

Análisis de eficiencia y degradación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica

Pedro Gonzalez, Fernando Jurado, David Granados y Francisco Ortiz
Depto. De Ingeniería Electromecánica, Maestría en Ingeniería Eléctrica
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato
Irapuato Gto, Mexico
fejurado@itesi.edu.mx

Abstract— The great number of installations of photovoltaic systems interconnected to the electric grid motivates the present investigation to analyze the factors that directly or indirectly affect its efficiency and aging. At present it is accessible and relatively easy to buy a photovoltaic system interconnected to the electricity grid. On some cases, they are not following applicable regulations on photovoltaic systems or those corresponding to electrical installations. For this reason, tests and calculation methods are analyzed to know the efficiency of a photovoltaic system in relation to its performance. If the applicable standards are not followed, the generation expectations may be affected or, in the worst case, the service life of the installation may be reduced.

Keyword— Aging, efficiency, degradation, photovoltaic, Systems interconnected to the network.

Resumen— La gran cantidad de instalaciones de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica motiva a la presente investigación para analizar los factores que afectan directa o indirectamente su eficiencia y envejecimiento. En la actualidad es accesible y relativamente fácil comprar un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica. En algunas ocasiones sin seguir las normas aplicables sobre sistemas fotovoltaicos o las correspondientes a instalaciones eléctricas. Por tal razón se analizan pruebas y métodos de cálculo para conocer la eficiencia de un sistema fotovoltaico en relación a su rendimiento. De no seguir las normas aplicables se pueden ver afectadas las expectativas de generación eléctrica o en el peor de los casos verse reducida la vida útil de la instalación.

Palabras claves— Envejecimiento, eficiencia, degradación, fotovoltaico, Sistemas interconectados

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la implementación de Sistemas Fotovoltaicos está en auge debido al aumento de los precios unitarios de la energía eléctrica, tales aumentos aceleran el retorno de inversión. Por lo tanto se vuelve más importante tener una referencia sobre los factores internos y externos que afectan tanto la eficiencia como el envejecimiento del sistema fotovoltaico entre los cuales destacan condiciones geográficas del lugar de instalación, calidad de los equipos utilizados y diseño de la instalación eléctrica. En la presente investigación se muestra la metodología para evaluar el rendimiento del sistema fotovoltaico interconectado a la red, se analiza si la eficiencia se verá disminuida o en el peor de los casos se corre el riesgo de falla temprana.

Los módulos fotovoltaicos (MFV) transforman la energía en forma de radiación solar a energía eléctrica de corriente continua, pero, para realizar la interconexión a la red se requiere pasar a corriente alterna mediante un inversor. El desarrollo de los elementos del sistema, el proceso de conversión de corriente continua a alterna, las condiciones ambientales y características propias del lugar de la instalación afectan directamente en la eficiencia y el envejecimiento de sistema fotovoltaico.

Cabe destacar que, durante un día soleado en el MFV, el voltaje generado es estable, sin embargo, la corriente no trasciende en el mismo sentido, ya que depende directamente del nivel de radiación solar. Derivando en una baja generación de energía eléctrica por las mañanas y en las tardes.

Existen diferentes tipos de Sistemas Fotovoltaicos (SFV). Sistemas Fotovoltaicos Aislados (SFVA), Sistemas Fotovoltaicos Interconectados (SFVI) y mixtos (SFVM). En los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica en México, en su mayoría, no se incluyen bancos de baterías para reducir los costos de inversión inicial, además de tener los beneficios de la interconexión y tipos de diferentes tipos medición de la energía generada.

A. Sistemas Fotovoltaicos autónomos

Los SFVA no están conectados con la red eléctrica, estos tienen la cualidad de abastecer por sí mismos cualquier equipo eléctrico adaptado a estos. Los SFVA son comúnmente utilizados en zonas marginadas o con difícil acceso para la red eléctrica.

Así como también es posible en los SFVA, almacenar la energía generada en acumuladores (Bancos de baterías) para una posterior aplicación o continuidad de la energía eléctrica en horarios que no existe radiación solar.

B. Sistemas fotovoltaicos interconectados a la red

En esta modalidad de generación de energía eléctrica, los MFV están conectados a un inversor, el inversor al centro de carga y este a la red local de energía eléctrica, así asegurando que en todo momento se tenga energía disponible para su inmediato uso. Además, existen modalidades de medición en las que se puede enviar a la red para disminuir el importe de la facturación tomando el principio de medición neta. La medición neta consiste en el registro de la energía consumida menos el registro de energía generada igual a diferencia facturable o acumulada. Es importante mencionar que la energía registrada en el medidor del suministrador como generada, es la energía que no fue consumida en el centro de carga del usuario y fue aportada a la red. Por lo tanto, si se tiene un medidor de energía eléctrica en el inversor y se compara con el medidor del suministrador no coincidirán.

I. CELDA FOTOVOLTAICA

Las celdas fotovoltaicas (CF) son la parte principal de un módulo fotovoltaico, las CF convierten de energía en forma de radiación electromagnética en energía eléctrica. Una vez que esta radiación hace contacto con el material semiconductor, éste la transforma en energía eléctrica en forma de corriente continua para poder ser utilizada de inmediato.

La manera correcta del funcionamiento de una celda fotovoltaica es relativamente simple, por medio del Efecto Fotovoltaico (EF). Un punto importante que se puede resaltar es que para que el EF se haga presente se necesita un material semiconductor.

A. Efecto fotovoltaico

El principio mediante el cual se desempeñan las celdas fotovoltaicas. Por definición es un proceso en el cual, al incidir la radiación electromagnética proveniente del sol a un material semiconductor, en dos diferentes puntos de este material se genera una diferencia de potencial por lo tanto generando voltaje.

Sin embargo, para la existencia del Efecto es necesaria la presencia del Efecto fotoeléctrico, pero no recíprocamente a sabiendas del efecto fotoeléctrico se refiere a la liberación de electrones de un material al incidir sobre él radiación electromagnética.

Es conocido que en la obtención de voltaje mediante un semiconductor debe haber una diferencia de potencial. Para lograr esto es necesario el uso de un semiconductor extrínseco tipo P y de un semiconductor extrínseco tipo N, al unirlos se conforman creando tipo PN.

En la unión de los semiconductores y a su exposición a la radiación electromagnética que inciden por la zona N, la energía proveniente de los fotones se transmite a los electrones liberándolos, creando así el

efecto fotoeléctrico, además esto hará que la carga negativa aumente en la zona N, así como la diferencia de potencial entre la zona N y P, esto quiere decir que cuanto más energía solar o radiación electromagnética se tenga, más diferencia de potencial habrá, tal como se muestra en la Figura 1. Colocando una carga o resistencia entre la zona P y N.

