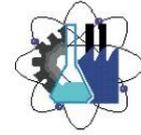




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias  
Químicas e Ingeniería

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS E INGENIERIA

PRUEBAS DE PUESTA EN SERVICIO Y MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA DE  
PANEL SOLAR

TESIS  
PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO ELECTRICO ELECTRONICO

PRESENTA:  
BAEZ APARICIO JORGE ELISEO

ASESOR:  
DR. LUIS CISNEROS VILLALOBOS

CUERNAVACA, MORELOS



## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un tópico de puesta en servicio y mantenimiento de un sistema fotovoltaico de baja potencia. En el cual, el procedimiento de puesta en servicio se ha diseñado con el propósito verificar una correcta instalación dentro de un proyecto fotovoltaico de baja potencia, siendo éste un plan concreto que permite estar al tanto de algunos parámetros requeridos por normativa para una función asertiva, procedimientos que ofrecen una inspección por pasos, tanto visual como operativos.

Por otra parte, el procedimiento de mantenimiento se ha desarrollado con la finalidad de proporcionar una calidad continua a lo largo del periodo funcional del sistema, incluso con procedimientos específicos en los componentes, utilizando algunos parámetros requeridos para una inspección completa.

Para elaborar ambos planeamientos fue requerida la preparación de una investigación saciable en la cual se consideraron las tecnologías existentes en paneles fotovoltaicos, los tipos y características de éstos y sus componentes, así como se incluyó dentro de la indagación ciertos criterios que determinen una correcta instalación, funcionamiento y mantenimiento, que, de cierta manera es importante realizarse con precaución.

Para diseñar ciertos procedimientos fue indispensable el uso y apoyo de normas nacionales como internacionales, desarrollando un trabajo más preciso, con la finalidad de una práctica correcta y adecuada, así como la aplicación de la red de interconexión con el fin de cumplir de cierta manera con los requerimientos establecidos en el mismo.

El trabajo se ha dividido en 5 capítulos, en donde los primeros tres describen la información antes mencionada, resultante de la investigación elaborada. En el cuarto capítulo se puntualiza el plan de puesta en servicio para un sistema de baja potencia, destacando los discernimientos solicitados para fijar un procedimiento de mantenimiento que cumpla con la preservación de la calidad del servicio y el estado del sistema. El último capítulo despliega la descripción de conceptos requeridos para la comprensión correcta del material, los criterios citados normativamente y el material utilizado para un procedimiento de mantenimiento, así como los protocolos necesarios para obtener los parámetros de calidad requeridos específicamente por profesionales y fabricantes. Por último, se manifiestan las conclusiones obtenidas por el trabajo, analizando las partes fundamentales a destacar del proyecto y resaltando la importancia de la elaboración de este tipo de planes en los sistemas de paneles solares.

**Palabras clave:** Puesta en servicio, mantenimiento, sistemas fotovoltaicos.



## Abstract

The present work aims to develop a topic of commissioning and maintenance of a low power photovoltaic system. In which, the commissioning procedure has been designed with the purpose of verifying a correct installation within a low power photovoltaic project, this being a concrete plan that allows to be aware of some parameters required by regulations for an assertive function, procedures that offer step inspection, both visual and operational.

On the other hand, the maintenance procedure has been developed in order to provide a continuous quality throughout the functional period of the system, even with specific procedures in the components, using some parameters required for a complete inspection.

In order to develop both plans, the preparation of a satisfying investigation was required in which the existing technologies in photovoltaic panels, the types and characteristics of these and their components were considered, as well as certain criteria that determine a correct installation were included in the investigation, operation and maintenance, which, in a way, is important to be done with caution.

To design certain procedures, the use and support of national and international standards was essential, developing a more precise work, with the purpose of a correct and adequate practice, as well as the application of the interconnection network to comply in a certain way with the requirements established therein.

The work has been divided into 5 chapters, where the first three describe the aforementioned information, resulting from the research carried out. In the fourth chapter, the commissioning plan for a low power system is specified, highlighting the discernments requested to establish a maintenance procedure that complies with the preservation of the quality of the service and the state of the system. The last chapter displays the description of the concepts required for the correct compression of the material, the criteria cited by regulations and the material used for a maintenance procedure, as well as the necessary protocols to obtain the quality parameters specifically required by professionals and manufacturers. Finally, the conclusions obtained by the work are manifested, analyzing the fundamental parts of the project to be highlighted and highlighting the importance of the elaboration of this type of plans in solar panel systems.

**Keywords:** Commissioning, maintenance, photovoltaic systems.



# INDICE

1	CAPITULO 1. ANTECEDENTES .....	8
1.1	Introducción .....	8
1.2	Introducción del capítulo .....	8
1.3	Estado del arte de los paneles solares fotovoltaicos .....	9
1.3.1	Progresión del panel fotovoltaico en México .....	9
1.4	Objetivo general .....	10
1.5	Objetivo específico .....	10
1.6	Justificación .....	10
1.7	Hipótesis .....	10
2	CAPITULO 2. DESCRIPCIONES .....	11
2.1	Introducción del capítulo .....	11
2.2	Objetivo de los paneles fotovoltaicos .....	11
2.3	Tipos de tecnologías .....	11
2.3.1	Primera generación .....	12
2.3.1.1	El silicio monocristalino .....	12
2.3.1.2	Silicio policristalino .....	13
2.3.2	Segunda generación .....	14
2.3.2.1	Celdas de película delgada .....	14
2.3.2.2	Silicio amorfo .....	14
2.3.3	Tercera generación .....	16
2.3.3.1	Arseniuro de galio .....	16
2.3.3.2	Teluro de cadmio .....	17
2.3.3.3	Células solares de cobre y seleniuro de indio y cobre .....	18
2.3.3.4	Paneles Tándem .....	19
2.4	Arreglos fotovoltaicos .....	20
2.4.1	Arreglos fotovoltaicos .....	20
2.4.1.1	Arreglo fotovoltaico bipolar .....	20
2.4.1.2	Arreglo fotovoltaico monopolar .....	20
3	CAPITULO 3. CARACTERISTICAS .....	21
3.1	Introducción al capítulo .....	21
3.2	Descripción del panel solar .....	21
3.2.1	Teoría de semiconductores .....	21
3.2.1.1	Modelo de bandas de energía .....	21
3.2.1.2	Unión p-n iluminada .....	21



3.2.2	Funcionamiento de un panel fotovoltaico .....	22
3.2.2.1	Instante máximo de potencia .....	22
3.2.2.2	Circuito equivalente de un panel solar .....	23
3.2.2.3	Influencia de la temperatura y la radiación .....	23
3.3	Sistema fotovoltaico de conexión a red eléctrica .....	24
3.3.1	Descripción .....	24
3.3.2	Condiciones técnicas .....	25
3.3.3	Inversor DC/AC .....	25
3.4	Sistema fotovoltaico autónomo .....	26
3.4.1	Descripción .....	26
3.4.2	Configuraciones típicas .....	26
3.4.3	Componentes .....	27
3.4.3.1	Acumulador electroquímico .....	27
3.4.3.2	Regulador de carga .....	27
3.4.3.3	Luminarias .....	27
3.5	Cálculo y selección .....	28
3.5.1	Estimación de consumos .....	28
3.5.2	Radiación solar .....	28
3.5.3	Selección del panel .....	28
3.5.4	Arreglo del inversor .....	29
4	CAPITULO 4. PROCEDIMIENTO PARA LA PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA .....	30
4.1	Introducción al capítulo .....	30
4.2	Características básicas de la puesta en servicio .....	30
4.2.1	Puesta en servicio .....	30
4.2.2	Circuito de salida del inversor .....	30
4.2.3	Circuito de salida fotovoltaica .....	30
4.2.4	Inversor .....	30
4.2.5	Módulo .....	30
4.2.6	Tipos de problemas .....	31
4.2.6.1	Problemas mecánicos .....	31
4.2.6.2	Problemas eléctricos .....	31
4.2.6.3	Problemas mayores .....	31
4.3	Equipo utilizado .....	31
4.4	Normas aplicables .....	32
4.4.1	Norma NOM-001 SEDE para instalar paneles solares .....	32



4.4.1.1	Artículo 690 de la Norma NOM-001 Sistemas Solares Fotovoltaicos [22]	32
4.4.1.2	Artículo 705 de la norma NOM-001 Fuentes de Generación de Energía [28] Eléctrica Interconectada	39
4.4.2	Norma Internacional ASTM E1799 – 12 [32]	43
4.4.3	Norma 29 CFR 1910.147 de OSHA [30]	43
4.5	Procedimientos	44
4.6	Red eléctrica de interconexión	53
4.6.1	Interconexión a la red eléctrica de baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kW [31]	53
4.6.1.1	Objetivo	53
4.6.1.2	Campo de aplicación	53
4.6.1.3	Normas aplicables	53
5	Capítulo 5. Procedimiento para el mantenimiento de un sistema fotovoltaico	54
5.1	Introducción al capítulo	54
5.2	Características	54
5.2.1	Tipos de mantenimiento	54
5.2.1.1	Mantenimiento	54
5.2.1.2	Mantenimiento preventivo	54
5.2.1.3	Mantenimiento correctivo	54
5.2.1.4	Mantenimiento predictivo	54
5.2.1.5	Mantenimiento Periódico	54
5.2.2	Terminología	55
5.2.2.1	Aislamiento integral	55
5.2.2.2	Corriente de fuga	55
5.2.2.3	Continuidad a tierra	55
5.2.2.4	Resistencia de aislamiento	55
5.2.3	Importancia y uso	55
5.3	Normas aplicables	56
5.3.1	Norma Internacional ASTM E1799 – 12 [32]	56
5.3.2	Norma internacional ASTM E 1462 [33]	56
5.4	Procedimiento	57
5.4.1	Práctica para las inspecciones visuales	57
5.4.2	Práctica para pruebas de aislamiento integral y continuidad	60
5.4.3	Procedimiento de aislamiento y resistencia de aislamiento	61
5.4.4	Mantenimiento	62
5.4.5	Mantenimiento al banco de baterías	63



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias  
Químicas e Ingeniería

5.5	Equipo utilizado.....	63
5.6	Conclusiones.....	64
6	Bibliografía.....	65



# 1 CAPITULO 1. ANTECEDENTES

## 1.1 Introducción

Desde incontables tiempos la humanidad siempre ha necesitado energía para realizar todo tipo de labores para vivir. De manera similar la energía proveniente de los alimentos para mantener nuestro cuerpo y sus funciones. La energía eléctrica es una de las formas más usuales de energía, es fundamental para los procesos que hoy en día hacen mover al mundo. La mayoría de la vida sobre la tierra se encuentra ligada a muchas formas de energía, la energía solar como fotosíntesis es la conversión de energía fotovoltaica con celdas solares, el homólogo humano.

La práctica de sistemas convencionales para la adquisición de energía eléctrica ha sido de incontable desarrollo y estudio, que, en la transición de la innovación de las nuevas tecnologías se han presentado muchos inconvenientes a lo largo de los años, y no solo por la tecnología empleada, sino por el impacto medioambiental, el impacto social y el impacto económico que estos implican en su generación. En la última década, uno de los grandes desafíos para la ciencia moderna es alcanzar un control eficiente de los medios que la propia naturaleza nos entrega para la obtención de energía, tomando en cuenta la radicación de las emisiones contaminantes en la producción de esta. De esta manera surge la necesidad de contar con nuevas tecnologías de generación de energía eléctrica, cuyos procesos no impacten de manera negativa las futuras generaciones, que de cierta forma sean sustentables o limpias, que no se agoten con facilidad y con ningún efecto contraproducente en nuestro entorno.

Una de las nuevas tecnologías para la obtención de energía, también reconocida como una fuente renovable, se basa en el aprovechamiento de la luz o radiación solar específicamente. Esta forma de obtención genera electricidad mediante la conversión de la energía proporcionada por el sol, un ejemplo claro de esta tecnología son los paneles solares fotovoltaicos, que son cada día más efectivos debido a que se consideran la fuente de energía más limpia en comparación con unos [1].

## 1.2 Introducción del capítulo

El primer capítulo aborda temas relacionados a el impacto que genera la tecnología de paneles solares dentro de nuestro entorno, de manera social, medioambiental y financiero, tomando como referencia el grado histórico que involucra el presente trabajo para futuras investigaciones.



## 1.3 Estado del arte de los paneles solares fotovoltaicos

### 1.3.1 Progresión del panel fotovoltaico en México

La explotación de la energía solar para crear electricidad a través de la tecnología fotovoltaica se bifurca en dos grandes rubros: proyectos de generación a gran escala y sistemas fotovoltaicos de pequeña y mediana escala, distribuidos en los lugares de consumo. Los nuevos planes y estrategias de tecnología solar a gran escala se han desarrollado primordialmente para surtir los requerimientos por parte de empresas de generación como la Comisión Federal de Electricidad, y por parte de grandes consumidores de energía. El desarrollo de estos proyectos requiere un mayor periodo de financiamiento y es necesario contemplarlos en la planeación de la expansión de todo el Sistema Energético Nacional. Por otro lado, están las aplicaciones de menor escala implementadas en los sectores de consumo final como los sectores residenciales y comercial, en la forma de generación distribuida. En esto, los sistemas fotovoltaicos de menor dimensión, que principalmente están destinados a distribuir las necesidades de energía, eventualmente se encontraran habilitados para vender energía a la red eléctrica bajo la regulación nacional [2].

Por otra parte, a lo largo de las últimas décadas se han realizado diversas investigaciones que han ayudado a mejorar el rendimiento y desempeño de los paneles fotovoltaicos, en junio del 2018 se presentó un artículo por parte de la UNAM el cuál se enfocaba en la evaluación y diseño de un panel solar fotovoltaico y térmico para poblaciones dispersas en regiones de gran amplitud térmica [3]. Ésta con resultados que garantizan agua caliente y energía eléctrica en forma simultánea en lugares con considerable amplitud térmica.

A su vez, uno de los grandes obstáculos para los avances de las celdas solares radica en la obtención de materiales puros que permitan obtener una mejor calidad y a los efectos debidos a la generación Auger, datos revelados de la revista mexicana de física publicada en mayo de 1995, siendo un paso importante para la progresión de los paneles fotovoltaicos en cuanto a desarrollo y eficiencia [4].



## 1.4 Objetivo general

Describir las pruebas de puesta en servicio y de mantenimiento de un sistema fotovoltaico de baja potencia con la finalidad de asegurar su funcionamiento continuo y correcto e incrementar su vida útil.

## 1.5 Objetivo específico

- Recopilar información sobre los sistemas de paneles solares fotovoltaicos, comprender su funcionamiento, características, componentes y las tecnologías que se aplican en cada una de ellas.
- Realizar una investigación que comprenda el objetivo de sus diferentes tipos de arreglos y su distribución física.
- Identificar los diferentes procedimientos para una puesta en servicio, la normatividad aplicada en cada una.
- Identificar los diferentes tipos de procedimientos para el mantenimiento de los equipos, la normativa relacionada e importancia y uso.

## 1.6 Justificación

Se pretende generar un estudio que comprenda el uso de un sistema de panel solar fotovoltaico, destacando diferentes puntos entre sus tecnologías aplicadas, el uso normativo para su operación y mantenimiento.

## 1.7 Hipótesis

El estudio generado podrá ser utilizado en diferentes campos relacionados a la utilización de paneles solares con el fin obtener un uso eficiente, ligado a la normativa correspondiente a uso y mantenimiento.



## 2 CAPITULO 2. DESCRIPCIONES

### 2.1 Introducción del capítulo

El presente capítulo describe las diferentes tecnologías relacionadas a los paneles solares, temas relacionados a su desarrollo, el impacto industrial y tecnología empleada, así como la descripción de las diferentes configuraciones que satisfacen las necesidades con mayor demanda.

### 2.2 Objetivo de los paneles fotovoltaicos

La energía fotovoltaica es una de las ciencias que generan más tendencia a lo largo de los últimos años, uno de los objetivos más primordiales es el proceso de transformar la radiación solar en electricidad. Si bien el efecto fotovoltaico se descubrió en 1839, no fue hasta 1955 cuando científicos descubrieron exactamente cómo funcionaba y se interesaron por incrementar la eficiencia de la conversión mediante el empleo de celdas con apilamiento y multijuntura, a su vez el mismo año se anunció un producto comercial con el 2% de eficiencia [5]. Discutiendo el tema ambiental, otros de los objetivos más llamativos de los paneles fotovoltaicos es que se enfocan en la utilización de energía renovable, no contaminante y disponible en la mayor parte del mundo, unido a la generación de empleo local, desarrollo sostenible y sus aplicaciones para generar electricidad a grandes escalas.

### 2.3 Tipos de tecnologías

Para describir el comportamiento de las tecnologías del panel solar fotovoltaico también requerimos destacar brevemente el funcionamiento del panel solar térmico, ya que, éste absorbe la energía proveniente de los rayos solares sobre su superficie y calienta el agua que circula a través de unos tubos que se encuentran dentro del panel. Los paneles solares fotovoltaicos tienen la función de trabajar con la incidencia de los rayos solares sobre su superficie, que, a diferencia del panel solar térmico, este obliga a que los paneles estén correctamente orientados en todo momento con dirección al sol y de esta manera para captar toda la luz posible.

A lo largo del tiempo se han desarrollado diferentes tipos de paneles fotovoltaicos, siendo descritos por generaciones que datan los primeros contrastes y competencias, podemos describir algunos como: silicio puro monocristalino, de silicio puro policristalino, de silicio amorfo, de arseniuro de galio, de telururo de cadmio, de seleniuro de cobre e indio o tándem [6]



### 2.3.1 Primera generación

#### 2.3.1.1 El silicio monocristalino

El silicio monocristalino es el material base para los chips de silicio utilizados en prácticamente todos los equipos electrónicos actuales. El ámbito de la energía solar, el silicio monocristalino también se utiliza para fabricar células fotovoltaicas debido a su capacidad para absorber la radiación.

