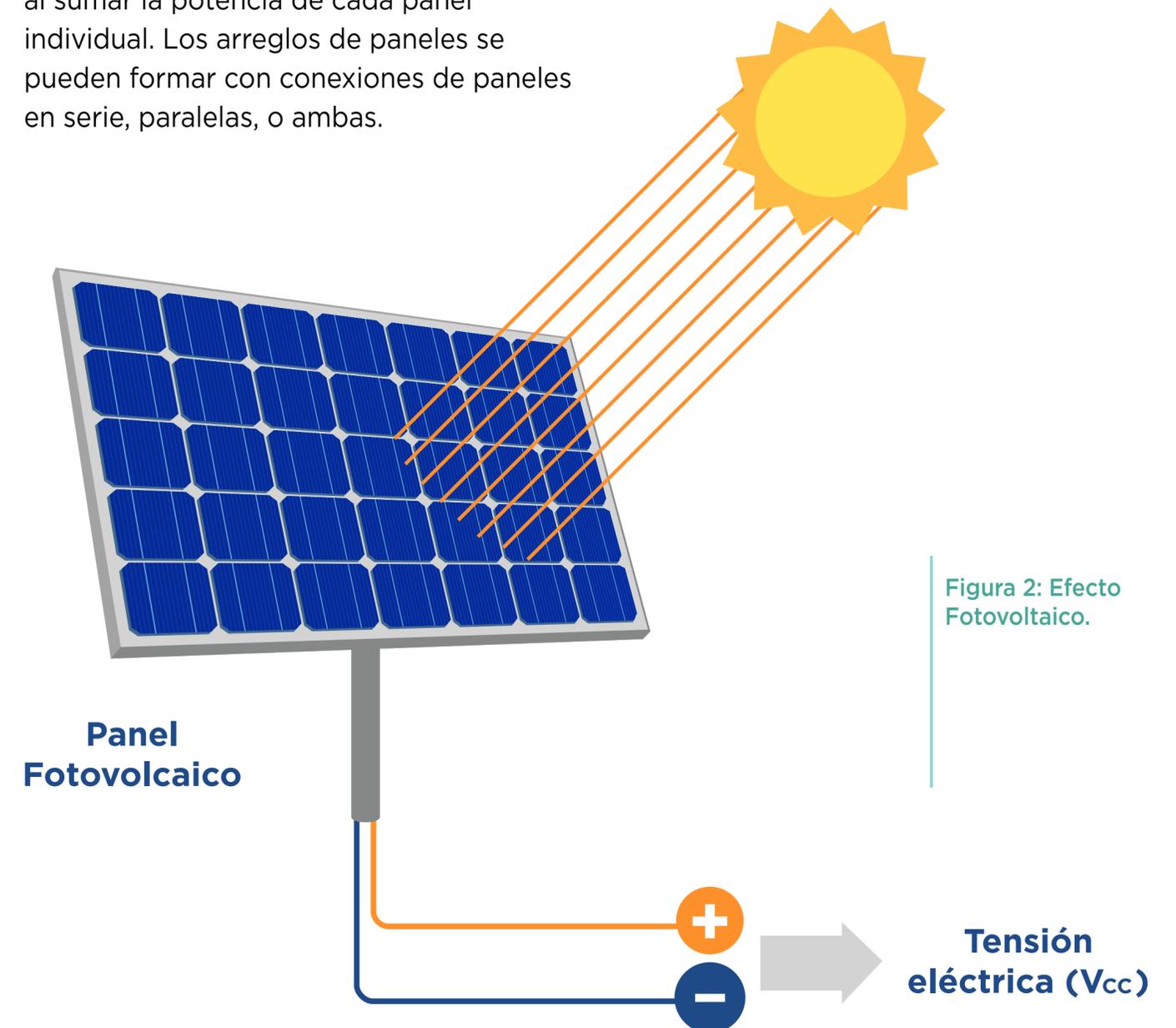
La conversión de energía solar fotovoltaica en electricidad es posible debido al efecto fotovoltaico, que ocurre cuando materiales semiconductores reciben la luz del sol, provocando que los fotones de la luz energicen los electrones del semiconductor, lo que genera electricidad en forma de corriente continua.

La **célula fotoeléctrica** fue creada usando estos materiales semiconductores y es la unidad básica de la generación solar fotovoltaica. Para aprovechar totalmente las células fotoeléctricas es necesario conectarlas dentro de un gabinete, llamado **panel fotovoltaico**¹, con lo que se genera más energía de manera más confiable. Los paneles también se pueden conectar entre sí, para crear un **arreglo de paneles** (en inglés *array*)², lo que aumenta

¹ También puede ser conocido como módulo fotovoltaico.

² Arreglo de paneles es el conjunto de paneles fotovoltaicos individuales interconectados entre sí para conformar el Sistema Fotovoltaico que genera la energía.

la potencia de salida considerablemente, al sumar la potencia de cada panel individual. Los arreglos de paneles se pueden formar con conexiones de paneles en serie, paralelas, o ambas.



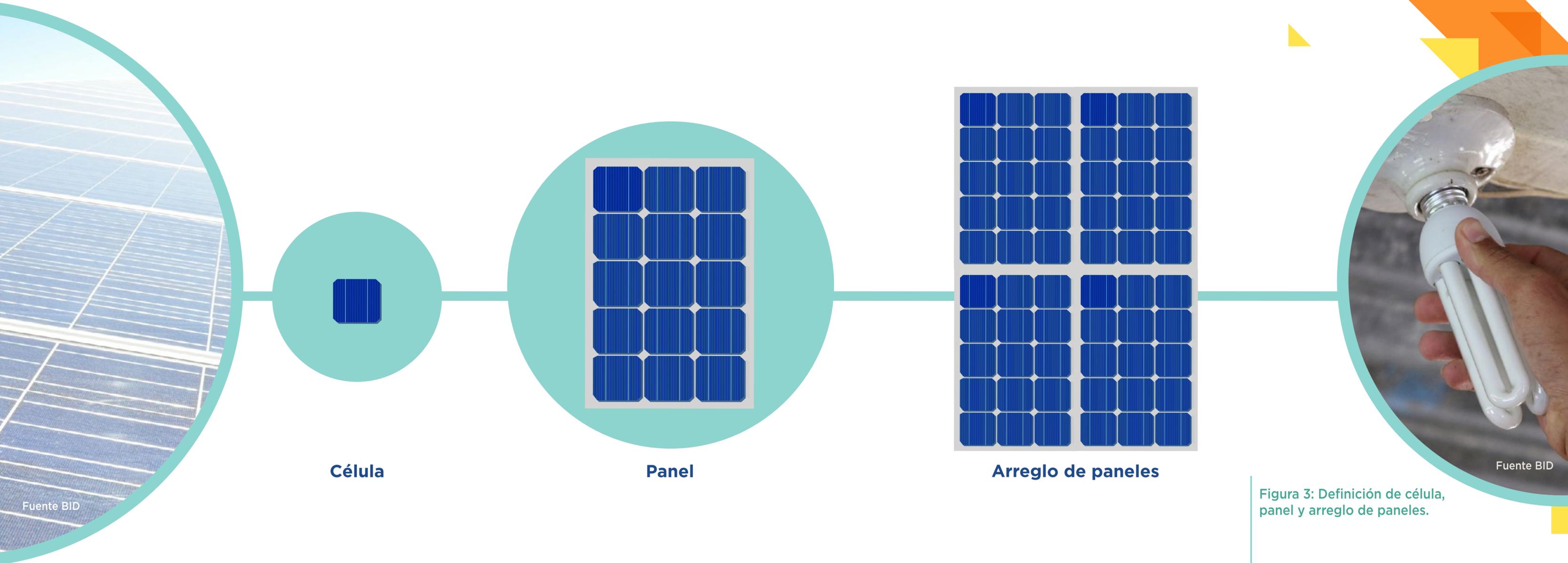


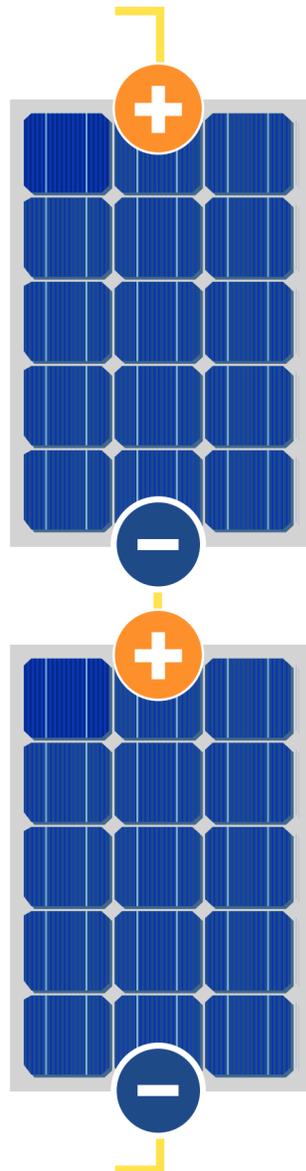
Figura 3: Definición de célula, panel y arreglo de paneles.

Aunque las células, paneles y arreglos de paneles sean los responsables de convertir la luz en electricidad, son necesarios otros dispositivos electrónicos para poder adecuar la electricidad para su uso.

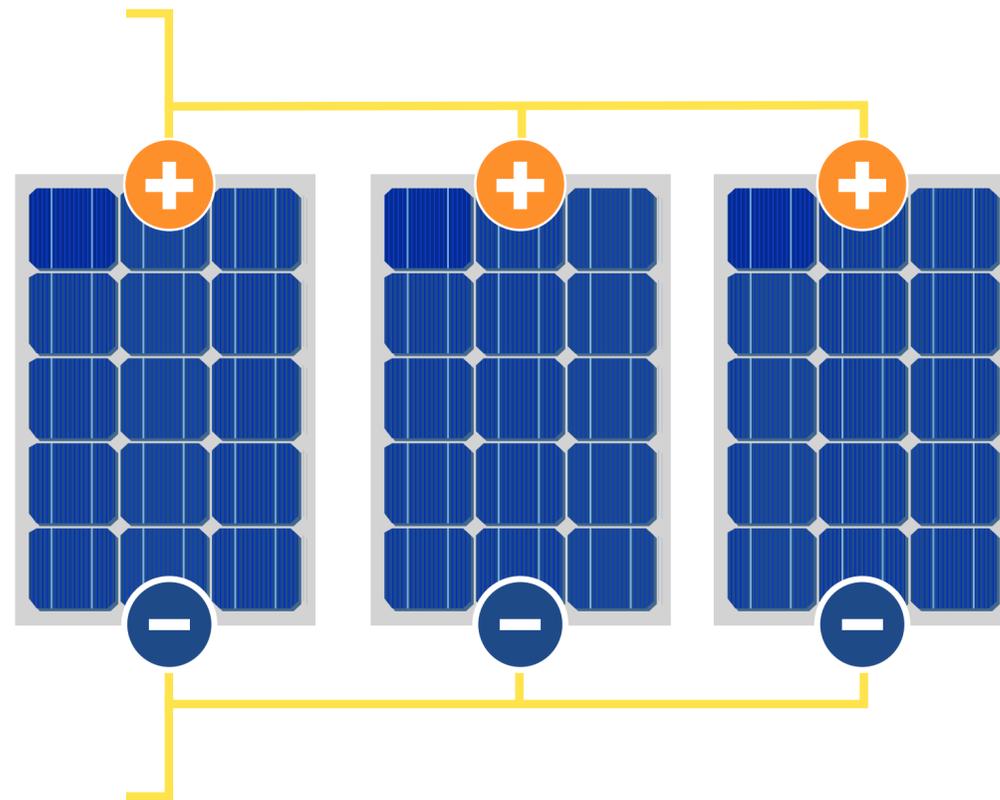
El conjunto de paneles fotovoltaicos y estos dispositivos conforman lo que se conoce como un **Sistema**

Fotovoltaico, el cual puede tener diferentes configuraciones, aunque básicamente existen dos tipos: (i) los Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red eléctrica (en inglés *on-grid*); y (b) los Sistemas Fotovoltaicos sin conexión a una red eléctrica (en inglés *off-grid*) Ver **Tabla 1**.

Conexión Paralela



Conexión en Serie



Conexión Mixta

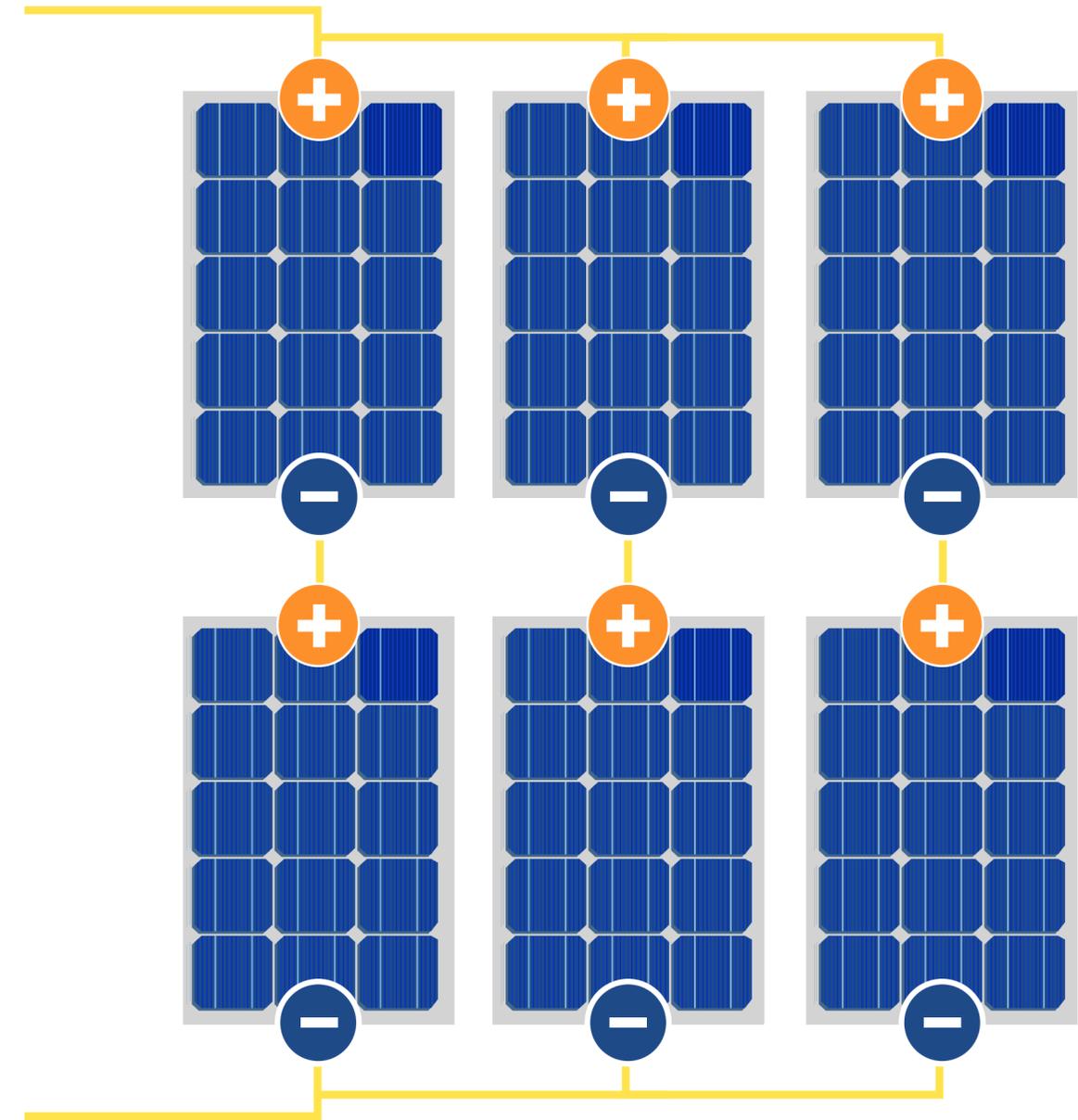


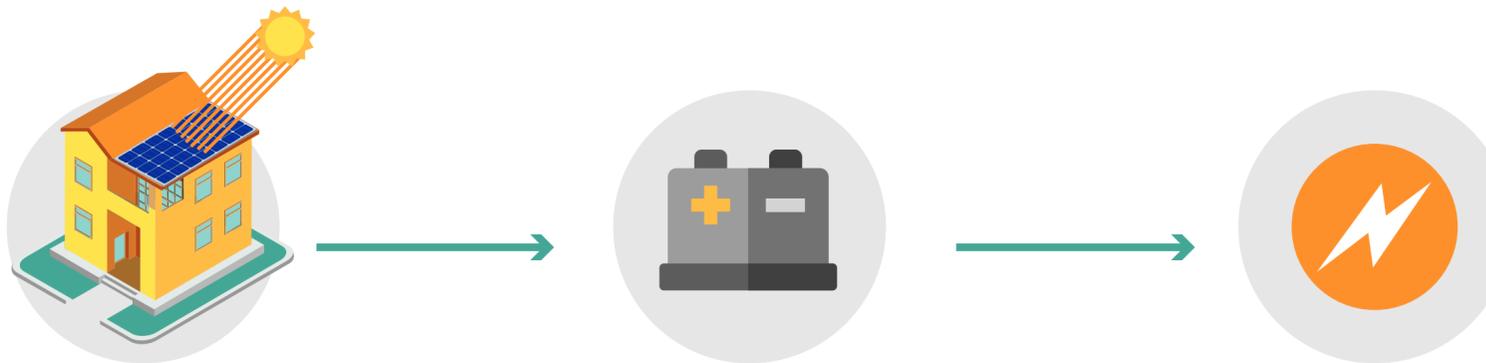
Figura 4: Conexión en serie, paralela y mixta.

Sistema Fotovoltaico conectado a la red eléctrica



Normalmente este tipo de sistema es una fuente de energía complementaria y se usa para reducir el gasto en electricidad. En estos casos, no son necesarios sistemas de almacenamiento de energía.

Sistema Fotovoltaico sin conexión a una red eléctrica



Normalmente este tipo de sistema se utiliza en zonas remotas donde la red eléctrica pública es inexistente, o solo provee energía por unas pocas horas.

Los Sistemas Fotovoltaicos sin conexión a una red eléctrica pública también son útiles, en algunos casos, como complemento o sustitución a la energía generada principalmente por generadores que emplean combustibles fósiles (por ejemplo, diésel) para su funcionamiento.

Para asegurar tener siempre un suministro de electricidad requieren de sistemas de almacenamiento (baterías).



¿Cómo funcionan los Sistemas Fotovoltaicos?

Como se ha dicho, los Sistemas Fotovoltaicos, pueden tener diferentes tipos de configuraciones dependiendo de la conexión o no a una red eléctrica.

Como se indicó en la **Tabla 1**, principalmente los sistemas se pueden clasificar como:

- A.** Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red eléctrica
- B.** Sistemas Fotovoltaicos sin conexión a la red eléctrica

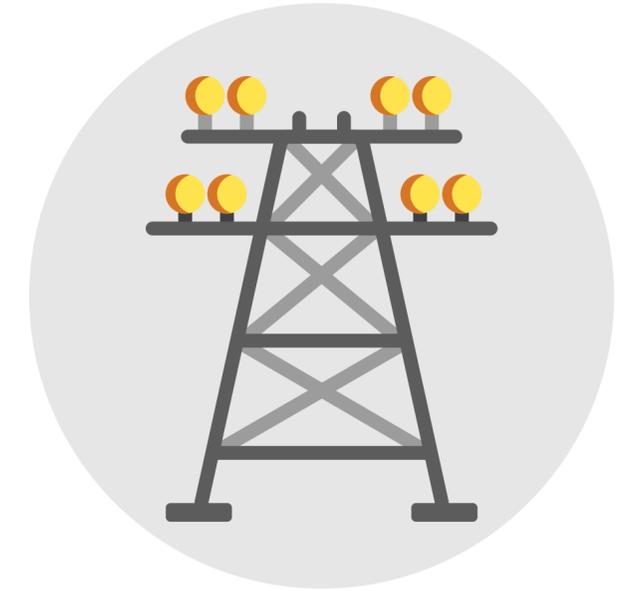
Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red eléctrica

En los lugares conectados a la red eléctrica, el Sistema Fotovoltaico puede operar como una fuente de energía complementaria. Debido a la presencia de la red, no es necesario almacenar energía y toda la energía producida por el sistema se consume directamente, lo que reduce el uso de energía de la red convencional y, por lo tanto, los pagos por consumos de energía de la red eléctrica. El exceso de energía puede también ser exportado a la red eléctrica³.

Los componentes de este sistema son principalmente dos: los paneles fotovoltaicos y el convertidor⁴. Sin embargo, el Sistema Fotovoltaico también requiere dispositivos de seguridad como fusibles y disyuntores (al igual que cualquier sistema eléctrico) para brindar seguridad al usuario y al equipo.

³ En algunos países, el exceso de energía producido por encima de las necesidades del propietario puede ser vendido al sistema eléctrico.

⁴ También puede ser conocido como inversor.