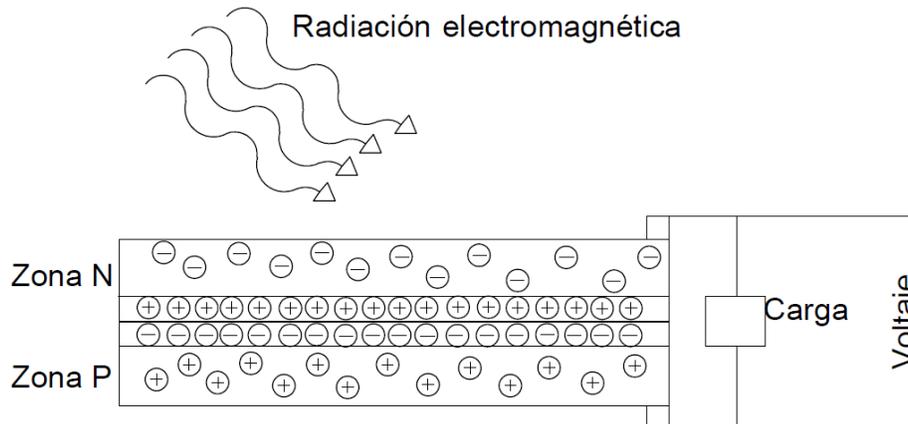


Figura 1. Diagrama de interpretación del módulo fotovoltaico

Teniendo la liberación de electrones y la diferencia de potencial, uniendo los dos semiconductores tipo P y tipo N por medio de un conductor sin resistencia, los electrones que son liberados y circularán de la zona N a la P, a esta circulación de electrones se le conoce como corriente de cortocircuito.

En el área de la producción de energía eléctrica, se utilizan las CF cada una de ellas es capaz de generar una corriente de 0.2 a 0.4 A, con un voltaje de 0.46 a 0.48 V, las cuales son fabricadas de silicio cristalino o arseniuro de galio y su funcionamiento está basado en el EF.

Las CF están conectadas en circuitos en serie para aumentar el voltaje y en paralelo para aumentar la corriente y formar un módulo fotovoltaico.

A la conexión de módulos fotovoltaicos en serie se le llama cadena o circuito. A la conexión de varias cadenas en paralelo se les llama arreglos.

II. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Es interesante mencionar que existen paneles o módulos solares que su función es calentar agua, pero, en el presente caso de estudio cuando se mencione panel o módulo se refiere a panel fotovoltaico o módulo fotovoltaico. Los MFV son capaces de admitir tanto radiación directa como difusa. Los MFV en general son dispositivos a los cuales se les da el uso de generar energía eléctrica, debido al aprovechamiento de la energía luminosa que el sol brinda a la Tierra.

Algunas de las aplicaciones de los MFV son:

- Estaciones repetidoras de microondas
- Para electrificación de áreas remotas, médicas rurales
- Señalamientos carreteros y ferroviarios

Aplicaciones en navegación marítima
Sistemas de bombeo, riego, agua potable en zonas rurales
Balizamiento para control y señales en aeronáutica
Sistemas de protección catódica
Sistemas de desalinización
Sistemas de video vigilancia
Sistemas de telecomunicaciones
Casas de campo

En México los SFVI asumen un papel importante como medida de reducción de importes en la facturación de energía eléctrica. En México existen diferentes tarifas dependiendo del uso, nivel de tensión y demanda a contratar, Cada tarifa maneja diferentes costos de la energía eléctrica. Por ejemplo, algunos sectores en los que es rentable la instalación de SFVI son servicios destinados para bombeo de agua en el ramo agrícola, residencial de alto consumo y en el comercial de baja tensión.

III. EFICIENCIA DE LOS PANELES SOLARES

La eficiencia en los paneles solares está mayormente basada en la capacidad de conversión de energía luminosa a energía eléctrica, pero ésta puede ser determinada gracias a una teoría desarrollada por *Schockley* y *Queisser*, llamada “teoría de balance”; la cual, dice que la corriente producida por una celda fotovoltaica es determinada por la diferencia del número de fotones que son absorbidos entre el número de fotones que son emitidos por el panel.

Debido gracias a la teoría de balances se puede determinar cuál es la eficiencia máxima posible que se puede esperar para un MFV de silicio, ya sea silicio monocristalino (mono-Si) o silicio policristalino (poli-Si). Dicha eficiencia es de 30 a 31%, esto cuando es una radiación solar de AM 1.5. Además de los dos tipos de células mencionadas, en los subtemas procedentes se muestran los diversos tipos de células que existen.

A. Células (mono-Si y poli-Si) “lámina sólida”

En la actualidad en los paneles fotovoltaicos se busca que sean lo más eficientes y económicos posibles, sobre todo a los paneles de silicio (mono-Si o poli-Si) ya que tiene un alto grado de ventas en el mercado. Es por eso que cada vez se está acercando la eficiencia del MFV de silicio al 30-31%. La eficiencia que se tiene hasta el día de hoy en los paneles de silicio es del 24% a una radiación solar de AM 1.5. Además, estas células pueden proporcionar aproximadamente 0.5 V y con una corriente de 35 mA/cm².

En relación de términos de rendimiento (eficiencia y costos) entre un MFV de silicio monocristalino y policristalino es muy pequeña, lo que varían regularmente es la disponibilidad y la alta demanda o reputación del fabricante. Dicha diferencia aumenta a medida que aumenta la temperatura en el MFV.

B. Células de lámina fina o capa fina

Existe una tecnología en paneles fotovoltaicos muy distinta a los paneles de silicio, esta tecnología hace referencia a los paneles solares de capa fina (paneles solares de segunda generación, células de capa delgada), estos paneles son: *CdTe* (Teluro de Cadmio), *a-Si* (Silicio amorfo) la forma no cristalina del silicio y *CIGS (CU(InGa)Se₂)*, tienen la excelente ventaja de que no necesita de mucho material para lograr su fabricación, además tienen muy buena absorción de radiación electromagnética.

C. Células CdTe

Este tipo de células ha tenido en los últimos años un alto nivel de competencia en términos de costo, una buena eficiencia y procesos de fabricación. Los últimos modelos y los paneles de lámina fina CdTe más comerciales pueden alcanzar hasta en 12.6% de eficiencia de conversión.

D. Células CIGS

Como se mencionó previamente, en la categoría de paneles de lámina fina también entra este tipo de células; las CIGS. En lo particular, este tipo de células ha sido la que más avances ha tenido en los últimos años en comparación a los otros tipos de células de láminas finas, su avance ha sido tan grande que su eficiencia de conversión es la más cercana al de poli-Si que cualquier otro tipo de célula con una eficiencia de conversión en el laboratorio del 19.8% casi a finales del 2014.

E. Células multiunión

La célula multiunión es denominada una de las mejores, más eficiente, con una eficiencia de conversión de 40,7% bajo luz concentrada. Este tipo de células hoy en día son utilizadas como plantas generadoras conectadas a la red, las células multiunión anteriormente se utilizaban en el espacio por las diferentes compañías de satélites, estas células están hechas por la unión de varios materiales de células construidas monolíticamente.

IV. EFICIENCIA DE LAS DIFERENTES CELDAS FOTOVOLTAICAS A TRAVÉS DE LOS AÑOS

A continuación, se muestra de manera resumida las eficiencias de los diferentes tipos de células fotovoltaicas hasta el año 2015. Cabe mencionar que existen dos diferentes áreas para los paneles fotovoltaicos; las células de laboratorio y células de uso comercial.

Las células de laboratorio son básicamente prototipos de experimentación basadas en el mejoramiento y corrección de posibles fallas contando con una eficiencia de conversión alta en relación a las células comerciales. Derivado de la calidad de los elementos utilizados para su desarrollo.

A diferencia de las células de laboratorio, las células comerciales son aquellas que se encuentran en el mercado.