El silicio monocristalino consiste en silicio en el que la red cristalina de todo el sólido es continua. Esta estructura cristalina no se rompe en sus bordes y está libre de cualquier límite de grano [7].

El silicio monocristalino se puede preparar como:

- Un semiconductor intrínseco que se compone sólo de silicio muy puro
- También puede ser dopado mediante la adición de otros elementos tales como boro o fósforo.

El silicio monocristalino se utiliza para la fabricación de paneles fotovoltaicos de alto rendimiento. Los requisitos de calidad de los paneles solares monocristalinos no son muy exigentes. En este tipo de placas las exigencias sobre las imperfecciones estructurales son menos elevadas en comparación con las aplicaciones de microelectrónica. Por esta razón, se utiliza el silicio de menor calidad. A pesar de esto, la industria de la energía solar fotovoltaica de silicio monocristalino ha mejorado considerablemente [7].

Además de la baja tasa de producción, también existen preocupaciones sobre el material desperdiciado en el proceso de fabricación.

La creación de paneles solares que ahorran espacio requiere cortar las obleas circulares en celdas octogonales que se pueda empaquetar juntas. Las obleas circulares son un producto de los lingotes cilíndricos formados a través del proceso Czochralski. El material sobrante no se usa para crear células fotovoltaicas y se descarta o recicla volviendo a la producción de lingotes para su fusión.

Las células de silicio monocristalino pueden absorber la mayoría de los fotones dentro de 20  $\mu\text{m}$  de la superficie incidente. Sin embargo, las limitaciones en el proceso de aserrado del lingote significan que el grosor comercial de la oblea es generalmente de alrededor de 200  $\mu\text{m}$  [7]. Este tipo de silicio tiene una eficiencia de laboratorio de celda única registrada del 26.7%. Esto significa que tiene la eficiencia de conversión confirmada más alta de todas las tecnologías fotovoltaicas comerciales.

La alta eficiencia se atribuye a:

- Una falta de sitios de recombinación en el cristal único
- Una mejor absorción de fotones debido a su color negro, en comparación con el tono azul característico del polisilicio.



Las células monocristalinas son más caras que las policristalinas. Por esta razón, las células mono-Si son útiles para aplicaciones donde las principales consideraciones son limitaciones de peso o área disponible.

Este tipo de paneles se utilizan por ejemplo en naves espaciales o satélites alimentados por energía solar. En estos casos, además, la eficiencia puede mejorarse aún más combinando otras tecnologías, como las células solares multicapa [7].

### 2.3.1.2 Silicio policristalino

El silicio policristalino, llamada también de polisilicio o poli-Si, es una pureza alta, policristalino de forma de silicio, que se utiliza como materia prima por la solar fotovoltaica y la industria electrónica [8]. Los paneles solares formados por células de silicio policristalino están fundamentados en células formadas mediante la unión de varios cristales de silicio. Las células de silicio policristalino que forman el panel solar policristalino se consiguen enfriando artificialmente el material de silicio fundido. El silicio en bruto se funde y se vierte en un molde cuadrado. A continuación, se enfría y se corta en láminas perfectamente cuadradas. Todo este proceso se realiza con el silicio en bloque, que luego es cortado en placas para formar las células que aparecen en los módulos fotovoltaicos de tecnología policristalina. Los primeros paneles solares policristalinos de silicio aparecieron en el mercado en 1981. A diferencia de los paneles monocristalinos, en su fabricación no se emplea el método Czochralski. El panel solar policristalino suministra la tensión perfecta para instalaciones de bajo consumo. Los paneles solares fabricados en silicio policristalino son los más empleados por su bajo coste de fabricación [9].

El polisilicio se produce a partir de silicio de grado metalúrgico mediante un proceso de purificación química, llamado proceso de Siemens. Este proceso implica la destilación de compuestos de silicio volátiles y su descomposición en silicio a altas temperaturas. Un proceso emergente de refinamiento alternativo utiliza un reactor de lecho fluidizado. La industria fotovoltaica también produce silicio mejorado de grado metalúrgico (UMG-Si), utilizando procesos de purificación metalúrgicos en lugar de químicos. Cuando se produce para la industria electrónica, el polisilicio contiene niveles de impurezas de menos de una parte por billón (ppb), mientras que el silicio policristalino de grado solar (SoG-Si) generalmente es menos puro. Algunas compañías de China, Alemania, Japón, Corea y los Estados Unidos, como GCL-Poly, Wacker Chemie, OCI y Hemlock Semiconductor, así como REC, con sede en Noruega, representaron la mayor parte de la producción mundial de aproximadamente 230,000 toneladas en 2013 [8].

Cada célula de estos paneles está formada por más de un cristal de silicio, esto quiere decir que no es uniforme ya que adopta diferentes formas y direcciones, el color de la célula fotovoltaica es de un azul claro.

Su eficiencia es menor que la del silicio monocristalino (12 a 14%). Su duración es larga (respecto a la del silicio monocristalino) y buena parte del rendimiento se mantiene a lo largo del tiempo (85% de la eficiencia inicial tras 20 años). Tienen una durabilidad mayor que las monocristalinas, alrededor de 25 años, es por ello por lo que la gran mayoría de fabricantes deciden fabricar más paneles policristalinos que monocristalinos puesto que son más baratos y a largo plazo se obtiene el mismo rendimiento y prestación que los monocristalinos [10].



## 2.3.2 Segunda generación

### 2.3.2.1 Celdas de película delgada

Las celdas de película delgada son aquellas que cuentan con un espesor no mayor a 4 o 5[ $\mu\text{m}$ ] se fabrican depositando una o múltiples microcristales de algún material. El desarrollo de los materiales policristalinos en lámina delgada y su aplicación en dispositivos fotovoltaicos está claramente dirigido a la reducción de los costos de producción, siendo estos, algunos de sus objetivos:

- Encontrar materiales semiconductores que puedan absorber la luz solar en capas extremadamente finas, del orden de 1 [ $\mu\text{m}$ ], frente a los cientos de micras requeridos para el silicio policristalino, por lo que deberá reducirse el costo asociado a los materiales.
- Poder depositar estas finas capas o láminas de materiales sobre sustratos baratos y asequibles como puede ser el plástico, el vidrio, etc.
- Poder convertir la luz solar en energía eléctrica de manera eficiente manteniendo juntos los anteriores objetivos parciales.

Como resultado de más de 20 años de investigación, varios materiales han emergido como candidatos a cubrir los requerimientos industriales de eficiencia y costo de una forma competitiva, entre los más notables tenemos:

- Silicio amorfo (a-Si)
- Teluro de cadmio (CdTe)
- Seleniuro de cobre (CuInSe)
- Arseniuro de galio (AsGa)

Todos estos materiales pueden ser depositados sobre sustratos por una gran cantidad de métodos, potencialmente aplicables a escala industrial y que van desde técnicas de vacío a simples métodos de depósito químico [23].

### 2.3.2.2 Silicio amorfo

Aunque los tipos de paneles más habituales son los descritos, mono y policristalinos, no debemos olvidar también las placas solares de silicio amorfo, o llamadas también de “capa fina” [11].

El funcionamiento de una célula solar de capa fina de silicio amorfo es el mismo que las cristalinas pero su elaboración es muy diferente. Los aspectos característicos de esta tecnología son:

- Proceso de fabricación sencillo y de fácil automatización.
- Necesidad de poco material activo y reducción del gasto energético y del coste.
- Facilidad para realizar módulos flexibles y con óptima eficiencia cuántica en un amplio rango del espectro.



Las células de silicio amorfo han sido las primeras células de capa fina que se comenzaron a comercializar, sin embargo, debido a la bajada de precios experimentado por los paneles solares cristalinos, han ido perdiendo posiciones en el mercado y actualmente su implantación es muy reducida.

La tecnología del silicio amorfo a-Si tiene una eficiencia considerablemente menor que las basadas en silicio cristalino, debido principalmente a la mala calidad del silicio utilizado, cuya estructura interna dificulta la recolección de los portadores fotogenerados. Sin embargo, son especialmente adecuadas para uso en interiores, en atmósferas con mucho polvo, etc. [11]

Los paneles fotovoltaicos de silicio son un tipo de panel fotovoltaico de lámina delgada y se reconocen por su color gris oscuro. La composición del panel de silicio amorfo es la siguiente:

- Capa de vidrio
- Película de material conductor transparente que recupera los electrones ( $\text{Cd}_2\text{SnO}_4$ ,  $\text{ZnO}$ , o ITO)
- Tres capas de silicio se depositan de forma amorfa
- Sustrato de vidrio (sólido), de metal o de plástico (flexibles).

La utilización de silicio amorfo tiene dos consecuencias. Por un lado, este tipo de panel puede responder con poca luz, y es el único tipo de panel fotovoltaico que se puede utilizar con iluminación artificial. Por otro lado, la configuración amorfa de la materia reduce el desplazamiento de las cargas y por lo tanto baja el rendimiento que alcanza a un máximo del 10% [11].

El proceso de fabricación permite utilizar poca materia y montar paneles finos de aproximadamente  $1 \mu\text{m}$ . Como consecuencia este tipo de panel fotovoltaico pesa menos y se puede utilizar sobre sustratos curvos. Además, su coste de fabricación es menor al de los paneles cristalinos. Sin embargo, un inconveniente importante del panel de silicio amorfo es su rápida degradación que induce una disminución del rendimiento los primeros años. Cada célula de estos paneles está formada por más de un cristal de silicio, esto quiere decir que no es uniforme ya que adopta diferentes formas y direcciones, el color de la célula fotovoltaica es de un azul claro [11].

Su eficiencia es menor que la del silicio monocristalino (12 a 14%). Su duración es larga (respecto a la del silicio monocristalino) y buena parte del rendimiento se mantiene a lo largo del tiempo (85% de la eficiencia inicial tras 20 años). Tienen una durabilidad mayor que las monocristalinas, alrededor de 25 años, es por ello por lo que la gran mayoría de fabricantes deciden fabricar más paneles policristalinos que monocristalinos puesto que son más baratos y a largo plazo se obtiene el mismo rendimiento y prestación que los monocristalinos [11].



### 2.3.3 Tercera generación

#### 2.3.3.1 Arseniuro de galio

El arseniuro de galio (GaAs) es uno de los materiales más importantes para los semiconductores optoelectrónicos, es un compuesto de galio y arsénico. Se usa para fabricar dispositivos como circuitos integrados a frecuencias de microondas, diodos de emisión infrarroja, diodos láser y células fotovoltaicas. Un cristal de GaAs consta de una red de átomos de galio y arsénico, en la que los átomos de galio portan una pequeña carga positiva y los átomos de arsénico una pequeña carga eléctrica negativa. El compuesto arseniuro de Galio (GaAs) se emplea como semiconductor (con los elementos de los grupos II, IV o VII de la Tabla Periódica) o como semi aislante. Componentes hechos de arseniuro de galio se encienden diez veces más rápido que aquellos de silicio, no sufren tan a menudo daños transmitiendo señales analógicas y no necesitan mucha energía. Por estas cualidades el arseniuro de galio tiene una amplia aplicación en la industria de las telecomunicaciones. Su principal aplicación es en la construcción de circuitos impresos y dispositivos optoelectrónicos en teléfonos celulares y móviles para la transmisión de señales. Además, el arseniuro de galio se emplea para transmitir información por fibra óptica a través de láseres para tratamiento superficial (VCSEL) o para suministrar energía mediante los paneles solares con células fotovoltaicas de los satélites. En la industria de semiconductores se utiliza ante todo la composición de AlGaAs/GaAs (arseniuro de galio y aluminio / arseniuro de galio) para producción de hetero estructuras semiconductoras. Actualmente surgen muchos problemas por la eliminación de los tóxicos del arsénico. [12].

Aunque el silicio es el semiconductor estándar de la industria en la mayoría de los dispositivos electrónicos, incluidas las células fotovoltaicas que utilizan los paneles solares para convertir la luz solar en energía, no es el material más eficiente disponible. Por ejemplo, el arseniuro de galio semiconductor y los semiconductores compuestos relacionados ofrecen casi el doble de eficiencia que el silicio en dispositivos solares, sin embargo, rara vez se utilizan en aplicaciones a escala de servicios públicos debido a su alto costo de fabricación [13].

Alta Devices, filial del estadounidense Hanergy Group, fabricante de productos fotovoltaicos de arseniuro de galio (GaAs), ha logrado otro récord de eficiencia de conversión de células solares del 29,1%, certificado por instituto alemán Fraunhofer ISE Callab. El récord anterior de Alta Devices lo estableció en julio en el 28.9% y fue certificado por el NREL (Laboratorio Nacional de Energía Renovable).

La NASA también está probando la tecnología solar de Alta Devices en la Estación Espacial Internacional para evaluar la tecnología de Alta para futuras misiones de la NASA, incluida la alimentación de CubeSats [14].



### 2.3.3.2 Teluro de cadmio

El telururo de cadmio (CdTe) es un compuesto cristalino estable formado a partir de cadmio y telurio. Se utiliza principalmente como material semiconductor en telururo de cadmio fotovoltaico y una ventana óptica de infrarrojos. Suele estar emparedado con sulfuro de cadmio para formar una célula fotovoltaica de unión pn. Típicamente, las celdas PV de CdTe usan una estructura de compresión [15].

La célula fotovoltaica de telururo de cadmio (CdTe) es una tecnología fotovoltaica que se basa en el uso de una película delgada de telururo de cadmio, una capa de semiconductor diseñada para absorber y convertir la luz solar en electricidad. La célula fotovoltaica de telururo de cadmio es la primera y única tecnología fotovoltaica de película delgada en superar al silicio cristalino en precio para una significativa porción del mercado fotovoltaico, es decir, en sistemas de varios kilovatios. First Solar es el mayor fabricante de células de película delgada del mundo y el mayor fabricante mundial de células fotovoltaicas con 1,1 GW de producción en 2009 [16].

La eficiencia de esta última tecnología está avanzando a pasos agigantados. En febrero del 2016 se reportó que First Solar lograba alcanzar en su laboratorio una eficiencia del 21,2%, acercándose cada vez más a los récords de eficiencia de los miembros del selecto club de compañías que como SolarCity, SunPower y Panasonic, ya han superado la barrera del 22%. La marca ha sido certificada por el Laboratorio Fotovoltaico (PV Lab) del Centro de Aplicaciones y Tecnología de la Corporación Newport (TAC). SolarCity asegura que sus módulos fotovoltaicos para azoteas son los más eficientes del mundo. La empresa cuenta con paneles de una eficiencia del 22,04% medida por el Renewable Energy Test Center. La californiana SunPower ha reivindicado para su último módulo de la serie X un récord de eficiencia del 22,8%, en un desarrollo que, según dice, ayudará a los propietarios a producir más energía solar a partir de una superficie más reducida. El nuevo registro ha sido verificado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL).

En marzo del 2016 Panasonic reclamo la corona por el título de la eficiencia energética para sus módulos solares, estableció un récord del 23,8% con un módulo de 11,5 centímetros cuadrados de su tecnología HIT en su laboratorio de investigación [17].



### 2.3.3.3 Células solares de cobre y seleniuro de indio y cobre

Una célula solar de cobre e indio de selenio de cobre (o célula CIGS, a veces CI (G) S o célula CIS) es una célula solar de película delgada que se utiliza para convertir la luz solar en energía eléctrica. Se fabrica depositando una fina capa de cobre, indio, galio y seleniuro sobre soporte de vidrio o plástico, junto con electrodos en la parte frontal y posterior para recoger la corriente. Debido a que el material tiene un alto coeficiente de absorción y absorbe fuertemente la luz solar, se requiere una película mucho más delgada que la de otros materiales semiconductores.

CIGS es una de las tres principales tecnologías fotovoltaicas de capa fina, las otras dos son telururo de cadmio y silicio amorfo. Al igual que estos materiales, las capas de CIGS son lo suficientemente delgadas para ser flexibles, lo que les permite depositarse en sustratos flexibles. Sin embargo, como todas estas tecnologías normalmente usan técnicas de deposición a alta temperatura, el mejor rendimiento normalmente proviene de las células depositadas sobre el vidrio, aunque los avances en la deposición a baja temperatura de las células CIGS han borrado gran parte de esta diferencia de rendimiento. CIGS supera al polisilicio a nivel celular, sin embargo, la eficiencia de su módulo es aún menor, debido a una escalada menos madura [18].

Las células solares CIGS concretamente, se componen de un electrodo trasero de molibdeno (Mo), una capa que absorbe la luz, semiconductor p, que consiste en el compuesto calcopirita ( $\text{Cu (InGa)Se}_2$ ), una capa buffer, semiconductor n, de sulfuro de cadmio ( $\text{CdS}$ ) u oxi-sulfuro de zinc ( $\text{Zn(O,S)}$ ), y un contacto frontal formado a su vez por una capa muy delgada de alta resistividad de óxido de zinc ( $\text{ZnO}$ ) y una capa transparente conductora de óxido de zinc dopado con aluminio ( $\text{ZnO:Al}$ ) [19].

Las células solares CIGS con eficiencias de alrededor del 20% han sido reclamadas por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL), los Laboratorios Federales Suizos de Ciencia y Tecnología de Materiales (Empa) y el Centro Alemán para la Energía y el Agua (ZSW) que es el registro hasta la fecha de cualquier célula solar de película delgada.

La mejor eficiencia alcanzada a septiembre de 2014 fue del 21,7%. Un equipo en el Laboratorio Nacional de Energía Renovable logró un 19.9%, un récord en ese momento, al modificar la superficie de CIGS y hacer que se vea como CIS. Estos ejemplos se depositaron en vidrio, lo que significaba que los productos no eran mecánicamente flexibles. En 2013, científicos de los Laboratorios Federales Suizos de Ciencia y Tecnología de Materiales desarrollaron células CIGS en láminas de polímero flexible con una nueva eficiencia récord de 20.4%. Estos muestran la mayor eficiencia y flexibilidad [18].