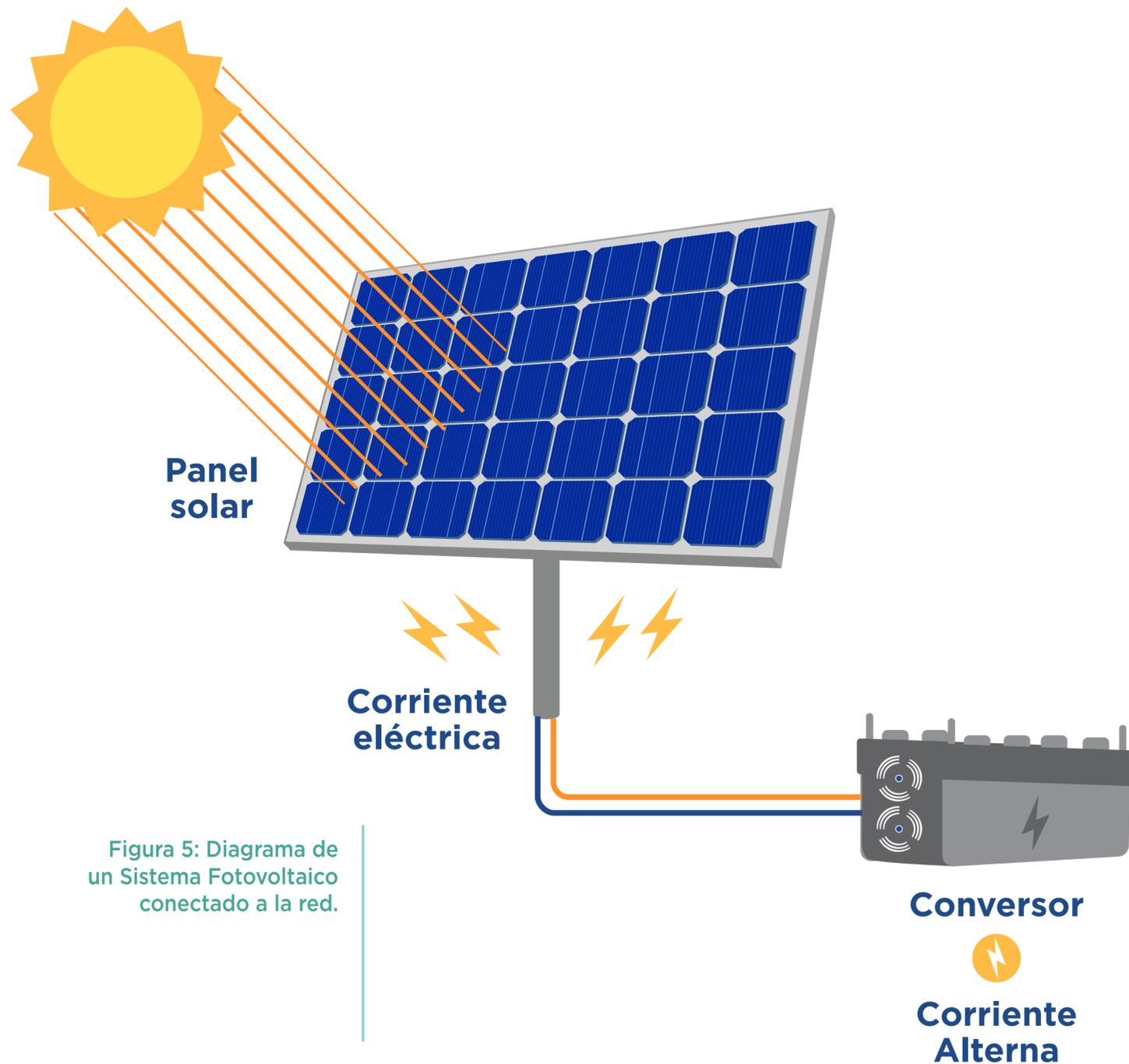


Figura 5: Diagrama de un Sistema Fotovoltaico conectado a la red.

Componentes principales

1 - Paneles Fotovoltaicos:

Los paneles fotovoltaicos son dispositivos planos en los que las células fotovoltaicas están montadas mecánicamente y conectadas eléctricamente, lo que provoca mayor conversión de la luz solar en electricidad que con células individuales. Los paneles fotovoltaicos, como las células fotovoltaicas individuales, se pueden conectar unas con las otras para aumentar la salida de potencia.

Existen varios tipos de paneles fotovoltaicos, los que se pueden diferenciar por el tipo y la cantidad de células o el tipo de arreglo que puede realizarse. Actualmente, los paneles fotovoltaicos de células de silicio son los paneles comercialmente más difundidos debido a su gran eficiencia. Los fabricantes garantizan un ciclo de vida de 25 años por lo menos.

La potencia nominal de un panel fotovoltaico se da en Wp (*Watt-peak*, pico de vatios) y significa la salida de potencia máxima del panel en condiciones de pico (estimadas a cierta temperatura y radiación solar). La potencia de todo el Sistema Fotovoltaico también se expresará

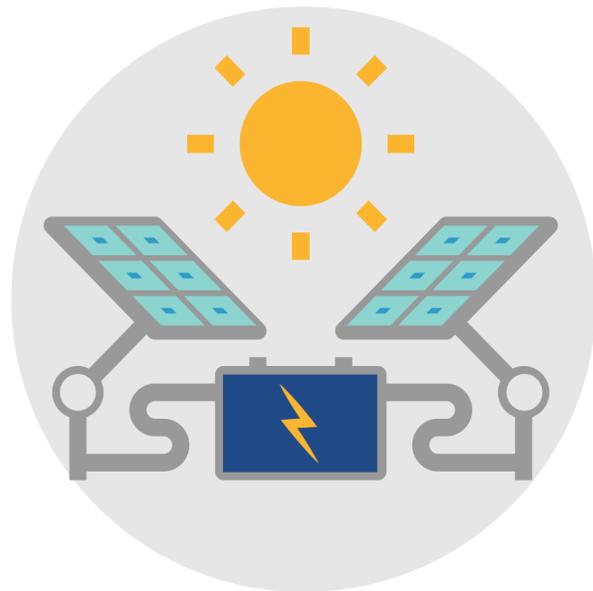
en Wp, asumiendo que cada panel esté funcionando en condiciones de pico.

2 - Convertor:

El convertor es responsable de asegurar que la energía fotovoltaica generada se pueda usar de la misma manera que la energía de la red, transformando la corriente continua (en inglés *DC Direct Current*), generada por los paneles fotovoltaicos, en corriente alterna (en inglés *AC Alternating Current*).

Los convertidores tienen diferentes parámetros eléctricos y modos de operación. Por lo tanto, requieren un correcto dimensionamiento por parte de un personal técnico capacitado antes de usarlos. Su ciclo de vida es de aproximadamente 10 años.

Además de los paneles y el convertidor, el sistema requerirá de la instalación de los sistemas de protección (fusibles, relés, etc.), que deberán ser dimensionados por un técnico capacitado.



Sistemas Fotovoltaicos sin conexión a una red eléctrica

Los Sistemas Fotovoltaicos sin conexión a una red eléctrica son también llamados “aislados”, debido a la ausencia de conexión con la red eléctrica, lo que convierte al Sistema Fotovoltaico en la principal fuente de energía local o en una fuente complementaria, si hay generadores u otras fuentes de energía.

Los principales componentes de este sistema son cuatro: los paneles fotovoltaicos, las baterías, el controlador de carga y el convertidor, aunque también requieren la instalación de dispositivos de protección para brindar seguridad al usuario y al equipo, como fusibles y cortacircuitos.

Al no estar conectados a la red, los Sistemas Fotovoltaicos usan las baterías como una forma de almacenar la energía generada, lo que asegura autonomía eléctrica aun en periodos sin luz solar.

Sin embargo, en algunos casos, los Sistemas Fotovoltaicos sin conexión a una

red pueden no tener baterías (si el edificio funciona sólo de día y no hay necesidad de almacenar energía) o sin convertidor (si los aparatos eléctricos utilizados están alimentados con un voltaje de corriente continua (DC) bajo).

Componentes principales

1 - Paneles Fotovoltaicos:

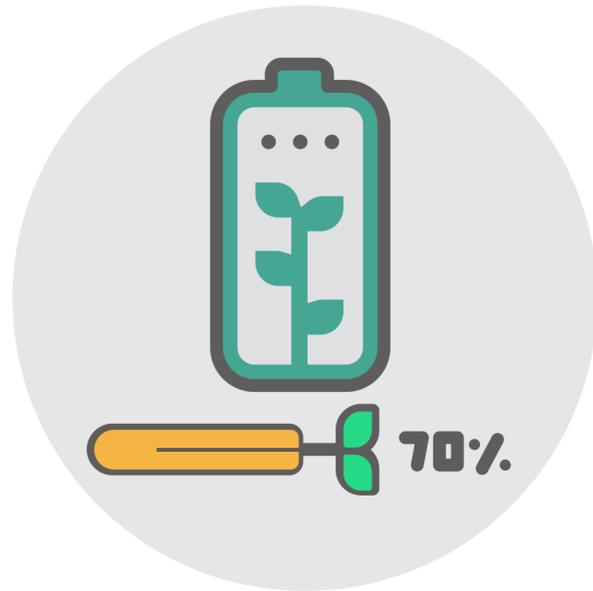
Los paneles fotovoltaicos de este sistema presentan las mismas características y cumplen las mismas funciones que los descritos en el Sistema Fotovoltaico conectado a la red.

2 - Controlador de carga:

El controlador de carga, como su nombre lo dice, regula la carga de la batería, asegurando que exista carga, y que no ocurra sobrecarga, con lo que se evita estropear la batería y reducir su ciclo de vida. Dado que las baterías son equipos potencialmente peligrosos, el controlador de carga es un artículo de seguridad esencial, que protege a los usuarios y al sistema en sí.

Los controladores de carga tienen varias configuraciones diferentes, basadas en las propiedades eléctricas del sistema y se deben dimensionar correctamente. El controlador de carga solamente es

necesario si el Sistema tiene baterías, de lo contrario, el arreglo de paneles se puede conectar directamente al convertidor.



3 - Baterías:

Las baterías se usan para almacenar la energía eléctrica generada. Las baterías utilizadas en este tipo de aplicación son de ciclo profundo, capaces de soportar profundas descargas con un considerable ciclo de vida. En la actualidad, se recomienda el uso de baterías de iones de litio, ya que se cargan más rápido, se descargan más lentamente, tienen más capacidad de almacenamiento y un ciclo de vida considerablemente más largo comparadas con otro tipo de baterías.



4 - Conversor:

Los conversores de los sistemas sin conexión a una red tienen la misma función que los conversores de sistemas conectados a la red, pero tienen otras características eléctricas, es decir cumplen la misma función, pero no son el mismo tipo de conversores.

Una de las particularidades que tienen los conversores que se emplean en los sistemas sin conexión a una red es que poseen una entrada auxiliar para otras fuentes generadoras de energía lo que permite que funcionen en paralelo con dos fuentes. Estos sistemas se denominan **híbridos**.

Los conversores de sistemas sin conexión a una red también tienen diferentes configuraciones eléctricas y no siempre son necesarios. Si los aparatos utilizados en la instalación que suplén el sistema están alimentados con un voltaje de corriente continua (DC) bajo (normalmente de 12 a 48 Volts), estos se pueden alimentar con las baterías o con el arreglo de paneles, siempre que entre los aparatos y los paneles esté el controlador de carga.

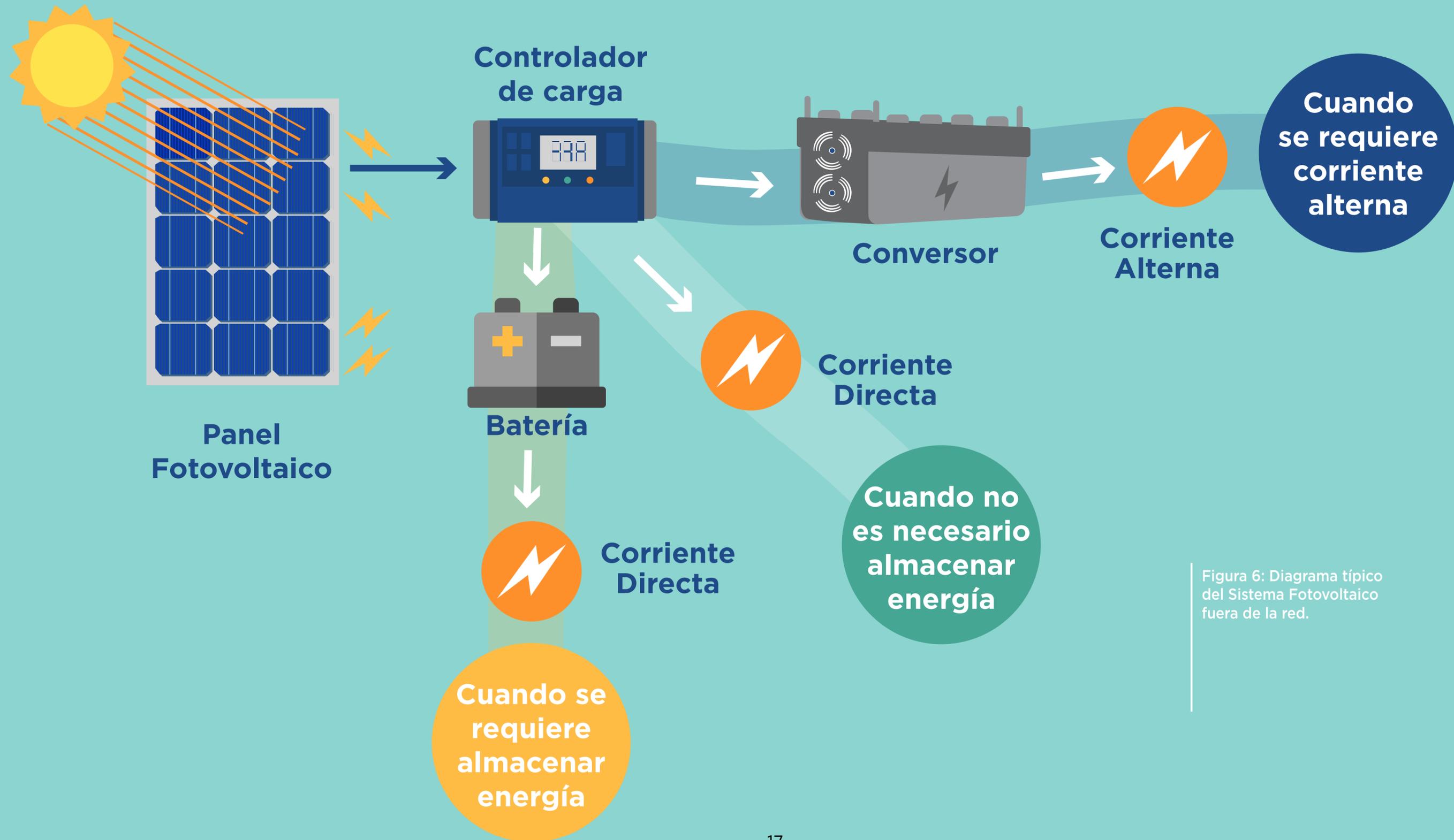


Figura 6: Diagrama típico del Sistema Fotovoltaico fuera de la red.

The logo consists of the letters 'M3' in a bold, sans-serif font. The top half of the letters is yellow, and the bottom half is white. The '3' has a diagonal hatching pattern. The logo is centered within a large orange circle that is part of a sunburst graphic with thin orange lines radiating from its top-left edge.

M3

¿Por qué utilizar Sistemas Fotovoltaicos?



Una de las principales ventajas de los Sistemas Fotovoltaicos es que permiten generar electricidad en sitios apartados o en donde los sistemas convencionales de red no llegan o su cobertura es insuficiente.

Hasta hace poco, una de las mayores limitantes a la instalación de Sistemas Fotovoltaicos radicaba en el costo de la inversión; no obstante, con el correr del tiempo este costo se ha reducido continuamente, llegando a un punto en donde se pueden encontrar beneficios económicos de dicha inversión.

Otro aspecto que hace particularmente atractivo el empleo de los paneles fotovoltaicos es la posibilidad de instalarlos de forma modular, y en el lugar mismo en que se consume la energía. Esto no es posible con otras tecnologías, que deben instalarse ya sea centralizadamente (como es la generación termoeléctrica), o en el sitio donde se encuentra el recurso (como es la hidroeléctrica o eólica).

Cuando existe red eléctrica

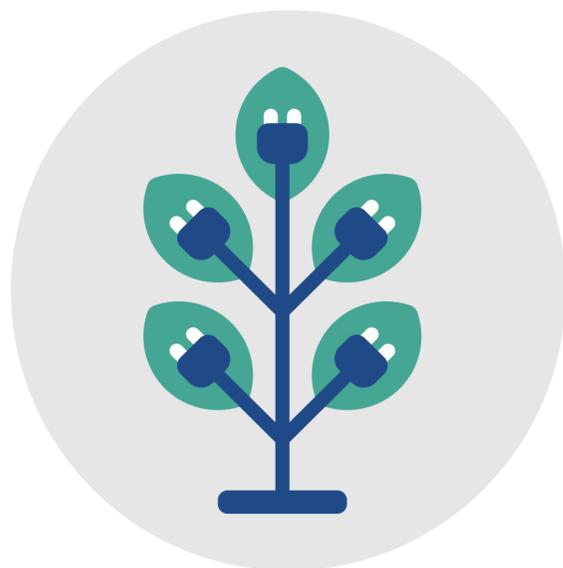
En lugares en donde existen redes de electricidad, en muchos casos, se opta por instalar estos sistemas como complemento de la electricidad generada por la red, como forma de reducir el volumen consumido de electricidad de la red, y, por consecuencia, el monto que se paga por su consumo.

Cuando no existe red eléctrica

La cobertura del servicio de energía eléctrica en lugares apartados o que no cuentan con servicios de red eléctrica pública, ha comenzado a ser resuelto mediante el empleo de Sistemas Fotovoltaicos diseñados para cada edificación, con base en sus requerimientos específicos.

Gracias a la generación de energía fotovoltaica, en el caso de las escuelas, por ejemplo, los alumnos tienen mejores instalaciones y pueden acceder a equipamientos y recursos pedagógicos que antes no podían.

Si bien esta es una solución que puede ser más limitada que la conexión a la red (en términos de potencia y confiabilidad), provee una solución hasta la llegada de la conexión a la red.



Beneficios de los Sistemas Fotovoltaicos

Independientemente del tipo de Sistema Fotovoltaico que se utilice – con o sin conexión a una red eléctrica – este tipo de sistemas proveen múltiples beneficios económicos, ambientales y de concientización.

1 - Beneficios económicos

La generación de energía fotovoltaica es el segmento del mercado de electricidad que crece más rápido en el mundo, particularmente en los últimos 10 años, y a diferencia de otras tecnologías de generación de energía convencionales, el costo de la tecnología fotovoltaica ha ido disminuyendo considerablemente.

Históricamente, los costos del Sistema Fotovoltaico disminuyeron 100 veces desde 1950 y 10 veces durante los últimos 10 años, más que cualquier otra tecnología durante el mismo periodo⁵.

Entre 2010 y 2016, el costo total del sistema instalado promedio, incluidos

⁵ Nemet, G. F. (2006). Beyond the learning curve: factors influencing cost reductions in photovoltaics. Energy Policy, 34(17), 3218–3232.

todos los componentes de hardware y balance del sistema (costo de mano de obra por instalación, permisos, inspecciones, etc.), disminuyó en un 65%.

Los paneles fotovoltaicos y las baterías solían ser los componentes más caros de un Sistema Fotovoltaico, pero los precios disminuyeron significativamente.

La reducción de los costos de los paneles solares se debe al progreso tecnológico, a la producción en masa, al desarrollo de la cadena de suministro local, a la reducción de los costos financieros y a la creciente madurez del sector. En el caso de las baterías, el avance tecnológico ha permitido mejorar los tipos de baterías y aumentar su capacidad de almacenamiento, lo cual ha hecho la inversión más rentable.

En algunos países, la legislación permite que el excedente de energía generada por el Sistema Fotovoltaico sea reinyectado a la red eléctrica y vendida al sistema público o que sea utilizada para obtener créditos de energía. Esto significa que, cuando no existe demanda de la energía fotovoltaica generada por los paneles (por ejemplo, al medio día, cuando todos salen a almorzar), la energía generada por el Sistema Fotovoltaico es exportada a la

red (para lo cual necesita el permiso de la empresa eléctrica).

La energía exportada se mide, a través de un medidor bidireccional que mide cuando se consume energía, y cuando se exporta energía, y dependiendo de la legislación: (i) la energía exportada puede ayudar a reducir la tarifa mensual (se resta el total exportado del total consumido); (ii) puede convertirse en “créditos” de energía (para usar en la noche, por ejemplo, o en periodos de alta demanda); o (iii) puede ser comercializada directamente.

Este tipo de legislación para “generación distribuida” es cada vez más común en la región, y permite efectivamente que el dueño del Sistema Fotovoltaico se convierta en un generador, además de consumidor. La existencia de este tipo de legislación es clave para determinar si usar o no un Sistema y para su dimensionamiento, particularmente en áreas urbanas, ya que puede mejorar la viabilidad financiera de la instalación, sin necesidad de usar baterías para almacenar los excedentes.

2 - Mitigación y adaptación al cambio climático

La energía solar fotovoltaica, por ser una energía renovable, es una de las principales medidas de mitigación del cambio climático. La paulatina sustitución de fuentes de energías fósiles y contaminantes por energías renovables y limpias genera un impacto directo en la cantidad de gases de efecto invernadero que son dispuestos en el ambiente.

Por otro lado, también provee una alternativa de generación que no es impactada por el cambio climático, como sería el caso de las hidroeléctricas, sujetas a sequías y variaciones en los regímenes hidrológicos. En ese contexto, cada vez más, la inversión en energía solar fotovoltaica es una inversión social y ambientalmente responsable.



3 - Concientizar a las nuevas generaciones

La conversión de energía solar en fotovoltaica en una escuela, por ejemplo, representa una gran oportunidad para poder compartir con los alumnos, padres y toda la comunidad, el funcionamiento, los componentes y los beneficios del Sistema. Por lo tanto, la presencia del Sistema puede ser empleada para fines más ambiciosos que la generación de energía.

Es posible hacer que estos sistemas instalados en la propia escuela sean utilizados como muestra práctica e integrados como parte del proceso de enseñanza en diversos temas, desde los Sistemas Fotovoltaicos como tal, hasta la ejemplificación en otros temas comunes como el sol, energías limpias, radiación, inclinación, latitudes, contaminación, etc. En los restantes módulos de este documento se incluye mucha información, gráficos y tablas que pueden ser empleados para fortalecer el proceso de enseñanza en esas áreas.

Los alumnos, podrán convertirse en los principales promotores del empleo de tecnologías sustentables para generar energía, y del potencial de uso de los



Sistemas Fotovoltaicos no solo en su escuela, sino también en sus casas y en sus comunidades. Adicionalmente, al crear conciencia sobre cómo la energía se genera, las personas prestarán mayor atención al uso de la energía, lo que puede ayudar a fomentar la eficiencia energética.

El BID ha desarrollado algunas experiencias interesantes que pueden ser aplicadas por los docentes para fortalecer la enseñanza de la importancia de las energías renovables en la vida de los niños.