La eficiencia de conversión de células hechas en laboratorio son las siguientes:

24% para células mono-Si

20.4% para células de Si policristalinas

19.8% para células CIGS

19.6% para células CdTe

La eficiencia de conversión de células en los últimos 10 años de uso comercial es:

12- 16% para células de silicio

9-13% para células CdTe

A continuación, en la Figura 2 (fuente *National Renewable Energy Laboratory*, NRE), se muestra la evolución de la eficiencia de conversión energía de las celdas fotovoltaicas en los últimos 45 años. En dicha figura se muestra una gráfica que demuestra la capacidad de los diferentes laboratorios que se encuentran en competencia por lograr la mejor eficiencia, derivado de que algunos laboratorios, han logrado eficiencias de conversión del 45%.

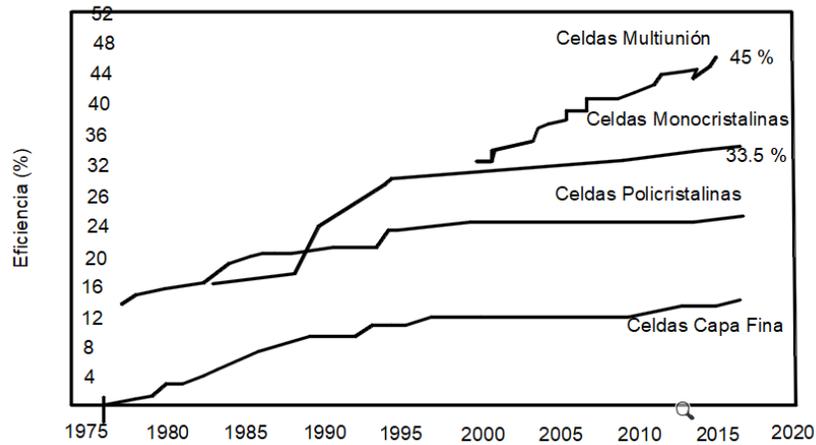


Figura 2 Evolución de la eficiencia de células Fotovoltaicas.

A medida que la tecnología avanza, la eficiencia también lo hará y como se mencionó anteriormente un logro que se recalca mucho entre los diversos laboratorios, es la eficiencia del 45% de las células fotovoltaicas multiunion en el presente año 2018.

La celda que le sigue a la celda multiunion en cuanto la eficiencia, son las células de silicio. Los laboratorios apuestan mucho para este tipo de células, las cuales cuentan con una eficiencia de conversión teórica máxima del 33.7%. Pero para que esto se logre aún faltan algunos años.

A. Paneles fotovoltaicos

Existen numerosos tipos diferentes de paneles fotovoltaicos, pero los tres tipos más comunes, los culés ya se han mencionado anteriormente, son:

- Paneles solares monocristalinos,
- Paneles solares policristalinos
- Paneles solares de lámina fina.

En la Figura 3, se muestra gráficamente una muestra de los tipos de paneles antes mencionados, así como también el panel de celda cuasi-mono cristalina.

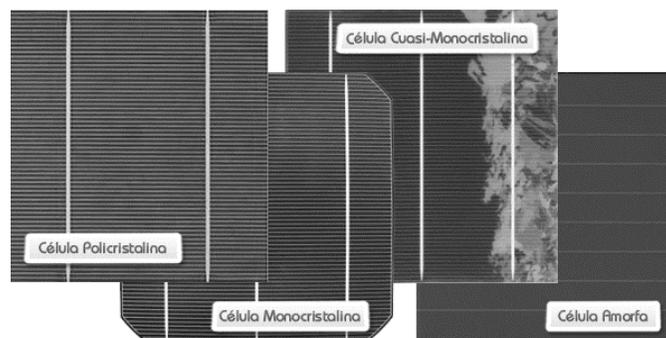


Figura 3 Muestra de paneles según tipo de estructura.

V. TIPOS DE CONFIGURACIONES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE ACUERDO A INVERSOR

A. Sistema Fotovoltaico con un solo inversor

Este arreglo se utiliza en instalaciones pequeñas considerando módulos idénticos y que se encuentren en la misma ubicación.

El inversor regula su funcionamiento a través del Seguidor de máxima potencia, considerando los parámetros promedio de las cadenas conectadas al inversor, considerando que todas las cadenas se conectan a un solo inversor, el sombreado o falla de una cadena provoca una reducción de la eficiencia del sistema FV.

B. Sistema Fotovoltaico con inversor por cadena

En instalación de tamaño medio es considerable instalar inversores por cadena para garantizar la confiabilidad y continuidad de generación eléctrica del sistema FV evitando el sombreado parcial y la exposición de arreglos en diferentes ubicaciones.

C. Sistema fotovoltaico con microinversor

Este tipo de inversor se utiliza para conexión de un solo módulo o hasta cuatro en sus modelos más recientes. Es de menor tamaño y fácil integración. Permite el escalamiento de sistemas fotovoltaicos de cualquier tamaño sin tener el problema de sombreado o exposición solar de diferente intensidad. Se monitorea cada inversor y si alguno presenta falla o sombreado solamente deja de producir ese módulo o esa sección, permitiendo la continuidad del sistema entero no pierde la cadena completa. Tiene el inconveniente del costo económico en instalaciones mayores a 3 kW; considerando que el bus de interconexión de los paneles se realiza en corriente alterna, por lo tanto, se debe considerar la caída de voltaje en distancias mayores a 50 metros en el diseño de los circuitos alimentadores y no perder eficiencia.

VI. CÁLCULO DE EFICIENCIA EN PANELES FOTOVOLTAICOS

Como es de esperar, la eficiencia juega un papel muy importante para poder seleccionar un panel fotovoltaico, para dejar en claro los tres factores que rigen o que afecta para que un panel produzca energía son: el tamaño, la eficiencia como ya se mencionó y la cantidad de radiación electromagnética que incide sobre él.

La eficiencia de un MFV se define por la cantidad de potencia que se obtiene del mismo, en otras palabras, cuanta cantidad de energía solar que incide sobre el panel es convertida en energía eléctrica. Por ejemplo; si un panel solar recibe el 100% de luz solar y cuenta con una eficiencia de 20%, ese porcentaje es la cantidad de energía eléctrica producida y el restante, es decir el 80%, simplemente no se convierte en energía, sino que se adhiere al sistema, debido a la ley de la conservación de la energía, la cual se muestra en la Ecuación 1, más claramente se puede decir que el 80% se refiere a Q.

$$\Delta U = Q + W \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde:

ΔU = Cambio de energía interna

Q = Calor adherido al sistema

W = Calor que procesa el sistema

La cantidad de calor que es procesada o aprovechada por las celdas fotovoltaicas es expresada en W/m².

A. Dependencia de la eficiencia del panel fotovoltaico

El tamaño del panel y temperatura del ambiente: El tamaño de panel se refiere al área despejada que debe tener para que nada se interfiera entre los rayos solares y el panel, la temperatura en condiciones normales de un panel fotovoltaico es de 25°C. Si la temperatura es más alta puede cambiar las características nominales dependiendo del tipo de célula seleccionado.

La calidad de las células: Algunas células no tienen la capacidad de recibir la luz solar adecuadamente, esto debido a una mala fabricación.