#### 2.3.3.4 Paneles Tándem

Los llamados paneles Tándem son aquellos que combinan dos tipos de materiales semiconductores distintos. Esta superposición de células amplía la sensibilidad de longitudes de onda y mejora el rendimiento, debido a que cada tipo de material aprovecha sólo una parte del espectro electromagnético de la radiación solar, mediante la combinación de dos o tres tipos de materiales es posible aprovechar una mayor parte de este. Con este tipo de paneles se ha llegado a lograr rendimientos del 35%. Teóricamente con uniones de 3 materiales podría llegarse hasta rendimientos del 50%.

Además de una capa de silicio, estos paneles con células tándem se componen de una capa adicional de dióxido de titanio. En este compuesto, no obstante, llama especialmente la atención la inclusión de perovskita, un material cristalino organometálico producido en laboratorio que posee excelentes características como semiconductor.

La combinación de estos materiales, según ha podido comprobar ofrece como resultado una eficiencia dos veces superior a la utilización de paneles fotovoltaicos simples. Por otra parte, se espera poder conseguir mayores desarrollos investigando, principalmente, el perfeccionamiento de la capa de perovskita. Además, se considera que el uso de células de silicio avanzará próximamente, por lo que las células tándem de este tipo de paneles podrían alcanzar una eficiencia aún mayor. No obstante, el mayor problema que se plantea son los costes de las células tándem [20].

Investigadores de las Escuelas de Ingeniería Fulton, de la Universidad Estatal de Arizona (ASU), hicieron un análisis de mercado de un módulo inexistente pero que podría fabricarse en un futuro: pensaron la evolución de un módulo solar tándem de perovskita y silicio al 32%. Los hallazgos fueron publicados en el documento “Viabilidad tecno económica de los módulos fotovoltaicos en tándem basados en silicio” en Estados Unidos [21].



## 2.4 Arreglos fotovoltaicos

Los diferentes tipos de arreglos están diseñados para satisfacer las demandas requeridas en una carga, obteniendo la tensión eléctrica y corrientes requeridas, para ello se requiere una conexión de más de un panel conectados en serie, paralelo o mixto, ya que estas configuraciones están diseñadas para aportar las propiedades deseadas.

En un arreglo es importante que los paneles fotovoltaicos operen a la misma tensión y corriente.

### 2.4.1 Arreglos fotovoltaicos

Por el número de terminales de salida que tiene un arreglo fotovoltaico, se puede determinar si la configuración es monopolar o bipolar. El arreglo monopolar tiende a poseer dos salidas, las mismas que tendrían una configuración simple de un panel fotovoltaico. Por otra parte, los arreglos bipolares poseen tres terminales, una referencia y con tensión de igual magnitud, pero distinta polaridad respecto a la referencia (positiva y negativa), lo que significa que el arreglo bipolar debe ser simétrico respecto de la referencia y puede ser dividido en dos subarreglos.

En cualquiera de los dos arreglos anteriormente mencionados, la tensión máxima del sistema será la tensión máxima que se encuentre entre dos conductores del arreglo, como se presentó, en la sección anterior para un arreglo monopolar, pero en el caso del arreglo bipolar la tensión máxima se presentará entre las salidas más extremas del arreglo, mientras que la tensión de cualquiera de las otras dos terminales a la referencia será sólo la mitad de la tensión máxima del sistema.

#### 2.4.1.1 Arreglo fotovoltaico bipolar

Arreglo fotovoltaico que tiene dos salidas, cada una con polaridad opuesta con respecto a un punto común de referencia o derivación central [22].

#### 2.4.1.2 Arreglo fotovoltaico monopolar

Un subarreglo fotovoltaico monopolar que tiene dos conductores en el circuito de salida, uno positivo (+) y uno negativo (-). Dos subarreglos fotovoltaicos monopolares son utilizados para formar un arreglo fotovoltaico bipolar [22].



## 3 CAPITULO 3. CARACTERISTICAS

### 3.1 Introducción al capítulo

Dentro del siguiente capítulo se describen características fundamentales para los sistemas fotovoltaicos, se aprecian las diferencias relacionadas a los diferentes tipos de arreglos, tomando en cuenta aspectos técnicos y teóricos de su funcionamiento y cálculo.

### 3.2 Descripción del panel solar

#### 3.2.1 Teoría de semiconductores

##### 3.2.1.1 Modelo de bandas de energía

Primero comenzaremos interpretando una red formada por átomos, en ese caso un material cristalino, donde existen bandas de energía donde los electrones se desplazan libremente, es decir, estas bandas son el resultado de la superposición de los niveles atómicos de los átomos que constituyen un cristal. Cuando los átomos individuales se acercan para formar el cristal, se colocan en un arreglo periódico formando una red cristalina, donde sus niveles de energía atómicos interactúan entre sí, dando lugar a bandas de energía [24].

##### 3.2.1.2 Unión p-n iluminada

En cuanto hablamos de paneles fotovoltaicos, una pieza importante para la fundamentación de esta es el efecto fotoeléctrico, de forma en la que los dispositivos fotovoltaicos están basados en la unión p-n, en el cual los electrones cambian su posición a la banda de conducción por el aporte energético de fotones incidentes. El campo eléctrico de la unión conduce los portadores generados por esta interacción y dificulta la recombinación. A su vez, esta corriente de iluminación, descrita como fotocorriente, es utilizada por un circuito independiente. Por consecuencia, la diferencia de potencial en una resistencia alimentada por el mismo dispositivo reduce la barrera de potencial de la unión, y consecuentemente favorece los procesos de recombinación que constituyen la corriente del diodo, denominada como corriente de oscuridad. En consecuencia, dentro de la unión p-n iluminada también podemos encontrar dos corrientes con sentido opuesto y con generaciones diferentes. La corriente de iluminación, debida a la incidencia de fotones, circula desde la región n a la región p. La corriente de oscuridad o corriente de diodo, debida a la recombinación de portadores favorecida por la tensión en el circuito externo, circula desde la región p hacia la n [25-a].



### 3.2.2 Funcionamiento de un panel fotovoltaico

Para describir el funcionamiento tendremos que describir que la corriente de un panel solar fotovoltaico es un equilibrio entre la fotocorriente y la corriente de oscuridad, de esta manera depende de la tensión aplicada en las terminales. De esta manera cuando la tensión generada en las terminales es nula, la corriente se debe exclusivamente a la fotocorriente. El valor de la corriente se mantiene casi constante hasta las cercanías del valor de la tensión en el que el diodo comienza a conducir [25-b].

Una vez descrito esto, la corriente disminuye bruscamente hasta topar con un valor nulo, un estado en donde la fotocorriente y la corriente quedan compensados.

La corriente de cortocircuito es fácilmente calculable a partir de la ecuación de la corriente total expresada:

$$I = I_L - I_0 \left[ \exp \left( \frac{V}{m \cdot V_T} \right) - 1 \right] \quad (1)$$

Donde se emplea  $I_L$  para designar a la fotocorriente,  $I_0$  la corriente de saturación,  $V$  la tensión aplicada al diodo,  $m$  al factor ideal del diodo y  $V_T$  como potencial térmico.

Para los dos puntos extremos de cortocircuito y circuito abierto quedan definidos con dos parámetros a mencionar, la corriente de cortocircuito  $I_{sc}$  y la tensión de circuito abierto  $V_{oc}$ . En este punto la corriente de corto circuito es determinada a partir de la ecuación (1) donde  $V = 0$ :

$$I_{sc} = I(V = 0) = I_L \quad (2)$$

Mientras que en la tensión de circuito abierto se deduce con la condición  $I = 0$  donde  $T_c$  es la temperatura del panel y  $k$  representada como la constante de Boltzmann:

$$V_{oc} = V(I = 0) = m * \frac{k * T_c}{e} * \ln \left( \frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \quad (3)$$

Una vez conocidos estos dos parámetros es conveniente reescribir la ecuación (1):

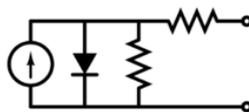
$$I = I_{sc} * \left[ 1 - \exp \left( \frac{e * (V_{oc} - V)}{m * k * T_c} \right) \right] \quad (4)$$

#### 3.2.2.1 Instante máximo de potencia

Esté estado de potencia se encuentra dentro de la relación entre la potencia y la tensión, es más que evidente la presencia de un punto de máxima potencia, definidas por varias condiciones matemáticas, está es conocida como potencia nominal y su unidad de está son watts pico, reflejando la idea de potencia máxima alcanzable [25-b].

### 3.2.2.2 Circuito equivalente de un panel solar

Es necesario que, para examinar el comportamiento de una célula en un circuito es útil emplear modelos equivalentes. La corriente obtenida puede ser manipulada mediante un generador de corriente, mientras que la corriente de oscuridad puede ser representada con un diodo, tal y como se recoge en la siguiente figura.



*Modelo eléctrico de un panel solar*

En esta figura se incluyen una resistencia serie y una resistencia paralela para efectos no incluidos en la ecuación (1.4) pero apreciables en los paneles reales.

Teniendo en cuenta estas dos resistencias se obtiene la siguiente ecuación:

$$I = I_L - I_0 * \left[ \exp\left(\frac{V+I*R_S}{m*V_T}\right) - 1 \right] - \frac{V+I*R_S}{R_P} \quad (5)$$

Podemos afirmar que, la resistencia serie representa la resistencia debida a los contactos metálicos con el semiconductor, a las capas semiconductoras y a la malla de metalización. Esta resistencia reduce principalmente el factor de forma y, en menor medida, la corriente de cortocircuito [25-b].

### 3.2.2.3 Influencia de la temperatura y la radiación

La manera correcta de expresar el funcionamiento de un panel solar es con dos factores importantes de procedencia externa al sistema, la temperatura ambiente y la iluminación incidente. El efecto generado por el incremento de temperatura que se encuentra en el panel estrecha el salto entre banda de valencia y conducción de forma que, en condiciones de iluminación constante, aumenta de manera mínima la fotocorriente, la cual es despreciable para términos generales, a consecuencia, el efecto de tensión es mucho más importante. Por otra parte, el aumento de temperatura reduce la tensión del circuito abierto según el valor de  $dV_{oc}/dT_c$  donde  $T_c$  es la temperatura del panel la cual depende del medio ambiente y la irradiación incidente [25-b].

La forma de calcular la temperatura de un panel de silicio cristalino es la siguiente:

$$\frac{dV_{oc}}{dT_c} = -2,3 \frac{mV}{^\circ C} \quad (1)$$

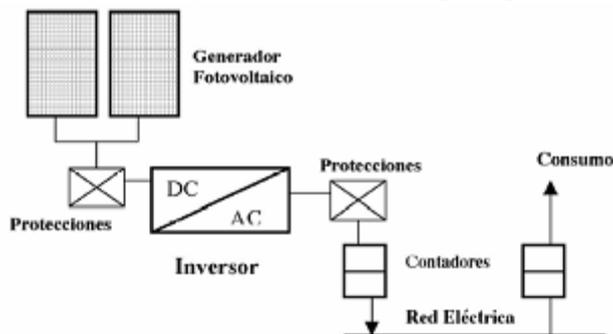
De esta manera, en cuanto a la iluminación, es necesario comprender que la fotocorriente es proporcional a la intensidad de la radiación (unidad de electrones liberados dependientes de la cantidad de fotones incidentes aprovechables)

$I_L(X) = X * I_L(1)$ , donde  $X$  se define como el factor de concentración o nivel de irradiancia incidente en Soles.

## 3.3 Sistema fotovoltaico de conexión a red eléctrica

### 3.3.1 Descripción

El sistema fotovoltaico de conexión a red eléctrica se trata de un método la cuya función se basa en generar energía eléctrica la cual se introduce en la red convencional. Compuesta por un generador fotovoltaico, un inversor DC/AC, un apartado de protecciones y un dispositivo de conteo [25-c].



*Modelo de un sistema de conexión a red eléctrica <sup>1</sup>*

El sistema aporta energía vital para el consumo parcial o total en las localidades cercanas, la energía que no se consume es administrada dentro de la red eléctrica para su distribución a otros puntos de consumo. Con ello mencionaremos, de forma simplificada, dos esquemas: retribución prima y balance neto.

El proceso de retribución con prima [26], ordinariamente el propietario del sistema fotovoltaico de conexión a la red adquiere ingresos originarios de la energía total producida, está independientemente de la energía que se ha consumido en las cercanías del sistema. Podemos apreciar varios sucesos importantes, uno de estos es cuando el diseño no necesita considerar un consumo a satisfacer, como, por ejemplo, el caso en los sistemas autónomos. Este mecanismo favorece la implantación de los sistemas fotovoltaicos cuando el coste de la energía producida es superior al de la tarifa eléctrica convencional (sin tener en consideración las externalidades ambientales). Aunque formalmente favorece la generación distribuida, sin ningún condicionante adicional puede ocasionar un crecimiento desordenado que disocie las ubicaciones de los sistemas fotovoltaicos de los centros de consumo [25-c].

El mecanismo de balance neto [27], es aquel sistema que compensa los saldos de energía eléctrica entre el sistema fotovoltaico de unión a la red y un sistema de consumo asociado. Cuando la producción del SFCR supera al consumo, la red eléctrica absorbe el excedente puntual, generándose derechos de consumo diferido para el propietario del SFCR. Estos derechos de consumo se pueden ejercer cuando la producción del SFCR no es suficiente para satisfacer el consumo asociado.

<sup>1</sup> sistema fotovoltaico de conexión a red eléctrica. (s. f.). [Ilustración].  
<http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno09/fotovolt/tecnologia.htm>



La interacción entre el SFCR, el consumo y la red bajo este mecanismo de retribución favorece la generación distribuida y la gestión de la demanda. El diseño de un SFCR en el contexto de este mecanismo debe incluir el consumo asociado como una variable adicional que condicionará el tamaño del generador fotovoltaico. Salvo afirmación expresa en contra, a lo largo de este capítulo se supondrá que el SFCR se enmarca en un mecanismo de retribución con prima y, por tanto, se obviará el consumo asociado [25-c].

### **3.3.2 Condiciones técnicas**

Al ser consciente del uso de un sistema así también se tiene que analizar la compensación económica por la energía producida o intercambiada con la red que esta genera, así como el deber cumplir determinados requisitos de ámbito legal en cuanto a su arreglo. Por otra parte, pero no menos importante, es necesario tener conocimiento acerca de la reglamentación eléctrica establecida en su país en el cual se planea desarrollar este tipo de proyectos, algunos reglamentos dentro de Latinoamérica establecen la separación administrativa entre la comercialización y la distribución de la energía. No obstante, es claro que la corriente eléctrica no entiende de leyes ni contratos, sino que fluye según las leyes de Kirchhoff. Así, la energía producida por un sistema fotovoltaico de conexión a la red será consumida parcial o totalmente en el propio edificio que lo alberga o en las cercanías de la instalación [25-c].

### **3.3.3 Inversor DC/AC**

La señal de potencia suministrada por un sistema de panel fotovoltaico es empleada en tensión continua, esta debe ser preparada para permitir el correcto acoplamiento a la red eléctrica. El equipo de acondicionamiento de potencia, denominado inversor DC/AC, realiza la conversión de continua a alterna cumpliendo con determinados requisitos de tensión eficaz, frecuencia, distorsión armónica de las ondas de tensión y corriente, eficiencia y rendimiento, seguridad eléctrica, etc. El inversor generalmente funciona como fuente de corriente auto conmutada y sincronizada con la red.

La información que se puede obtener de la ficha técnica proporcionada por el fabricante de un inversor puede incluir los siguientes parámetros: potencia nominal, potencia máxima, punto máximo de potencia, tensión máxima de entrada, tensión nominal de salida, umbral de arranque y eficiencia máxima, en algunos casos el rendimiento con respecto a la región en cuestión de condiciones de radiación, con la finalidad de comparar diferentes fabricantes con un criterio de calidad energética [25-d].

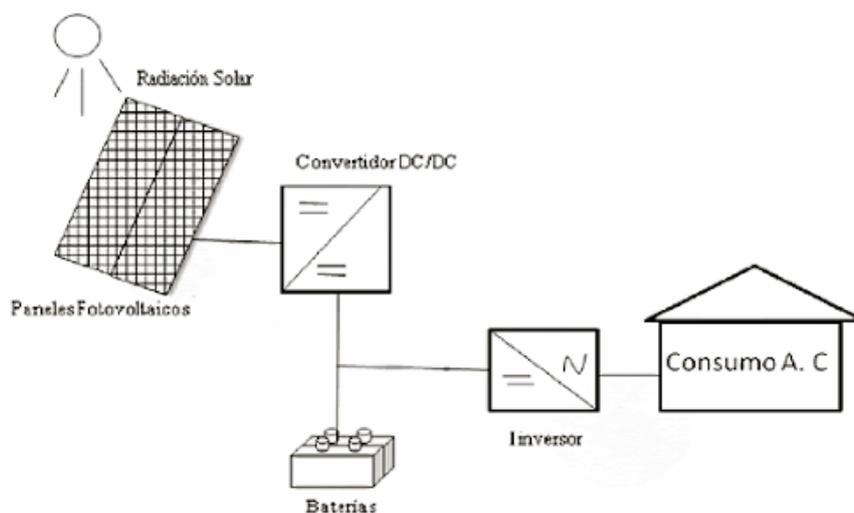
## 3.4 Sistema fotovoltaico autónomo

### 3.4.1 Descripción

Un sistema fotovoltaico autónomo se deriva de aquel que crea energía eléctrica para indemnizar el dispendio de cargas eléctricas no alimentadas por la red, como es el caso del sistema fotovoltaico de conexión a la red, utilizando un método de acumulación de energía para amortizar los puntos de consumo en el que la generación es inferior al consumo.

### 3.4.2 Configuraciones típicas

Dentro de los sistemas fotovoltaicos autónomos encontramos una gama respetable, por ejemplo, algunos sistemas domésticos ya no utilizan un inversor debido a que suelen incorporar cargas en continuas dentro de su sistema sin embargo existe una configuración que incluye uno al tener cargas de alterna. Estas configuraciones están compuestas por: un generador, un acumulador electroquímico y un regulador de carga y descarga. Dentro de esta gama también podemos encontrar aquellos que están compuestos por cargas en directa, alterna o ambas. Para ciertas configuraciones en los que encontramos el inversor, es recomendable instalarlo directamente en la batería Y no a la salida del regulador, de esta manera se pueden evitar un mal funcionamiento que llegase a ocasionar la circulación de transitorios de corriente en el cual, el regulador, no sería capaz de corregir correctamente y está dañe el sistema [25-e].