Ejemplo de esto puede ser la **iniciativa Súbete**, donde se incluyen contenidos audiovisuales.



¿Cómo calcular el costo de los Sistemas Fotovoltaicos?

Para calcular el costo de los Sistemas Fotovoltaicos, es necesario realizar un análisis de la inversión inicial necesaria, así como de la inversión a futuro que será requerida para que el Sistema funcione en óptimas condiciones, lo que implica un análisis financiero.



Inversión inicial

La inversión inicial, o el costo de los Sistemas Fotovoltaicos varía en función de la tecnología, el fabricante, la potencia nominal, el país y el momento en que se calcula. Por eso, es muy difícil presentar un costo detallado de un Sistema Fotovoltaico válido para todos los países de América Latina y el Caribe (ALC) y que pueda mantenerse actualizado.

Para poder determinar el costo del Sistema, lo primero que hay que hacer es dimensionarlo, como se indica en el **Módulo 7**.

Cada componente del Sistema Fotovoltaico, como los paneles fotovoltaicos, el convertidor, las baterías, el soporte del arreglo de paneles y el resto del Sistema⁶ representan diferentes pesos en el costo total del Sistema Fotovoltaico. Estos pesos han ido evolucionando en los últimos años.

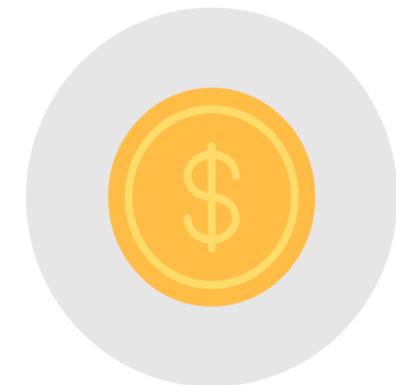
Por ejemplo, en el contexto brasileño, en 2017, los costos relativos (en %) de los componentes de los Sistemas

⁶ En inglés BOS, *balance of system*, que incluye cualquier otro componente eléctrico complementario, electrónica de potencia, trabajo de instalación, licencias, permisos y cualquier otra cosa necesaria para el Sistema Fotovoltaico.

Fotovoltaicos y sin conexión a una red eran, aproximadamente los que se indican en las **Figuras 7 y 8**⁷.

Los Sistemas Fotovoltaicos sin conexión a una red generalmente son más caros que los sistemas conectados a la red, principalmente debido a la necesidad del Sistema de almacenamiento en baterías.

Además, al evaluar el costo de un Sistema Fotovoltaico sin conexión a una red, también es importante considerar no sólo los componentes del Sistema Fotovoltaico, sino también los costos de logística, mano de obra y transporte, ya que generalmente estos sistemas se emplean en lugares apartados.



⁷ Este ejemplo corresponde a Brasil en 2017, sin embargo, el costo relativo de estos componentes podrá variar según los contextos locales en los que se desarrolle el proyecto, ya que cada país tiene costos, volúmenes de producción, regímenes de importación e impuestos diferentes.

Análisis financiero

Además de la inversión inicial en los componentes e instalación del Sistema, es importante realizar un análisis financiero de los mismos, considerando la inversión a largo plazo, por lo cual debe analizarse el costo de operación, mantenimiento y reemplazo de sus componentes una vez terminada su vida útil.

En los casos de sistemas conectados a la red, los aspectos financieros más importantes que se deben considerar al instalar un Sistema Fotovoltaico son la tarifa de energía y los costos iniciales del Sistema Fotovoltaico. Cuanto más alta sea la tarifa de energía y más bajo sea el costo del Sistema Fotovoltaico, más rápido se pagará la inversión.

Para los Sistemas Fotovoltaicos sin conexión a una red, el análisis financiero debe considerar la economía que el Sistema Fotovoltaico brindará al reemplazar los generadores existentes que usan combustibles fósiles (si existieran). Si no existiera ningún tipo de suministro de energía, se debe hacer el mismo análisis, pero comparando las posibles alternativas de solución.

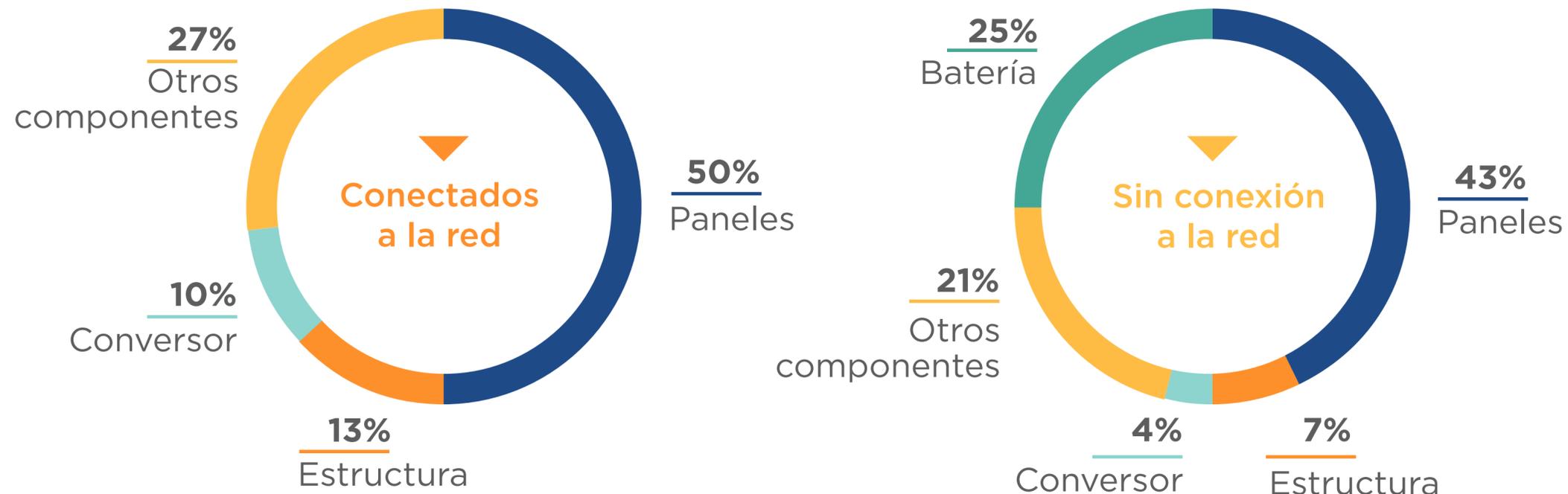


Figura 7: Costos relativos de los componentes de un Sistema Fotovoltaico conectado a una red en Brasil 2017. Elaboración propia.

Figura 8: Costos relativos de los componentes de un Sistema Fotovoltaico sin conexión a una red en Brasil 2017. Elaboración propia.

Adicionalmente, para realizar un análisis financiero es importante considerar que, durante el **ciclo de vida del Sistema Fotovoltaico**, se deben reemplazar algunos componentes (como el convertor, las baterías y el controlador de carga).

La Tabla 2 muestra el ciclo de vida de los principales componentes del Sistema.

También, se deben considerar los **costos de operación y mantenimiento (O&M)**, los cuales, si bien son bajos, son imprescindibles. Para un análisis financiero, se puede estimar que los costos anuales de O&M en sistemas conectados a la red de un Sistema Fotovoltaico **generalmente están en el entorno del 1 al 2% por año con respecto a los costos de instalación inicial**.

En los Sistemas Fotovoltaicos fuera de la red, y en particular en los que se encuentran en áreas apartadas, los costos de mantenimiento pueden ser mayores, particularmente porque seguramente emplearán baterías, las que tienen una vida útil más corta que el resto de los componentes.

Al evaluar los aspectos financieros de este tipo de inversión, también es interesante considerar que el ciclo de vida de un Sistema Fotovoltaico en su conjunto es de

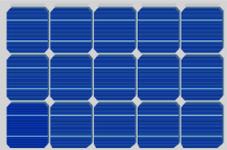
25 a 30 años. Por lo tanto, los costos de energía ahorrados por tener un Sistema Fotovoltaico son una inversión a largo plazo.

El análisis financiero más común y sencillo⁸ que se puede hacer es la estimativa de un simple período de retorno. El período de retorno calcula en cuántos años la inversión inicial se pagará (considerando tasa de interés cero). La inversión de un Sistema Fotovoltaico se considera financieramente viable cuando el período de retorno es menor a 10-15 años, debido a que la mayoría de los componentes del Sistema se deben sustituir en ese plazo, como se indica en la Tabla 2.

⁸ También hay otros métodos de evaluación que se pueden usar para calcular la viabilidad financiera o económica de un Sistema Fotovoltaico. A saber: Valor Neto Actual (VNA), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Tiempo de Retorno Descartado (TRD). El VNA se puede usar para mostrar la diferencia neta entre los beneficios y los costos de un Sistema de energía y se calcula por la diferencia entre el valor presente de beneficios y el valor presente de costos. La TIR se calcula por un proceso iterativo para seleccionar la Tasa de Descuento (TD) para la cual el valor neto de beneficios y costos descontados sea cero. El período de TRD es el tiempo mínimo que lleva recuperar los costos de inversión considerando una TD.

Tabla 2

Ciclo de vida esperado de los diferentes componentes del Sistema Fotovoltaico.

Componente del Sistema Fotovoltaico		Ciclo de vida
 Panel fotovoltaico		25 a 30 años
 Convertor		5 a 15 años
 Baterías	<i>Plomo-ácido</i>	3 a 5 años
	<i>Ion litio</i>	8 a 10 años
 Controlador de carga		10 a 15 años

Para calcular el período de retorno de la inversión de un Sistema Fotovoltaico, se recomienda seguir las siguientes etapas:

ETAPA 1: Calcular los costos iniciales del Sistema Fotovoltaico

Para establecer el costo del Sistema, es necesario inicialmente conocer la potencia nominal del mismo.

Los costos de los paneles fotovoltaicos se presentan en precio/potencia nominal (USD/Wp, por ejemplo) y los precios pueden variar de acuerdo con el lugar y el proveedor. El costo de los demás componentes del Sistema Fotovoltaico no tiene necesariamente una relación directa con la potencia nominal del Sistema.

Al calcular los costos, es importante incluir todos los costos de instalación, transporte, aduana, impuestos, etc.

ETAPA 2: Calcular el ahorro de energía

Una vez conocida la producción de electricidad fotovoltaica por año, se puede calcular el ahorro anual.

Para sistemas conectados a la red, la cantidad de energía que un Sistema produce durante todo un año es la cantidad de energía convencional que no hubo que comprar de la red. En el caso de existir en el país regulaciones sobre

generación distribuida, que permitan ganar créditos de energía o vender la energía generada, se puede considerar que toda la energía producida se puede acreditar y, por lo tanto, la tarifa de energía local se debe multiplicar por la energía generada en el lugar y después se determina el ahorro anual. En el caso que no exista la posibilidad de venta de la energía sobrante, habrá que estimar el porcentaje que se puede considerar ahorro de la energía producida, pues la que sobra se pasaría a la red sin beneficio.

Para sistemas sin conexión a una red, y que cuentan con un Sistema de generación con base a combustibles fósiles, el ahorro se relaciona con la reducción del consumo de combustible. Por lo tanto, una vez conocida la cantidad de energía que el Sistema Fotovoltaico puede producir, se puede saber cuál es la reducción del consumo de combustible en un año y traducirla en ahorro. En el caso de sistemas aislados que no tienen generación existente, la comparación del ahorro deberá hacerse comparando con los costos de generación de la siguiente alternativa viable (por ejemplo, un generador diésel).

ETAPA 3: Calcular del período de retorno sencillo

La última etapa es muy sencilla: el costo inicial del Sistema Fotovoltaico se debe dividir por el ahorro anual. El valor resultante indicará el número de años que se requerirán para pagar la inversión inicial. Mientras menos años se requieran, será más atractivo, desde el punto de vista financiero, utilizar un Sistema Fotovoltaico.

Es importante recordar que el periodo de retorno sencillo es una estimativa aproximada de la realidad. No obstante, este procedimiento puede ser muy efectivo para obtener un análisis preliminar rápido que brinde una idea general de cuál es el período de retorno que se puede esperar.

Tabla 3

Etapas necesarias para calcular el periodo de retorno de un Sistema Fotovoltaico.

Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Calcular los costos iniciales del Sistema Fotovoltaico	Calcular el ahorro de energía	Calcular el periodo de retorno sencillo

M5

¿Qué se requiere para emplear los Sistemas Fotovoltaicos?

Los Sistemas Fotovoltaicos pueden ser empleados en cualquier lugar del planeta (con excepción de los polos), no obstante, algunas zonas geográficas presentan mejores condiciones que otras, ya sea debido a la intensidad de la radiación solar o a la cantidad de horas de exposición solar.

En América Latina y el Caribe (ALC) hay niveles de irradiación muy altos, debido a la posición geográfica de la región, lo que hace que los Sistemas Fotovoltaicos sean viables, aun en periodos de invierno o en temporadas de lluvias.

Asimismo, para emplear los Sistemas Fotovoltaicos, hay que considerar otros aspectos como tener suficiente superficie asoleada para instalar los paneles y darles una buena orientación e inclinación.

Al igual que cuando se instala cualquier otro Sistema, cuando se pretende instalar Sistemas Fotovoltaicos en edificaciones existentes, será necesario garantizar que la instalación eléctrica interna del edificio se encuentre en buenas condiciones, y que la estructura pueda soportar el peso de los paneles fotovoltaicos.

Irradiación solar de la zona

El principal criterio que debe ser considerado para definir la instalación del Sistema Fotovoltaico es la irradiación solar de la zona en la que se encuentra el proyecto, ya que la producción de energía de un Sistema Fotovoltaico está directamente relacionada con la cantidad de irradiación solar que incide sobre el arreglo de paneles.

Existe mucha bibliografía y herramientas en la internet para conocer cuál es la irradiación en determinadas zonas, y de esa manera cuantificar la cantidad promedio de irradiación solar que puede existir sobre el arreglo de paneles por día en un año. La irradiación solar es la energía del sol incidente sobre una superficie horizontal por área de unidad y se expresa normalmente utilizando una unidad de kWh/m².

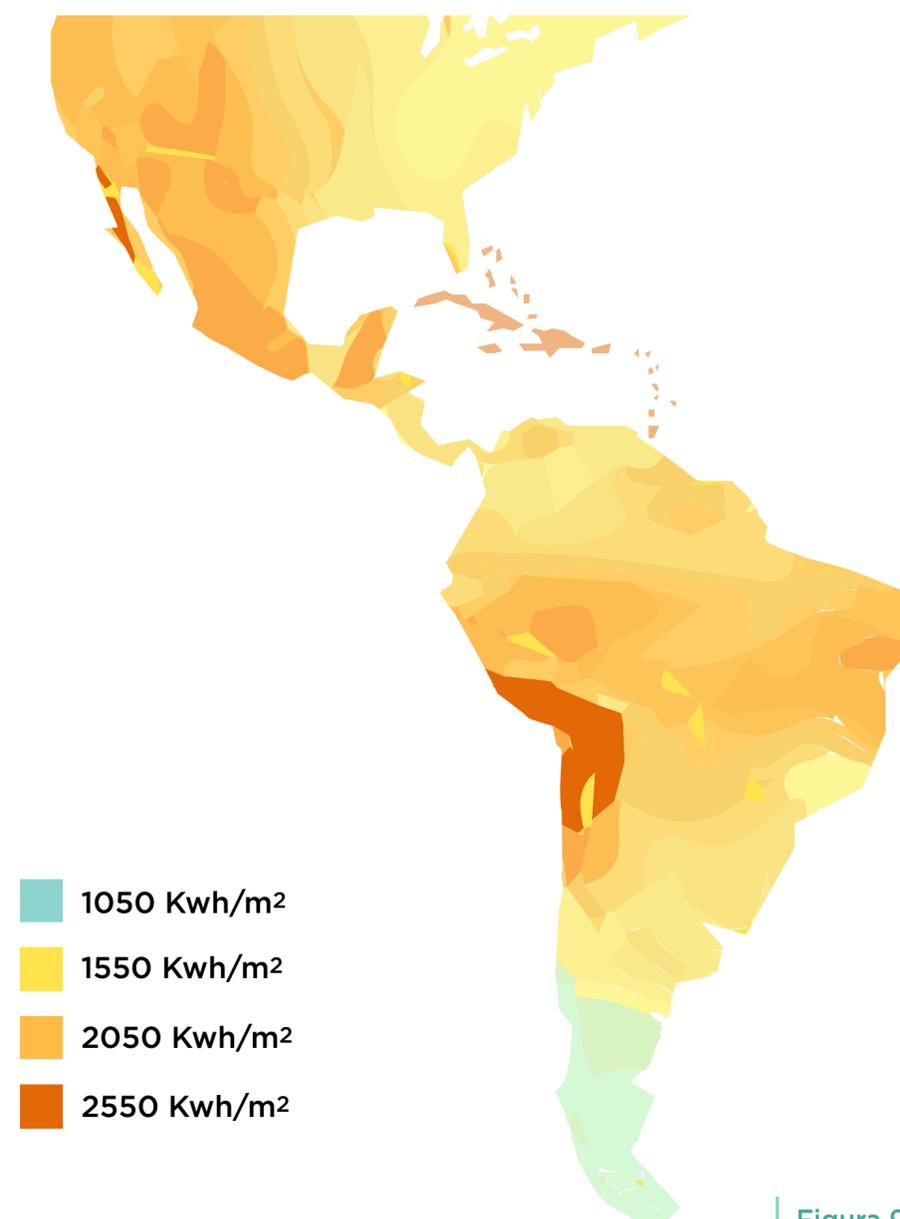
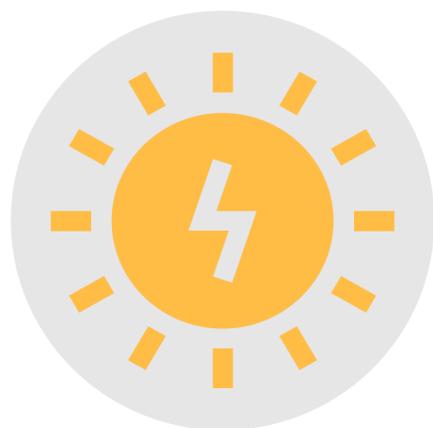


Figura 9: Elaboración propia con base en Mapa de Radiación solar de América Latina y el Caribe. Fuente: International Renewable Energy Agency, IRENA.



Superficie Asoleada

Se debe contar con suficiente superficie libre en la azotea o en el terreno para instalar los paneles solares, y éstos deben poder recibir total incidencia solar, por lo menos de 9:00 a 17:00 horas.

Es necesario tener en cuenta que los objetos que causan sombra, como construcciones vecinas, árboles, postes, líneas de electricidad, chimeneas, tanques de agua e incluso otras partes del arreglo de paneles en sí, pueden reducir significativamente la generación de energía de un Sistema Fotovoltaico.

Lo ideal es que el arreglo de paneles esté libre de cualquier tipo de sombra de 9:00 a 17:00 horas durante un año entero, pues es el horario en el que la radiación solar es más intensa y, en consecuencia, ocurre la máxima producción de energía fotovoltaica.

La acumulación de tierra, suciedad o nieve en la superficie de los paneles fotovoltaicos también causa sombra, por lo cual las superficies deberán estar siempre limpias.

Calculo de Superficie Necesaria

La superficie necesaria para el arreglo de paneles depende principalmente de la demanda de energía de la edificación o la que se pretenda producir (lo cual se explicará con más detalle en el **Módulo 7**), las características del panel fotovoltaico (potencia nominal y dimensiones), la potencia máxima del Sistema Fotovoltaico en cuestión y la separación entre los paneles fotovoltaicos.

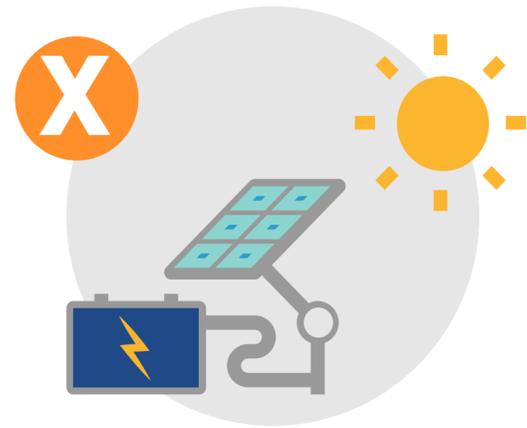
Por ejemplo, si el panel fotovoltaico seleccionado tiene una potencia nominal de 250 Wp y una superficie de 1,6 m² (estos datos se pueden encontrar en la ficha de especificaciones del panel fotovoltaico), la potencia por superficie para cada panel fotovoltaico se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Potencia nominal}}{\text{Superficie del panel}} = \text{Potencia por superficie del panel}$$
$$\frac{250 \text{ Wp}}{1,60 \text{ m}^2} = 156,25 \text{ Wp/m}^2$$

Si el arreglo de paneles tiene una potencia máxima de 4000 Wp, la superficie total necesaria de los paneles fotovoltaicos será:

$$\frac{\text{Potencia máxima}}{\text{Potencia por superficie del panel}} = \text{Superficie necesaria}$$
$$\frac{4000 \text{ Wp}}{156,25 \text{ Wp/m}^2} = 25,6 \text{ m}^2$$

También se debe considerar el espacio entre los paneles fotovoltaicos, información que se obtiene consultando al fabricante del panel fotovoltaico. En general se puede considerar un espacio de 0,20 m entre los paneles fotovoltaicos, que se debe sumar a la superficie total del arreglo de paneles.



Orientación e inclinación adecuada de la superficie

La superficie para ubicar los paneles fotovoltaicos debe tener la mayor incidencia de radiación solar durante todo el año, por lo cual los paneles deben estar orientados hacia el Ecuador para recibir la máxima cantidad de radiación solar disponible en el lugar. Por ello, la orientación óptima es hacia el sur para las instalaciones ubicadas en el hemisferio norte y hacia el norte en el hemisferio sur.