Área despejada en la superficie del panel: El área debe de estar libre de sombras para que el aprovechamiento del panel sea el esperado, además, sombreados parciales en la superficie del panel puede causar puntos calientes o fallas por arco. Con alto riesgo de incendio.

Irradiancia: La cantidad de radiación solar que es impactada en la superficie del panel, la irradiación se mide en (kWh/m²). Es la energía recibida en un área determinada.

Tensión del panel en el punto máximo de potencia (V_{mp}): Punto de intersección con la corriente del punto máximo de potencia (I_{mp}), el valor siempre es menor al voltaje de circuito abierto Voc.

Corriente del panel en el punto máximo de potencia (I_{mp}): Punto de intersección con la máxima tensión de voltaje (V_{mp}), donde su valor siempre será menor que la corriente de corto circuito (I_{sc}).

Máxima tensión en circuito abierto (Voc): Es el momento donde la resistencia es infinitamente alta y no hay corriente debido a que el circuito está incompleto, además el módulo no está conectado a ninguna carga.

Corriente de corto circuito (I_{sc}): Es el punto donde el módulo produce la corriente máxima ya que no hay resistencia en el circuito.

Estos puntos anteriores, juegan un papel importante además de la dependencia de eficiencia del panel, sobre todo los últimos cuatro variables que sirven para determinar la eficiencia por medio de cálculos, como se muestra más adelante.

A continuación, se muestra en la Figura 4, la curva de I-V, la cual representa la salida de energía de una célula fotovoltaica. Esta es una manera gráfica de ver la eficiencia en sus condiciones normales, al decir condiciones normales, se refiere a lo siguiente:

Irradiancia de 1,000 Watts por metro cuadrado

Temperatura de la célula fotovoltaica de 25°C

Rayos incidiendo perpendicularmente a los paneles

Espectro de luz solar a una masa de aire (MA) igual a 1.5

Es importante mencionar que no todos los equipos están en esas condiciones.

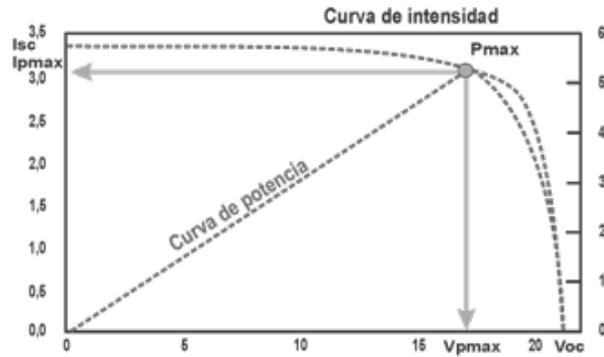


Figura 4 Curva de intensidad de corriente y tensión eléctrica

En la figura 4 se pueden observar los valores máximos de operación y los resultados en corto circuito, los parámetros que se presentan en la curva son (Imp), (Vmp), (Voc), (Isc), (MPP) máxima potencia de energía del sistema fotovoltaico, que se refiere a el punto donde se encuentran (Vmp) con (Imp) y al multiplicarse resulta (MPP).

B. Factor forma (FF)

El factor de forma es un dato para poder determinar la eficiencia del panel. Se refiere a “la relación entre la potencia máxima teórica y a la potencia real, medido en el momento solar “, enseguida se muestra la Ecuación 2, para determinar el factor de forma.

$$FF = (Vmp \times Imp) / (Voc \times Isc) \tag{Ec. (2)}$$

Los expertos en el tema han determinado este dato de manera “constante” y siempre menor a la unidad, esto para dos clases de células cristalinas y amorfas.

A continuación, se muestran los rangos de valores.

0.70 a 0.85 esto para células cristalinas

0.50 a 0.70 para células amorfas

C. Eficiencia del panel

La Ecuación 3, que se presenta a continuación sirve para determinar la eficiencia.

$$\eta = (FF \times Voc \times Isc) / (G \times Area) \tag{Ec. (3)}$$

La variable “G” se refiere a la irradiancia que recibe la célula, la cual tiene un valor de 1,000 W/m², técnicamente la irradiancia que el sol emite a la tierra es de 1,350 W/ m², pero ésta es disminuida al pasar a través de la atmósfera a la superficie terrestre y el “Área” se refiere a las dimensiones de la superficie de la célula fotovoltaica en m²

En forma resumida, la potencia máxima o potencia pico está directamente relacionada con la eficacia de las células y para calcular la eficiencia se necesitan los siguientes parámetros:

- Factor de forma (FF)
- Tensión en circuito abierto
- Intensidad de cortocircuito

VII. FACTORES PARA DETERMINAR SI UN PANEL FOTOVOLTAICO ES EFICIENTE

Como se ha mencionado, la medición de la cantidad de luz solar que un sistema de fotovoltaico es capaz de convertir en energía eléctrica; es un parámetro llamado eficiencia. La eficiencia siempre se mide en porcentajes, el sol produce un 100% de energía, pero usualmente los paneles fotovoltaicos solamente son capaces de procesar de un 15-22% del total de la que ofrece el sol en energía usable.

De igual manera, la prueba en condiciones estándar o (STC) por sus siglas en inglés, dentro de la prueba estándar se dice que a una temperatura de 25°C y una irradiancia de 1,000 W/m², esto es equivalente a un día soleado con una luz incidente calurosa. Bajo las condiciones del STC, la eficiencia promedio del MFV es de 15% el m², el área superficial produce 150 Watts.

Además de las pruebas estándar a los paneles fotovoltaicos, existe otra prueba más extensa, la cual se hace bajo condiciones extremas. Las pruebas bajo condiciones extremas se realizan para poder dar una mayor seguridad al cliente de que el panel resistirá bajo cualquier circunstancia. Estas pruebas previenen una baja calidad de los paneles que están siendo vendidos en el mercado, además de que las empresas que manufacturan los paneles deben probar que los módulos fotovoltaicos tienen una alta durabilidad térmica y una alta eficiencia térmica.

En algunos casos, las pruebas ya están automatizadas, por lo que las pruebas se realizan de manera rápida. Las pruebas bajo condiciones extremas que se realizan son las siguientes.

A. Prueba contra el viento

Según las predicciones, una de las principales causas que provocan daños a los MFV es el viento. Es por eso que, durante la manufacturación del panel, se realizan pruebas extensivas dentro de un túnel de viento para así lograr decrecer el daño a los paneles.

B. Pruebas contra granizo

Las pruebas contra granizo consisten en dejar caer sobre el MFV, granizo artificial a una velocidad de 20 a 30 m/s. Por esto los MFV permanecen sin daños a la caída de granizo a esas velocidades

C. Prueba contra la nieve

Una capa de nieve puede ser demasiado pesada para los MFV. De tal forma que los paneles fotovoltaicos dejan de trabajar cuando se acumula más de 5cm de nieve en la superficie del MFV y por ende la eficiencia del panel se reduce al 0%.

D. Prueba contra el hielo

Capas de hielo pueden crecer en la superficie del MFV cuando el panel no está recubierto con silicio. Las capas de hielo pueden disminuir potencialmente la eficiencia del MFV hasta un 0%.

E. Prueba contra residuos químicos

La eficiencia del MFV se reduce un 0.2% cuando el panel está cubierto de una capa de residuos químicos que van creciendo.