*Modelo de un sistema fotovoltaico autónomo básico<sup>2</sup>*

<sup>2</sup> Modelo de un sistema fotovoltaico autónomo básico. (s. f.). [Ilustración]. Universidad, ciencia y tecnología.

[https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fve.scielo.org%2Fscielo.php%3Fpid%3DS1316-48212011000200002%26script%3Dsci\\_arttext&psig=AOvVaw1EA\\_sgQuej2eUllkeelFgz&ust=1603759390848000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCODW95yF0ewCFQAAAAAdAAAAABAE](https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fve.scielo.org%2Fscielo.php%3Fpid%3DS1316-48212011000200002%26script%3Dsci_arttext&psig=AOvVaw1EA_sgQuej2eUllkeelFgz&ust=1603759390848000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCODW95yF0ewCFQAAAAAdAAAAABAE)



### **3.4.3 Componentes**

#### **3.4.3.1 Acumulador electroquímico**

Un acumulador electroquímico es una batería, la cual almacena la energía generada y descargada para su consumo, de uso secundario o recargable dependiendo de su utilidad, un componente fundamental para el sistema en cuanto a autonomía, satisfaciendo las necesidades del consumo en puntos donde la generación no cubre la demanda de la carga. Otro de sus funcionamientos se encuentra en la contribución de picos de intensidad superiores a la que nos proporciona el generador fotovoltaico y por último estabiliza la tensión del sistema, evitando fluctuaciones dañinas dentro de los equipos del sistema [25-e].

#### **3.4.3.2 Regulador de carga**

El regulador de carga es aquel que se encarga de evitar la sobrecarga y descarga excesiva de un acumulador, esto siempre y cuando se alcancen determinadas condiciones. La descripción de su funcionamiento se basa en aislar al generador del acumulador o bien restringir o derivar la corriente del generador. Para hacer frente a la sobredescarga, lo ideal para sistemas serie y paralelo es emplear interruptores MOSFET como dispositivos de conmutación. Es recomendable analizar las protecciones que se emplean en la batería, ya que estas son las que se encargan de imputar la tensión del sistema, sea un módulo, a los equipos de consumo o al menos al regulador [25-e].

#### **3.4.3.3 Luminarias**

Generalmente las cargas determinadas para los sistemas domésticos son algunos dispositivos como: luminarias, radios y televisores, dentro de los mencionados dispositivos, dentro de la gama correspondiente a iluminación se recomienda instalar lámparas fluorescentes pese a razones de eficiencia [25e].



## 3.5 Cálculo y selección

### 3.5.1 Estimación de consumos

Para comenzar con el cálculo apropiado de un sistema fotovoltaico es necesario estimar el consumo de las cargas generales y su tiempo activo, es decir, el tiempo que permanecen las cargas en uso. Con la finalidad emplear un ejemplo de cálculo y selección utilizaremos datos hipotéticos para un sistema de baja potencia, en este caso el consumo estimado por día será de 8kW/día.

### 3.5.2 Radiación solar

Un dato necesario para la selección de un panel solar es la **radiación solar disponible**. Es recomendable utilizar programas o aplicaciones que permitan conocer la radiación solar disponible en la ubicación donde se establecerá el sistema fotovoltaico. Para comprender la utilización de datos en el ejemplo tendremos en cuenta el recurso solar que puede aprovechar un panel solar como hora solar pico de radiación o HSP. Es importante considerar que para sistemas interconectados se recomienda seleccionar la HSP promedio anual y para sistemas autónomos usar la HSP más baja del año para evitar una caída en el sistema. Para un manejo de datos hipotético utilizaremos una cifra de factor de radiación de 4 ( $kW/m^2/día$ ) como periodo más bajo anual dentro de una zona hipotética, es necesario recordar que para un caso real es necesario consultar una base de datos confiable como se había establecido con anterioridad.

### 3.5.3 Selección del panel

Para la selección del panel podemos recurrir a distintos proveedores en donde consideraremos datos como la potencia, la eficiencia y la tecnología para garantizar un sistema de calidad. Para calcular el número de paneles recurriremos a los datos antes mencionados como HSP y el consumo estimado por día, además de que es de vital importancia considerar las ventajas de costo, beneficio y el tipo de energía recomendable para la zona a instalar el sistema. Como ya habíamos mencionado en el capítulo anterior, una de las tecnologías con mayor eficiencia es la celda monocristalina, teniendo en cuenta su costo, su uso es recomendable para aplicaciones donde las principales consideraciones son limitaciones de peso o área disponible.

Para el siguiente cálculo de número de paneles utilizaremos un panel solar de 280W policristalino y las cifras hipotéticas antes mencionadas de consumo estimado por día y de HSP.

$$\begin{aligned} \text{Número de paneles} &= \frac{\text{consumo estimado diario}}{\text{Potencia del panel} \times \text{HSP} \times \text{Coeficiente de rendimiento}} \quad [38] \end{aligned}$$

$$\text{Número de paneles} = \frac{8(kW/día)}{0.28 kW \times 4(kW/m^2/día) \times (0.9)} = 7.93 \cong 8$$

De acuerdo con los resultados obtenidos se proponen 8 paneles para el sistema.

### 3.5.4 Arreglo del inversor

Para el arreglo del inversor utilizaremos un modelo genérico ficticio de acuerdo con catálogos comerciales mexicanos, cabe destacar que es necesario buscar equipos disponibles en el mercado que cumplan con las características técnicas mencionadas en los puntos anteriores. Utilizaremos un modelo Fronius Galvo 2.0-1 208-240 de la marca Solar Energy la cual tiene la siguiente ficha técnica:

Número de MPPT	1
Potencia FV recomendada (kWp)	1,6 - 3,2 kWp
Máxima corriente de entrada utilizable	17 A
Total de corriente de entrada utilizable máxima (MPPT 1 + MPPT 2)	17,9 A
Máxima corriente de cortocircuito por serie FV ( $1.5 * I_{max}$ )	22,4 A
Voltaje nominal de entrada	260 V
Rango de voltaje operacional	120 - 420 V
Rango de voltaje MPP	120 - 335 V
Voltaje de entrada máximo	420 V

*Ficha técnica del inversor<sup>3</sup>*

Para calcular el arreglo de los paneles recurriremos a las siguientes fórmulas de número de filas en serie y paralelo, donde ocuparemos el voltaje operacional del inversor(120V), el voltaje del panel (31.5V), la corriente del inversor (17A) y la corriente optima del panel (9.31A).

$$No. \text{ filas serie} = \frac{120V}{31.5V} = 3.80 \cong 4 \text{ módulos}$$

$$No. \text{ columnas paralelo} = \frac{17A}{9.31A} = 1.82 \cong 2 \text{ módulos}$$

El arreglo correspondiente al cálculo demanda 4 filas en serie por cada 2 columnas por inversor.



*Arreglo recomendado<sup>4</sup>*

<sup>3</sup> *Ficha técnica de Fronius Galvo 2.0-1 208-240.* (s. f.). [Tabla de contenido]. <https://www.fronius.com/es-mx/mexico/energia-solar>. <https://www.fronius.com/es-mx/mexico/energia-solar/productos/residencial/inversor/fronius-galvo/fronius-galvo-2-0-1-208-240>

<sup>4</sup> *Arreglo 4x2.* (s. f.). [Imagen].

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.bmasdigital.com%2Fmontaje-techo-concreto-8-modulos-fotovoltaicos-PLGM012X4&psig=AOvVaw1C1oI6pV344ngSrKG3uDwb&ust=1610395974904000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRqFwoTCLjZ47eXku4CFQAAAAAdAAAAABAD>



## 4 CAPITULO 4. PROCEDIMIENTO PARA LA PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA

### 4.1 Introducción al capítulo

Dentro de este apartado mencionaremos algunas características requeridas para la comprensión del procedimiento en puesta en marcha, hablaremos de las diferentes normas que se aplican en ella, describiremos el procedimiento para la puesta en servicio y por último describiremos algunos aspectos de la red de interconexión.

### 4.2 Características básicas de la puesta en servicio

#### 4.2.1 Puesta en servicio

La puesta en servicio es la inspección del sistema antes de encenderlo, es de gran importancia llevar a cabo este procedimiento para evitar que los componentes tanto mecánicos como eléctricos tengan averías por una mala instalación. Debemos aclarar que el desarrollo del procedimiento de puesta en servicio se recomienda ser realizado por personal con conocimientos en el área y se sugiere que se realice por personal ajeno a la instalación del servicio para evitar conflictos de interés.

#### 4.2.2 Circuito de salida del inversor

Los conductores entre el inversor y un panel de distribución de corriente alterna en los sistemas autónomos o los conductores entre el inversor y el equipo de acometida u otra fuente de generación de energía eléctrica, como una red pública, para redes de generación y distribución de energía eléctrica. [22]

#### 4.2.3 Circuito de salida fotovoltaica

Los conductores del circuito entre el o los circuitos de la fuente fotovoltaica y el inversor o el equipo de utilización de corriente continua. [22]

#### 4.2.4 Inversor

Equipo que se utiliza para cambiar el nivel de tensión o la forma de onda, o ambas, de la energía eléctrica. En general un inversor es un dispositivo que cambia una entrada de corriente continua en una salida de corriente alterna. Los inversores también pueden funcionar como cargadores de baterías que emplean la corriente alterna de otra fuente y la convierten en corriente continua para cargar las baterías. [22]

#### 4.2.5 Módulo

Unidad completa protegida ambientalmente, que consta de celdas solares en agrupaciones serie o paralelos, óptica y otros componentes, sin incluir los sistemas de orientación, diseñada para generar energía de corriente continua cuando es expuesta a la luz solar. Siendo el módulo una asociación de células a las que protege físicamente de la intemperie y aísla eléctricamente del exterior, dando rigidez mecánica al conjunto. [22]



## 4.2.6 Tipos de problemas

### 4.2.6.1 Problemas mecánicos

#### Mala fijación de los paneles

La mala instalación del módulo aumenta las probabilidades de que se pueda estropear al caer al suelo, por ello es de vital importancia revisar que el torque con el que están acoplados los paneles sea el correcto.

#### Conexión entre componentes

Verificar el ensamblaje adecuado para cada una de las conexiones de los componentes evitara los puntos calientes dentro del circuito, estos generan deterioro en los dispositivos y mal funcionamiento llegando a estropear el sistema por completo.

### 4.2.6.2 Problemas eléctricos

#### Corto circuito

Al realizar pruebas de continuidad tanto como pruebas de aislamiento se asegura evitar un problema de corto circuito.

#### Sobrecarga

Al verificar que las conexiones del tablero eléctrico, las polaridades de mi sistema y los tamaños adecuados a la norma, evitamos las averías por sobrecarga.

### 4.2.6.3 Problemas mayores

#### Averías en inversores

Un mal procedimiento de instalación puede causar confusión a la hora de ensamblar los dispositivos de conexión como los inversores, cuando no se realiza una buena ordenación en el sistema puede ocasionar que estos componentes dejen de funcionar correctamente.

## 4.3 Equipo utilizado

- Multímetro con los medidores de continuidad, resistencia, voltaje y corriente.
- Pinzas de electricista
- Cámara termográfica
- Cinta plástica de aislar
- Desarmadores
- Pinzas para terminales
- Pinzas de puntas
- Llaves mixtas
- Terminales varias medidas



## 4.4 Normas aplicables

### 4.4.1 Norma NOM-001 SEDE para instalar paneles solares

#### 4.4.1.1 Artículo 690 de la Norma NOM-001 Sistemas Solares Fotovoltaicos [22]

##### 690-4 Instalación

b) Identificación y agrupamiento. Los circuitos de las fuentes y los circuitos fotovoltaicos de salida no deben instalarse en las mismas canalizaciones, charolas portacables, cables, cajas de salida o de empalme o accesorios similares, como conductores, alimentadores o circuitos derivados de otros sistemas no fotovoltaicos, a menos que los conductores de los distintos sistemas estén separados por una división. Los conductores de los sistemas fotovoltaicos deben estar identificados y agrupados como se requiere en (b)(1) hasta (b)(4). Los medios de identificación que se permiten son por código de colores, cinta marcadora, etiquetado, o cualquier otro medio aprobado.

- 1) Circuitos de suministro fotovoltaico. Los circuitos de suministro fotovoltaico deben estar identificados en todos los puntos de terminación, conexión o empalme.
- 2) Circuitos de salida fotovoltaica y del inversor. Los conductores de los circuitos de salida fotovoltaica, los circuitos de entrada y los de salida del inversor deben estar identificados en todos los puntos de terminación, conexión y empalme.
- 3) Conductores de sistemas múltiples. Cuando los conductores de más de un sistema fotovoltaico ocupen la misma caja de conexiones, canalización, o equipo, los conductores de cada sistema deben estar identificados en todos los puntos de terminación, conexión y empalme. Excepción: Cuando la identificación de los conductores es evidente por su espaciado o arreglo, no se requiere identificación adicional.
- 4) Agrupamiento. Cuando los conductores de más de un sistema fotovoltaico ocupen la misma caja de conexiones, o canalización con cubiertas removibles, los conductores de corriente alterna y de corriente continua de cada sistema deben ser agrupados separadamente, mediante amarres con alambre u otro medio similar, al menos una vez y luego deberán ser agrupados a intervalos no mayores de 1.80 metros.  
Excepción: Los requerimientos para agrupamiento no aplican, si los circuitos entran desde un cable o canalización única al circuito, lo que hace un agrupamiento obvio

c) Acomodo de las conexiones de módulos. Las conexiones a un módulo o panel deben estar organizadas de modo que, si se quita un módulo o panel del circuito de un suministro fotovoltaico, no se interrumpa la continuidad de ningún conductor puesto a tierra a cualquier otro circuito de fuente fotovoltaica.

d) Equipo. Los inversores, motogeneradores, módulos fotovoltaicos, tableros fotovoltaicos, módulos fotovoltaicos de corriente alterna, combinadores de circuitos de alimentación y controladores de carga, destinados para usarse en sistemas de energía fotovoltaica deben estar aprobados e identificados para esa aplicación.



e) Alambrado y conexiones. El equipo y sistemas indicados en los incisos (a) hasta (d) anteriores y todo el alambrado asociado e interconexiones deben ser instalados por personal calificado.

f) Trayectoria de circuitos. Las fuentes fotovoltaicas y los conductores de salida dentro y fuera de un tubo Conduit, y dentro de un edificio o estructura, deben tener una trayectoria a lo largo de miembros estructurales del edificio, tales como vigas, travesaños y columnas, cuando la localización de esos miembros estructurales pueda ser determinada por simple observación. Cuando los circuitos estén ocultos en el edificio, laminado o materiales de la membrana del techo, en áreas de techo no cubiertas por módulos fotovoltaicos y equipo asociado, la ubicación de los circuitos debe estar marcada claramente.

690-5. Protección contra fallas a tierra. Los arreglos fotovoltaicos de corriente continua puestos a tierra deben tener protección contra fallas a tierra de corriente continua, que cumpla con los requisitos de (a) hasta (c) siguientes para reducir los peligros de incendio.

a) Detección e interrupción de fallas a tierra. El dispositivo o sistema de protección contra fallas a tierra debe ser capaz de detectar una corriente de falla a tierra, interrumpir el flujo de la corriente de falla y suministrar una indicación de dicha falla. Se permitirá la apertura automática del conductor puesto a tierra del circuito con falla para interrumpir la trayectoria de la corriente de falla. Si un conductor puesto a tierra se abre para interrumpir la trayectoria de la corriente de falla a tierra, todos los conductores del circuito con falla se deben abrir automáticamente y simultáneamente. La operación manual del desconectador principal del circuito fotovoltaico de corriente continua no debe activar el dispositivo de protección contra fallas a tierra ni hacer que los conductores puestos a tierra se conviertan en no puestos a tierra.

b) Separación de los circuitos con falla. Los circuitos con falla se deben aislar mediante uno de los siguientes métodos:

(1) Los conductores de fase del circuito con falla se deben desconectar automáticamente.

(2) El inversor o el controlador de carga alimentado por el circuito con falla debe suspender automáticamente la alimentación a los circuitos de salida.

c) Etiquetado y marcado. Debe aparecer una etiqueta de advertencia en el inversor interactivo con el suministrador o debe colocarse cerca del indicador de falla a tierra en una ubicación visible, indicando lo siguiente:

**ADVERTENCIA**  
**PELIGRO DE DESCARGA ELECTRICA**  
**SI SE INDICA UNA FALLA A TIERRA,**  
**LOS CONDUCTORES NORMALMENTE PUESTOS A TIERRA**  
**PUEDEN ESTAR ENERGIZADOS Y NO PUESTOS A TIERRA**

Cuando el sistema fotovoltaico también tiene baterías, la misma advertencia se debe colocar en un lugar visible en las baterías.



#### 690-6 Tensión máxima

c) Circuitos de fuentes y de salida fotovoltaica. En viviendas unifamiliares y bifamiliares, se permitirá que los circuitos de fuente fotovoltaica y los circuitos de salida, que no incluyan portalámparas, contactos o accesorios, tengan una tensión máxima del sistema fotovoltaico de hasta 600 volts. Otras instalaciones con una tensión máxima del sistema fotovoltaico superior a 600 volts deben cumplir con el Artículo 690, Parte I.

#### 690-8. Dimensionamiento y corriente de los circuitos.

a) Cálculo de la corriente máxima del circuito. La corriente máxima para un circuito específico se debe calcular de acuerdo con (1) hasta (4) siguientes.