Si la superficie (azotea o terreno) no tiene la orientación adecuada o es muy inclinada hacia el sentido contrario en que deberían ir los paneles, es posible que los soportes del arreglo de paneles sean diseñados para que el arreglo tenga la orientación adecuada. En esos casos, es necesario cuidar que estos soportes no generen sombra sobre los paneles linderos.

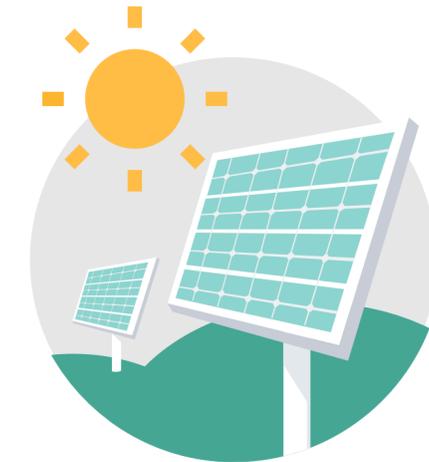
Además de la orientación adecuada, los arreglos de paneles deberán ser instalados con la inclinación adecuada en función de su ubicación geográfica, como se indica en el **Módulo 7**.

Instalación eléctrica interna en buenas condiciones

En el caso en que se trate de la instalación de un Sistema Fotovoltaico en una construcción existente, debe verificarse que el resto de la instalación eléctrica se encuentre en buenas condiciones. De lo contrario, el Sistema Fotovoltaico no trabajará eficientemente y, obviamente, su instalación no reducirá posibles riesgos por malas instalaciones anteriores.

En estos casos, y antes de decidirse por instalar un Sistema Fotovoltaico, es recomendable consultar a un profesional para que evalúe el estado de la instalación eléctrica interna existente y la necesidad o no de hacer alguna modificación.

En los casos en que se instalen Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red, es importante verificar que el medidor de electricidad sea bidireccional (esto normalmente es hecho por la empresa distribuidora de electricidad). De esa manera, permitirá medir la energía que entra desde la red, pero también la que el Sistema proporciona.





¿Dónde instalar los componentes de los Sistemas Fotovoltaicos?

La ubicación de los diferentes componentes del sistema debe resolverse en la etapa de diseño del edificio, en caso de ser construcciones nuevas, y debe asegurarse que existan áreas donde éstos puedan ser localizados, particularmente cuando los sistemas se instalan en edificaciones existentes en los que las posibilidades de ubicación son limitadas.



Paneles Fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos o los arreglos de paneles se pueden montar sobre el suelo o en los techos y, en ambos casos, se deben seleccionar soportes adecuados que ofrezcan protección, apoyo y acceso solar para los paneles fotovoltaicos.

Generalmente los techos son los lugares más elegidos para instalar los arreglos de paneles porque están en posiciones altas y normalmente ofrecen una mejor exposición solar para los paneles fotovoltaicos.

Además, el techo también es una buena opción cuando no hay disponibilidad de espacio en el suelo (esto generalmente ocurre cuando la edificación está ubicada en una zona urbana).

Sin embargo, los techos inclinados representan un gran peligro de caídas y, por lo tanto, es muy importante considerar medidas de protección durante los procedimientos de instalación y mantenimiento de los arreglos de paneles.

Los arreglos de paneles montados sobre el suelo son una buena solución cuando la instalación en el techo no es posible o práctica, o cuando hay bastante

disponibilidad de espacio en el suelo (generalmente en zonas remotas).

La principal ventaja de los arreglos de paneles montados en el suelo es el hecho de que su inclinación y orientación son menos restringidas que en los montados en techos. Además, no hay peligro de caídas desde altura durante los procedimientos de instalación y mantenimiento. Sin embargo, los paneles montados en el suelo son más susceptibles al vandalismo, al crecimiento de la vegetación de las áreas circundantes, a la acumulación de polvo y a nuevas construcciones u objetos que produzcan sombra en el futuro.

También se deben considerar otros detalles en los arreglos de paneles sobre el suelo: restricciones de zonificación y del uso de la tierra, las condiciones del terreno, el tipo de suelo y requisitos mecánicos para instalación de los soportes, zonas de inundación y desagüe, cercas y requisitos de seguridad, así como un tendido de cables que impida pérdidas de energía.



1 Sistema de montaje en techos

Usan soportes de metal o madera que se fijan a la cubierta para apoyar barras sobre las cuales se fijan los paneles fotovoltaicos.



2 Sistema de montaje en poste

Soportes montados en la parte superior de un poste. Estos tipos de sistemas son comunes para Sistemas Fotovoltaicos “aislados”.



3 Sistemas de montaje sobre el terreno

Normalmente soportes usados al nivel del suelo. Los paneles fotovoltaicos se fijan sobre soportes de metal o de madera.

Figura 10: Tipos de sistemas de montaje de los arreglos de paneles.

Capacidad portante del techo

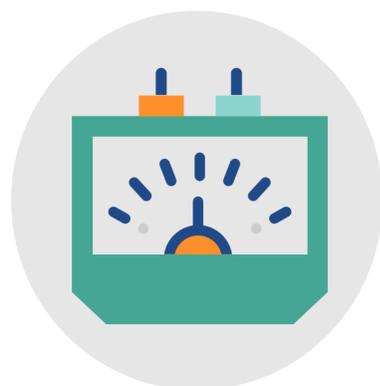
En caso de que el lugar elegido sea el techo, es importante asegurarse de que la estructura (sea nueva o existente) pueda soportar el peso del arreglo de paneles y sus soportes metálicos o de madera, así como el de las personas responsables de instalarlo y realizar su mantenimiento.

Por lo tanto, es muy importante evaluar las condiciones estructurales del techo y determinar si pueden soportar dicha carga adicional. En los casos que se actúe sobre construcciones existentes, se debe consultar a un profesional capacitado para evaluar las condiciones estructurales del techo. Generalmente, un arreglo de paneles con sus soportes añadirá aproximadamente 20 kg/m² a la carga del techo.

Por otro lado, para zonas de condiciones climáticas extremas, con fuertes vientos y huracanes, por ejemplo, se debe considerar y calcular algún tipo de refuerzo de los arreglos, de los soportes y de la estructura del edificio. Este requerimiento es importante también cuando se pretenda instalar sistemas montados sobre postes o soportes desde el suelo.

Tabla 5 | Ventajas y desventajas de cada tipo de Sistema de montaje.

Sistema de montaje	Ventajas	Desventajas
Techo	Menos posibilidades de sombra; Protección contra animales y vandalismo.	Riesgo de caída durante la instalación y el mantenimiento. Las condiciones estructurales del techo deben soportar el peso adicional permanente del arreglo de paneles y sus soportes y el peso transitorio de los instaladores y encargados del mantenimiento. La instalación y el mantenimiento son más difíciles por estar elevadas.
Poste	Fácil de instalar. Menos posibilidades de sombra. Protección contra animales y vandalismo.	Adecuado solamente para pequeños Sistemas Fotovoltaicos. La instalación y el mantenimiento son más difíciles por estar elevados.
Terreno	Fácil de instalar. Fácil mantenimiento. Adecuado para cualquier tamaño de Sistema Fotovoltaico. Soporte estructural robusto.	Más posibilidades de sombra. Más vulnerable a situaciones de vandalismo.



Otros componentes

El resto de los componentes eléctricos del Sistema Fotovoltaico, incluyendo convertidores, controladores de carga, baterías y cualquier otro equipo eléctrico relacionado con el Sistema Fotovoltaico, deben ser instalados lo más cerca posible del arreglo de paneles para minimizar el largo de los cables con las consiguientes pérdidas eléctricas, los costos de instalación y para brindar accesibilidad durante los procedimientos de instalación y mantenimiento de todo el Sistema Fotovoltaico.

Otras consideraciones que deben tenerse en cuenta para la ubicación del resto del Sistema:

- » Evitar instalar equipos eléctricos en lugares expuestos a altas temperaturas, rayos solares, lluvia o humedad;
- » Suministrar adecuada ventilación y/o sistemas de refrigeración artificial a los equipos que generen calor, como convertidores, baterías y controladores de carga;

» Proteger todos los componentes eléctricos contra el polvo, la lluvia, la humedad, productos químicos y otros factores ambientales;

» Algunos equipos tienen consideraciones especiales que se deben verificar en las instrucciones del fabricante. Todo el dimensionamiento e instalación del Sistema Fotovoltaico deberá ser hecho por personal técnico capacitado.



Fuente BID

M7

¿Cómo dimensionar los Sistemas Fotovoltaicos?



Para dimensionar el tamaño del Sistema Fotovoltaico y de sus componentes, es necesario realizar algunos cálculos, además de conocer las condiciones de demanda, y considerar las características de la red deseada y de los componentes a emplear.

El cálculo debe ser realizado por un profesional especializado. Sin embargo, a continuación, se presentan algunos cálculos básicos, adecuados para una evaluación preliminar de la viabilidad de un Sistema Fotovoltaico.



Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red eléctrica

Antes de dimensionar el Sistema, es necesario investigar y entender cómo funcionan en cada país las regulaciones nacionales para conectar un Sistema Fotovoltaico a la red, específicamente por si existieran requisitos específicos. De la misma manera, es preciso confirmar las regulaciones con relación a la posibilidad de obtener pagos o créditos por la energía generada por el Sistema y que no es consumida¹⁰.

Además, se debe investigar la calidad y las condiciones de la red para asegurarse de que el Sistema Fotovoltaico pueda funcionar correctamente cuando esté conectado a la misma.

¹⁰ Estas posibilidades normalmente están establecidas en las regulaciones sobre "generación distribuida", y/o "autogeneración" de cada país.

ETAPA 1: Identificación de las condiciones ideales para la instalación del Sistema Fotovoltaico

Las condiciones óptimas para instalaciones fotovoltaicas consideran la orientación (azimut) y la inclinación (ángulo de inclinación) del arreglo de paneles, de forma de maximizar la incidencia de la radiación solar sobre los paneles durante todo el año. Las estructuras fotovoltaicas deben estar orientadas hacia la línea del Ecuador para recibir la cantidad máxima de radiación solar disponible en el lugar, es decir, la orientación óptima es hacia el sur para las instalaciones ubicadas en el hemisferio norte y hacia el norte para las instalaciones ubicadas en el hemisferio sur.

El ángulo de inclinación del arreglo de paneles es el ángulo entre la superficie de los paneles y el plano horizontal. Generalmente, el ángulo de inclinación óptimo para el arreglo de paneles es igual a la latitud local. En la **Tabla 7** se muestra la latitud y, por consiguiente, la orientación y el ángulo de inclinación recomendados para el arreglo de paneles en algunas ciudades de la región.

Por ejemplo, las condiciones óptimas para un arreglo de paneles instalado en Brasilia, la capital de Brasil, (latitud = 15.48° S) deben ser con un ángulo de inclinación de aproximadamente 15° y orientación hacia el norte.

Es importante destacar que los fabricantes de paneles fotovoltaicos no

recomiendan estructuras fotovoltaicas instaladas con ángulos de inclinación menores que 10°. Por lo tanto, si la escuela está ubicada en una latitud menor que 10°, el ángulo de inclinación recomendado para el arreglo de paneles es de 10°.

ETAPA 2: Identificación de la demanda de energía de la edificación

Calcular el consumo de energía de la edificación es un factor importante para dimensionar el Sistema Fotovoltaico. Los Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red se pueden dimensionar para satisfacer una parte o la totalidad del consumo actual de energía del edificio. Esta decisión dependerá de las necesidades de energía y las expectativas del Sistema Fotovoltaico.

Asimismo, debe verificarse la temporalidad del consumo. Por ejemplo, una escuela podrá tener la mayor parte de su consumo durante el día, y los Sistemas Fotovoltaicos podrán ayudar a reducir el consumo de la red durante el día. Una escuela nocturna, por el contrario, tendrá su consumo en horas de la noche, cuando no existe radiación solar y generación, por lo cual la energía generada durante el día es desperdiciada. En este último caso, si en el país existieran regulaciones sobre generación distribuida, tener Sistemas Fotovoltaicos permitiría ganar créditos de energía o vender la energía generada.

Tabla 6

Etapas necesarias para dimensionar un Sistema Fotovoltaico conectado a la red.

Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6
Identificación de las condiciones ideales para la instalación del Sistema Fotovoltaico	Identificación de la demanda de energía de la edificación	Evaluación de la irradiación solar	Definición de la potencia nominal del Sistema Fotovoltaico	Definición de la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios	Definición del tamaño del convertidor

Tabla 7

Latitud, ángulo de inclinación y orientación recomendada para algunas ciudades de ALC.

País	Ciudad	Latitud local	Orientación y ángulo de inclinación recomendados para el arreglo de paneles				
Argentina	Buenos Aires	34°36'S	34° orientación norte	Ecuador	Quito	0°15'S	10° orientación norte
	Córdoba	31°25'S	31° orientación norte	El Salvador	San Salvador	13°41'N	13° orientación sur
	Mendoza	32°53'S	32° orientación norte	Guatemala	Ciudad de Guatemala	14°37'N	14° orientación sur
Bahamas	Nassau	25°4'N	25° orientación sur	Haití	Puerto Príncipe	8°32'N	10° orientación sur
Barbados	Bridgetown	13°06'N	13° orientación sur	Honduras	Tegucigalpa	14°06'N	14° orientación sur
Belice	Belmopán	17°12'N	17° orientación sur	Jamaica	Kingston	17°59'N	17° orientación sur
Bolivia	La Paz	16°30'S	16° orientación norte	México	Ciudad de México	19°26'N	19° orientación sur
	Santa Cruz de la Sierra	17°48'S	17° orientación norte		Guadalajara	20°40'N	20° orientación sur
Brasil	Belo Horizonte	19°55'S	19° orientación norte		Hermosillo	29°06'N	29° orientación sur
	Brasília	15°48'S	15° orientación norte		Managua	12°08'N	12° orientación sur
	Curitiba	25°25'S	25° orientación norte		Panamá	Ciudad de Panamá	8°59'N
	Florianópolis	27°50'S	27° orientación norte	Paraguay	Asunción	25°17'S	25° orientación norte
	São Paulo	23°33'S	23° orientación norte	Perú	Arequipa	16°24'S	16° orientación norte
	Rio de Janeiro	22°55'S	22° orientación norte	República Dominicana	Cuzco	13°32'S	13° orientación norte
Chile	Calama	22°28'S	22° orientación norte		Lima	12°03'S	12° orientación norte
	Concepción	36°50'S	36° orientación norte		Trujillo	8°6'S	10° orientación norte
	Santiago	33°27'S	33° orientación norte		Santo Domingo	18°28'N	18° orientación sur
	Valparaíso	33°03'S	33° orientación norte		Santiago de los Caballeros	19°28'N	19° orientación sur
Colombia	Bogotá	4°36'N	10° orientación sur	Surinam	Paramaribo	5°52'N	10° orientación sur
	Cali	3°25'N	10° orientación sur	Trinidad y Tobago	Puerto España	10°40'N	10° orientación sur
	Medellín	6°14'N	10° orientación sur	Uruguay	Montevideo	34°53'S	34° orientación norte
Costa Rica	San José	9°56'N	10° orientación sur	Venezuela	Caracas	10°30'N	10° orientación sur



Tabla 8 Consumo de energía de aparatos domésticos comunes.

Aparato	Potencia (w)	Tiempo de operación (h/día)	Energía (KWh/día)
Aire acondicionado	600	8	4,8
Ventilador de techo	73	8	0,584
Computadora de mesa	62,5	8	0,5
Ducha eléctrica	5500	0,5	2,75
Lámpara fluorescente	23	5	0,115
Congelador	75	24	1,8
Calefactor eléctrico	1600	8	12,80
Módem de Internet	8	8	0,064
Horno microondas	1200	0,5	0,6
Monitor	55	8	0,440
Laptop	20	8	0,160
Impresora	15	1	0,015
Proyector	24	1	0,024
Radio	5	10	0,05
Heladera	55	24	1,32
Router	6	8	0,048
Escáner	9	1	0,009
Equipo de música	110	3	0,33
TV 32"	95	5	0,457
Teléfono inalámbrico	3	24	0,072

Para construcciones existentes

Esta etapa se puede realizar revisando las facturas de electricidad del último año (o anteriores, si están disponibles). Leer la factura de electricidad del edificio puede mostrar el perfil de consumo de energía mensual de este establecimiento y ayudar a calcular la cantidad total de energía que se puede consumir durante todo el año.

El tamaño del Sistema Fotovoltaico se basará en el consumo de energía total de todo un año.

Por ejemplo, un edificio consume un promedio de 1000 KWh por año.

Si la expectativa es que el Sistema Fotovoltaico suministre la mitad de su demanda, se dimensionará su clasificación de potencia nominal para generar 500 KWh por año.

De todas maneras, al determinar la energía necesaria, es importante considerar también las previsiones a futuro y la mayor carga que pueda ser requerida, especialmente considerando el impacto de la incorporación de tecnología y aparatos eléctricos en los edificios.

Para construcciones nuevas

Para construcciones nuevas se puede calcular el uso de la energía a partir de las clasificaciones de los equipos y los perfiles de uso de carga esperada (potencia) x horas de uso anuales.

Para eso se realiza la verificación de todos los aparatos eléctricos que se usarán para saber su potencia y su tiempo de operación por día en horas. Al multiplicar la potencia del aparato (expresada en Watts) por su tiempo de operación se obtiene el consumo de energía diario (en Watts-hora).

Si este procedimiento se realiza con todos los aparatos eléctricos y se suma su consumo, se puede obtener un cálculo estimado de la demanda diaria. No es necesario que los valores obtenidos sean exactos, pero grandes diferencias pueden provocar distorsiones en los cálculos del tamaño del Sistema; por lo tanto, se recomienda ser conservadores. En la Tabla 8 se muestra algunos valores de referencia para esta etapa.

ETAPA 3: Evaluación de la irradiación solar

La irradiación solar es la energía del sol incidente sobre una superficie por área de unidad en un periodo de tiempo dado y se expresa normalmente en unidad de KWh/m²/día.

La cantidad de irradiación solar que brilla sobre el arreglo de paneles está directamente relacionada con la producción de energía de un Sistema Fotovoltaico. Por lo tanto, es muy importante considerar la instalación del arreglo de paneles sin ningún tipo de objeto que pueda causar sombra y lograr, siempre que sea posible, las condiciones óptimas de orientación e inclinación, según lo explicado en la **ETAPA 1**.

A esta altura del proceso de definición del tamaño del Sistema Fotovoltaico, el objetivo es cuantificar la cantidad promedio de irradiación solar que brilla sobre el arreglo de paneles por día en un año.

En la **Tabla 4** se muestra el promedio anual de la irradiación solar según la inclinación por latitud en algunas

Tabla 9

Potencia nominal (en Wp) necesaria para suplir una determinada demanda de energía bajo las correspondientes condiciones de irradiación solar.

		Promedio anual de la irradiación solar según la latitud (Wp/m ² /día)								
		2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Demanda de energía anual (KWh/año)	1000	1,83	1,46	1,22	1,04	0,91	0,81	0,73	0,66	0,61
	1500	2,74	2,19	1,83	1,57	1,37	1,22	1,10	1,00	0,91
	2000	3,65	2,92	2,44	2,09	1,83	1,62	1,46	1,33	1,22
	2500	4,57	3,65	3,04	2,61	2,28	2,03	1,83	1,66	1,52
	3000	5,48	4,38	3,65	3,13	2,74	2,44	2,19	1,99	1,83
	3500	6,39	5,11	4,26	3,65	3,20	2,84	2,56	2,32	2,13
	4000	7,31	5,84	4,87	4,17	3,65	3,25	2,92	2,66	2,44
	4500	8,22	6,58	5,48	4,70	4,11	3,65	3,29	2,99	2,74
	5000	9,13	7,31	6,09	5,22	4,57	4,06	3,65	3,32	3,04
	5500	10,05	8,04	6,70	5,74	5,02	4,46	4,02	3,65	3,35
	6000	10,96	8,77	7,31	6,26	5,48	4,87	4,38	3,99	3,65
	6500	11,87	9,50	7,91	6,78	5,94	5,28	4,75	4,32	3,96
	7000	13,70	10,23	8,52	7,31	6,39	5,68	5,11	4,65	4,26
	7500	12,79	10,23	8,52	7,31	6,39	5,68	5,11	4,65	4,26
	8000	14,61	11,69	9,74	8,35	7,31	6,49	5,84	5,31	4,87
	8500	15,53	12,42	10,35	8,87	7,76	6,90	6,21	5,65	5,18
9000	16,44	13,15	10,96	9,39	8,22	7,31	6,58	5,98	5,48	
9500	17,35	13,88	11,57	9,92	8,68	7,71	6,94	6,31	5,78	
10 000	18,26	14,61	12,18	10,44	9,13	8,12	7,31	6,64	6,09	

Fuente: Grupo de Investigación Estratégica en Energía Solar de la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC), Brasil - **FOTOVOLTAICA-UFSC**.

ciudades de ALC¹¹. Estos valores indican la irradiación solar incidente sobre un arreglo de paneles montado en condiciones óptimas de orientación y ángulo de inclinación para la latitud de esa ciudad.

ETAPA 4: Definición de la potencia nominal del Sistema Fotovoltaico

En esta etapa, se debe conocer la demanda de energía anual de la escuela, como también la irradiación solar anual incidente sobre el arreglo de paneles. En la **Tabla 9** se muestra una aproximación de la potencia nominal que un Sistema Fotovoltaico debe tener para suplir la necesidad de energía de una escuela en las condiciones de irradiación solar correspondientes.

En la segunda columna de la **Tabla 9** se muestra el valor de la demanda de energía anual de la escuela¹². Al cotejar esta demanda de energía con el nivel de irradiación del lugar, mostrado en la

¹¹ Información similar de varias ciudades puede encontrarse gratuitamente en Internet. Un ejemplo de fuente en línea es el mapa interactivo de la irradiación solar y una compilación de datos del **Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA)**.

¹² Para sistemas con conexión a la red, generalmente se emplea la demanda de energía anual, ya que se realiza la sumatoria de las facturas mensuales. De todos modos, algunos profesionales realizan el cálculo con base en un día "promedio", pero empleando otra tabla.

parte superior de la Tabla, se obtendrá un primer cálculo aproximado de la potencia nominal necesaria para el Sistema Fotovoltaico en KWp.