F. Pruebas contra la degradación debido a los rayos ultravioleta (UV)

La estructura del panel solar puede ser deslaminado por los rayos UV, otra consecuencia puede ser la decoloración individual de las células fotovoltaicas.

G. Prueba de la resistencia de los aisladores

La resistencia del aislador está determinada por la dureza del material. En materiales diluidos, la corriente de fuga puede ocurrir en la orilla del MFV.

H. Prueba del ciclo térmico

El ciclo térmico puede causar que los componentes del panel fallen. Entre los componentes que fallan están las, interconexiones, soldadura y los módulos de conexión.

VIII. PRUEBAS REALIZADAS A INVERSORES

Para tener una referencia de eficiencia de los inversores se realizan pruebas para corroborar su calidad y pueda soportar las condiciones de operación en las normas aplicables. Las cuales se describen brevemente a continuación.

A. Prueba de sincronización a la red

En esta prueba se determina la frecuencia fundamental de la red 50 o 60 Hz. Para el caso de México es 60 Hz.

B. Prueba de variación de voltaje

En esta prueba el inversor se debe desconectar de la red local en el caso de variaciones mayores a 15% o menores de 15%.

C. Prueba de protección anti-isla

En esta prueba se detecta la ausencia de la tensión de la red para evitar la alimentación a la red en caso de falla de la red y evitar un accidente a empleados de la empresa suministradora.

D. Prueba de retardo a la desconexión

En esta prueba se realiza un retardo de conexión a la red de 3 minutos en el caso de interrupción de energía eléctrica. Para evitar daños por interrupciones repetidas en cortos periodos de tiempo.

E. Eficiencia de un inversor

Eficiencia para probar la eficiencia de un inversor existen varios métodos:

- Curva genérica de eficiencia en la cual es característica de cada inversor y se relaciona el porcentaje de eficiencia pico y potencia de salida de acuerdo a su carga.
- Eficiencia Europea. Es determinada al operar el inversor a diferentes potencias de salida. Con este método se caracteriza a diferentes niveles de potencia de salida a lo largo del día.
- Comisión de Energía de California (CEC). La eficiencia es determinada, de manera similar al método europeo. Pero difiere en los coeficientes usados en la formula.

Las formulas son:

$$\eta_{Eu} = 0.03\eta_{5\%} + 0.06\eta_{10\%} + 0.13\eta_{20\%} + 0.10\eta_{30\%} + 0.48\eta_{50\%} + 0.20\eta_{100\%} \quad \text{Ec. (4)}$$

$$\eta_{CES} = 0.04\eta_{10\%} + 0.05\eta_{20\%} + 0.12\eta_{30\%} + 0.21\eta_{50\%} + 0.53\eta_{75\%} + 0.05\eta_{100\%} \quad \text{Ec. (5)}$$

Estos métodos deben ser requeridos cuando se habla de especificaciones del inversor. Tal como lo menciona (Mark Fedkin, Jhon A. Dutton en [14])

IX. FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA TOTAL DEL SFVI DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

A medida que la tecnología empleada en los sistemas fotovoltaicos avanza exitosamente, se vio la necesidad de realizar investigaciones para poder determinar los factores que afectan a los diferentes elementos del SFVI, también afectan indirectamente a su eficiencia. Los factores son clasificados en propios o externos y enseguida se da más información de estos factores.

A. Factores propios

El MFV cuenta con factores propios, los cuales pueden llegar a afectar su funcionamiento. Dichas fallas pueden ser por la temperatura de funcionamiento del panel y efectos de reflexión y suciedad.

Eficiencia y calidad de componentes

Paneles. Por tipo de tecnología, calidad de los materiales.

Inversor. Por principio de funcionamiento. Calidad de componentes y manufactura.

Cableado. Por inadecuado e inestable diseño eléctrico. Calidad de manufactura

Temperatura de diseño de óptimo funcionamiento

Como se sabe, un panel recibe un cierto porcentaje de radiación solar pero solo una parte se convierte en energía y la sobrante se convierte en calor, ese calor es el que causa daños al panel deteriorándolo o incluso hacer que su eficiencia se reduzca, debido a que se produce una saturación de corriente. Los paneles manejan una tolerancia de 3 % la potencia pico.

1) Efecto de reflexión

Las pérdidas por reflexión se producen en el vidrio o polímero, debido a la diferencia que existe en los índices de refracción, por esta razón la reflexión provoca una caída en la eficiencia. Las empresas que producen los paneles cuentan con diferentes técnicas para evitar esto; una de las técnicas es aplicar una capa anti reflejante, la otra es colocar una película anti reflexión y superhidrofoba. Pérdidas de eficiencia de hasta 3 %.

B. Factores externos

Estos factores se refieren a las diferentes situaciones que se pueden presentar en un MFV, pero por causas externas, aunque por suerte casi todas estas causas se pueden prevenir, (con excepción a los cambios climáticos) ya que, por otra parte, el ángulo de inclinación y el sombreado si se pueden prevenir.

1) Variaciones en el clima

Estas variaciones hacen referencia a la radiación solar y a la temperatura del ambiente. Cuando se presentan cambios climáticos muy drásticos que afectan al panel haciendo que su generación sea menor o en otras palabras una variación de su punto máximo de potencia, generan una variación en la curva de “corriente-tensión”.

Existen varias técnicas para asegurarse que panel siempre esté en el punto máximo de potencia, estas técnicas se presentan a continuación.

Hill climbing (HC)

Logaritmo de perturbación y observación (P&O)

Logaritmo de conductancia incremental (INC)

Redes neuronales

Algoritmos genéticos (GA)

Controladores difusos (FC)

Otro aspecto importante a tomar en cuenta es la temperatura promedio al año específica del lugar de instalación. También es observable que la eficiencia se ve reducida en días nublados hasta un 25%.

2) *Suciedad*

La acumulación de sarros o polvos en ambientes con alta contaminación también disminuye la eficiencia. Este factor se ve afectado por la periodicidad del mantenimiento y las condiciones específicas del lugar. Este parámetro reduce desde un 5% hasta un 15% en condiciones extremas.

3) *Ángulo de inclinación*

El ángulo de inclinación debe ser óptimo, es decir que el panel esté situado perpendicularmente en la dirección de los rayos solares. Y esto resulta un problema debido ya que la mayoría de los paneles son estáticos. Se aceptan una tolerancia de más menos 5° la latitud de la ubicación del lugar de instalación. Si es colocado en forma horizontal al plano de debe considerar una pérdida menor a 10%.

Actualmente para lograr que el sol siempre esté perpendicular al panel, se utilizan paneles fotovoltaicos con seguidores bidireccionales de alta precisión y así poder recaudar la mayor cantidad de radiación solar durante el día.

4) *Sombras en la superficie del MFV.*

Los objetos o cuerpos que se interponen entre el MFV y la luz solar causan grandes problemas, debido a que se crea una sombra y eso quiere decir que el panel no será capaz de aprovechar al máximo la luz solar. Las sombras pueden ser parciales o totales sobre el MFV. Las sombras también pueden causar daños graves a los paneles, sobre todo a los componentes del sistema fotovoltaico, pero actualmente ya existe una forma para evitar los daños en los paneles provocados por sombras. Para esto se utilizan diodos de bloqueo. Pérdida de eficiencia de 3 % a 100% cuando los diodos de bloqueo ejercen su función.