- 1) Corrientes del circuito de la fuente fotovoltaica. La corriente máxima debe ser la suma de la corriente de cortocircuito de los módulos en paralelo, multiplicado por el 125 por ciento.
- 2) Corrientes del circuito fotovoltaico de salida. La corriente máxima debe ser la suma de las corrientes máximas de los circuitos de las fuentes en paralelo, como se calcula en el inciso (1) anterior.
- 3) Corriente del circuito de salida del inversor. La corriente máxima debe ser la corriente permanente de salida del inversor.
- 4) Corriente del circuito de entrada de un inversor autónomo. La corriente máxima debe ser la corriente permanente de entrada del inversor autónomo, cuando el inversor esté produciendo su potencia nominal a la tensión más baja de entrada.

b) Ampacidad y valor nominal de los dispositivos de protección contra sobrecorriente. Se considerarán como constantes las corrientes de los sistemas fotovoltaicos.

1) Dispositivos de Sobrecorriente. Donde son requeridos, los dispositivos de sobrecorriente deben ser seleccionados como es requerido en (a) hasta (d) siguientes: Conducir no menos del 125 por ciento de la corriente máxima calculada en 690-8 (a)

#### 690-9. Protección contra sobrecorriente.

a) Circuitos y equipos. El circuito de una fuente fotovoltaica, el circuito fotovoltaico de salida, el circuito de salida del inversor y los conductores del circuito de la batería de acumuladores y los equipos, deben estar protegidos según establece el Artículo 240. Los circuitos conectados a más de una fuente de suministro eléctrico deben tener dispositivos de protección contra sobrecorriente instalados de modo que brinden esa protección desde todas las fuentes.

690-14. Disposiciones adicionales. Los medios de desconexión para las fuentes de energía fotovoltaicas deben cumplir con (a) hasta (d) siguientes.

a) Medio de desconexión. No se exigirá que el medio de desconexión sea adecuado como equipo de acometida y debe cumplir con la sección 690-17.



b) Equipo. Se permitirá instalar equipos tales como interruptores de aislamiento de fuentes fotovoltaicas, dispositivos de protección contra sobrecorriente y diodos de bloqueo, en el lado fotovoltaico del medio de desconexión.

c) Requisitos para el medio de desconexión. Se debe proveer un medio que desconecte todos los conductores de un edificio u otra estructura de los conductores del sistema fotovoltaico.

1) Ubicación. El medio de desconexión del sistema fotovoltaico se debe instalar en un lugar fácilmente accesible, bien sea en el exterior de un edificio o estructura, o en el interior, lo más cerca del punto de entrada de los conductores del sistema.

Excepción: Se permitirá que las instalaciones que cumplan con la sección 690-31(e) tengan el medio de desconexión ubicado en un lugar remoto desde el punto de entrada de los conductores del sistema. El medio de desconexión del sistema fotovoltaico no se debe instalar en baños.

2) Marcado. El medio de desconexión de cada sistema fotovoltaico debe estar marcado permanentemente para identificarlo como desconectador del sistema fotovoltaico.

3) Adecuado para el uso. El medio de desconexión de cada sistema fotovoltaico debe ser adecuado para las condiciones prevalecientes. El equipo instalado en lugares peligrosos (clasificados) debe cumplir con los requisitos de los Artículos 500 hasta 517.

4) Cantidad máxima de desconectadores. El medio de desconexión del sistema fotovoltaico debe tener no más de seis interruptores o seis interruptores automáticos montados en una sola envolvente, en un grupo de envolventes separados o dentro o sobre un tablero de distribución.

5) Agrupamiento. Los medios de desconexión del sistema fotovoltaico se deben agrupar con otros medios de desconexión para que el sistema cumpla lo estipulado en el inciso (4) anterior. No se exigirá un medio de desconexión del sistema fotovoltaico en el sitio de instalación del módulo o del arreglo fotovoltaico.

d) Inversores interactivos con el suministrador montados en lugares que no son fácilmente accesibles. Se permitirá que los inversores interactivos con el suministrador estén montados sobre techos u otras áreas exteriores que no sean fácilmente accesibles. Estas instalaciones deben cumplir las condiciones (1) hasta (4) siguientes:

(1) Se debe montar un medio de desconexión del sistema fotovoltaico de corriente continua al alcance de la vista desde el inversor o dentro de él.

(2) Se debe montar un medio de desconexión de corriente alterna al alcance de la vista desde el inversor o dentro de él.



(3) Los conductores de salida de corriente alterna provenientes del inversor y un medio adicional de desconexión de corriente alterna para el inversor deben cumplir con (c)(1) anterior.

(4) Se debe instalar una placa con leyenda de acuerdo con 705-10.

690-16. Fusibles.

- a) Medios de desconexión. Se deben instalar medios de desconexión para desconectar un fusible de todas fuentes de suministro si el fusible está energizado desde ambas direcciones. Si dicho fusible está en un circuito de fuente fotovoltaica, debe ser posible que sea desconectado independientemente de los fusibles que haya en otros circuitos de fuentes fotovoltaicas.
- b) Servicio a fusibles. Se deben instalar medios de desconexión en los circuitos fotovoltaicos de salida cuando los dispositivos de sobrecorriente (fusibles) se les debe suministrar servicio y no pueden ser aislados de circuitos energizados. Los medios de desconexión deben estar a la vista de, y accesibles a, la ubicación de los fusibles o ser integral al portafusibles y debe de cumplir con 690-17. Cuando los medios de desconexión estén localizados a más de 1.80 metros del dispositivo de sobrecorriente, se debe instalar en la ubicación del dispositivo de sobrecorriente, un directorio mostrando la ubicación de cada desconectador.

Los medios de desconexión designados para apertura sin carga deben estar marcados "No abrir con carga".

690-17. Desconectores o interruptores automáticos. El medio de desconexión para los conductores de fase debe consistir en uno o varios interruptores o interruptores automáticos operados manualmente y deben cumplir con todos los requisitos siguientes:

- (1) Estar ubicado donde sea fácilmente accesible
- (2) Ser operable desde el exterior sin que el operador se exponga al contacto con partes vivas.
- (3) Estar claramente marcado para indicar cuándo está en la posición de abierto o cerrado.
- (4) Tener una capacidad de interrupción suficiente para la tensión del circuito y para la corriente disponible en los terminales de línea de los equipos.

Cuando todos los terminales de los medios de desconexión se puedan energizar estando en la posición de abierto, se debe instalar, en el medio de desconexión o lo más cerca posible del mismo, un anuncio claramente legible que indique lo siguiente:

**ADVERTENCIA**

**PELIGRO DE DESCARGA ELECTRICA.**

**NO TOCAR LAS TERMINALES.**

**LAS TERMINALES, TANTO EN EL LADO DE LINEA COMO EN EL DE CARGA,**

**PUEDEN ESTAR ENERGIZADAS EN LA POSICION DE ABIERTO"**



Excepción: Se permitirá usar un conector como un medio de desconexión de corriente alterna o de corriente continua, siempre que cumpla con los requisitos de la sección 690-33 y esté aprobado para ese uso.

690-18. Instalación y mantenimiento de un arreglo fotovoltaico. Se debe emplear un medio de apertura o de puesta en corto circuito o un recubrimiento opaco, que permita desactivar un arreglo fotovoltaico o partes de un arreglo fotovoltaico para instalación y mantenimiento.

NOTA: Los módulos fotovoltaicos están energizados cuando están expuestos a la luz. La instalación, sustitución o mantenimiento de los componentes del arreglo fotovoltaico, mientras un módulo o módulos son irradiados, puede exponer a choque eléctrico a las personas.

690-32. Conexión de componentes. Para la interconexión en el sitio, de módulos u otros componentes del arreglo, se permitirá usar accesorios y conectores proyectados para quedar ocultos en el momento del ensamble en el sitio, si están aprobados para ese uso. Dichos accesorios y conectores deben ser iguales al método de alambrado empleado en: el aislamiento, aumento de temperatura y resistencia a las corrientes de falla y deben ser capaces de resistir las condiciones ambientales en las cuales se vayan a usar.

690-33. Clavijas o conectores. Las clavijas permitidas en 690 deben cumplir con lo indicado en los siguientes incisos:

- Configuración. Las clavijas deben ser polarizadas y tener una configuración que no sea intercambiable con contactos de otros sistemas eléctricos del edificio.
- Protección. Las clavijas deben estar construidas de forma que protejan a las personas del contacto inadvertido con partes vivas.
- Tipo. Las clavijas deben ser de tipo de enganche o de seguridad. Las clavijas que son fácilmente accesibles y se usan en circuitos que funcionan a más de 30 volts para circuitos de corriente continua o 30 volts para circuitos de corriente alterna, deben requerir de una herramienta para abrirlas.
- Elemento de puesta a tierra. El elemento de puesta a tierra de la clavija debe ser el primero en hacer contacto y el último en romperlo.
- Interrupción del circuito. Las clavijas deben cumplir con (1) o (2) siguientes:

(1) Tener capacidad para interrumpir la corriente sin peligro para el operador.

(2) Ser de un tipo que requiera del uso de una herramienta para abrirla y estar marcada con la inscripción "No desconectar con carga" o "No para interrumpir corriente".

#### F. Marcado

690-51. Módulos. Los módulos deben estar marcados en las puntas o terminales con la polaridad, la corriente nominal máxima del dispositivo de protección contra sobrecorriente del módulo y los siguientes valores:

(1) Tensión de circuito abierto.



- (2) Tensión de operación.
- (3) Tensión máxima permisible del sistema.
- (4) Corriente de operación.
- (5) Corriente de cortocircuito.
- (6) Potencia máxima.

690-52. Módulos fotovoltaicos de corriente alterna. Los módulos de corriente alterna deben estar marcados con la identificación de las puntas o terminales y los siguientes valores:

- (1) Tensión nominal de operación de corriente alterna.
- (2) Frecuencia nominal de operación de corriente alterna.
- (3) Potencia máxima de corriente alterna.
- (4) Corriente máxima de corriente alterna.
- (5) Valor nominal máximo del dispositivo de sobrecorriente para la protección del módulo de corriente alterna.

690-53. Fuente de potencia fotovoltaica de corriente continua. Se debe instalar en el medio de desconexión fotovoltaico una etiqueta permanente para la fuente de potencia fotovoltaica de corriente continua, indicando lo siguiente:

- (1) Corriente nominal en el punto de máxima potencia.
- (2) Tensión nominal en el punto de máxima potencia.
- (3) Tensión máxima del sistema.

NOTA: para (3): Véase 690-7(a) con relación a la tensión máxima del sistema fotovoltaico.

- (4) Corriente de cortocircuito.

NOTA: para (4): Véase 690-8(a) para el cálculo de la corriente máxima del circuito.

- (5) Corriente nominal máxima de salida del controlador de carga (si está instalado).

NOTA: Los sistemas reflectantes utilizados para intensificar la irradiación pueden dar como resultado incrementos en los niveles de corriente y potencia de salida.

690-54. Puntos de interconexión de sistemas interactivos. Todos los puntos de interconexión de sistemas interactivos con otras fuentes deben estar marcados en un lugar accesible en el medio de desconexión, como una fuente de energía, y con la corriente nominal de salida de corriente alterna y la tensión nominal de operación de corriente alterna.

690-55. Sistemas de potencia fotovoltaica que emplean almacenamiento de energía. Los sistemas de potencia fotovoltaica que emplean almacenamiento de energía también se deben marcar con la tensión máxima de operación, incluyendo cualquier tensión de equalización y la polaridad del conductor del circuito puesto a tierra.

690-56. Identificación de las fuentes de energía.

a) Instalaciones con sistemas autónomos. Toda estructura o edificio con un sistema de fuente fotovoltaica que no esté conectado a un suministro de la red pública y es un sistema autónomo, debe tener una placa o un directorio permanente instalado en el



exterior del edificio o la estructura, en un lugar fácilmente visible. La placa o el directorio deben indicar la ubicación del medio de desconexión del sistema, y que la estructura contiene un sistema autónomo de energía eléctrica.

b) Instalaciones con sistemas fotovoltaicos y acometida de la red pública. Los edificios o estructuras con sistemas tanto fotovoltaicos como de la red pública, deben tener una placa o un directorio permanente que indique la ubicación del medio de desconexión de la acometida y del medio de desconexión del sistema fotovoltaico, si no están ubicados en el mismo lugar.

#### **4.4.1.2 Artículo 705 de la norma NOM-001 Fuentes de Generación de Energía [28] Eléctrica Interconectada.**

Este Artículo trata de la instalación de una o más fuentes de generación de energía eléctrica que operan en paralelo con una o más fuentes primarias de electricidad.

Equipo de Producción de Energía. Es la fuente de generación de energía y todo su equipo de distribución asociada, que genera electricidad de una fuente diferente a la de la empresa suministradora.

NOTA: Pueden ser equipos de producción de energía: generadores, sistemas solares fotovoltaicos y sistemas de celdas de combustible.

705-4. Aprobación del equipo. Todo equipo debe estar aprobado para el uso proyectado. Los inversores interactivos para los sistemas interconectados deben estar aprobados e identificados para el servicio de interconexión.

705-6. Instalación de Sistemas. La instalación de una o más fuentes de producción de energía eléctrica que operen en paralelo con la fuente primaria de electricidad, deberá hacerse solamente por personas calificadas.

705-10. Directorio. En el lugar de instalación de cada equipo de acometida y de cada fuente de generación de energía eléctrica que se pueda interconectar, se debe instalar de forma permanente una placa o directorio, que indique todas las fuentes de energía eléctrica existentes sobre o dentro de los inmuebles.

Excepción: Se permite que, en las instalaciones con gran número de fuentes de generación de energía, sean designadas por grupos.

705-12. Punto de conexión. La salida de una fuente de generación de energía eléctrica interconectada se debe conectar tal como se especifica en (a), (b), (c) o (d) siguientes:

a) Lado línea. Se permitirá que una fuente de generación de energía eléctrica esté conectada en el lado fuente del medio de desconexión de la acometida, tal como se permite en 230-82 (6). La suma de las capacidades de todos los dispositivos de sobrecorriente conectados a fuentes de producción de energía no deberá rebasar la capacidad de la acometida.



b) Sistemas eléctricos integrados. Se permitirá interconectar las salidas en un punto o varios puntos en cualquier parte de los inmuebles, siempre que el sistema se califique como un sistema eléctrico integrado e incorpore equipos de protección de acuerdo con lo establecido en las secciones aplicables del Artículo 685.

c) Más de 100 kilowatts. Se permitirá interconectar las salidas en un punto o varios puntos en cualquier parte de los inmuebles, siempre que se cumplan todas las condiciones siguientes:

- (1) El total de las fuentes de electricidad que no sean de la red pública tenga una capacidad de más de 100 kilowatts o la acometida sea de más de 1000 volts.
- (2) Las condiciones de mantenimiento y supervisión de las instalaciones aseguren que sólo personas calificadas operan y dan mantenimiento al sistema.
- (3) Se establezcan y mantengan garantías, procedimientos documentados y equipos de protección personal.

d) Inversores interactivos con la empresa suministradora. Se permitirá que la salida de un inversor interactivo esté conectada en el lado carga del medio de desconexión de la acometida de la otra fuente o fuentes en cualquier equipo de distribución en el inmueble. Cuando el equipo de distribución, incluyendo los tableros de distribución, esté alimentado simultáneamente por una o varias fuentes primarias de electricidad y uno o más inversores interactivos, y cuando este equipo de distribución es capaz de alimentar múltiples circuitos derivados o alimentadores, o ambos, las disposiciones para la interconexión del inversor o inversores interactivos deben cumplir con lo indicado en (d)(1) a (d)(7) siguientes:

- 1) Desconectador y protección contra sobrecorriente dedicados. La interconexión de cada fuente se debe hacer por medio de un interruptor automático o con fusibles desconectadores dedicados.
- 2) Ampacidad del conductor o de la barra conductora. La suma de las corrientes de los dispositivos de protección contra sobrecorriente de los circuitos que alimentan una barra colectora o un conductor no debe superar el 120 por ciento de la ampacidad de la barra colectora o del conductor.

Excepción: Cuando el sistema fotovoltaico tiene un dispositivo de almacenamiento de energía para permitir la operación autónoma de cargas, el valor de la carga utilizado para el cálculo de la barra o del conductor debe ser el 125 por ciento de la corriente nominal del inversor, en lugar de la capacidad del dispositivo de sobrecorriente entre el inversor y la barra o conductor.

3) Protección contra fallas a tierra. El punto de interconexión debe estar en el lado de la fuente de todos los equipos de protección contra fallas a tierra.

Excepción: Se permitirá hacer la conexión del lado carga de la protección contra fallas a tierra, siempre que todas las fuentes de corriente de falla a tierra tengan protección contra fallas a tierra para equipos. Los dispositivos de protección contra fallas a tierra instalados con suministros conectados a las terminales del lado carga deben estar identificados y aprobados como adecuados para retroalimentación.



4) Marcado. Los equipos que tengan dispositivos de protección contra sobrecorriente en circuitos que alimentan a una barra colectora o a un conductor y que son alimentados desde varias fuentes de energía, deben estar marcados indicando la presencia de todas las fuentes.

5) Adecuado para retroalimentación. Los interruptores automáticos, si están retroalimentados, deben ser adecuados para funcionar de ese modo.

NOTA: Los interruptores automáticos que están marcados con "Línea" y "Carga" han sido evaluados únicamente en la dirección marcada. Los interruptores automáticos sin marcas de "Línea" y "Carga" han sido evaluados en ambas direcciones.

6) Sujeción. Se permitirá que, en los interruptores automáticos aprobados de tipo enchufable, con retroalimentación desde inversores interactivos aprobados e identificados como interactivos, se omita el sujetador adicional requerido por 408-36(d) para tales aplicaciones.