Este es un cálculo muy aproximado, pero dará una buena percepción del tamaño del Sistema Fotovoltaico requerido para suplir la necesidad de energía anual de la escuela.

ETAPA 5: Definición de la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios

Para saber cuántos paneles fotovoltaicos serán necesarios para suplir esa potencia nominal, será necesario conocer la potencia nominal de cada panel fotovoltaico disponible. La cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios es el resultado de la división de la potencia nominal total del Sistema Fotovoltaico por la potencia nominal del panel fotovoltaico.

$$\frac{\text{Potencia nominal requerida}}{\text{Potencia nominal de un panel}} = \text{Cantidad de paneles necesarios}$$

En la mayoría de los casos, el resultado será un número decimal, lo que significa que deberá ser redondeado hacia arriba o hacia abajo. Generalmente, redondear

hacia arriba es la opción más segura, ya que así se garantiza el suministro de toda la potencia necesaria.

Para un Sistema Fotovoltaico de 1975 Wp que usa paneles fotovoltaicos con clasificación de 275 Wp por panel, el resultado es igual a 7,18. Ya que el resultado es muy cercano a 7, se puede redondear hacia abajo.

Para un sistema con los mismos 1975 Wp que usa paneles fotovoltaicos clasificados en 110 Wp por panel el resultado es 17,95, que es muy cercano a 18. En este caso se recomendaría redondear por exceso, ya que sería un riesgo elegir cualquier cosa por debajo de ese número.

Cuando el resultado no es claro, normalmente redondear hacia arriba es la mejor opción.



Fuente BID

ETAPA 6: Definición del tamaño del convertidor

El tamaño del convertidor dependerá de la potencia nominal del Sistema Fotovoltaico y de las características eléctricas de los paneles fotovoltaicos adoptados.

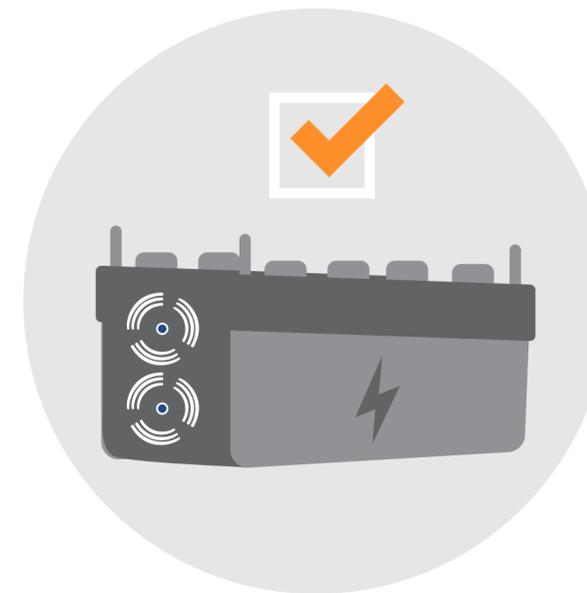
Como regla general, para dimensionar el convertidor, la potencia de este debe suplir el total de la potencia nominal del Sistema Fotovoltaico. A veces será necesario más de un convertidor, y esta decisión dependerá de las tecnologías de conversión disponibles comercialmente en el lugar.

La definición del tamaño del convertidor también dependerá de otras características eléctricas, como el voltaje de entrada/salida y la variación de voltaje del convertidor elegido. Es muy importante considerar que el lado de corriente alterna (AC) del convertidor deberá tener las mismas características eléctricas que la red local, como, por ejemplo, el voltaje y la frecuencia.

Como el convertidor es el responsable directo de determinar la salida de potencia máxima del Sistema, también es importante considerar lo que sucede con el exceso de energía en situaciones de demanda cero. Si la potencia del Sistema

es mucho mayor que la demanda de energía, el exceso de energía es inyectado en la red.

Hay otros aspectos adicionales que se deben considerar para definir el tamaño adecuado del convertidor. Por lo tanto, la definición del tamaño y la selección del convertidor deben ser realizadas por un profesional.



Ejemplo 1: Sistemas Fotovoltaico conectado a la red eléctrica

Este ejemplo considera una escuela existente ubicada en Florianópolis, en la región sur de Brasil. La escuela desea tener un Sistema Fotovoltaico que suministre el 100% de la demanda de energía de la escuela. Para realizar los cálculos, se siguen los pasos de la **Tabla 6**.

ETAPA 1: Identificación de las condiciones ideales para la instalación del Sistema Fotovoltaico

Según la **Tabla 7**, Florianópolis está ubicada en el hemisferio sur a una latitud de 27°. Por lo tanto, las condiciones óptimas para instalar un Sistema Fotovoltaico que maximice la incidencia de radiación solar en el arreglo de paneles debe ser una inclinación de aproximadamente 27° orientada hacia el norte.

ETAPA 2: Identificación de la demanda de energía de la edificación

En la Figura 11 se exhibe el consumo mensual de energía de la escuela mostrado en la cuenta de energía. Sumando el consumo mensual presentado, es posible calcular el consumo de energía anual de la escuela. Por lo tanto, esta escuela consume aproximadamente 5010 KWh/año.

La escuela quiere tener un Sistema Fotovoltaico que suministre el 100% de su consumo de energía; además, se pretende que el Sistema prevea un incremento de consumo de un 20% para el futuro. Por lo tanto, su demanda de energía para dimensionar el Sistema Fotovoltaico es de 6012 KWh/año.

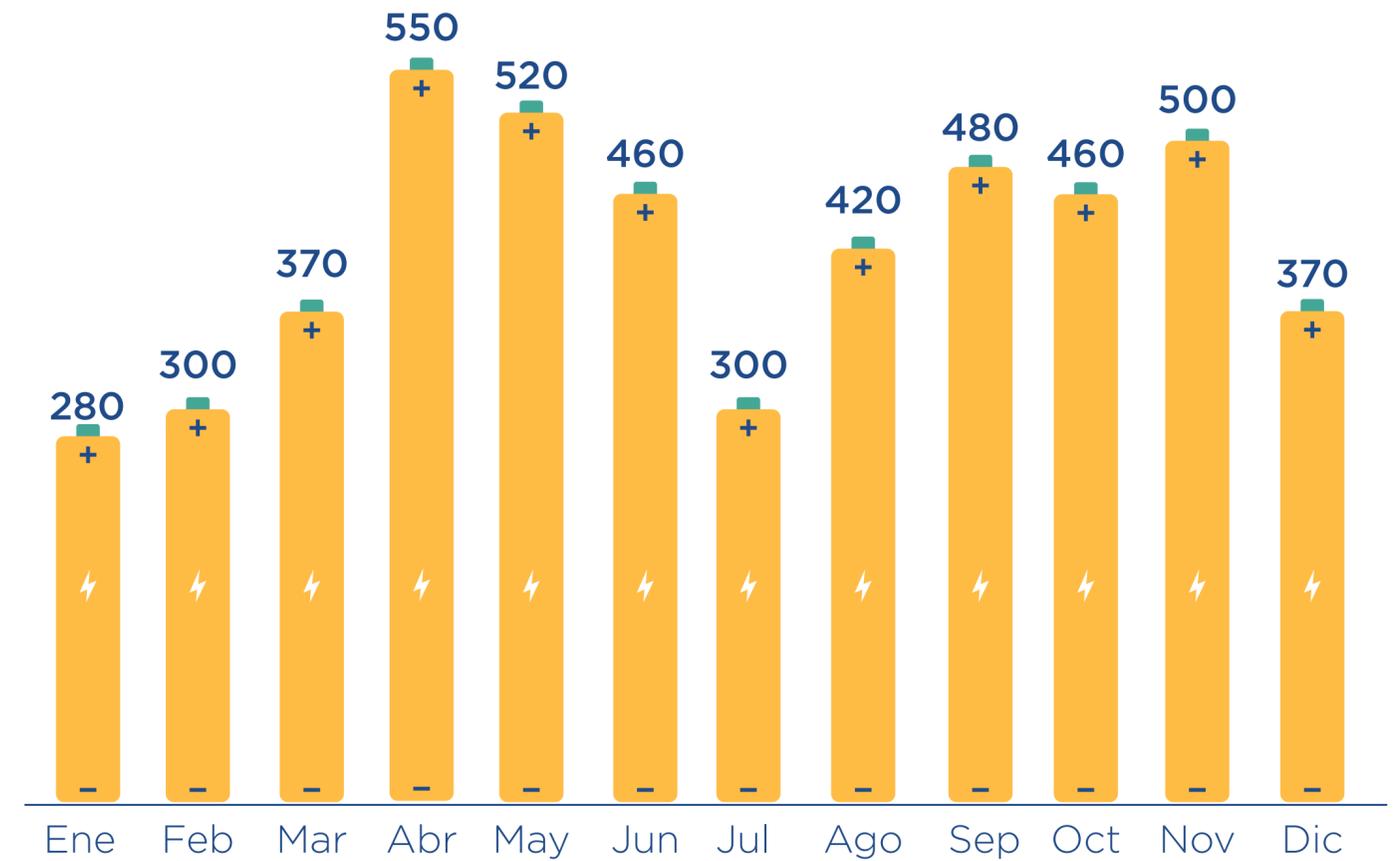
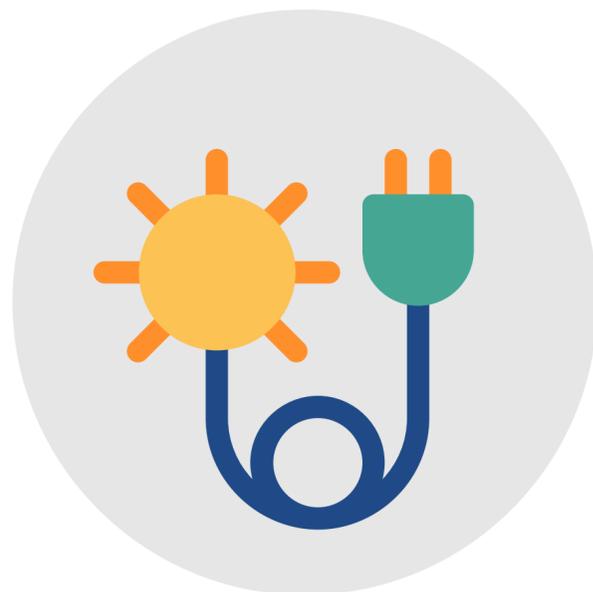


Figura 11: Consumo de energía mensual de la escuela dado por la cuenta de energía eléctrica.



ETAPA 3: Evaluación de la irradiación solar

De acuerdo con la **Tabla 4**, el promedio anual de la irradiación solar según la inclinación por latitud para Florianópolis es de 4,95 KWh/m² por día. Esto significa que un promedio anual de 4,95 KWh/m² por día es la cantidad de irradiación solar que recibirá una superficie inclinada a 27° y orientada hacia el norte.

ETAPA 4: Definición de la potencia nominal del Sistema Fotovoltaico

En este momento, se sabe que la demanda de energía anual de la escuela es de 6012 KWh/año y el promedio anual de la irradiación solar según la inclinación por latitud para Florianópolis es de 4,95 KWh/m² por día.

Como la **Tabla 9** no incluye los valores exactos de 6012 KWh/año para la demanda de energía y 4,95 KWh/m² por día para la irradiación solar, es recomendable usar los números aproximados. Por lo tanto, se estima que para abastecer una escuela con una demanda de energía anual de 6000 KWh/año, con 5,00 KWh/m² por día de promedio anual de irradiación solar según la inclinación por latitud, un Sistema Fotovoltaico debe tener

aproximadamente 4,38 KWp de potencia nominal instalada.

ETAPA 5: Definición de la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios

La instalación de la potencia nominal es definida por la potencia nominal de los paneles fotovoltaicos seleccionados, y con base en esto se define la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios. Esta información se encuentra en la ficha de datos del panel fotovoltaico.

Suponiendo que los paneles disponibles tienen una potencia nominal de 265 Wp para suplir los 4,38 KWp (4380 Wp), el Sistema debe tener por lo menos 17 paneles.

ETAPA 6: Definición del tamaño del convertidor

El tamaño del convertidor depende de las características eléctricas de los paneles fotovoltaicos adoptados y de las características eléctricas de los convertidores disponibles en el mercado.

Como regla general, para dimensionar el convertidor, la potencia de este debe suplir la potencia nominal del Sistema Fotovoltaico. Por lo tanto, en este caso, el convertidor (o convertidores) debe alcanzar aproximadamente entre 4 y 5 KW.

Sistemas Fotovoltaicos sin conexión a una red eléctrica

El proceso para definir el tamaño de los Sistemas Fotovoltaicos sin conexión a una red es más complejo que en los Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red. Esta complejidad surge debido a la intermitencia del recurso solar, factor que se debe considerar para asegurar la autonomía del Sistema.

Por lo tanto, se debe dimensionar y especificar la infraestructura adecuada de almacenamiento de energía.

Con frecuencia, se usan generadores a combustible como fuente de energía complementaria a la red. El uso de energía fotovoltaica permite que los usuarios dejen de usar los generadores para el suministro de energía; no obstante, habrá casos en los que la energía fotovoltaica no sea suficiente y el generador deba ser utilizado junto con la energía fotovoltaica.

ETAPA 1: Identificación de las condiciones ideales para la instalación del Sistema Fotovoltaico

La identificación de las condiciones óptimas del arreglo de paneles se debe realizar de igual manera a lo indicado en la **ETAPA 1** del Sistema con conexión a la red.

ETAPA 2: Identificación de la demanda de energía de la edificación

La identificación del consumo de energía de la edificación se debe realizar como fue indicado en la **ETAPA 2** del Sistema con conexión a la red. Para el caso de

construcciones nuevas se pueden utilizar los datos de la **Tabla 7**.

Si se trabaja con un Sistema que utiliza cualquier otra fuente de energía como complemento a la fotovoltaica, se debe restar la energía diaria producida por esta fuente adicional de la demanda de energía requerida. Por ejemplo, si se tiene un Sistema con una demanda de energía diaria de 10 KWh y se cuenta con un generador a diésel que produce 3 KWh/día, si los usuarios deciden dejar de utilizar el generador, deben usar el valor de 10 KWh para la estimación de la energía fotovoltaica requerida, pero si

Tabla 10

Etapas necesarias para dimensionar un Sistema Fotovoltaico sin conexión a una red.

Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6	Etapa 7	Etapa 8	Etapa 9
Identificación de las condiciones ideales para la instalación del Sistema Fotovoltaico	Identificación de la demanda de energía de la edificación	Evaluación de la irradiación solar	Definición de la potencia nominal del Sistema Fotovoltaico	Definición de la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios	Definición del tamaño paquete de baterías	Definición de la configuración eléctrica del sistema	Definición del tamaño del controlador de carga	Definición del tamaño del convertidor

desean continuar utilizando el generador, deberán usar el valor de 7 kWh/día para las próximas etapas (10 - 3 = 7). Para determinar la producción de energía del generador, se recomienda consultar al distribuidor original.

De todas maneras, al determinar la energía necesaria, es importante considerar también las previsiones a futuro y la mayor carga que pueda ser requerida, especialmente considerando el impacto de la incorporación de tecnología y aparatos eléctricos en los edificios.

ETAPA 3: Evaluación de la irradiación solar

La evaluación de la irradiación solar se debe realizar de igual manera a lo indicado en la **ETAPA 3** del Sistema con conexión a la red.

ETAPA 4: Definición de la potencia nominal del Sistema Fotovoltaico

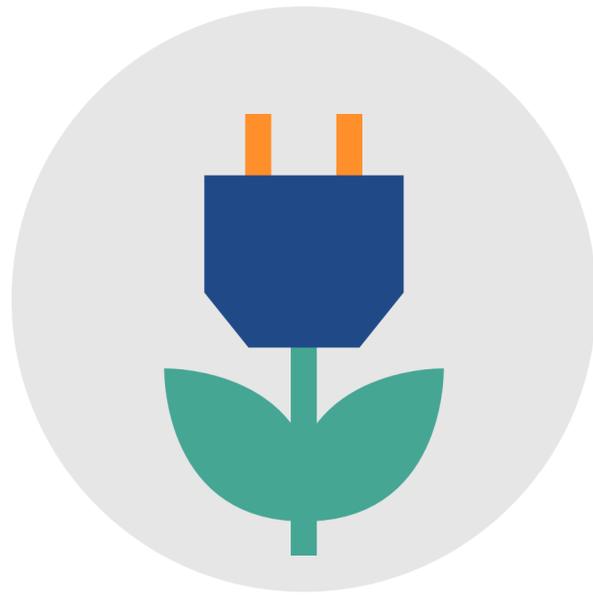
Con los datos de irradiación solar y de demanda de energía es posible conocer la potencia nominal necesaria.

Tabla 11

Potencia nominal (en Wp) necesaria para suplir una determinada demanda de energía en las correspondientes condiciones de irradiación solar.

		Promedio anual de la irradiación solar según la latitud (KWh/m ² /día)								
		2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Demanda de energía diaria (KWh/día)	0,25	250	200	167	143	125	111	100	91	83
	0,5	500	400	333	286	250	222	200	182	167
	0,75	750	600	500	429	375	333	300	273	250
	1	1000	800	667	571	500	444	400	364	333
	5	5000	4000	3333	2857	2500	2222	2000	1818	1667
	10	10 000	8000	6667	5714	5000	4444	4000	3636	3333
	15	15 000	12 000	10 000	8571	7500	6667	6000	5455	5000
	20	20 000	16 000	13 333	11 429	10 000	8889	8000	7273	6667
	25	25 000	20 000	16 667	14 286	12 500	11 111	10 000	9091	8333
	30	30 000	24 000	20 000	17 143	15 000	13 333	12 000	10 909	10 000
	35	35 000	28 000	23 333	20 000	17 500	15 556	14 000	12 727	11 667
	40	40 000	32 000	26 667	22 857	20 000	17 778	16 000	14 545	13 333
	45	45 000	36 000	30 000	25 714	22 500	20 000	18 000	16 364	15 000
	50	50 000	40 000	33 333	28 571	25 000	22 222	20 000	18 182	16 667
	55	55 000	44 000	36 667	31 429	27 500	24 444	22 000	20 000	18 333
	60	60 000	48 000	40 000	34 286	30 000	26 667	24 000	21 818	20 000
	65	65 000	52 000	43 333	37 143	32 500	28 889	26 000	23 636	21 667
70	70 000	56 000	46 667	40 000	35 000	31 111	28 000	25 455	23 333	
75	75 000	60 000	50 000	42 857	37 500	33 333	30 000	27 273	25 000	
80	80 000	64 000	53 333	45 714	40 000	35 556	32 000	29 091	26 667	
85	85 000	68 000	56 667	48 571	42 500	37 778	34 000	30 909	28 333	
90	90 000	72 000	60 000	51 429	45 000	40 000	36 000	32 727	30 000	
95	95 000	76 000	63 333	54 286	47 500	42 222	38 000	34 545	31 667	
100	100 000	80 000	66 667	57 143	50 000	44 444	40 000	36 364	33 333	

Fuente: Grupo de Investigación Estratégica en Energía solar de la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC), Brasil - **FOTOVOLTAICA-UFSC**.



La **Tabla 11** muestra la demanda diaria de energía con los niveles de irradiación, conduciendo a la potencia fotovoltaica necesaria para el Sistema¹³.

Estos valores son aproximados. Si el valor de la demanda de energía no está en la Tabla, se puede obtener un valor aproximado usando el próximo valor más alto o una interpolación entre los dos valores más cercanos.

En la mayoría de los casos, el resultado no es un número entero, lo que significa que el resultado debe ser redondeado hacia arriba o hacia abajo. Normalmente, la opción más segura es redondear hacia arriba, especialmente en Sistemas Fotovoltaicos fuera de la red. Por ejemplo, si una escuela con una demanda de 25 KWh/día está ubicada en algún lugar con un nivel de irradiación de 4 KWh/m²/día, la potencia fotovoltaica recomendada debe ser por lo menos 12 500 Wp (o 12,5 KWp).

¹³ La **Tabla 11**, para sistemas sin conexión de la red emplea la demanda de energía diaria, mientras, que como se vio anteriormente la **Tabla 9** para sistemas con conexión a la red emplea la demanda de energía anual. Esto se debe a que, en los sistemas aislados no hay facturas mensuales de energía, por lo cual es más común trabajar con base en “día”. En los sistemas conectados a la red se hace con base en año, sumando las facturas mensuales, aunque también podría hacerse con base en un día “promedio”.

ETAPA 5: Definición de la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios

La potencia fotovoltaica mostrada en la **Tabla 11** es la potencia total del sistema en Wp. Para obtener el número necesario de paneles, es necesario dividir la potencia fotovoltaica obtenida por la potencia de un solo panel fotovoltaico.

$$\frac{\text{Potencia nominal requerida}}{\text{Potencia nominal de un panel}} = \text{Cantidad de paneles necesarios}$$

Para un panel fotovoltaico con una potencia nominal de 320 Wp, la cantidad de paneles necesarios es 40 (12 500 ÷ 320 = 39,06).

Aun cuando el resultado esté muy cerca de 39, en Sistemas Fotovoltaicos sin conexión a la red, es mejor redondear para arriba, o sea usar más paneles para asegurar que se entregue la energía necesaria.



ETAPA 6: Definición del tamaño del paquete de baterías¹⁴

Para dimensionar el banco de baterías, el principal factor que se debe considerar es la autonomía del Sistema, es decir, por cuántos días la batería podrá suplir la energía si no hay sol.

Obviamente, cuanto mayor sea la autonomía y el banco de baterías, mayor será el tiempo de recarga y, principalmente, el costo. En la Tabla 12 se muestra la demanda de energía con diferentes niveles de autonomía, lo que lleva a la mínima carga necesaria para el banco de baterías¹⁵. Si el valor de la demanda de energía no está en la **Tabla 12**, se puede obtener un valor aproximado usando el próximo valor más alto o un promedio de los dos valores más cercanos.

¹⁴ Si por algún motivo el usuario no desea tener un Sistema de almacenamiento de energía, se puede no considerar esta etapa. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando el consumo de energía coincide con el momento de la generación de ésta. Por ejemplo, si la escuela funciona de día y de noche no funciona, no es necesario almacenar energía. O si el Sistema Fotovoltaico se usa para una bomba que llena un tanque de agua, ésta puede funcionar cuando hay sol, por lo tanto, no se necesita almacenamiento de energía.