5) *Sombras no calculadas o construcción de edificios posterior a instalación del SF.*

Es posible que algunas celdas del módulo, o cadenas de módulos conectados en serie sean sombreadas parcial o totalmente. Provocando que las células se comporten como diodo, afectando toda la cadena en serie convirtiéndose en carga para el sistema. Además de causar puntos calientes que dependiendo de su magnitud y frecuencia pueden causar un evento catastrófico como un incendio. Para ello es necesario colocar diodos de bloqueo en las cajas de conexiones o cajas de combinación para cada cadena en serie de módulos. Pérdida de eficiencia de 3 % a 100% cuando los diodos de bloqueo ejercen su función dependiendo de la configuración puede dejar fuera una cadena completa.

6) *Configuración de Conexión.*

Uso de Inversor central o micro-inversor. Conexiones con corriente o voltaje mayor al nominal del inversor. De acuerdo al punto anterior de sombreado el inversor tipo central deja fuera toda una cadena, mientras que el micro inversor permite el funcionamiento de toda la instalación dejando fuera solamente el panel sombreado. Por lo tanto para una configuración con inversor central su eficiencia puede disminuir de un 20% a 100%. En cambio la configuración de microinversor sería de 1% a 30%.

7) *Deficiencia en selección de protecciones de sobre corriente.*

La mala selección de capacidad equipos de protección para sobre corriente provoca paros constantes del sistema dejando de generar energía. Y en caso de no contar con un sistema de monitoreo el sistema no será restablecido. La eficiencia se ve comprometida de 30% a 100%.

8) *Bobinas en conexión de circuito alimentador de corriente directa.*

La formación de bobinas crea corrientes parásitas que se traducen como pérdidas y aún más si son realizadas utilizando la estructura de soporte como núcleo. A mayor distancia y cantidad de conductores de corriente disminuye su eficiencia debido al aumento de temperatura y pérdidas por calor. Pérdida de eficiencia de 3 a 8 %.

9) *Saturación de tubería o canalización de cables alimentadores.*

La saturación de cables alimentadores en tuberías para canalización más allá de lo permitido en las normas aplicables, provoca calentamiento en los conductores que se traducen en pérdidas por efecto Joule. La pérdida de eficiencia dependerá los calibres y distancias desde un 3% hasta un 30%.

X. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA DEGRADACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.

Los equipos utilizados en la instalación de sistemas fotovoltaicos tienen un promedio de vida indicado por los fabricantes, los cuales se deben cumplir bajo ciertas condiciones de uso.

Las instalaciones fotovoltaicas deben tener una vida útil de mínimo veinte años, pero, se han encontrado instalaciones con menos de cinco años con problemas. Tal situación provoca controversia entre las tres principales partes que involucran la instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica, con el usuario final, la empresa integradora y el suministrador de energía eléctrica. Debido a que no se ve reflejada la disminución de la facturación y de generación de energía eléctrica.

A continuación, se mencionan algunos factores que intervienen en el proceso.

A. *Instalación eléctrica*

La instalación eléctrica se compone de centros de carga, cajas de conexiones, circuito alimentador de corriente directa, circuito alimentador de corriente alterna, protecciones de sobre voltaje, sobre corriente, sistema de puesta a tierra, tubería y accesorios. De acuerdo a los estudios realizados en las instalaciones fotovoltaicas estudiadas que no siguieron con la normatividad aplicable, específicamente en lo referente a instalaciones eléctricas se encontraron con bajo rendimiento o fallas que interrumpían el funcionamiento adecuado. A continuación se mencionan las causas más comunes y la reducción de su vida útil en porcentaje.

B. *Componentes de baja calidad.*

La implementación de componentes de baja calidad o componentes eléctricos que no cumplen normas aplicables representa hasta un 70% de reducción de su vida útil.

C. *Circuitos alimentadores*

Cuando se utilizan cables con aislamiento no diseñado para intemperie o cuando no se toma en cuenta la ampacidad o la caída de voltaje, el aislamiento se ve afectado en sus propiedades mecánicas y dieléctricas. Disminuyendo hasta un 60% su vida útil y una posible falla total.

D. *Cajas de Conexiones o centros de carga.*

La baja hermeticidad en cajas de combinaciones, que permiten la entrada de humedad, polvo o fauna a centros de carga puede provocar desde la acumulación de polvo hasta la entrada de fauna

y ocasionar un corto circuito con consecuencias catastróficas para la instalación. De un 2% hasta un 100%.

E. Sistemas de Puesta a Tierra.

Estructuras y sistema de puesta a tierra. Se debe tener cuidado en la utilización de accesorios para el sistema de puesta a tierra para evitar el par galvánico. Se deben utilizar conectores de puesta a tierra de cobre estañado y colocar un aditivo a la corrosión de base en silicón líquido o en aerosol. También la selección de estructuras de soporte para los paneles deben ser las adecuadas para uso a la intemperie, deben ser de aluminio anodizado o una estructura de acero al carbón con capas de pintura. Se debe evitar el contacto de estructuras de acero al carbón con marcos de aluminio. Su vida útil pone en riesgo la referencia de voltaje y la seguridad de la instalación. En un caso extremo puede llegar a un 100%.

F. Falta de diodos de bloqueo.

Carencia de elementos de protección contra corrientes de retorno, los mencionados diodos de bloqueo. Esta condición reduce la vida útil de los equipos de 30% hasta 100% debido a que se puede provocar puntos calientes o una falla por arqueo. Desencadenando en un incendio.

G. Uso adecuado a nivel de tensión y tipo de corriente

Utilizar componentes no adecuados al nivel de tensión, reduce la vida útil de los equipos hasta 100%. Se debe tener cuidado de elegir los componentes de acuerdo al voltaje máximo que pueden soportar de acuerdo a su diseño para mantener la integridad de los componentes y de los seres vivos que puedan llegar a tener contacto con la instalación. Como puede ser el caso de equipos de corriente alterna utilizados en corriente directa o viceversa.

H. Calidad de la energía propia del punto de conexión a la red.

De acuerdo a las características propias de la red eléctrica en su configuración de media y baja tensión y las cargas conectadas se presentarán fenómenos que afectan al sistema fotovoltaico como variaciones de voltaje, armónicas, variaciones de la frecuencia, interrupciones frecuentes, eventos atmosféricos sobretensiones. Las condiciones de la red eléctrica pueden llegar a afectar el sistema hasta un 30% su vida útil.

En la Tabla 1 se muestran los valores promedio de vida útil en un sistema fotovoltaico interconectado a la red.

Tabla 1. Vida útil de los principales elementos en un SFVI.

Elemento del sistema Fotovoltaico	Vida útil promedio
Circuito alimentador de corriente directa	20 años
Circuito alimentador de corriente alterna	20 años
Estructura de soporte y fijación	20 años
Inversor	10 años
Módulo FV	20 años
Protecciones de sobre corriente y sobre voltaje	20 años
Sistema de puesta a tierra	20 años
Tubería	20 años

Los valores indicados en la tabla 1 se pueden ver afectados al ser utilizados en condiciones diferentes a las que se diseñaron, causando un deterioro anticipado. El envejecimiento acelerado de los sistemas

fotovoltaicos trae como consecuencia una pérdida de los beneficios energéticos y económicos proyectados. Además de generar mala impresión por uso de esta tecnología.