7) Conexión de salida del inversor. A menos que el panel de distribución tenga una capacidad no inferior a la suma de las corrientes nominales de todos los dispositivos de protección contra sobrecorriente que lo alimentan, una conexión en el panel de distribución se debe ubicar en el extremo opuesto (de carga) al lugar de entrada del alimentador o del circuito principal. La capacidad de la barra conductora o del conductor se debe determinar para las cargas conectadas de acuerdo con el Artículo 220. En sistemas con tableros de distribución conectados en serie, el valor nominal del primer dispositivo de protección contra sobrecorriente conectado directamente a la salida de uno o varios inversores se debe usar en los cálculos para todas las barras colectoras y los conductores. Debe haber una etiqueta permanente de advertencia en el equipo de distribución con la siguiente leyenda o equivalente:

**PRECAUCION**  
**CONEXION DE SALIDA DEL INVERSOR**  
**NO REUBICAR ESTE DISPOSITIVO DE PROTECCION**  
**CONTRA SOBRECORRIENTE**

705-14. Características de la salida. La salida de un generador u otra fuente de generación de energía eléctrica que opere en paralelo con un sistema de suministro de energía eléctrica debe ser compatible con la tensión eléctrica, la forma de la onda y la frecuencia del sistema al cual esté conectado.

NOTA: El término compatible no quiere decir necesariamente que la forma de onda coincida exactamente con la de la fuente primaria.

705-16. Capacidad nominal de corriente de corto circuito y de interrupción. Se debe considerar la contribución de las corrientes de falla de todas las fuentes de energía conectadas, para el cálculo de la capacidad de interrupción y de corriente de cortocircuito del equipo en sistemas interactivos.



705-20. Medios de desconexión de las fuentes. Se deben instalar medios que permitan desconectar todos los conductores no puestos a tierra de una o varias fuentes de generación de energía eléctrica de todos los demás conductores.

705-21. Medios de desconexión de los equipos. Se deben instalar medios que permitan desconectar los equipos de generación de energía, tales como inversores interactivos o transformadores asociados con una fuente de generación de energía, de todos los conductores no puestos a tierra de todas las fuentes de alimentación. Los equipos proyectados para operarse y mantenerse como parte integral de una fuente de producción de más de 1000 volts no requieren contar con este medio de desconexión.

705-22. Dispositivo de desconexión. El medio de desconexión de los conductores no puestos a tierra debe consistir en desconectores, manuales o automáticos, o interruptores automáticos, con las siguientes características:

- (1) Estar ubicados donde sean fácilmente accesibles.
- (2) Que puedan operarse desde afuera sin exponer al operador al entrar en contacto con las partes vivas, y si son de operación eléctrica, que pueda abrirse en forma manual, en caso de falla en el suministro de energía.
- (3) Tener una indicación clara cuando están en posición de abierto o cerrado.
- (4) Que tengan capacidades no-menores a la carga conectada y a la corriente eléctrica de falla que va a ser interrumpida.

NOTA para el inciso (4): En sistemas de generación en paralelo, algunos equipos, incluyendo desconectores de navajas y fusibles, pueden estar energizados desde ambas direcciones. Ver 240-40.

- (5) Desconexión simultánea de todos los conductores no puestos a tierra del circuito.
- (6) Poderse bloquear en la posición de abierto.

705-30. Protección contra sobrecorriente. Los conductores deben estar protegidos contra sobrecorriente según lo establecido en el Artículo 240. Los equipos y conductores conectados a más de una fuente de energía eléctrica deben tener un número suficiente de dispositivos de protección contra sobrecorriente, ubicados de modo que brinden protección desde todas las fuentes.

#### **4.4.2 Norma Internacional ASTM E1799 – 12 [32]**

##### **Alcance**

1.1 Esta práctica cubre procedimientos y criterios para inspecciones visuales de módulos fotovoltaicos.

1.2 Las inspecciones visuales de los módulos fotovoltaicos se realizan normalmente antes y después de que los módulos hayan sido sometidos a pruebas de estrés ambientales, eléctricas o mecánicas, como ciclos térmicos, ciclos de humedad-congelación, exposición al calor húmedo, exposición ultravioleta, carga mecánica, pruebas de impacto de granizo, exposición al aire libre u otras pruebas de estrés que pueden ser parte de la secuencia de prueba del módulo fotovoltaico.

1.3 Esta práctica no establece niveles de aprobado o reprobado. La determinación de resultados aceptables o inaceptables está más allá del alcance de esta práctica.

1.4 Esta norma no pretende abordar todos los problemas de seguridad, si los hay, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad, salud y medio ambiente y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

1.5 Esta norma internacional se desarrolló de acuerdo con los principios de normalización reconocidos internacionalmente establecidos en la Decisión sobre los principios para el desarrollo de normas, guías y recomendaciones internacionales emitida por el Comité de Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC) de la Organización Mundial del Comercio.

#### **4.4.3 Norma 29 CFR 1910.147 de OSHA [30]**

##### **1910.147(c)(1)**

Programa de control de energía. El empleador establecerá un programa que consista en procedimientos de control de energía, capacitación de empleados e inspecciones periódicas para asegurarse de que antes de que cualquier empleado realice cualquier servicio o mantenimiento en una máquina o equipo donde pueda ocurrir la energización inesperada, el arranque o la liberación de energía almacenada y causar lesiones, la máquina o equipo se aislará de la fuente de energía y quedará inoperativo.

##### **1910.147(c)(2)**

Bloqueo y etiquetado. los dispositivos de etiquetado se aplican correctamente; permanecen fijadas durante todo el período de mantenimiento y mantenimiento; y ningún empleado viola el dispositivo de etiquetado al volver a energizar la máquina o el equipo, ya sea intencional o inadvertidamente, antes de que se retiren los dispositivos de etiquetado.

## 4.5 Procedimientos

Para el siguiente plan de trabajo determinaremos un protocolo básico de puesta en servicio estándar para un sistema fotovoltaico, llevaremos a cabo una serie de pasos en los cuales se analizarán los diferentes dispositivos y se realizarán configuraciones en los componentes inteligentes. Con el propósito de evitar problemas en el sistema.

1. **Realizar la inspección de seguridad**
2. Inspeccione visualmente que las conexiones de corriente alterna y corriente directa se encuentren abiertas.
3. Verificar que los fusibles del sistema se encuentren abiertos.
4. Verificar ausencia de potencial en las conexiones de corriente alterna y corriente
5. Verificar la presencia de conexiones a la vista, de no ser el caso se recomienda usar procesos de bloqueo.



*Intervención de máquinas energizadas<sup>5</sup>*

6. **Realizar un análisis dentro del plano de instalación.**
7. Verificar que la ubicación, cantidad y especificaciones de los dispositivos sean los adecuados con respecto al plano.
8. Verificar que las protecciones de corriente y voltaje sean las establecidas en el plano.
9. Verificar que el tamaño de los conductores y material sea de acuerdo con el plano.
10. Verificar que el tamaño y tipo de conductor de corriente sea el asignado de acuerdo con el plano.

---

<sup>5</sup> *Intervención de máquinas energizadas.* (s. f.). [Fotografía]. <https://www.tuv-sud.es/es-es/prensa-es/noticias-1/intervencion-en-maquinas-energizadas-loto-eficiente>

11. Verificar que el tamaño y tipo de conductor de puesta a tierra sea el asignado de acuerdo con el plano.
12. Verificar que los equipos y conductores puestos a tierra se encuentren unidos según el plano.
- 13. Realizar una inspección en la salida del inversor y conexiones de corriente alterna.**
14. Inspeccionar que la cubierta de conexión de corriente alterna cuente con los códigos y las etiquetas de seguridad requeridas.
15. Verificar que las terminales de conexión en corriente alterna se encuentre ajustadas y etiquetadas.
16. Verificar que las conexiones de corriente alterna se encuentren cableadas según al plano.
17. Las conexiones de corriente alterna deben encontrarse ordenadas y bien conectadas.



*Inversor de corriente<sup>6</sup>*

- 18. Realizar una inspección en los componentes en el inversor.**
19. El inversor debe de estar debidamente ubicada y asegurada de acuerdo con los lineamientos requeridos por el fabricante.
20. Las terminales de corriente alterna y corriente directa deben encontrarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante, ajustadas y etiquetadas.
21. Verificar visualmente el inversor en busca de daños en él envió y que todas las puertas se abran libremente.
22. Verificar visualmente que en el interior del inversor no se encuentren conexiones sueltas o alguna avería.
23. De ser el caso, verificar que el ventilador del inversor se mueva libremente y los filtros de este se encuentren en su lugar.

---

<sup>6</sup> *Inversores solares.* (s. f.). [Fotografía]. Inversores Solares. <https://inversoresolares.net/>

24. Verificar que todas las puertas del inversor cuenten con las etiquetas de seguridad requeridas por norma.
- 25. Realizar una inspección de los componentes de la salida fotovoltaica al inversor.**
26. Revisar que las terminales de la caja de conexiones tienen el torque adecuado, los cables etiquetados y debidamente conectados.
27. Verificar que la ruta de conducto donde pasan los cables se encuentra limpia y no daña el aislamiento de los cables.
28. Verificas que las uniones de expansión se instalan según las instrucciones del fabricante y de acuerdo con el plano.
29. Verificar que los tramos de los conductos son planos, limpios, con un soporte adecuado y los accesorios del conductor están apretados
30. Verificar que la conexión de corriente continua se encuentra ordenada y conectada.
31. Verificar que la conexión de corriente continua se encuentra instalada según las instrucciones del fabricante y de seguridad.
32. Inspeccionar que las terminales de conexión de corriente continua sean ajustado y etiquetado.
33. Revisar que la cubierta de conexión de corriente continua cuente con todas las etiquetas requeridas por norma y seguridad.

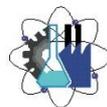


*Gestión de calidad solar fotovoltaica<sup>7</sup>*

<sup>7</sup> *Gestión de calidad solar fotovoltaica*. (s. f.). [Fotografía]. <https://www.ibts.org/energia-sostenibilidad-y-resiliencia/gestion-de-calidad-solar-fotovoltaica/?lang=es>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias  
Químicas e Ingeniería

**34. Realizar una inspección en el arreglo fotovoltaico.**

35. Verificar si el arreglo esta completo y se encuentra instalado correctamente de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
36. Verificar que las especificaciones de la ficha técnica del módulo están como en el plano.
37. Verificar que los módulos están instalados y montados de acuerdo con instrucciones del fabricante.
38. Verificar que los módulos no se encuentren dañados o desalineados.
39. Los componentes fotovoltaicos se conectaron correctamente, según las instrucciones del fabricante y están correctamente conectados.
40. El cableado fotovoltaico se encuentra correctamente aislado, sin algún punto donde el aislamiento pueda dañarse.
41. Las terminales se encuentran con el torque correcto.
42. Verificar que el arreglo cuente con las calcomanías instaladas de acuerdo con la norma.
43. Verificar mediciones de voltaje y corriente.
44. Inspeccionar las mediciones de corriente continua del arreglo fotovoltaico.



*Inspecciones y mediciones de la planta solar fotovoltaica<sup>8</sup>*

---

<sup>8</sup> *Inspección y puesta en marcha de plantas solares fotovoltaicas.* (s. f.). [Fotografía].

[https://energypedia.info/wiki/Inspecci%C3%B3n\\_y\\_Puesta\\_en\\_Marcha\\_de\\_Plantas\\_Solares\\_Fotovoltaicas](https://energypedia.info/wiki/Inspecci%C3%B3n_y_Puesta_en_Marcha_de_Plantas_Solares_Fotovoltaicas)



**45. Realizar el encendido del inversor.**

46. Cierre las desconexiones de corriente alterna del inversor y encienda el lado de corriente alterna al inversor, posteriormente registre los voltajes.
47. Cierre los portafusibles de la caja combinador y cualquier desconexión manual.
48. Confirmar el voltaje y la polaridad en corriente continua en la conexión de corriente continua y en el inversor.
49. Confirmar que la protección contra sobrecorriente de corriente alterna y corriente continua estén funcionando.
50. Cierre los conectores y verificar que el inversor prende.
51. Verificar que los voltajes de la pantalla del inversor y el voltaje en la salida del inversor.
52. Realice la prueba de rendimiento

**53. Realice una inspección en el equipo de monitoreo de ser el caso.**

54. Verificar que el equipo de monitoreo se instala de acuerdo con instrucciones del fabricante
55. Verificar que el sistema de monitoreo se encuentra en funcionamiento.

**56. Informe**

57. El informe deberá de incluir notas de la inspección completa, además de criterios que fueran requeridos para documentar, resultados de las inspecciones visuales y resultado de las mediciones tomadas en la revisión.



A continuación, se propone un formato para llevar a cabo esta prueba de inspección visual

Sistema Solar Fotovoltaico		
Lista de verificación		
Nombre del sitio		
SFV		
Fecha puesta en marcha		
Nombre del responsable		
Seguridad		Check
1	Conexiones CA y CD están abiertas	
2	Todos los fusibles están abiertos	
3	Ausencia de potencial en las conexiones de CA y CD	
4	Si las conexiones no están a la vista durante la prueba, usar LOTO	
Revisión del plano de instalación		
5	Revisar los cambios del plano que se hicieron	
6	La ubicación del equipo, numero de módulos y especificaciones de acuerdo el plano	
7	Protección de corriente y voltaje están según el plano	
8	Tamaño de los conductores y material están como en el plano	
9	Tamaño y tipo del conductor de corriente según el plano	
10	Tamaño y tipo de conductor de puesta a tierra según el plano	
11	Equipos y conductos puestos a tierra están unidos según el plano	
Salida del inversor y desconexiones de CA		
12	Todos los códigos y las etiquetas requeridas de Seguridad están en la cubierta de conexión de CA	
13	Las terminales de conexión de CA han sido ajustadas y etiquetadas	
14	La conexión de CA esta cableada según el plan	
15	La conexión de CA está bien conectada y ordenada	
Inversor		
16	El inversor está debidamente ubicado y asegurado con todos los espacios libres requeridos por el fabricante	
17	Las terminales de CA y CD están de acuerdo con las instrucciones del fabricante, ajustadas y etiquetadas	
18	Inspeccione visualmente el inversor en busca de daños en él envió y que todas las puertas se abran libremente.	
19	Inspeccione visualmente el interior del inversor y verifique si hay conexiones sueltas o daños.	

20	El ventilador del inversor se mueve libremente y los filtros están en su lugar	
21	Todas las etiquetas requeridas por norma y seguridad están en las puertas del inversor	
<b>Salida FV a Inversor</b>		
22	Las terminales de la caja de conexiones están apretadas, los cables están etiquetados y debidamente conectados	
23	La ruta del conducto donde pasan los cables está limpia y no daña el aislamiento de los cables	
24	Las uniones de expansión se instalan según las instrucciones del fabricante y según los planos	
25	Los tramos de los conductos son planos, limpios, con soporte adecuado y los accesorios del conducto están apretados.	
26	La conexión de CD está bien conectada y ordenada	
27	La conexión de CD esta cableada según las instrucciones del fabricante y de seguridad	
28	Las terminaciones de conexión de CD se han ajustado y etiquetado	
29	Todas las etiquetas requeridas de norma y seguridad están en la cubierta de conexión de CD.	
<b>Arreglo FV</b>		
30	El arreglo esta completo e instalado según las instrucciones del fabricante	
31	Las especificaciones de la ficha técnica del módulo esta como en los planos	
32	Los módulos se instalan y montan según las instrucciones del fabricante	
33	No hay módulos dañados o desalineados	
34	Los conectores FV se instalaron según las instrucciones del fabricante y están correctamente conectados	
35	El cableado FV esta correctamente instalado y no hay punto donde el aislamiento pueda dañarse.	
36	Las terminales se encuentran con el torque correcto	
37	Las calcomanías instaladas de acuerdo con la norma	
38	Mediciones de voltaje y la corriente	
39	Revise lo medido en CD del AFV	
<b>Encendido Inversor</b>		
40	Cierre las conexiones de CA del inversor y encienda el lado de CA del inversor, registre los voltajes.	
41	Encienda el inversor y haga todas las pruebas de seguridad	
42	Cierre todos los portafusibles de la caja combinador y cualquier desconexión manual	





## 4.6 Red eléctrica de interconexión

### 4.6.1 Interconexión a la red eléctrica de baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kW [31]

#### 4.6.1.1 Objetivo

Definir los requerimientos para el diseño, instalación, inspección, autorización y utilización de sistemas fotovoltaicos interconectados con la red eléctrica (SFVI) que garanticen la seguridad del personal de la CFE y de los usuarios de esta, la calidad de la energía en la red, así como la integridad física y operacional de la red eléctrica y de los propios sistemas fotovoltaicos de interconexión.

#### 4.6.1.2 Campo de aplicación

Aplica para la interconexión a la red eléctrica de baja tensión de SFV con capacidad hasta 30 KW de potencia, los cuales pueden estar instalados en viviendas individuales, inmuebles comerciales, escuelas y edificios públicos. La especificación considera únicamente SFVI que utilizan inversores estáticos de estado sólido, para la conversión de corriente directa a corriente alterna.

#### 4.6.1.3 Normas aplicables

NOM-001-SEDE-2005 Instalaciones Eléctricas (utilización).

NOM-008-SCFI-2002 Sistema General de Unidades de Medida.

IEC 61173-1992 Overvoltage Protection for Photovoltaic (PV) Power Generating Systems – Guide.



## 5 Capítulo 5. Procedimiento para el mantenimiento de un sistema fotovoltaico.

### 5.1 Introducción al capítulo

El capítulo describe tipologías necesarias para la comprensión del procedimiento de mantenimiento, tomando como apoyo prácticas internacionales como las ASTM, el presente trabajo desarrolla un plan que califica el estado de un sistema fotovoltaico y plantea un progreso con el fin de asegurar un estado de calidad continuo.

### 5.2 Características

#### 5.2.1 Tipos de mantenimiento

##### 5.2.1.1 Mantenimiento

El mantenimiento es aquella actividad que garantiza la preservación de un bien determinado con el fin de proporcionar un estado de calidad.

##### 5.2.1.2 Mantenimiento preventivo

Este tipo de proceso es programado, además de que se puede realizar con recursos que podemos encontrar en el lugar, avalando que la calidad del sistema continúe dentro de un rango de parámetros establecidos.