¹⁵ Esta tabla es sólo referencial y válida para baterías convencionales de plomo ácido de 12 V. Para otras tecnologías u otros voltajes, se sugiere consultar con un técnico especializado. En el caso de baterías de litio, los valores del cálculo son la cuarta parte que los valores indicados en la **Tabla 12**.

La carga de baterías mostrada en la **Tabla 12** es la carga total del banco en Ah (Amperio-hora). Para obtener la cantidad necesaria de baterías, se debe dividir el valor obtenido por el valor de la carga de una sola batería y redondear el resultado.

$$\frac{\text{Carga nominal de baterías requerida}}{\text{Potencia nominal de una batería}} = \text{Cantidad de baterías necesarias}$$

Por ejemplo, se considera que una escuela con una demanda de 10 KWh/día, debe tener una autonomía de energía de 5 días. Para asegurar esta condición, la escuela necesita un Sistema de baterías de 5787 Ah. Si la batería elegida tiene 165 Ah, el Sistema necesitará por lo menos 36 baterías ($5787 \div 165 = 35,07$).

Tabla 12

Valor aproximado de la carga nominal de las baterías de plomo-ácido (en Ah) necesaria para suplir una determinada demanda de energía bajo las correspondientes condiciones de autonomía.

		Autonomía del sistema (días)		
		3	4	5
Demanda de energía diaria (kWh/día)	0,25	98	116	145
	0,5	196	231	289
	0,75	294	347	434
	1	392	463	579
	5	1961	2315	2894
	10	3922	4630	5787
	15	5882	6944	8681
	20	7843	9259	11 574
	25	9804	11 574	14 468
	30	11 765	13 889	17 361
	35	13 725	16 204	20 255
	40	15 686	18 519	23 148
	45	17 647	20 833	26 042
	50	19 608	23 148	28 935
	55	21 569	25 463	31 829
	60	23 529	27 778	34 722
	65	25 490	30 093	37 616
	70	27 451	32 407	40 509
	75	29 412	34 722	43 403
	80	31 373	37 037	46 296
85	33 333	39 352	49 190	
90	35 294	41 667	52 083	
95	37 255	43 981	54 977	
100	39 216	46 296	57 870	

ETAPA 7: Definición de la configuración eléctrica del Sistema¹⁶

Después de definir los tamaños del Sistema Fotovoltaico y del banco de baterías, la siguiente etapa es especificar su configuración eléctrica. Las baterías para este tipo de aplicación normalmente tienen un voltaje nominal de 12 V, pero se pueden formar cadenas de baterías y obtener bancos de baterías de 24, 36 o 48 V.

Estos valores son los voltajes de operación, pero la carga de la batería se produce con voltajes mayores (aproximadamente un 20% más altos que el voltaje de operación).

Aunque este voltaje puede variar en función del fabricante y de la potencia del panel, los paneles con el mismo número de células normalmente tienen voltajes muy similares. En la **Tabla 13** se sugiere la mejor manera de conectar los paneles fotovoltaicos con 36, 60 y 72 células para cada valor de voltaje de las baterías.

Es importante señalar que el voltaje del Sistema Fotovoltaico es definido por el técnico que realiza el dimensionamiento

¹⁶ Si el Sistema no incluye baterías y los aparatos del lugar no usan voltaje DC de 12 a 48 V, esta etapa se puede omitir. En este caso, la configuración eléctrica del Sistema dependerá de las características eléctricas del convertidor.

de éste, mientras que las células por panel dependen del fabricante. Entonces, el técnico debe definir cuántos paneles usar dependiendo del voltaje del Sistema y las células por panel disponibles en el mercado.

La **Tabla 13** muestra las dimensiones de la cadena recomendada. Esto significa que todas las otras cadenas de paneles fotovoltaicos deben estar conectadas entre sí en paralelo. Si no hay suficientes paneles para completar algunas cadenas, se recomienda aumentar la cantidad de paneles fotovoltaicos del sistema.

Si no se puede usar alguna configuración, se debe aumentar el voltaje del banco de baterías o usar un panel fotovoltaico menor. La **Tabla 13** también muestra que la mayor parte del tiempo el arreglo de paneles tiene cadenas con un número par de paneles fotovoltaicos. En consecuencia, se puede suponer que la mayor parte del tiempo es mejor redondear el número de paneles fotovoltaicos del sistema hacia arriba, hasta el próximo número par.

Si los aparatos del sistema usan voltaje en corriente continua (DC) de 12 a 48 V y no hay ningún sistema de baterías, el arreglo de paneles suministrará las cargas



directamente a través del controlador¹⁷. Para definir la configuración eléctrica del arreglo de paneles, también se debe consultar la Tabla 13, pero se debe leer como si el voltaje de la batería fuera el voltaje deseado. Por lo tanto, si, por ejemplo, los aparatos de una instalación usan 48 V, las configuraciones recomendadas son cadenas de 4 paneles de 36 células, 2 paneles de 60 células o 2 paneles de 72 células.

ETAPA 8: Definición del tamaño del controlador de carga

Los controladores de carga limitan el voltaje con el cual el arreglo de paneles suministra la energía. Esta etapa sirve para determinar cuál controlador de carga es necesario.

Existe una amplia variedad de controladores de carga para diferentes configuraciones eléctricas disponibles en el mercado. Los controladores de carga se clasifican de acuerdo con los valores de voltaje, corriente y potencia, pero en general, el voltaje y la potencia son los factores más importantes, ya que las otras propiedades generalmente tienen límites mucho más altos que los valores que se observarán en el Sistema. Los

¹⁷ Nunca se pueden conectar aparatos directamente a los paneles fotovoltaicos. Siempre debe haber un controlador de carga.

controladores de carga disponibles en el mercado son típicamente de 10A, 20A, 40A, etc.

De acuerdo con eso, el controlador debe tener el voltaje nominal igual al voltaje nominal del banco de baterías o de los aparatos, si estos usan voltaje DC. Se sugiere contar con la asistencia de un profesional para evaluarlo correctamente.

ETAPA 9: Definición del tamaño del convertidor¹⁸

Al igual que el controlador de carga, el convertidor también se clasifica por los valores de voltaje, corriente y potencia, pero en este caso, su potencia es tan importante como su voltaje (otra vez, la corriente generalmente tiene límites más altos que los valores que se observarán en el Sistema).

La potencia del convertidor corresponde a la potencia que se entrega a los aparatos eléctricos, por lo tanto, lo ideal es que sea igual o mayor que la demanda máxima (eso significa que el convertidor es responsable de definir la salida de potencia real del Sistema). Con respecto al voltaje, se deben observar dos valores: el voltaje de entrada (DC) y el voltaje de salida (AC).

¹⁸ Si los aparatos usan voltaje DC, el convertidor no es necesario y esta etapa se puede desconsiderar.

Tabla 13 Configuraciones recomendadas con base en el voltaje de las baterías y la cantidad de células fotovoltaicas por panel.

Cantidad de células en el panel fotovoltaico elegido				
Voltaje del banco de baterías (V)		36 células	60 células	72 células
	12	1 panel por cadena	No se puede usar	No se puede usar
	24	2 paneles por cadena	1 panel por cadena	1 panel por cadena
	36	3 paneles por cadena	No se puede usar	No se puede usar
	48	4 paneles por cadena	2 paneles por cadena	2 paneles por cadena

La entrada del convertidor corresponde al lado de DC, o sea, al lado que tiene la energía del Sistema Fotovoltaico, mientras que la salida corresponde al lado AC, que tiene la energía que se debe distribuir para su uso. El voltaje de entrada debe ser igual al voltaje nominal del banco de baterías y del controlador de carga, mientras que el voltaje de salida debe ser igual al voltaje de suministro de los aparatos eléctricos conectados al Sistema.

En ALC, este valor es de 110 o 220 V (consulte una tabla de especificaciones de la red por país). Atención: si los aparatos utilizados en el lugar usan 12, 24, 36 o 48 V DC, no es necesario usar un convertidor y los equipos se podrán conectar directamente al controlador de carga.

Ejemplo 2: Sistema Fotovoltaico fuera de la red eléctrica con almacenamiento en batería

Este ejemplo considera una escuela en una isla ubicada en Florianópolis, en la región sur de Brasil. En el sur de Brasil, la red tiene un valor de 220 V y todos los aparatos de la escuela usan este mismo voltaje, por lo tanto, es necesario un convertidor. Los usuarios desean cambiar sus generadores a diésel por energía fotovoltaica y usar baterías para almacenar la energía. Se seguirán las etapas de la **Tabla 10**.

ETAPA 1: Identificación de las condiciones ideales para la instalación del Sistema Fotovoltaico

El primer paso para dimensionar un Sistema Fotovoltaico fuera de la red es asegurarse que el lugar donde se instale el Sistema reciba suficiente luz solar. La escuela es lo suficientemente alta para que los árboles no produzcan sombra en el techo, lo que convierte al techo en un lugar ideal para el arreglo de paneles. De acuerdo con lo indicado en la **Tabla 7**, la latitud local es de 27°50'S, por lo cual el arreglo de paneles debe estar orientado al norte con una inclinación de 27°.

ETAPA 2: Identificación de la demanda de energía de la edificación

Para identificar el consumo de energía de la escuela, todos los aparatos eléctricos deben estar especificados en una lista con su potencia y uso diario. En este ejemplo, la escuela tiene solo los siguientes aparatos: 1 ventilador de techo, 1 lámpara fluorescentes, 1 módem de Internet, 1 laptop, 1 proyector, 1 radio y 1 teléfono inalámbrico.

Después de verificar la potencia de cada aparato y evaluar el uso diario de los mismos, se puede obtener el consumo diario de cada uno, multiplicando la potencia y el tiempo de operación, como muestra la siguiente Tabla, con datos de la **Tabla 8**.

Sumando todo el consumo de energía, se obtiene un total de 1,069 KWh/día, pero previendo un aumento de carga futuro de un 20%, se estima la carga en 1,283 KWh/día.

Tabla 14 | Consumo de energía de los aparatos de la escuela.

Aparato	Potencia (w)	Tiempo de operación (h/día)	Energía (KWh/día)
Ventilador de techo	73	8	0,584
Lámpara fluorescente	23	5	0,115
Módem de Internet	8	8	0,064
Laptop	20	8	0,160
Proyector	24	1	0,024
Radio	5	10	0,05
Teléfono inalámbrico	3	24	0,072
TOTAL			1,069

ETAPA 3: Evaluación de la irradiación solar

A seguir, se debe determinar el nivel mínimo de irradiación diaria para Florianópolis, que, según la **Tabla 4**, es de 4,95 KWh/m²/día.

ETAPA 4: Definición de la potencia nominal del Sistema Fotovoltaico

Con los datos de irradiación solar (ETAPA 3) y de demanda de energía (ETAPA 2) es posible conocer la potencia nominal necesaria.

Según la **Tabla 11** hay dos posibilidades: usar la definición de tamaño para 1 KWh/día o 5 KWh/día. La segunda opción es más segura, pero es mucho más cara. Entonces, se usará el valor de 1 KWh/día, que está muy cerca de nuestro valor calculado.

En cuanto a la irradiación, podemos usar 4,5 o 5 KWh/m²/día. El valor de 4,5 KWh/m²/día es más seguro, ya que aumenta el tamaño del Sistema para atender una irradiación baja. Por lo tanto, se usará este valor. Esto conduce a un arreglo de paneles de una potencia nominal de 444 Wp.

ETAPA 5: Definición de la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios

Los paneles disponibles tienen una potencia nominal de 265 Wp, de manera que, para suplir los 444 Wp, el Sistema debe tener por lo menos 2 paneles.

ETAPA 6: Definición del tamaño del paquete de baterías

Para dimensionar el paquete de baterías, se debe definir la autonomía del Sistema. En Florianópolis, es raro que pasen más de 3 días sin cielo despejado. Por lo tanto, se considera que una autonomía de 3 días es suficiente. Utilizando la información de la **Tabla 12**, se debe instalar un banco de baterías de 392 Ah.

Las baterías disponibles tienen 120 Ah, por lo tanto, para cubrir los 392 Ah requeridos, se necesitan como mínimo 4 de ellas.

ETAPA 7: Definición de la configuración eléctrica del Sistema

Habiendo definido los tamaños del arreglo de paneles y del conjunto de baterías, se debe definir su configuración eléctrica. Según la **Tabla 13**, como son 4 baterías, podemos utilizar 12, 24 o 48 V. Si los paneles utilizados tienen 60 células, podríamos usar 24 o 48 V.

Para este Sistema, se elegirá 48 V, lo que significa que las 4 baterías se conectarán en paralelo mientras los paneles se conectarán en 2 cadenas de 2 paneles.

ETAPA 8: Definición del tamaño del controlador de carga

El tamaño del controlador de carga depende de la corriente y del voltaje del arreglo de paneles y también de la disponibilidad del mercado local. En general, el controlador de carga debe tener un voltaje nominal igual al banco de baterías y en el mercado generalmente se encuentran de 10A, 20A, 40A, etc.

ETAPA 9: Definición del tamaño del convertidor

El tamaño del convertidor también depende de la corriente y del voltaje del arreglo de paneles, pero principalmente de la potencia. Hay varias configuraciones diferentes en el mercado, pero se recomienda usar un convertidor con potencia nominal cercana a la potencia del arreglo de paneles, pero nunca menor. Para este ejemplo, un convertidor con 1 kW debe ser suficiente, siempre y cuando su voltaje de salida sea de 220 V.

Ejemplo 3: Sistema Fotovoltaico fuera de la red eléctrica sin almacenamiento en batería

Este ejemplo considera una pequeña escuela en Quito, la capital del Ecuador. La escuela funciona solo durante el día y, por lo tanto, no es necesario almacenar energía en baterías. En Ecuador, generalmente todos los aparatos de la escuela usan un voltaje de 120 V; por lo tanto, es necesario un conversor para ese voltaje. Se seguirán las etapas de la **Tabla 10**.

ETAPA 1: Identificación de las condiciones ideales para la instalación del Sistema Fotovoltaico

El primer paso para dimensionar un Sistema Fotovoltaico sin conexión a la red es asegurarse de que el lugar del Sistema reciba suficiente luz solar. La escuela está ubicada en un campo abierto, sin árboles ni otros elementos que puedan producir sombra, por lo que la azotea es el lugar ideal para el arreglo de paneles. Según la **Tabla 7**, la latitud local es 0°15'S y el ángulo mínimo de inclinación recomendado es 10°, el arreglo de paneles debe estar orientada hacia el norte con una inclinación de 10°.

ETAPA 2: Identificación de la demanda de energía de la edificación

Para identificar el consumo de energía de la escuela, todos los aparatos eléctricos deben estar especificados en una lista con su potencia y uso diario. En este ejemplo, la escuela tiene solo los siguientes aparatos: 1 ventilador de techo, 2 lámparas fluorescentes y 1 radio.

Después de verificar la potencia de cada aparato y evaluar el uso diario de los mismos, se puede obtener el consumo diario de cada uno multiplicando la potencia y el tiempo de operación, como muestra la siguiente Tabla, con datos de la **Tabla 8**.

Sumando todo el consumo de energía, se obtiene un total de 0,864 KWh/día, y previendo una posible ampliación del 20%, se obtiene un total es de 1,037 KWh/día.

Tabla 15 | Consumo de energía de los aparatos de la escuela.

Aparato	Cantidad	Potencia (w)	Tiempo de operación (h/día)	Energía (KWh/día)
Ventilador de techo	1	73	8	0,584
Lámpara fluorescente	2	23	5	0,230
Radio	1	5	10	0,05
TOTAL				0,864

ETAPA 3: Evaluación de la irradiación solar

Según la **Tabla 4**, el nivel mínimo de irradiación diaria para Quito es de 5,12 KWh/m²/día.

ETAPA 4: Definición de la potencia nominal del Sistema Fotovoltaico

Con los datos de irradiación solar (ETAPA 3) y de demanda de energía (ETAPA 2) es posible conocer la potencia nominal necesaria.

Según la **Tabla 11**, existen dos posibilidades: usar la definición de tamaño para 1 KWh/día o 5 KWh/día. La segunda opción es más segura, pero más cara. Como no se requiere almacenamiento en baterías, más paneles asegurarán que aun en días de poca luz solar el Sistema pueda generar suficiente energía para alimentar los aparatos. No obstante, considerando que la demanda, aun con un crecimiento de 20%, es muy cercana a 1 KWh/día (1,037 KWh/día), el valor elegido es de 1 KWh/día, para evitar sobredimensionar el Sistema.

En cuanto a la irradiación, según la **Tabla 11**, es posible usar 5 KWh/m²/día. Esto conduce a un arreglo de paneles de una potencia nominal de 400 Wp.

ETAPA 5: Definición de la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios

Los paneles disponibles tienen una potencia nominal de 265 Wp, de manera que, para suplir los 400 Wp, el Sistema debe tener por lo menos 2 paneles.

ETAPA 6: Definición del tamaño del paquete de baterías

Como el Sistema no tiene baterías, esta etapa se debe ignorar.

ETAPA 7: Definición de la configuración eléctrica del Sistema

Una vez definido el tamaño del arreglo de paneles, se debe definir su configuración eléctrica. Como no hay baterías, los 2 paneles pueden ser utilizados en serie o en paralelo, en función del voltaje de operación del convertidor disponible.

ETAPA 8: Definición del tamaño del controlador de carga

Como el Sistema no tiene baterías, pero tiene un convertidor, no es necesario un controlador de carga, ya que el propio convertidor limitará el voltaje de salida. Esta etapa se debe ignorar.

ETAPA 9: Definición del tamaño del convertidor

El tamaño del convertidor dependerá de la corriente y del voltaje del arreglo de paneles, pero principalmente de la potencia. Hay varias configuraciones diferentes en el mercado, pero se recomienda usar un convertidor con potencia nominal cercana a la potencia del arreglo de paneles. Para este ejemplo, un convertidor de 0,5 o 1 KW debe ser suficiente, siempre y cuando su voltaje de salida sea de 120 V.

Ejemplo 4: Sistema Fotovoltaico sin conexión a la red eléctrica sin convertidor

Este ejemplo considera una pequeña escuela en Buenos Aires, capital de Argentina. La escuela necesita tener almacenamiento en baterías, y todos los aparatos tienen voltaje de operación de 24 V DC, por lo cual no es necesario un convertidor. Los aparatos pueden estar conectados directamente al controlador de carga. Se seguirán las etapas de la **Tabla 10**.

ETAPA 1: Identificación de las condiciones ideales para la instalación del Sistema Fotovoltaico

El primer paso para dimensionar un Sistema Fotovoltaico fuera de la red es asegurarse que el lugar donde se instale el Sistema reciba suficiente luz solar. La escuela está ubicada en un campo abierto, sin árboles ni otros elementos que puedan producir sombra, por lo que la azotea es el lugar ideal para el arreglo de paneles. Según la **Tabla 7**, la latitud local es de 34°36'S, por lo que el arreglo de paneles debe estar orientado hacia el norte, con una inclinación de 34°.

ETAPA 2: Identificación de la demanda de energía de la edificación

Para identificar el consumo de energía de la escuela, todos los aparatos eléctricos deben estar especificados en una lista con su potencia y uso diario. En este ejemplo, la escuela tiene solo los siguientes aparatos: 1 ventilador de techo, 3 lámparas fluorescentes, 1 radio y 1 heladera.

Después de verificar la potencia de cada aparato y evaluar el uso diario de los mismos, se puede obtener el consumo diario de cada uno multiplicando la potencia y el tiempo de operación, como muestra la siguiente Tabla, con datos de la **Tabla 8**.

Sumando todo el consumo de energía, se obtiene un total de 2,299 KWh/día y considerando una previsión adicional de un 20% para el futuro, se considera un total de 2,759 KWh/día.

Tabla 16 | Consumo de energía de los aparatos de la escuela.

Aparato	Cantidad	Potencia (w)	Tiempo de operación (h/día)	Energía (KWh/día)
Ventilador de techo	1	73	8	0,584
Lámpara fluorescente	3	23	5	0,345
Radio	1	5	10	0,05
Heladera	1	55	24	1,32
TOTAL				2,299

ETAPA 3: Evaluación de la irradiación solar

A seguir, se debe determinar el nivel mínimo de irradiación diaria, que en Buenos Aires es de 5,34 kWh/m²/día, de acuerdo a la **Tabla 4**.

ETAPA 4: Definición de la potencia nominal del Sistema Fotovoltaico

Con los datos de irradiación solar (ETAPA 3) y de demanda de energía (ETAPA 2) es posible conocer la potencia nominal necesaria.

Según la **Tabla 11** hay dos posibilidades: usar la definición de tamaño para 1 kWh/día o 5 kWh/día. La opción ideal sería algo entre esos valores, por lo tanto, obtendremos el promedio de los mismos. En cuanto a la irradiación, podemos usar 5 kWh/m²/día.

Para obtener el promedio necesario, debemos elegir los valores de potencia recomendados para demandas de 1 y 5 kWh/día en la irradiación deseada, sumar ambos valores y dividir por dos: $400 + 2000 = 2400$, luego, $2400 \div 2 = 1200$. El arreglo de paneles deseado tiene una potencia nominal de 1200 Wp.

ETAPA 5: Definición de la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios

Suponiendo que los paneles disponibles tengan una potencia nominal de 320 Wp, para suplir los 1.200 Wp, el Sistema debe tener por lo menos 4 paneles.

ETAPA 6: Definición del tamaño del paquete de baterías

Para dimensionar el paquete de baterías, se debe definir la autonomía del Sistema. En Buenos Aires, no es raro que ocurran más de 3 días sin cielo despejado, por lo tanto, es preferible tener una autonomía de 5 días. Como para la Etapa 4, es necesario el mismo proceso de obtención de un promedio. Tomando los valores recomendados para 1 y 5 kWh en la **Tabla 12**, se puede obtener otro promedio: $579 + 2874 = 3453$, el resultado es 1726,5. El banco de baterías deseado tiene una carga de 1726,5 Ah.