XI. MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

Existen algunos consejos otorgados por las compañías que manufacturan los paneles para que el sistema fotovoltaico funcione en óptimas condiciones, así como para lograr un buen rendimiento y una buena durabilidad; tales consejos se refieren a la orientación e instalación, al mantenimiento incluyendo limpieza y el prevenir impactos de altas temperaturas.

A. Orientación e instalación.

Los paneles fotovoltaicos deben instalarse para recibir tanta luz solar como sea posible durante el día. La posición y el ángulo de donde se colocará el panel, son probablemente los detalles más importantes por considerar cuando se instala una matriz solar. Pero si se desea aprovechar al máximo la luz solar, entonces se debe instalar un MFV con seguidores de sol. Esto mejorará considerablemente la eficiencia en los paneles, ya que permiten que la matriz solar cambie automáticamente su posición de tal forma que el panel siempre esté perpendicular con respecto al sol. Deben orientarse en dirección al ecuador dependiendo de su ubicación en los hemisferios.

B. Mantenimiento incluyendo limpieza

Si se acumula mucha suciedad o nieve en los paneles fotovoltaicos, la eficiencia disminuirá y los circuitos estarán expuestos a daños adicionales. Si no se realiza un mantenimiento y una limpieza regulares, puede ocurrir una falla completa del sistema solar.

C. Prevenir impactos de altas temperaturas

Durante los meses de verano, los altos niveles de temperatura disminuirán el rendimiento del sistema solar. Si se dejan pocos centímetros de espacio entre los módulos fotovoltaicos y el techo o la tierra, el aire puede moverse libremente y evitar que el calor excesivo afecte la eficiencia de los paneles.

D. Ventilación y enfriamiento del inversor

Es importante considerar la adecuada ventilación del inversor para mejorar la eficiencia y prolongar la vida útil del equipo la cual es en promedio de 10 años, dependiendo de la marca y calidad.

XII. PANELES FOTOVOLTAICOS EN EL 2018

Existen competencias masivas en el mercado de los paneles fotovoltaicos, entre estos destacan dos gigantes del mercado tales como China e India, además de que son los países más contaminadores del mundo, También son dos de los grandes líderes en el desarrollo del aprovechamiento de la energía solar. Esta gran competitividad dará lugar a precios más bajos para paneles fotovoltaicos y soluciones de almacenamiento más eficientes.

A. Eficiencias de los diferentes paneles que existen en el mercado actual

Un punto importante para seleccionar el MFV es la eficiencia, pero se debe saber cómo realizar una comparativa entre todas las marcas que existen en el mercado.

Como ya se mencionó anteriormente, el MFV con más eficiencia producirá más energía eléctrica que otro MFV producido de otros materiales, pero con las mismas dimensiones dará una eficiencia menor.

La competencia que existe en el mercado de los paneles fotovoltaicos se toma como prioridad la eficiencia, ya que muchas personas e industrias consideran a la eficiencia como el criterio más importante y también como punto para determinar la calidad del MFV, en pocas palabras, la eficiencia

del MFV se considerará la habilidad del MFV de convertir energía a un bajo costo y a un alto nivel de generación de energía, debido a que los MFV más eficientes tienen un alto costo y por otra parte los que son menos eficientes tienen un menor costo. Dependerá del consumidor si es que desea generar más energía eléctrica, debido a que el aumento de la producción de electricidad significa que debe comprar menos energía del servicio público.

B. Paneles fotovoltaicos con mejor eficiencia que existen en el mercado de los tipos: Monocristalino, policristalino y de lámina fina, en el 2018.

Como se mencionó anteriormente, estos tres tipos de MFV son de los más comerciales y como se verá a continuación, existen varios pros y contras de cada tipo de MFV.

1) Paneles monocristalinos

Este tipo de paneles se caracteriza en el mercado por ser el más eficiente de todos, esto es debido a que los paneles monocristalinos de silicio, son los paneles fotovoltaicos más viejos que se han desarrollado y además estos paneles han tenido un alto desarrollo tecnológico a lo largo de los años. Este tipo de paneles son manufacturados usando el método Czochralsky, creando cada módulo a partir de un solo cristal de silicio puro.

Estos tipos de paneles son utilizados normalmente en comercios o residencias, también son usados en sistemas de paneles fotovoltaicos chicos, por ejemplo, se pueden usar para cargar celulares, cámaras digitales, laptops, etc., A continuación, en la Figura 5, se muestra un MFV monocristalino.

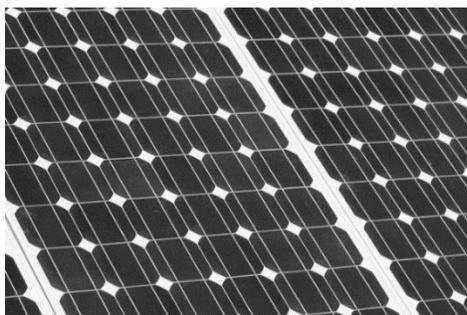


Figura 5 MFV Monocristalino

2) Ventajas de los paneles fotovoltaicos monocristalinos

Este tipo de paneles pueden durar hasta más de 25 años de operación, debido a su alta pureza de silicio, el cual es muy estable e inerte.

No le afectan mucho las altas temperaturas, a comparación del policristalino y lamina fina, esto también es debido al silicio.

Tiene una eficiencia del 15 al 22%

No requiere tanto espacio en su instalación

3) Desventajas de los paneles fotovoltaicos monocristalinos

El costo de estos paneles es muy elevado en comparación a los otros dos tipos de paneles.

Estos paneles son muy frágiles, por eso no es recomendado utilizar este tipo de paneles en zonas donde abunda la nieve.

C. Principales marcas en el mercado, que producen paneles monocristalinos.

1) SunPower.

Esta marca produce los paneles fotovoltaicos monocristalinos más grandes del mundo, esta empresa produce paneles fotovoltaicos de 22.2% de eficiencia y con una alta durabilidad, los paneles son llamados SunPower 22 360W.

2) LG

La marca de paneles LG, le sigue muy de cerca a la marca SunPower teniendo una eficiencia de 21.1%., el MFV NeON R 365W.

3) Panasonic

Esta marca realiza sus paneles de una manera muy peculiar, los paneles son hechos de silicio cristalino y silicio amorfo, teniendo una eficiencia del 19.7%, en su Panasonic N 330W.

D. Paneles policristalinos

Este tipo de paneles se caracterizan por tener el mejor precio en el mercado, pero su eficiencia es mala, está hecha de una numerosa cantidad de cristales de silicio unidos entre sí, es por esto que su eficacia es menor a los paneles monocristalinos. Este tipo de paneles pueden ser reconocidos a simple vista por el color azul de sus celdas, tal como se muestra en la Figura 6.

El rango de capacidad de generación de ese tipo de MFV es de 5W a 250W e incluso más, debido a que su precio es muy bajo en comparación del monocristalino y el de capa fina. Este tipo de paneles los adquieren aquellas personas que no desean invertir mucho dinero en paneles fotovoltaicos pero que aun así ellos tengan buenos beneficios de eso, usualmente se usan en residencias y en comercios.



Figura 6 MFV policristalino

1) Ventajas de los paneles policristalinos

Su manufactura es simple, esto los hace más rentables que los paneles policristalinos.