##### 5.2.1.3 Mantenimiento correctivo

Esta actividad es elaborada con recursos físicos con el fin de mantener un servicio de calidad continuo cuando el sistema se ve afectado a causa de una falla y está clasificada en dos ramas, mantenimiento correctivo contingente y programable.

##### 5.2.1.4 Mantenimiento predictivo

Diseña un sistema permanente de diagnósticos con el propósito de manifestar con anticipación la presencia de pérdidas de calidad en el sistema.

##### 5.2.1.5 Mantenimiento Periódico

La intención de esta actividad es proporcionar rutinas periódicas para determinar la vida útil de ciertos componentes del sistema y de ser el caso remplazarlos para asegurar la calidad de este.



## 5.2.2 Terminología

### 5.2.2.1 Aislamiento integral

Se determina a través de pruebas que determinan el aislamiento en las componentes eléctricas del módulo, este es necesario para proporcionar seguridad tanto como en el uso o servicio de este.

### 5.2.2.2 Corriente de fuga

Corriente que circula a la tierra a través del conductor de protección de tierra. El circuito eléctrico es expuesto a un voltaje de carácter exponencial en relación con las superficies externas del circuito con el fin de monitorear que la corriente no exceda los límites predeterminados.

### 5.2.2.3 Continuidad a tierra

La continuidad eléctrica entre la superficie del módulo o celda y el punto de conexión a tierra prevista en el módulo. Este procedimiento es manipulado para comprobar la continuidad eléctrica entre todos los componentes conductivos externos.

### 5.2.2.4 Resistencia de aislamiento

Resistencia eléctrica de un módulo fotovoltaico, comprobado aplicando un voltaje específico entre el panel interno de circuitos del módulo y su punto a tierra o a un punto de la estructura de montaje.

## 5.2.3 Importancia y uso

Un sistema fotovoltaico está diseñado con el propósito de suministrar la conversión segura de energía radiante solar en energía eléctrica, tomado en cuenta el peligro que puede ocasionar la exposición con las partes eléctricas del módulo. Para ello es necesario procedimientos que verifiquen la seguridad de los sistemas dentro del diseño y construcción, así como durante la instalación y en condiciones de trabajo continuo.

Los siguientes protocolos pretenden ser utilizados como una serie de pruebas que califiquen las condiciones de un sistema fotovoltaico, tomando en cuenta la exposición al medio ambiente, el esfuerzo mecánico, la sobrecarga eléctrica y las pruebas de rendimiento.

Los procedimientos de resistencia de aislamiento y aislamiento de la corriente de fuga están en puesto directo de las dimensiones de los módulos, la humedad relativa del ambiente y las condiciones de absorción del vapor de agua. La ubicación de los contactos de los cables que van en el marco del módulo a la conexión a tierra afectan el procedimiento de la conexión de continuidad a tierra. De esta manera, el usuario es responsable de que los métodos de prueba especifiquen la corriente de fuga máxima permitido en la prueba y su valor máximo de la resistencia.



## 5.3 Normas aplicables

### 5.3.1 Norma Internacional ASTM E1799 – 12 [32]

#### Alcance

1.1 Esta práctica cubre procedimientos y criterios para inspecciones visuales de módulos fotovoltaicos.

1.2 Las inspecciones visuales de los módulos fotovoltaicos se realizan normalmente antes y después de que los módulos hayan sido sometidos a pruebas de estrés ambientales, eléctricas o mecánicas, como ciclos térmicos, ciclos de humedad-congelación, exposición al calor húmedo, exposición ultravioleta, carga mecánica, pruebas de impacto de granizo, exposición al aire libre u otras pruebas de estrés que pueden ser parte de la secuencia de prueba del módulo fotovoltaico.

1.3 Esta práctica no establece niveles de aprobado o reprobado. La determinación de resultados aceptables o inaceptables está más allá del alcance de esta práctica.

1.4 Esta norma no pretende abordar todos los problemas de seguridad, si los hay, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad, salud y medio ambiente y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

1.5 Esta norma internacional se desarrolló de acuerdo con los principios de normalización reconocidos internacionalmente establecidos en la Decisión sobre los principios para el desarrollo de normas, guías y recomendaciones internacionales emitida por el Comité de Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC) de la Organización Mundial del Comercio.

### 5.3.2 Norma internacional ASTM E 1462 [33]

#### Alcance

1.1 Estos métodos de prueba cubren los procedimientos para: (1) las pruebas de fuga de corriente entre el circuito eléctrico de un módulo fotovoltaico y sus componentes externos, mientras se aplica un voltaje especificado y (2) para las pruebas por la posible avería en el aislamiento del módulo.

1.2 Un procedimiento para la medición de la resistencia de aislamiento entre el circuito eléctrico de un módulo fotovoltaico y sus componentes externos.

1.3 Se proporciona un procedimiento para verificar que exista continuidad eléctrica entre las partes externas del módulo que tienen conductividad, tales como el marco, los miembros estructurales, o el cierre de los bordes, y el punto de conexión a tierra.

1.4 Este método de prueba no establece los niveles de aprobación. La determinación de resultados aceptables o inaceptables es más allá del alcance de este método de prueba.



### **1.5 No existe una Norma ISO similares o equivalentes.**

1.6 Esta Norma no pretende abarcar todos los problemas de seguridad, si los hubiera, asociadas con su uso. Es la responsabilidad del usuario de esta norma para establecer unas adecuadas prácticas de seguridad, salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

## **5.4 Procedimiento**

A continuación, se presentará el procedimiento del programa de mantenimiento distribuida en varios puntos relacionados con las normas anteriormente mencionados en el punto 5.3. Llevaremos a cabo una serie de pasos en los cuales se analizarán los diferentes dispositivos y se realizará el mantenimiento necesario en los componentes inteligentes, con el propósito de evitar problemas y prolongar la calidad del en el sistema.

### **5.4.1 Práctica para las inspecciones visuales**

#### **Premisa para la prueba de inspección visual.**

Todas aquellas inspecciones generadas con anterioridad a cualquier prueba de esfuerzo ambiental deben documentar la condición del módulo de manera que cualquier cambio que ocurra durante las pruebas deben ser identificadas en la inspección posterior a la prueba.

- 1. Inspección visual**
- Inspeccione visualmente cada módulo del sistema con el fin de encontrar anomalías o defectos, no es necesario realizar un aumento óptico.
- Verificar si se encuentran daños en el envío
- Determinar si la instalación cuenta con mano obra defectuosa o insuficiente
- Verificar si hay defectos en las estructuras de montaje
- Identificar alguna contracción, agrietamiento, distorsión, o superficies pegajosas de materiales poliméricos en el área.
- Verificar si existen fallas en las uniones adhesivas
- Comprobar la presencia de anomalías en componentes encapsulados
- Presencia de materiales ajenos
- Verificar si la capa fotovoltaica cuenta con corrosión o vacíos
- Determinar si las estructuras mecánicas, sujetadores o componentes de circuitos eléctricos cuentan con corrosión o alguna otra rareza
- Determinar si la coloración de los materiales encapsulados cuentan con alteraciones
- Determinar si la coloración de los elementos fotovoltaicos activos cuentan con alteración
- Verificar la presencia de estructuras dañadas, defectuosas, rayadas, agrietadas en superficies externas y componentes fotovoltaicos activos



15. Determinar si los componentes de interconexión eléctrica se encuentran en mal estado, rotos, quebrados o defectuosos
16. Verificar la presencia de elementos estructurales en malas condiciones
17. Comprobar la distancia entre células o marcos del módulo, estas deben de estar juntas
18. Verificar la presencia de terminales eléctricas no unidas correctamente al módulo o a la caja de conexiones del módulo.
19. Comprobar el estado de la etiqueta de identificación, esta no debe contar con ilegibilidad, descamación o alguna otra anomalía
20. Reportar las anomalías adicionales especificadas por el personal de la practica
21. **Inspección posterior a la prueba**
22. Repetir los pasos de la prueba de inspección visual
23. Las anomalías o defectos para documentar serán aquellas que hayan cambiado considerablemente durante la prueba posterior
24. Compare los resultados de las pruebas anteriores para determinar la condición de los defectos visibles

### **Informe**

Registrar los resultados de la inspección con el fin de identificar cualquier cambio que ocurra durante las pruebas posteriores al momento de realizar cambios en la misma. El informe puede incluir cualquier tipo de combinación de las descripciones, graficas, informativas y descriptivas, cualquier anomalía o defecto analizado durante la inspección, así como documentar la ubicación de estas.





#### 5.4.2 Práctica para pruebas de aislamiento integral y continuidad

1. Ensamblar el módulo requerido en el banco de pruebas asegurándose que el módulo no se encuentre energizado.
2. Aísle los cables de salida del módulo.
3. Antes de realizar cualquier conexión eléctrica es fundamental asegurarse de que la fuente de alimentación se encuentre apagado.
4. Ensamble la fuente de alimentación a la salida del módulo.
5. Ensamble la terminal de tierra de la fuente de alimentación a la salida del módulo.
6. Determinar los componentes metálicos del módulo, si estos se encuentran separados o desconectados es necesario repetir el procedimiento para cada uno de los dispositivos.
7. Algunos componentes metálicos del módulo se encuentra con recubrimiento aislante, por ello, para que la practica sea válida es necesario ser retirado en los puntos de las conexiones.
8. Si los módulos que carecen de cualquier componente metálico exterior, la conexión de corriente de fuga se debe establecer como una superficie aislada tal como un módulo de marco no metálico. Se recomienda que el contacto sea del mismo tamaño que la superficie en la cual se están realizando las pruebas.
9. Comprobar que la tensión que se utilizara en la prueba de corriente de fuga sea el ideal, algunas ocasiones podemos encontrar cierto dato siendo especificado por el fabricante. En algunos casos, el voltaje de prueba es el doble de la tensión máxima del sistema. Para un componente cuyo voltaje máximo se encuentra en el rango de 30 volts, e incluso con una tensión menor, la tensión de prueba será de 500 volts.
10. Realice un aumento en la tensión para lograr el voltaje de prueba deseado, sin exceder una velocidad de 200 voltios por segundo.

#### Nota

Generalmente los módulos cuentan con la capacidad de crear grandes corrientes y de esta manera, la capacitancia de aislamiento se encuentra cargada, por consecuencia, el operador es responsable de considerar las condiciones y dar tiempo para que la corriente se estabilice y evite algún accidente.

11. La prueba requiere que la tensión de prueba se aplique por un minuto continuamente.
12. Es necesario registrar la corriente de fuga máxima o de ser el caso, registrar la tensión en la cual la corriente de fuga excede el punto de referencia.
13. En algunos casos la fuente de alimentación se apaga o las alarmas actúan, en efecto de que el equipo esta ajustado a un límite de corriente en función a un punto de referencia.
14. Comprobar el estado del módulo durante las pruebas, en busca de evidencias claras como un arco eléctrico.
15. Apagar la fuente de alimentación y desconecte el módulo de prueba.
16. Por último, realice una inspección con la finalidad de observar cualquier evidencia visual de daños por arco eléctrico.
17. Procedimiento B; Aislamiento, la resistencia de aislamiento



### 5.4.3 Procedimiento de aislamiento y resistencia de aislamiento

1. Ensamble el módulo de forma que el módulo no se encuentre energizado.
2. Conecte el óhmetro al módulo, tomando en cuenta que los cables de salida del módulo se encuentren desconectados
3. Compruebe la resistencia de aislamiento indicada por el óhmetro y regístrela.
4. Determinar la continuidad de la conexión a tierra
5. Determinar la corriente que se introduce través de cualquier conexión a tierra del módulo. Por lo regular y para fines prácticos, la corriente generada en este punto normalmente puede llegar a ser igual al doble de la corriente de cortocircuito del módulo.
6. Comprobar la ubicación del punto de conexión a tierra y todas las componentes conductoras del módulo.
7. Si el módulo cuenta con más de una parte conductora accesible, cada una debe ser probada por separado, repitiendo las mismas pruebas.
8. Ensamble el cable de tierra del probador de continuidad al punto de conexión a tierra del módulo identificado por el fabricante.
9. Ensamble la conexión del cable positivo del probador de continuidad a una parte accesible conductora del módulo.
10. Incremente el voltaje aplicado desde cero hasta alcanzar una corriente de dos veces la corriente de corto circuito del módulo que está pasando a través de la conexión de tierra bajo, o hasta la potencia máxima, el probador debe ser capaz de pasar dos veces la corriente de cortocircuito del módulo a través de la conexión a tierra.
11. Determinar la resistencia de la caída de tensión por medio de los cables del medidor a los puntos en que se conectó el módulo, registrar los datos obtenidos.
12. Las practicas del punto 9 al 11 tienen que ser realizadas para cada una de las partes conductoras accesibles de ser necesario.

### Informe

El presente informe debe contener obligatoriamente los elementos como: fabricante y una identificación de las muestras de la prueba completa, descripción de la construcción del módulo, características del equipo de medición utilizadas en la práctica, condiciones de medición o parámetros, especificaciones de cualquier cambio realizado debido a las pruebas, estas pueden contener materiales gráficos y fotográficos.

También debe contener los datos a registrar, producto de las practicas realizadas, así como observaciones desfavorables en el funcionamiento del módulo.



#### 5.4.4 Mantenimiento

El mantenimiento estándar de un sistema fotovoltaico puede ser mínimo, llegando ser una gran ventaja entre los sistemas de generación.

El mantenimiento lo puede realizar el usuario final de la instalación o bien, una empresa externa, autorizada y homologada por los distintos fabricantes de los equipos suministrados con el fin de no perder la garantía legal de los distintos equipos, cuando no es realizado, el rendimiento disminuye hasta un 5%.

El diseño de una cedula fotovoltaica consta de un vidrio templado muy resistente que aunado a una correcta inclinación sea un sistema eficiente y resistente, sin embargo, se tiene que considerar las condiciones ambientales a las que están expuestas, para ello es necesario llevar a cabo una limpieza y alineación correcta. Consideraremos los siguientes procedimientos para el mantenimiento.

1. Comprobar que el ángulo de alineación sea la correcta.
2. Verificar que, durante todo el día, los módulos se encuentre en contacto directo con el sol.
3. Verificar que todas las conexiones se encuentren ajustadas, limpias, sin indicios oxidación o dañados.
4. Las labores de limpieza se realizarán fuera de las horas de servicio, así se evitarán los cambios bruscos en el módulo. Es de vital importancia revisar que los módulos se encuentren libres de cualquier desecho, liquido, solido o cualquier otro generado por animales, ya que, estas causan puntos calientes.
5. Compruebe que el módulo se encuentre correctamente limpia, de no ser así debe limpiar usando una tela suave o paño que raye la superficie del módulo. Es necesario tomar en cuenta no utilizar los siguientes productos: agua con residuos, disolventes o detergentes, causar un choque de temperaturas con el agua, no utilizar agua a presión.

Es importante tener mucha precaución con los componentes eléctricos, evitando el riesgo de que se mojen. También es importante evitar que cualquier sustancia o cuerpos pesados se expongan al sistema, ya que causan daños en el mismo.



### 5.4.5 Mantenimiento al banco de baterías

También llamados acumuladores de energía solar, estos deben adquirir un mantenimiento periódicamente especificado según su diseño y especificaciones del fabricante. A continuación, se presentará un procedimiento para el mantenimiento de un banco de baterías de caja abierta.

1. Compruebe que la cubierta superior de las baterías no contengan polvo o materiales extraños, de ser necesario se debe limpiar la cubierta.
2. Comprobar el nivel de agua contenida en las baterías, de ser necesario se restablecerá el nivel de agua de estas, el nivel estándar debe de cumplir con al menos 1 centímetro por encima de las placas. Utiliza solo agua destilada
3. Comprobar el torque de las terminales de las baterías. Estas por lo general son de plomo, por lo cual es de mucha importancia mantener un buen torque y mantener las terminales lubricadas con el fin de evitar la corrosión
4. Compruebe la densidad del ácido para determinar la salud de las baterías. Este procedimiento es de vital importancia para reemplazar o cambiar las celdas.
5. Cargue hasta con 15.2 Voltios cada una de las baterías durante tres o cuatro horas, esto permite reequilibrar las celdas compensando la sulfatación en el electrolito.

Es importante considerar la producción de hidrógeno durante estos procesos, por lo que se recomienda no mantener abiertos los tapones de las baterías.

## 5.5 Equipo utilizado

- fuente de alimentación de corriente directa variable. Es recomendable sea capaz de detectar una corriente de fuga de 1 microamperio. Opcionalmente la fuente de alimentación debe tener un control para indicar el límite de la corriente de fuga y desenergizar la misma cuando la corriente de fuga alcance los límites establecidos.
- Medidor de la continuidad de la conexión a tierra; para medir la resistencia entre cualquier punto del marco que sea conductor y el punto del módulo de puesta a tierra, debe tener un mínimo de resolución de 0,01 ohm.
- Un óhmetro de alta impedancia, o dispositivo similar, capaz de medir un mínimo de 1000 Mega ohm.
- Contactos metálicos de aluminio, laminados, o de placa rígida metálica, pueden ser usados sobre las superficies de los módulos cuando carecen de un marco metálico.
- Banco de Pruebas, para sostener los módulos durante la prueba.
- Gafas de seguridad
- Casco
- Trapo o paño para limpieza
- Densímetro



## 5.6 Conclusiones

La investigación realizada es muy clara en el concepto de la importancia de la progresión de paneles solares en México, se consideraron temas que favorecen la selección y aplicación de sistemas fotovoltaicos, tipos de tecnología, tipos de arreglos, normas aplicables, funcionamiento, entre algunos datos técnicos que son de vital importancia para preservar la calidad, realizando prácticas de servicio y mantenimiento.