Las baterías disponibles tienen 150 Ah, por lo tanto, se necesita como mínimo 12 de ellas.

ETAPA 7: Definición de la configuración eléctrica del Sistema

Habiendo definido los tamaños del arreglo de paneles y del conjunto de baterías, se debe definir su configuración eléctrica.

Como el Sistema usa aparatos de 24 V, las baterías también deben producir ese voltaje. Cada una de las 12 baterías tiene un voltaje de 12 V, por lo tanto, para tener una salida de 24 V, es necesario conectar las baterías en cadenas de 2 en serie. Esto resulta en 6 cadenas en paralelo y un Sistema de baterías de 24 V. Como se está usando un panel de 72 células, el arreglo de paneles debe tener todos los paneles en paralelo. Para este proceso se utiliza la **Tabla 13**.

ETAPA 8: Definición del tamaño del controlador de carga

El tamaño del controlador de carga depende de la corriente y del voltaje del arreglo de paneles y también de la disponibilidad del mercado local. En general, el controlador de carga debe tener un voltaje nominal igual al banco de baterías y en el mercado generalmente se encuentran de 10A, 20A, 40A, etc.

ETAPA 9: Definición del tamaño del convertidor

Como el Sistema no tiene convertidor, esta etapa se debe ignorar.

A tener en cuenta en el cálculo de la cantidad de paneles

Como se ha explicado en el **Módulo 7**, la potencia nominal del arreglo de paneles surge de la combinación entre la demanda de energía y la irradiación solar de la zona en que se instale. Por lo tanto, la potencia nominal no surge de la sumatoria de la potencia de los equipos que se conectarán al Sistema Fotovoltaico (demanda).

La potencia del arreglo de paneles depende de cuánta energía se requiere durante el día, no de la potencia máxima a entregar. Es el controlador de carga (o inversor) el que determina la potencia que se puede proveer a los equipos.

EJEMPLO A

Si una escuela tuviera una carga constante de un electrodoméstico de 1 KW por 8 horas, serían 8 KWh de demanda. Para entregar esa energía se requiera un panel de mayor tamaño a 1 KW, probablemente de 2 KW a 3 KW (dependiendo de la radiación).

Si el sistema está conectado a la red, durante la mañana, la escuela consume 1000 W, parte de la cual proviene de la red, y parte del panel (que genera con poca radiación menos de 1000 W); al medio día, el electrodoméstico consume toda su energía del panel (1000 W), e

incluso una parte de la energía del panel es exportada a la red (porque es mayor a 1000 W y estará generando cerca de 3000 W); en la tarde, la escuela consume una parte del panel, y otra de la red. En promedio, durante el día, la energía generada por el panel sería igual a los

8000 KWh consumidos por la escuela. Pero una parte habrá venido de la red, y otra parte del panel.

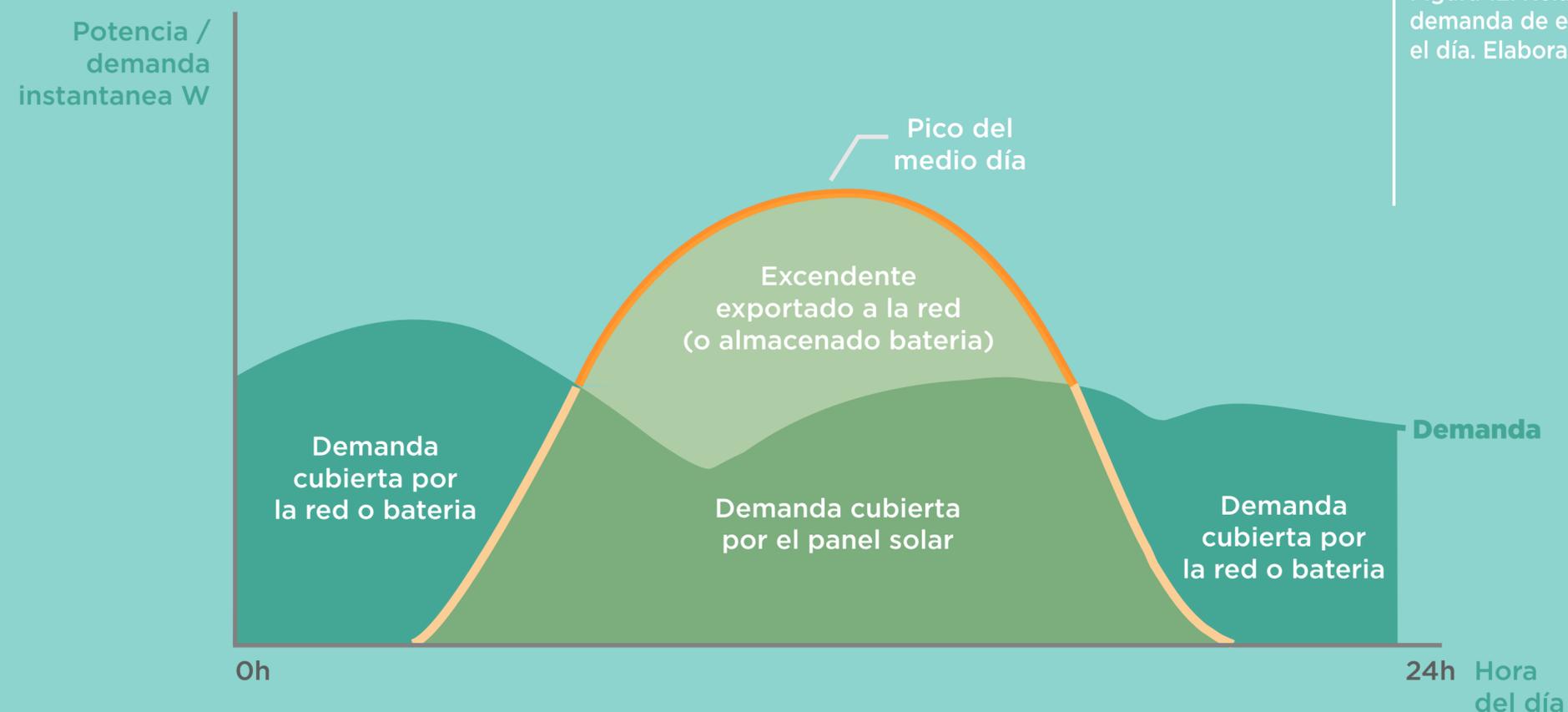


Figura 12: Relación de demanda de energía durante el día. Elaboración propia.

Por eso es importante verificar si existen leyes de generación distribuida en el país, o sea que permitan vender o devolver a la red la energía fotovoltaica excedente. Si no hay leyes de generación distribuida, la potencia del panel debería ser limitada a la demanda máxima, a fin de nunca exportar energía a la red, ya que no será compensada.

En ese caso, la potencia del Sistema Fotovoltaico debería ser igual a la demanda máxima instantánea (es decir, el panel debería ser de 1 KWp, pero sólo entregaría esa potencia al medio día, el resto del día, una parte vendría de la red) y el Sistema Fotovoltaico no podría proveer el 100% de la energía, por que estará dimensionado para la demanda máxima.

Si el sistema no está conectado a la red y almacena energía en baterías, el funcionamiento es el mismo. La potencia de los paneles normalmente es mayor a la suma de las cargas de demanda, porque hay que considerar la temporalidad del consumo.

EJEMPLO B

En un Sistema Fotovoltaico conectado a la red y cuando es posible exportar energía a la red, si se determinó que la demanda anual es de 6.000 KWh/año, se puede estimar que la demanda diaria sería de 16 KWh/día.

Esos 16 KWh/día no son necesariamente la sumatoria de distintos aparatos, ya que los aparatos no se usan todos en el mismo tiempo. A esos 16 KWh/día podría llegarse, por ejemplo, con 1000 W por 16h, 2000 W por 8h, 4000 W por 4h, etc., o con cualquier combinación posible.

La curva de consumo varía a cada minuto, dependiendo de lo que esté prendido o apagado en determinado instante. El área bajo la curva de demanda representa la energía demandada.

Por lo tanto, el tamaño del arreglo fotovoltaico no depende de la potencia máxima (instantánea), sino de la demanda total de energía (área bajo la curva).

Cuando el Sistema Fotovoltaico no puede exportar a la red, se recomienda que el tamaño del panel esté limitado a la demanda máxima del Sistema, que dependerá del controlador.

El convertidor debe ser capaz de entregar la potencia necesaria para el caso de que todos los aparatos se utilicen de manera simultánea por lo cual, si el convertidor fuera menor de la sumatoria de todos los aparatos, el Sistema Fotovoltaico no funcionaría con la potencia o tensión para la cual fue diseñado.





¿Cómo instalar los Sistemas Fotovoltaicos?

Después de que un profesional determine las dimensiones correctas, comenzará la etapa de instalación del Sistema Fotovoltaico. Aunque este proceso siempre debe ser realizado por un profesional con experiencia, el usuario puede verificarlo, asegurándose de que sea realizado correctamente.

Esta sección ofrecerá pruebas y verificaciones que el usuario podrá realizar sin riesgos de seguridad tanto para los sistemas conectados a la red como fuera de la red.

Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red eléctrica

Los componentes de los Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red son: los paneles fotovoltaicos y el convertidor, además de los cables y dispositivos de protección.

Paneles Fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos son piezas delicadas de *hardware* que se deben manipular y almacenar con cuidado. Debido a su superficie de vidrio, siempre se deben guardar en cajas adecuadas y en ambientes secos. Si no hay cajas adecuadas disponibles, se deben apilar verticalmente (pero levemente inclinados). Durante el proceso de instalación, las conexiones del arreglo de paneles deben realizarse con poca luz solar o con los paneles fotovoltaicos cubiertos. Después de la instalación, debe asegurarse que los conectores estén bien conectados y que los cables estén suficientemente fijos para evitar desgaste excesivo.

Convertidor

El convertidor es un dispositivo electrónico que también se debe guardar con cuidado. Cualquier impacto grave puede estropear los componentes electrónicos, lo que impedirá que el convertidor funcione correctamente. Por lo tanto, este equipo se debe almacenarse en su caja original hasta su instalación y en un espacio seco y bien ventilado. También se puede instalar el equipo directamente en la pared, y, de preferencia, cerca del arreglo de paneles y el banco de baterías para evitar posibles fugas de electricidad en los cables.

Dispositivos de protección

Los principales dispositivos de protección en los Sistemas Fotovoltaicos son los fusibles, interruptores, cortacircuitos y dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD). Un profesional debe decidir el tamaño adecuado de todos estos dispositivos, de acuerdo con los parámetros eléctricos del Sistema, como la corriente y el voltaje. Todos estos dispositivos se deben instalar en cajas selladas y seguras. Otra parte del Sistema de protección es la conexión a tierra de los componentes eléctricos y las partes metálicas.



Tabla 17 | Equipos usados en Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red.

Todo el equipo debe tener una correcta conexión a tierra para que el usuario tenga la mayor seguridad. Como los Sistemas Fotovoltaicos generalmente operan con voltajes de DC mayores que 50 VDC, se deben evitar los arcos eléctricos y las baterías no deben sufrir cortocircuitos.

Cables

Todas las partes del Sistema Fotovoltaico deben estar conectadas con cables de calibre adecuado. Un técnico debe determinar el calibre/diámetro correcto de los cables basándose en la corriente y el voltaje del Sistema, así como en las condiciones ambientales. Como la mayoría de los cables estará en áreas externas, se debe tener cuidado con su aislamiento. Se deben usar caños adecuados en función del tipo de esfuerzo al que el cable estará sujeto. También, cualquier contacto de los cables con metal se debe aislar adecuadamente para evitar cortocircuitos o accidentes. Se debe evitar doblar los cables durante la instalación, para evitar daños en el aislamiento.

Equipo	Descripción
Paneles fotovoltaicos	Los paneles fotovoltaicos son equipos frágiles que convierten la luz solar en electricidad DC (corriente directa). Los paneles se pueden conectar y formar arreglos de paneles para suministrar más energía.
Convertidor	El convertidor convierte la energía DC de los paneles en energía CA (corriente alterna). Esto permite que el Sistema Fotovoltaico alimente los aparatos de CA y al mismo tiempo inyecte energía en la red.
Dispositivos de protección	Los dispositivos de protección son ítems de seguridad usados para proteger tanto al usuario como los equipos. Para Sistemas Fotovoltaicos, los componentes más utilizados son los fusibles y los disyuntores.
Cables	Los cables son muy importantes en los Sistemas Fotovoltaicos ya que sirven para conectar todos los equipos. Diferentes partes del sistema requieren diferentes tipos de cables debido a sus propiedades eléctricas.

Sistemas Fotovoltaicos sin conexión a la red eléctrica

Como se mencionó, los componentes eléctricos de los Sistemas Fotovoltaicos sin conexión a la red son los paneles fotovoltaicos, el banco de baterías, el controlador de carga y el convertidor, además de los dispositivos de protección y los cables.

Paneles Fotovoltaicos

Los paneles Fotovoltaicos son los mismos que los empleados para los **Sistemas conectados a la red**.

Banco de baterías

Las baterías son dispositivos especialmente peligrosos debido a su voltaje de corriente continua y niveles de corriente. Un cortocircuito en una batería puede causar una explosión o fuego. Las baterías más comúnmente usadas en sistemas sin conexión a la red contienen productos químicos que pueden gotear si no se tiene el debido cuidado con la parte externa; por lo tanto, todas las

baterías deben ser tratadas como partes delicadas y se deben guardar y manipular adecuadamente.

Para evitar eventos peligrosos de cortocircuito, las baterías se deben guardar con sus contactos cubiertos y en lugares ventilados y secos. Una vez instaladas, se deben cubrir los contactos con materiales aislantes para evitar contactos accidentales. El banco de baterías se debe instalar en algún lugar cerca del arreglo de paneles para evitar caídas de tensión, pero en un ambiente cerrado con acceso controlado al que solo puedan entrar las personas preparadas. Las baterías tampoco se deben exponer a los componentes. En caso de bancos menores de baterías, las baterías se pueden instalar en armarios o gabinetes seguros, siempre y cuando tengan ventilación adecuada y control de acceso.

Controlador de carga y convertidor

El controlador de carga es una parte delicada del equipo electrónico, al igual que el convertidor, por lo cual se debe guardar con cuidado. Cualquier impacto grave puede estropear los componentes electrónicos, lo que impedirá que funcione correctamente. Por lo tanto, estos equipos se deben almacenar en su caja original

hasta su instalación y en un espacio seco y bien ventilado. También se pueden instalar los equipos directamente en la pared, y, de preferencia, cerca del arreglo de paneles y el banco de baterías para evitar posibles fugas de electricidad en los cables.

Dispositivos de protección

Los dispositivos de protección son los mismos que los empleados para los **Sistemas conectados a la red**.

Cables

Los cables son los mismos que los empleados para los **Sistemas conectados a la red**.

Tabla 18 | Equipos usados en Sistemas Fotovoltaicos fuera de la red.

Equipo	Descripción
Paneles fotovoltaicos	Los paneles fotovoltaicos son equipos frágiles que convierten la luz solar en electricidad DC (corriente directa). Los paneles se pueden conectar y formar arreglos de paneles para suministrar más energía.
Banco de baterías	Las baterías son utilizadas para almacenar la energía generada por el arreglo de paneles. Las baterías se pueden conectar para formar un banco de baterías.
Controlador de carga	El controlador de carga controla el voltaje de carga del banco de baterías.
Conversor	El conversor convierte la energía DC de los paneles en energía CA (corriente alterna). Esto permite que el Sistema Fotovoltaico alimente los aparatos de CA y al mismo tiempo inyecte energía en la red.
Dispositivos de protección	Los dispositivos de protección son ítems de seguridad usados para proteger tanto al usuario como los equipos. Para Sistemas Fotovoltaicos, los componentes más utilizados son los fusibles y los disyuntores.
Cables	Los cables son muy importantes en los Sistemas Fotovoltaicos ya que sirven para conectar todos los equipos. Diferentes partes del sistema requieren diferentes tipos de cables debido a sus propiedades eléctricas.





Medidas de seguridad

La instalación de Sistemas Fotovoltaicos es una actividad que, si no se realiza correctamente, puede provocar un rendimiento bajo del sistema e incluso causar daños o la muerte a las personas que realizan la instalación o a los usuarios¹⁹.

Debido a eso, la instalación de un Sistema Fotovoltaico siempre debe ser realizada por un profesional capacitado o bajo la supervisión de éste in situ. Las personas que no tengan la debida capacitación deben abstenerse de trabajar directamente en la instalación, pero pueden por lo menos entender si el sistema se está instalando adecuadamente.

¹⁹ En el caso de los proyectos financiados con fondos del Banco Interamericano de Desarrollo, estas medidas de seguridad deben estar incorporadas en los documentos de licitación correspondientes para que sean realizadas por el contratista.

Los instaladores deben conocer las normas y procedimientos correspondientes, así como cumplir las siguientes recomendaciones de seguridad:

- » Usar equipos adecuados para protección personal como guantes, cascos, anteojos y ropas de protección.
- » Usar los equipos adecuados, asegurándose de que las herramientas estén secas y aisladas y los dispositivos bien calibrados.
- » Trabajar siempre en equipos de dos o más personas para mayor seguridad en el trabajo.
- » Aislar adecuadamente la zona de trabajo, para que las personas ajenas al mismo o animales sueltos no corran riesgo de recibir descargas eléctricas.



Almacenamiento y manipulación de los paneles fotovoltaicos

Aunque los paneles fotovoltaicos fueron creados para resistir a condiciones ambientales extremas por muchos años, se pueden estropear si son almacenados, manipulados o instalados de manera inadecuada. Las siguientes son recomendaciones para almacenar, manipular e instalar paneles fotovoltaicos:

- » Mantener los paneles fotovoltaicos en su embalaje hasta el momento de la instalación;
- » Los paneles fotovoltaicos se deben sostener con las dos manos;
- » No apoyar los paneles fotovoltaicos sobre piso duro o sobre sus esquinas o bordes;
- » Mantener limpios y secos los contactos eléctricos;
- » No pisar los paneles fotovoltaicos.

Al instalar los paneles fotovoltaicos y los sistemas de montaje de estos, se deben seguir las instrucciones del fabricante para que las garantías del producto tengan validez.

La mayoría de los paneles fotovoltaicos son láminas de vidrio envueltas en

un marco de aluminio, que brinda el soporte mecánico para la lámina y es un medio de fijación del panel fotovoltaico. Normalmente se usan abrazaderas para fijar los marcos de los paneles Fotovoltaicos en los soportes.

Es muy importante instalar las abrazaderas adecuadas para los paneles fotovoltaicos utilizados y aplicar el torque adecuado. Así, las abrazaderas permanecerán firmemente en su lugar sin comprimir de manera inadecuada el panel fotovoltaico, lo que puede causar daños al mismo.

Normas de instalación²⁰

Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red generalmente requieren autorizaciones específicas de instalación y operación de la correspondiente red pública de electricidad local, a la que se debe consultar en todos los casos antes de instalar un generador fotovoltaico.

Las normas aplican no sólo para garantizar la seguridad del instalador, sino también de los usuarios futuros del sistema. Esto también aplica en los casos

²⁰ En el caso de los proyectos financiados con fondos del Banco Interamericano de Desarrollo, las normas de instalación deben estar incorporadas en los documentos de licitación correspondientes para que sean realizadas por el contratista.

en que no exista red eléctrica y se instalen Sistemas Fotovoltaicos sin conexión a la red eléctrica.

La **Tabla 19** muestra una lista resumida de normas y procedimientos internacionales que los instaladores deben obedecer para asegurar el rendimiento y la seguridad del sistema²¹.



²¹ Hasta abril 2018 no existen normas internacionales sobre baterías de litio.

Tabla 19 | **Importantes normas internacionales para aplicaciones de Sistemas Fotovoltaicos**

Norma	Título	Breve descripción
IEEE Std 937-2007	Prácticas recomendadas por el Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica (IEEE por sus siglas en inglés) para la instalación y el mantenimiento de las baterías de ácido plomo para Sistemas Fotovoltaicos.	Esta norma ofrece consideraciones de diseño y procedimientos para almacenamiento, instalación, montaje, ventilación, ensamblaje y mantenimiento de baterías secundarias de ácido plomo para sistemas de energía fotovoltaica. También incluye precauciones de seguridad y consideraciones sobre instrumentación. Aunque cubre las prácticas generales recomendadas, los fabricantes de baterías pueden ofrecer instrucciones específicas para la instalación y el mantenimiento de las baterías.
IEEE Std 450-2010	Prácticas recomendadas por el IEEE para el mantenimiento, el testeo y el reemplazo de baterías de ácido plomo con ventilación para aplicaciones fijas.	Esta norma ofrece consideraciones sobre mantenimiento, cronogramas de testeo y procedimientos de testeo que se pueden usar para optimizar la duración y el rendimiento de las baterías de ácido plomo con ventilación, instaladas permanentemente, utilizadas para servicio de emergencia. Estas prácticas recomendadas también brindan directrices para determinar cuándo se deben reemplazar las baterías. Estas prácticas recomendadas se utilizan en aplicaciones fijas de servicio de emergencia en las cuales un cargador mantiene la batería totalmente cargada y suministra las cargas de DC.
IEC TS 62257-1:2015	Recomendaciones para energía renovable y sistemas híbridos para electrificación rural - Parte 1: Introducción general a la serie IEC 62257 y electrificación rural.	La norma IEC TS 62257-1:2015(E) muestra una metodología para implementar la electrificación rural usando sistemas híbridos autónomos de energía renovable. También brinda una guía que ayuda a facilitar la lectura y el uso de la serie IEC 62257 para configurar la electrificación rural descentralizada en países desarrollados o en desarrollo. La serie IEC 62257 incluye: - Partes 2 a 6 de la norma: procedimientos metodológicos para la administración e implementación de proyectos. - Partes 7 a 12 de la norma: especificaciones técnicas para sistemas individuales o colectivos y los componentes asociados.
IEC TS 62257-2:2015	Recomendaciones de energía renovable y sistemas híbridos para la electrificación rural - Parte 2: Desde los requisitos hasta una serie de sistemas de electrificación.	La norma IEC TS 62257-2:2015(E) propone una metodología para configurar y realizar estudios socioeconómicos como parte del marco de los proyectos de electrificación rural descentralizada. Norma dedicada a grupos de proyectos y específicamente a los especialistas a cargo de estudios socioeconómicos en proyectos internacionales. Esta especificación también ofrece algunas soluciones técnicas que se pueden recomendar, dependiendo de las demandas cualitativas y cuantitativas de energía, en función de las necesidades y la situación económica de los clientes.

Norma	Título	Breve descripción
IEC TS 62257-3:2015	Recomendaciones de energía renovable y sistemas híbridos para la electrificación rural - Parte 3: Desarrollo y administración de proyectos.	<p>La norma IEC TS 62257-3:2015(E) ofrece información sobre las responsabilidades relativas a la implementación de sistemas de energía rural. Más específicamente trata sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> - las relaciones contractuales que serán construidas entre los diferentes participantes de un proyecto; - las pruebas importantes que se aplicarán a los sistemas híbridos de electrificación y energía renovable; - los principios de control de calidad que se implementarán; - los requisitos para reciclaje y protección ambiental.
IEC TS 62257-4:2015	Recomendaciones de energía renovable y sistemas híbridos para la electrificación rural - Parte 4: Selección y diseño del sistema.	<p>La norma IEC TS 62257-4:2015(E) ofrece un método para describir los resultados que se espera alcanzar con el sistema de electrificación independientemente de las soluciones técnicas que se puedan implementar. El propósito es ofrecer un método para ayudar a los contratistas y a los autores del proyecto a seleccionar y diseñar el sistema de electrificación para lugares remotos observando las necesidades identificadas, como las descritas en IEC TS 62257-2.</p>
IEC TS 62257-5:2015	Recomendaciones de energía renovable y sistemas híbridos para la electrificación rural - Parte 5: Protección contra peligros eléctricos.	<p>La norma IEC TS 62257-5:2015(E) especifica los requisitos generales para la protección de personas y máquinas contra peligros eléctricos para aplicarlos en sistemas de electrificación rural descentralizados. Los requisitos relativos a la protección contra descargas eléctricas se basan en las reglas básicas de las normas IEC 61140 e IEC 60364. Los sistemas descentralizados de electrificación rural se diseñan para suministrar energía eléctrica en lugares que no están conectados a un sistema interconectado o a una red nacional, como respuesta a necesidades básicas. Entre dichos lugares podemos citar viviendas remotas y casas rurales, así como servicios para comunidades y actividades económicas.</p>
IEC TS 62257-6:2015	Recomendaciones de energía renovable y sistemas híbridos para la electrificación rural - Parte 6: Aprobación, operación, mantenimiento y reemplazo.	<p>La norma IEC TS 62257-6:2015(E) describe las varias reglas que deben aplicarse para la aprobación, la operación, el mantenimiento y el reemplazo de sistemas descentralizados de electrificación rural diseñados para suministrar energía eléctrica en lugares que no están conectados a un sistema interconectado mayor o a una red nacional, como respuesta a necesidades básicas. Esta especificación técnica propone una metodología para alcanzar las mejores condiciones técnicas y económicas para aprobación, operación, mantenimiento y reemplazo de equipos y el ciclo de vida del sistema completo.</p>
IEC TS 62257-7-1:2010	Recomendaciones para pequeños sistemas híbridos y de energía renovable para electrificación rural - Parte 7-1: Generadores - Generadores fotovoltaicos.	<p>La norma IEC/TS 62257-7-1:2010(E) especifica los requisitos generales para el diseño y la seguridad de los generadores usados en sistemas descentralizados de electrificación rural. Define los requisitos para estructuras fotovoltaicas de bajo voltaje y extra-bajo voltaje. Se debe prestar atención especialmente al nivel de voltaje, ya que es importante por razones de seguridad e influye en las medidas de protección y en el nivel de habilidad y experiencia de los operadores.</p>

Norma	Título	Breve descripción
IEC TS 62257-7-3:2008	Recomendaciones para pequeños sistemas híbridos y de energía renovable para electrificación rural - Parte 7-3: Conjunto generador - Selección de conjuntos generadores para sistemas de electrificación rural.	La norma IEC/TS 62257-7-3:2008(E) especifica los requisitos generales para seleccionar, dimensionar, construir y operar conjuntos generadores en sistemas descentralizados de electrificación rural. Se aplica a todos los conjuntos generadores de electricidad de bajo voltaje, con motor de combustión, con una potencia nominal de hasta 100 KVA y diseñados para suministrar energía eléctrica en lugares remotos, usados en sistemas con arreglo a la norma IEC/TS 62257-2.
IEC TS 62257-1:2007	Recomendaciones para pequeños sistemas híbridos y de energía renovable para electrificación rural - Parte 8-1: Selección de baterías y sistemas de supervisión de baterías para sistemas de electrificación autónomos - Caso específico de baterías húmedas de ácido plomo para automóviles, disponibles en países en desarrollo.	Propone pruebas comparativas, sencillas y económicas, para discriminar fácilmente, en un panel de baterías húmedas de ácido plomo para automóviles, el modelo más satisfactorio para sistemas de electrificación individual fotovoltaica.
IEC TS 62257-9-1:2016	Recomendaciones para sistemas híbridos y de energía renovable para electrificación rural - Parte 9-1: Sistemas integrados - Sistemas de microenergía.	La norma IEC TS 62257-9-1:2016(E) define los requisitos generales para diseñar, construir y operar usinas de microenergía y los requisitos generales para brindar seguridad a las personas y los bienes. Las usinas de microenergía cubiertas por esta especificación son de corriente alterna (CA) de bajo voltaje, trifásicas o monofásicas, con capacidad nominal menor o igual a 100 KVA.
IEC TS 62257-9-2:2016	Recomendaciones para sistemas híbridos y de energía renovable para electrificación rural - Parte 9-2: Sistemas integrados - Generación distribuida.	La norma IEC TS 62257-9-2:2016(E) especifica la generación distribuida compuesta por líneas elevadas por motivos técnicos y económicos en el contexto de electrificación rural descentralizada. La generación distribuida cubierta por esta parte de la norma IEC 62257 es de corriente alterna (CA) de bajo voltaje, trifásica o monofásica, con capacidad nominal menor o igual a 100 KVA. Es alimentada por una única usina de generación distribuida.
IEC TS 62257-9-3:2016	Recomendaciones para sistemas híbridos y de energía renovable para electrificación rural - Parte 9-3: Sistemas integrados - Interfaz de usuario.	La norma IEC TS 62257-9-3:2016(E) especifica los requisitos generales para diseñar e implementar el equipo de interfaz en la instalación del usuario que se conecta a la red de generación distribuida o a la parte generadora de un sistema autónomo. Se aplica a interfaces de usuario simplificadas (tablero de distribución) en instalaciones eléctricas con potencia máxima de 500 VA en sistemas descentralizados de electrificación rural.

Norma	Título	Breve descripción
IEC TS 62257-9-4:2016	Recomendaciones para sistemas híbridos y de energía renovable para electrificación rural - Parte 9-4: Sistemas integrados - Instalación del usuario.	La norma IEC TS 62257-9-4:2016(E) especifica los requisitos generales para el diseño y la implementación de una instalación del usuario. Se aplica a instalaciones eléctricas monofásicas del usuario con potencia máxima de 500 VA en sistemas descentralizados de electrificación rural. Es aplicable a instalaciones alimentadas por una red de generación distribuida de CA y a instalaciones que comprenden su propia usina con unidad única de generación distribuida de AC o de DC.
IEC TS 62257-9-6:2008	Recomendaciones para pequeños sistemas híbridos y de energía renovable para electrificación rural - Parte 9-6: Sistema integrado - Selección de sistemas individuales de Electrificación Fotovoltaica (FV-IES).	La norma IEC 62257-9-6:2008(E) propone un simple procedimiento de selección y pruebas comparativas económicas que se pueden realizar en laboratorios de países en desarrollo para identificar el modelo más adecuado de pequeños sistemas individuales de electrificación fotovoltaica (FV- IES) de hasta 500 Wp para un proyecto específico de electrificación rural de una serie de productos enviados para prueba. Las pruebas especificadas en la norma IEC 62257-9-6 permiten evaluar el rendimiento de un FV-IES de acuerdo con los requisitos de la especificación general del proyecto (consulte la norma IEC/TS 62257-2) y verificar su capacidad de suministrar el servicio necesario.
IEC 62109-1:2010	Seguridad de los convertidores de potencia para uso en sistemas de energía fotovoltaica - Parte 1: Requisitos Generales.	La norma IEC 62109-1:2010(E) se aplica al equipo de conversión de potencia (PCE) para uso en Sistemas Fotovoltaicos en los que es necesario un nivel técnico uniforme con respecto a la seguridad. Define los requisitos mínimos para diseñar y fabricar un equipo de conversión de potencia (PCE) para protección contra descarga eléctrica, energía, fuego, riesgos mecánicos y otros. Define los requisitos generales aplicables a todos los tipos de FV PCE.
IEC 62109-2:2011	Seguridad de los convertidores de potencia para uso en sistemas de energía fotovoltaica - Parte 2: Requisitos específicos para convertidores.	La norma IEC 62109-2:2011 cubre los requisitos específicos de seguridad pertinentes para productos convertidores de DC y CA y productos que, entre otras, desempeñan funciones de convertidor, en los cuales el convertidor se destina al uso en sistemas de energía fotovoltaica. Los convertidores cubiertos por esta norma pueden ser convertidores interactivos con la red, autónomos o de modo múltiple, pueden ser alimentados por uno o varios paneles fotovoltaicos agrupados en varias configuraciones de arreglo de paneles y pueden estar destinados al uso en conjunto con baterías u otras formas de almacenamiento de energía. Esta norma se debe usar junto con la norma IEC 62109-1.
IEC 61000-6-1:2016 RLV Versión límite	Compatibilidad Electromagnética (EMC) - Parte 6-1: Normas Genéricas - Norma de inmunidad para entornos residenciales, comerciales y de industria liviana.	La norma IEC 61000-6-1:2016 para requisitos de inmunidad de EMC se aplica a los equipos eléctricos y electrónicos destinados al uso en entornos públicos, residenciales, comerciales y de industria liviana. Se definen los requisitos de inmunidad en la franja de frecuencia de 0 Hz a 400 GHz. No es necesario realizar pruebas con frecuencias en las cuales no se especificaron los requisitos.

Norma	Título	Breve descripción
IEC 62485-2:2010	Requisitos de seguridad para la instalación de la batería principal y baterías secundarias - Parte 2: Baterías fijas.	<p>La norma IEC 62485-2:2010 se aplica a las instalaciones de la batería principal y las baterías secundarias fijas con un voltaje máximo de DC 1500 V (nominal) y describe las principales medidas de protección contra los riesgos provocados por:</p> <ul style="list-style-type: none"> » la electricidad; » la emisión de gases; » electrólitos. <p>Esta norma internacional define los requisitos sobre aspectos de seguridad relacionados a la construcción, el uso, la inspección, el mantenimiento y el descarte. Se refiere a las baterías de ácido plomo y NiCd/NiMH.</p>
IEC 61724-1:2017	Rendimiento del Sistema Fotovoltaico - Parte 1: Supervisión.	<p>La norma IEC 61724-1:2017(E) define los equipos, métodos y terminología para analizar y supervisar el rendimiento de los Sistemas Fotovoltaicos. Se refiere a sensores, instalaciones y a la precisión para supervisar los equipos, además de la adquisición de datos de los parámetros medidos y verificaciones de calidad, parámetros calculados y mediciones de rendimiento. Además, sirve como base para otras normas referentes a los datos recogidos.</p>
IEC TS 61724-2:2016	Rendimiento del Sistema Fotovoltaico - Parte 2: Método de evaluación de capacidad.	<p>La norma IEC TS 61724-2:2016(E) define un procedimiento para medir y analizar la producción de energía de un Sistema Fotovoltaico específico, con el objetivo de evaluar la calidad del rendimiento del Sistema Fotovoltaico. Esta prueba se debe aplicar durante un periodo de tiempo relativamente corto (algunos días con bastante sol). El objetivo de este documento es especificar un procedimiento sistemático para comparar la energía producida medida con la energía esperada en un Sistema Fotovoltaico en días con bastante sol.</p>
IEC TS 61724-3:2016	Rendimiento del Sistema Fotovoltaico - Parte 3: Método de evaluación de la energía.	<p>La norma IEC TS 61724-3:2016(E) define un procedimiento para medir y analizar la producción de energía de un Sistema Fotovoltaico específico en comparación con la producción de energía eléctrica esperada para el mismo sistema en condiciones de tiempo reales según lo definido por los interesados en la prueba. La producción de energía está caracterizada específicamente para los periodos en los que el sistema está funcionando (disponible). Los periodos en los que el sistema no está funcionando (indisponible) son cuantificados como parte de una medición de disponibilidad. El objetivo de esta especificación técnica es definir un procedimiento para comparar la energía eléctrica medida con la energía eléctrica esperada del Sistema Fotovoltaico.</p>

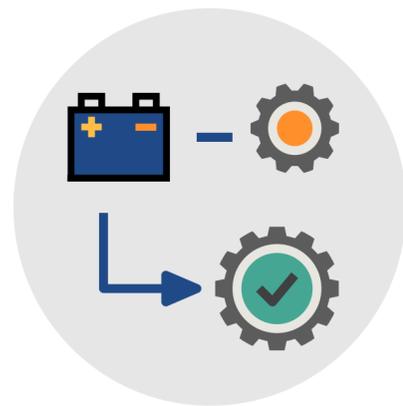
Fuente: Todas las normas se encuentran en los sitios web de normas de la IEC y del IEEC.



¿Cómo operar y mantener los Sistemas Fotovoltaicos?

La operación y mantenimiento de los Sistemas Fotovoltaicos es un elemento fundamental en garantizar la durabilidad y rendimiento durante toda la vida útil para el cual el sistema fue diseñado.

Si bien algunas labores deben ser realizadas por personal capacitado, existen algunas acciones muy relevantes que pueden ser realizadas por cualquier usuario cotidiano del sistema.



Operación

La operación de los Sistemas Fotovoltaicos es mayormente automática, lo que significa que no es necesaria la interferencia del usuario cuando el sistema está operando correctamente. Normalmente, los convertidores tienen una pantalla digital que permite el acceso del usuario a datos importantes sobre los resultados del sistema.

Un buen hábito es verificar regularmente los datos del convertidor para comprobar si la información mostrada coincide con lo esperado. Los usuarios deben verificar con los instaladores los niveles esperados de voltaje, corriente, potencia y energía. Conociendo estos valores, es posible verificar semanalmente los valores de salida del sistema, asegurándose de que el mismo funcione adecuadamente.

Si se encuentra cualquier anomalía, se debe comunicar al servicio técnico o personal de mantenimiento capacitado.

Mantenimiento

Las instalaciones fotovoltaicas adecuadamente diseñadas e instaladas funcionan sin problemas con mantenimiento mínimo, que incluso puede ser realizado por personas de la comunidad con alguna capacitación mínima en el funcionamiento y componentes del sistema. Sin embargo, actividades más específicas como reposición o solución de roturas deben ser realizadas por personal calificado.

Es raro que se produzca una falla completa en los Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red. Cuando están bien dimensionados e instalados, los Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red funcionan bien por muchos años y las posibles fallas generalmente se solucionan con reparaciones sencillas. Para asegurar que el Sistema Fotovoltaico funcione como se espera a largo plazo, se requiere un mantenimiento periódico. El mantenimiento ayuda a identificar y evitar posibles problemas que puedan afectar el rendimiento del Sistema Fotovoltaico.

Antes de realizar cualquier procedimiento de mantenimiento en el Sistema

Fotovoltaico, se debe desconectar el sistema de cualquier carga o de la red mediante un interruptor o disyuntor.

Las actividades de mantenimiento realizadas correctamente son fundamentales también para garantizar que, una vez instalados, los componentes del Sistema mantengan las garantías del fabricante, las cuales son, generalmente, de 25 a 30 años para los paneles fotovoltaicos y de 5 a 10 años para los convertidores.



Las principales actividades de mantenimiento son:

Limpieza

La limpieza es la más elemental actividad de mantenimiento.

En el caso de los paneles fotovoltaicos, es necesaria una verificación periódica y la limpieza de la superficie de vidrio de los paneles, de polvo, hojas, ramas, excremento de pájaros, insectos o tierra, etc. La limpieza de los paneles debe hacerse con agua, y en caso de que haya que quitar algún elemento adherido se puede emplear algo de jabón.

Es recomendable realizar esta actividad cuando el sol no esté en su máxima irradiación para no afectar el funcionamiento del sistema.

En el caso de las baterías, la limpieza debe realizarse al menos una vez al mes, con especial cuidado en no portar elementos metálicos en las manos, como anillos o pulseras, que puedan entrar en contacto accidental con los polos de las baterías.

Inspección visual

La inspección visual puede ser realizada por cualquier usuario, que, al encontrar alguna anomalía, debe comunicarse con el personal especializado para decidir qué acciones tomar.

La Tabla 20 resume algunas actividades de inspección visual que se deben realizar en los componentes del Sistema Fotovoltaico.



Tabla 20 | Procedimientos de inspección visual para Sistemas Fotovoltaicos.

Componente del Sistema Fotovoltaico	Inspección visual
Paneles fotovoltaicos	<p>Verificación de daño físico:</p> <ul style="list-style-type: none"> » Marcos curvos o con corrosión. » Vidrios quebrados o con grietas u otros defectos físicos. <p>Verificar las condiciones de suciedad.</p>
Convertor y controlador de carga	<p>Verificar si hay algún mensaje de error.</p>
Baterías	<p>Verificar si hay partes oxidadas en la batería, gabinetes hinchados y fuga de líquidos químicos.</p>
Cables y conectores	<p>Verificar las condiciones de los cables y conectores, constatando si hay daño físico que pueda ser provocado por las condiciones climáticas o por insectos y/o roedores.</p>

Pruebas eléctricas

Para realizar actividades de mantenimiento que impliquen pruebas eléctricas, es muy importante solicitar la ayuda de profesionales con experiencia.

Reparaciones

Las reparaciones también deben ser realizadas por profesionales experimentados, y bajo ningún concepto es recomendable que se realicen actividades como abrir cajas o carcasas de componentes del sistema.

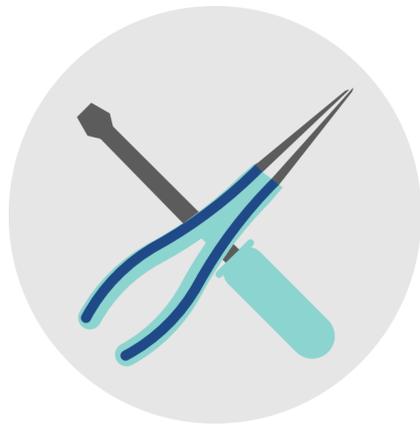


Tabla 21

Procedimientos de inspección visual y medidas recomendadas para Sistemas Fotovoltaicos.

Componente del Sistema Fotovoltaico	Inspección visual	Acción
Paneles fotovoltaicos	Verificar daño físico: <ul style="list-style-type: none">- Marcos curvos o con corrosión.- Vidrios quebrados o con grietas u otros defectos físicos.	Reemplazar el panel fotovoltaico estropeado.
	Verificar las condiciones de suciedad.	Limpiar los paneles fotovoltaicos con trapo de algodón húmedo (usando solamente agua).
Convertor y controlador de carga	Verificar si hay algún mensaje de error.	Verificar en las instrucciones del fabricante el significado de ese mensaje de error y solicitar asistencia de un profesional especializado si es necesario.
Baterías	Verificar si hay partes oxidadas en la batería, gabinetes hinchados y fuga de líquidos químicos.	Reemplazar la unidad de batería estropeada.
Cables y conectores	Verificar las condiciones de los cables y conectores, constatando si hay daño físico que pueda ser provocado por las condiciones climáticas o por insectos y/o roedores.	Reemplazar los componentes dañados y realizar acciones correctivas en los conectores que no estén conectados correctamente.

Reemplazo

Reemplazo ante fallas

La **Tabla 21** incorpora a la **Tabla 20** algunas sugerencias de medidas de reparación, las que deben ser evaluadas por un profesional antes de su realización.

Reemplazo programado

Los Sistemas Fotovoltaicos se componen de muchos elementos con diferentes ciclos de vida. Por lo tanto, es importante considerar el reemplazo de algunos componentes durante el ciclo de vida de todo el sistema. La **Tabla 2** resume el ciclo de vida de los principales componentes del Sistema Fotovoltaico.



Disposición final de los componentes

Generalmente las células fotoeléctricas pueden ser reutilizadas e intercambiadas cuando se dañan en algún panel fotovoltaico. Asimismo, en algunos países, existen empresas que reciclan los paneles fotovoltaicos una vez que éstos llegan a su vida útil, ya que sus principales componentes son vidrio y metal. Sin embargo, la tecnología de reciclaje no está aún extendida ni es de fácil acceso.

Si no fuera posible reciclar los paneles, una vez que un panel fotovoltaico cumplió su vida útil, es necesario el desecho de manera cuidadosa ya que sus elementos pueden causar daño (principalmente el vidrio) y algunos de sus componentes son clasificados como residuos peligrosos. Algunos países clasifican los residuos como industrial, material peligroso o electrónico²².

En cuanto a las baterías, el otro principal componente de los Sistemas Fotovoltaicos, deben ser retiradas por alguna empresa con licencia ambiental

²² IRENA. (2016). **End-of-life management: Solar photovoltaic panels.**

correspondiente una vez que éstas cumplen su vida útil. Mientras tanto, no deben estar a la intemperie, sino en un espacio bajo techo, y sobre un recipiente que evite las posibles fugas de líquidos. No se deben disponer en la basura domiciliaria ni vaciar su contenido.

La opción más recomendada es que si existe una empresa que realiza el mantenimiento periódico de los componentes del sistema, en el contrato de servicios se establezca que la misma debe retirar y hacerse cargo de los componentes del sistema una vez que estos cumplen su vida útil.





+ Sol + luz

**Guía práctica para la implementación de sistemas
fotovoltaicos en proyectos de infraestructura social**

Mauro Passos – Arturo Alarcon – Wilhelm Dalaison