Es importante tener en cuenta ciertos criterios que determinen una correcta instalación a la hora de poner en servicio un sistema fotovoltaico, por consecuente recurrimos a la NOM-001 SEDE para instalar paneles solares y desarrollar un protocolo básico de puesta en servicio, en donde se planea llevar a cabo una serie de pasos para analizar los diferentes dispositivos, instalación, preparación y configuraciones correspondientes en los componentes inteligentes con el propósito de evitar problemas en el sistema y de la forma más segura. Se utilizó la Norma Internacional ASTM 1799-96 para incluir en el protocolo los discernimientos para inspecciones visuales en paneles fotovoltaicos y por último la utilización de la Norma 29 CFR 1910.147 de OSHA dentro del protocolo para establecer un control de la energía, capacitación, bloqueo y etiquetado, con el fin de evitar accidentes y realizar prácticas seguras.

También cabe destacar los criterios requeridos para determinar un procedimiento de mantenimiento que cumpla con la preservación de la calidad del servicio y el estado del sistema. Recurrimos a la Norma Internacional ASRM E1799- 12 para incluir los criterios de inspecciones visuales en paneles fotovoltaicos, así como la Norma internacional ASTM E 1462 para desarrollar pruebas que determinan el aislamiento integral, la continuidad, aislamiento y resistencia en el sistema, creando un plan sólido de mantenimiento. Uno de los puntos que favorece los sistemas fotovoltaicos es que el mantenimiento es mínimo, llegando a ser realizada por el usuario final de instalación o una empresa externa que se especialice en el mismo. Incluimos un procedimiento de mantenimiento en el banco de baterías para hacer más completo el mantenimiento.

La elaboración de instrucciones con contenido más completo requirió el uso y apoyo de normas nacionales e internacionales con el propósito de realizar una práctica segura, correcta y adecuada, así como la aplicación de la red de interconexión con el fin de cumplir de cierta manera con los requerimientos establecidos en las normas mexicanas y dentro de los parámetros establecidos para sistemas de baja potencia.



## 6 Bibliografía

- [1] Vásquez, P., & Guzmán, P. (2011). Cambio de Paradigma en el Pronóstico del Recurso Hidrológico-Influencia del Cambio Climático. *Revista Técnica «Energía»*, 7(1), 8-9. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v7.n1.2011.203>
- [2] PROMÉXICO, GIZ, & IER. (s. f.). LA INDUSTRIA SOLAR FOTOVOLTAICA Y FOTOTÉRMICA EN MÉXICO (1.a ed., Vol. 1) [Libro electrónico]. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/428621/La industria solar fv y ft en M xico-compressed.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/428621/La_industria_solar_fv_y_ft_en_Mexico-compressed.pdf)
- [3] Cabezas-Maslanczuk, M. D., Franco-Brazes, J. I., & Fasoli-Tolosa, H. J. (2018). Diseño y evaluación de un panel solar fotovoltaico y térmico para poblaciones dispersas en regiones de gran amplitud térmica. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 19(2), 209-221. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2018.19n2.018>
- [4] Publicaciones de la Sociedad Mexicana de Física, A.C. (1995a). Límites para la máxima eficiencia de celdas solares de silicio: efectos debidos a la generación Auger y a niveles profundos. *Revista Mexicana de Física* 42, 42 No3(1), 449-458. [https://rmf.smf.mx/page/rmf\\_anteriores?volume=42&issue=3](https://rmf.smf.mx/page/rmf_anteriores?volume=42&issue=3)
- [5] PV Power: PV History. (s. f.). <https://www.dcc.uchile.cl/>. Recuperado 27 de septiembre de 2020, de <https://users.dcc.uchile.cl/%7Eroseguel/historia.html>
- [6] Tipos de paneles solares. (s. f.). sostenibilidad para todos. Recuperado 10 de septiembre de 2020, de <https://www.sostenibilidad.com/energias-renovables/tipos-de-paneles-solares/>
- [7] Planas, O. (2020, 30 agosto). ¿Qué es el silicio monocristalino de los paneles fotovoltaicos? *Energía Solar*. <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/celula-fotovoltaica/silicio/silicio-monocristalino#:~:text=El%20silicio%20monocristalino%20es%20el,capacidad%20para%20absorber%20la%20radiaci%C3%B3n>.
- [8] Silicio policristalino. (2019, 3 abril). HiSoUR Arte Cultura Historia. <https://www.hisour.com/es/polycrystalline-silicon-39635/>
- [9] Paneles fotovoltaicos: Panel de Silicio Policristalino – InnovaQR. (2018, 24 abril). <https://blogs.upm.es/innovaqr/> <https://blogs.upm.es/innovaqr/asignatura/energias-renovables/paneles-fotovoltaicos-panel-de-silicio-policristalino/>
- [10] eficiencia de los paneles monocristalinos y policristalinos. (s. f.). Autosolar. Recuperado 11 de septiembre de 2020, de <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/que-diferencias-de-costoy-rentabilidad-existen-entre-los-paneles-solares-monocristalinos-y-policristalinos>
- [11] Panel de silicio amorfo. – InnovaQR. (2018, 8 mayo). <https://blogs.upm.es/innovaqr/> . <https://blogs.upm.es/innovaqr/asignatura/energias-renovables/panel-de-silicio-amorfo/>
- [12] Forschungsverbund Berlin e.V.. "Newly Discovered Properties Of Certain Crystals Could Impact The Miniaturization Of Electronic Devices." *ScienceDaily* 28 December 2007.
- [13] Universidad de Illinois Urban-Champaign, & Ahlberg, L. (2010, 19 mayo). La técnica de fabricación de semiconductores es prometedora para la energía solar. <https://illinois.edu/index.html>. <https://news.illinois.edu/news/10/0519gallium.html>



- [14] Alta Devices establece el récord de eficiencia de células solares de arseniuro de galio. (2018, 15 diciembre). El periódico de la energía. <https://elperiodicodelaenergia.com/alta-devices-establece-el-record-de-eficiencia-de-celulas-solares-de-arseniuro-de-galio-en-el-291/>
- [15] Teluro de cadmio. (2019, 3 abril). HiSoUR Arte Cultura Historia. <https://www.hisour.com/es/cadmium-telluride-39637/>
- [16] Cadmium Telluride Solar Cells. (s. f.). Photovoltaic Research | NREL. Recuperado 11 de septiembre de 2020, de <https://www.nrel.gov/pv/cadmium-telluride-solar-cells.html>
- [17] El teluro de cadmio amenaza el reinado del silicio en la fabricación de módulos solares. (s. f.). el periódico de la energía. Recuperado 11 de septiembre de 2020, de <https://elperiodicodelaenergia.com/el-teluro-de-cadmio-amenaza-el-reinado-del-silicio-en-la-fabricacion-de-modulos-solares/>
- [18] Células solares de cobre y seleniuro de indio y cobre. (2019, 3 abril). HiSoUR Arte Cultura Historia. <https://www.hisour.com/es/copper-indium-gallium-selenide-solar-cells39668/#:%7E:text=Una%20c%C3%A9lula%20solar%20de%20cobre,de%20vidrio%20o%20pl%C3%A1stico%2C%20junto>
- [19] Fotovoltaica - Tecnología CIGS para nuevas células solares - Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias. (2012, 29 mayo). Tecnología CIGS para nuevas células solares. Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias. <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/tecnologia-cigs-para-nuevas-celulas-solares>
- [20] Paneles fotovoltaicos: paneles de células tándem. – InnovaQR. (2018, 2 mayo). <https://blogs.upm.es/innovagr/> <https://blogs.upm.es/innovagr/asignatura/energias-renovables/paneles-fotovoltaicos-paneles-de-celulas-tandem/>
- [21] Weaver, J. (2018, 13 agosto). El 32 % de las células solares en tándem seguirán siendo competitivas incluso si su precio triplica el de las convencionales. pv magazine Latin America. <https://www.pv-magazine-latam.com/2018/08/13/el-32-de-las-celulas-solares-en-tandem-seguiran-siendo-competitivas-incluso-si-su-precio-triplica-el-de-las-convencionales/>
- [22] Artículo 690 Sistemas solares Fotovoltaicos. Diario oficial de la federación. NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas, Disposiciones generales.
- [23] Celda solar de película delgada. (2019, 10 mayo). HiSoUR Arte Cultura Historia. <https://www.hisour.com/es/thin-film-solar-cell-39519/>
- [24] Lat. Am. J. Phys. Educ. (2013, 16 enero). Repositorio Digital IPN: BANDAS DE ENERGIA, ORIGEN Y CONSECUENCIAS. Instituto Politécnico Nacional. <https://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/10741>
- [25] PERPIÑÁN LAMIGUEIRO, O. S. C. A. R. (s. f.). ENERGÍA SOLAR Fotovoltaica (Versión 1.9 Enero de 2018 ed.) [Libro electrónico]. <https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>
- (Unión p-n iluminada)
  - (funcionamiento de una célula solar)
  - (Sistema fotovoltaico de conexión a red)
  - (Inversor DC/AC)
  - (Sistema fotovoltaico autónomo)
  - (Módulo fotovoltaico)



- [26] E. Collado. “Energía Solar Fotovoltaica, competitividad y evaluación económica, comparativa y modelos”. Tesis doct. UNED, 2009.
- [27] S. Chapman y J. Rose. Freeing the grid. Inf. téc. The Vote Solar Initiative, 2011. <http://www.newenergychoices.org/uploads/FreeingTheGrid2011.pdf>.
- [28] Artículo 705 Sistemas solares Fotovoltaicos. Diario oficial de la federación. NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas, Disposiciones generales.
- [29] Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. 2017 ASTM E1799-96 Standard Practice for Visual Inspections of Photovoltaic Modules
- [30] Control de energía peligrosa (Candado/Etiqueta) (Control of Energía Peligrosa [Cierre/etiquetado]), Título 29 del Código de Reglamentos Federales (Code of Federal Regulations - CFR) Parte 1910.147
- [31] Sub dirección de Distribución CFE. (2008). *INTERCONEXIÓN A LA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CON CAPACIDAD HASTA 30 kW* [Libro electrónico]. <https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/f/G0100-04.pdf>
- [32] ASTM E1799-12, Práctica estándar para inspecciones visuales de módulos fotovoltaicos, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [33] ASTM E1462-00, Métodos de prueba estándar para la integridad del aislamiento y la continuidad de la trayectoria a tierra de los módulos fotovoltaicos, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2000, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- [34] *La terminología de los circuitos (artículo)*. (s. f.). Khan Academy. Recuperado 1 de noviembre de 2020, de <https://es.khanacademy.org/science/electrical-engineering/ee-circuit-analysis-topic/circuit-elements/a/ee-circuit-terminology>
- [35] Miguel, M. V. (2010). Instalaciones solares fotovoltaicas 2a edición. Ediciones Paraninfo, S.A.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias  
Químicas e Ingeniería

## FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS e INGENIERÍA

Programas educativos de calidad reconocidos por CIEES, CACEI y CONACYT  
SGI certificado en la norma ISO 9001:2015 e ISO 21001:2018

FORMA T-4  
NOMBRAMIENTO COMITÉ REVISOR

Cuernavaca, Mor., a 20 de febrero de 2023

**DR. LUIS CISNEROS VILLALOBOS**  
**DR. MARIO LIMÓN MENDOZA**  
**DR. JOSÉ GERARDO VERA DIMAS**  
**MTRO. JAVIER MACEDONIO ANDRÉS**  
**MTRO. FRANCISCO JAVIER BECERRA GONZÁLEZ**  
**P R E S E N T E**

Me permito comunicarles que han sido designados integrantes del **COMITÉ REVISOR** del trabajo de Tesis Titulado:

### **PRUEBAS DE PUESTA EN SERVICIO Y MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA DE PANEL SOLAR.**

Que presenta (el) o (la) **C. JORGE ELISEO BAEZ APARICIO**, del programa educativo de **INGENIERÍA ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA.**

*A T E N T A M E N T E*  
*Por una humanidad culta*

**DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ**  
**DIRECTORA**

Se anexa firma electrónica

### **D I C T A M E N**

**DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ**  
**DIRECTORA DE LA FCQeI**  
**P R E S E N T E**

En respuesta a su amable solicitud para emitir DICTÁMEN sobre el trabajo que se menciona, me permito informarle que nuestro voto es:

VOTO	NOMBRE	FIRMA
	<b>DR. LUIS CISNEROS VILLALOBOS</b>	
	<b>DR. MARIO LIMÓN MENDOZA</b>	
	<b>DR. JOSÉ GERARDO VERA DIMAS</b>	
	<b>MTRO. JAVIER MACEDONIO ANDRÉS</b>	
	<b>MTRO. FRANCISCO JAVIER BECERRA GONZÁLEZ</b>	

**El voto del comité es aprobatorio, se anexan firmas electrónicas**

VALH/rjbg

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**VIRIDIANA AYDEE LEON HERNANDEZ** | Fecha:2023-02-22 09:22:13 | Firmante

ZhiVvs/BRfBOZiLFPL6JOyFUbnNZc1LGdOFdz/hQDD+EEq78W/7irBhICd3PIIEQw1Ry0IZpOz3tSPHPSo/gQEU/bFigaXI7Q/WB0r7SXATDUGbjDxtTUvb775wE53Q5niKpCXcCtW1+7OosFTabLKpBcCczIK0qfdh0QsSZo9hSWPtdFbxHTqnGoOFws/C5/gdDf5PHqk2KCyByVeQDPqUHisXOloc6L0ttquZVUeOsMlcm8483JmAtrOTq18iEOJ3wMIS52q/AZXseJlihmHwvPrLaLyI/sezut1gpMnkAFvhpeaW/u3WmpnkJ/4P24VSZdRqiFJB/2RSEEB7yQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[CRXzh09fH](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/W0bqlbc4C8XnZ7fxinRdzmUBTHspnXzX>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

FRANCISCO JAVIER BECERRA GONZALEZ | Fecha:2023-02-27 13:31:16 | Firmante

5SxOzfrPxcXew1SF8Ncc0kPPrc1wgYzvTDe1rIH4IODN+maJEVguJbCarFD5Iax0t5557TRibXt+gyL7u+GI8rjZ5OAugSpHG1La76J+uLBGRJZINOUcnpqE1nakYaEn9pFV4ZEqjb8iGEbJR1ZTuZT56wMFz14Rq90SDOqg5Erb3GgvxW9+jwK0F/4wbyEnP2kV+23jVXBdrHv5bRBuSNJbJhqk/idMUkujKswwKxJB/G3wOM717HJ5fVvdbxUU3EzvAT+bMJ/XFt/Hz zWLi2hzDa3wr8xD7sGiRXwQ4hkvZ1JIHDGZnR74vXtIuc/B4O7O9IzpZh0OeMfaDlw==

MARIO LIMON MENDOZA | Fecha:2023-02-28 09:43:24 | Firmante

XUarJLRt54wu9YUAZIEEn8TiiEAVIDGAMpdZOFdxa0MymypOP/3Xib8UNQSC/7mFwfvnhtg2G+OlvtC6Bwtn17NfSue3CcYqsBanqdz5Lv0eOLkHPehtiBi2mEwwSIGul1I9qk61GTGJs9hojllca3/Rv4+aMdnaBfJI5uEHDpE7bZhtORWK/M3CwmkjDXRcOC4p3yOQy8DvVH7dJ4ZSxtSIzYG+YwN8YSVCS8Mayc1TjTj5uwQsICJubLslqrDNkjzfwarmN6wwLhcoRducjrOdEb4u/vKmn04pUuZCgqt4WmtXuhHifhUhErBOIO9LU6gt3dWP2wV7Q97dgdUew==

LUIS CISNEROS VILLALOBOS | Fecha:2023-02-28 14:50:04 | Firmante

FUXotQgvdUVMrob5mmTPQLQboscAG44yNRv0/sP+GijW0UyusCemRmJYmNuLGKJ+6kPkKeIM2HLS+MKkgDCdtgUwEWt0j7Lw1azfARFewmUAdN/TV6MzG/YckhJdemrfWrtX+Rph5gHQV6u0ugJPG6Dr3xRvETrm2hr3TfmvOMHOyRzlyS7aMZCrcqxBu06d7+y5us6qcBfuFhrI8xQlcOhVnW3wQdZmDY997j4113lLKe0o6t8VdlDrO4CTynK+Ktqh2Hws3RoaYv2CXI5AT5lyt/KNzhj8/pncb8E1fATsjQQA VbSxLHxgFuuZ5uqLRdCYxzsNyBkDteW3j2g==

JOSE GERARDO VERA DIMAS | Fecha:2023-03-03 09:35:13 | Firmante

SYvJtU1Yf9OdWv7rRcfRHZ1Cokbg6gfYk2o5DlmpJoPpKpdIvfcSx4q31cq+d0Kxx4Zsl1fyeBpYDxa4yzi1UOsXdqvDmmvS6X6H35JIKC5AkZocGg/UFdT6/V47NOskMmaFuTKNhsVzTRiWQQi/9PbP57LoSTKwYDGVWfmsL27gtgNYpdVnLY032YUj8knyOIRcF63n4Z9WoxM6MQ4sVP4HA1rDu7o1aMujrSF3IqZel1e3jbartdegeqndb6JWhv01d9TJXczIVLFCy11+shFwuprUTC.JiS4WZesKKOKnd41rbvRLJg72ITrmCEwbHvENMSum11WoWUrNMeMya4A==

JAVIER MACEDONIO ANDRES | Fecha:2023-03-08 12:57:14 | Firmante

eqhGAZQXPez+YsktcWdDi50orm0bh0PLBldR+g/Nct35gybRXLHYzYmVkvZcmT4P7+PY7H8JQq+DRjqF21PZSQzL1p9dlGkSrBryZIGZGPHa3HI4LZpuvm/LplArOnPcoiH/9zUPRMRAREjCC5uFJZUZexdcROPFuzOzht8Z0i1yL5/EwEZbxfhYxDf0UG55V.JasE9X841j9g5Hjv6belvGrbQlLuYj920FYIVdt56xIFAlYidd+FSLX1PNpu1Qoq1GV5tqt1/0+L3vhVOQz8oKRmkAfkraZyL0uV4paxZmqAukC1Scj6X10xqual3kntdLd0uyTSbvXu1tDSHlp4w==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



ozJufbhM3

https://efirma.uaem.mx/noRepudio/DoBKpRYNwWRvb1pDLLunDCCoYwhiAJa0