Debido al gran desarrollo tecnológico que se tiene en este tipo de paneles, su durabilidad es de 25 años. Es muy similar a los paneles monocristalinos.

2) Desventajas de los paneles fotovoltaicos policristalinos

Requiere mucho espacio para producir la misma cantidad de energía eléctrica, que se tendría con solamente un MFV monocristalino.

Debido a que estos paneles contienen una menor cantidad de silicio puro, su eficiencia es baja y ronda entre los 13 y 17%.

E. Principales marcas en el mercado, que producen paneles policristalinos

1) TrinaSolar

TrinaSolar es una empresa China, la cual se enfoca en la calidad y el funcionamiento de sus paneles, el MFV más versátil que tiene esta empresa es el ALLMAX-PD05.08 280W, este MFV cuenta con una eficiencia de 17.1%, tiene una gran durabilidad y un mejor balance del sistema de componentes.

2) YingliSolar

Esta empresa se enfoca en la construcción de grandes plantas generadoras de energía eléctrica por medio de sus paneles fotovoltaicos, cuentan con un MFV cuya eficiencia es de 16%.

F. Paneles capa fina

Estos tipos de paneles no están hechos de silicio, de tal forma que su eficiencia no es alta, el uso de este tipo de paneles es muy interesante ya que estos paneles están hechos para situaciones donde no se requiere mucha energía eléctrica pero que sí se requiere mucha flexibilidad y portabilidad. De tal forma que el plus de este tipo de paneles es que son portables y tienen un peso muy ligero, estos paneles están hechos de materiales de la más última generación.

El peso de estos paneles fotovoltaicos es de 10-oz /m² (3.05151727 kg / m²), pueden ser instalados en superficies donde no se soporte mucho peso, un MFV de lámina fina es como el que se muestra en la siguiente Figura 7.



Figura 7 MFV de capa fina

1) Ventajas de los paneles de capa fina

Es mucho más barato que los paneles cristalinicos, además de que su proceso de fabricación es muy fácil.

Su funcionamiento no se ve tan afectado por las altas temperaturas.

Se pueden usar como cubiertas flotantes de depósitos solares para ayudar a reducir la evaporación del agua y al mismo tiempo, proporcionar energía limpia y renovable para filtrar y mover el agua.

2) Desventajas de los paneles de capa fina

Este tipo de paneles es mucho menos durable que los cristalinicos, su degradación es muy rápida.

La eficiencia de este tipo de paneles es de 7-13%. Estos paneles requieren un gran espacio para poder generar una cantidad de energía eléctrica decente. Es por eso que no es tan rentable para situaciones donde se requiere mucha energía.

G. Principales marcas en el mercado, que producen paneles de capa fina

1) *Stion*

Esta empresa es la líder en el mercado de los paneles solares de capa fina, su MFV fotovoltaico tiene un rendimiento del 50% en rendimiento de sombras, en comparación a los cristalinos.

2) *Solopower*

Esta empresa es pionera en la producción de los paneles fotovoltaicos ultraligeros y más flexibles del mercado, además con un alto rendimiento.

XIII. CONCLUSIONES

De acuerdo a la investigación anterior se presenta el resumen de los resultados en la Tabla 2 y Tabla 3

Tabla 2. Factores De rateo para Potencia nominal de corriente alterna. [2] B. Marion

Elemento	Típico	Rango
Potencia nominal C.D. del Módulo FV	1	0.97 - 1.03
Degradación inicial por absorción de luz	0.98	0.90 - 0.99
Cableado C.D.	0.98	0.97 - 0.99
Conexiones y diodos	0.995	0.99 - 0.997
Desajuste de parámetros iniciales	0.98	0.97 - 0.985
Potencia la salida del Inversor	0.96	0.93 - 0.96
Transformador	0.97	0.96 - 0.98
Cableado C.A.	0.99	0.98 - 0.993
Suciedad polvos o sarros	0.95	0.75 - 0.98
Sombras	1	0.0- 1
Orientación e inclinación	1	0.89 – 1
Disponibilidad del sistema	0.98	0 - 0.995
Eficiencia total a condiciones estándar	0.804	0.62*-0.92
A condiciones de Temperatura de operación de la celda a 45°C	0.91	
Eficiencia total en condiciones de operación	0.731	
*No incluye suciedad, sombreado, orientación, o pérdidas por disponibilidad.		

De acuerdo con su vida útil se muestra la Tabla 4 con los factores de reducción del sistema fotovoltaico interconectado.

Tabla 4. Factores de reducción o envejecimiento de un sistema fotovoltaico interconectado a la red.

Envejecimiento por:	Factor de reducción de la vida útil	Rango
Baja calidad de módulo solar	0.5	0.25 - 0.75
Cableado C.D. seleccionado inadecuadamente	0.3	0.3 - 0.5
Conexiones y diodos	0.45	0.3 - 0.9
Selección inadecuada del Inversor	0.7	0.5 - 0.9
Cableado C.A. seleccionado inadecuadamente, pérdidas por efecto Joule, saturación en canalización o por caídas de voltaje.	0.3	0.1 - 0.4
Suciedad por polvos o sarros	0.95	0.75 - 0.98
Sombras	0.3	0.0- 1
Disponibilidad del sistema	0.9	0 - 0.995

En esta investigación se analizaron los factores y su impacto en la instalación de un SFVI, sus posibles efectos sobre la eficiencia, degradación o envejecimiento, así como también su posible falla temprana. Se analizan factores propios y externos.

Para el diseño de sistemas fotovoltaicos se debe tomar en cuenta la eficiencia de cada elemento que lo compone para obtener el nivel de generación de energía eléctrico requerido.

De acuerdo a la Tabla 1 se observa que la vida útil de un SFVI se puede ver reducida de 20 años a solamente 6 años, acelerando el envejecimiento y degradación del sistema. Es altamente recomendable que la instalación de un sistema fotovoltaico sea realizada por personal capacitado y con experiencia en instalaciones eléctricas.

Además para asegurar la vida útil y la eficiencia del sistema fotovoltaico se debe contar con los equipos de la mejor calidad posible. Debido a la cantidad de importe utilizado en este tipo de instalaciones.

El tener una instalación fotovoltaica es responsabilidad de varias partes involucradas. Es importante que se dé a conocer al usuario que el sistema fotovoltaico es diseñado para su consumo promedio anual y no se debe aumentar o cambiar los hábitos de consumo de energía eléctrica o no se verán reflejados los ahorros en el importe de facturación.

Si lo que se desea es una recuperación relativamente rápida se debe tomar en cuenta los precios unitarios de la tarifa en que se encuentra el servicio a ser interconectado con un sistema fotovoltaico.

REFERENCIAS

- [1] Eficiencia en paneles solares (2016) Torres Pacheco, S., Jurado Pérez F, Granados Lieberman D, Lozano Luna, A
- [2] Performance Parameters for Grid-Connected PV System; B. Marion, J. Adelstein, and K. Boyle; National Renewable Energy Laboratory
- [3] H. Hayden, B. Hammond, T. Fletcher, B. Canada; and D. Narang; Arizona Public Service Co; D. Shugar, H. Wenger, A. Kimber, and L. Mitchel; PowerLight Corporation
- [4] G. Rich and T. Townsend; First Solar; Prepared for the 31st IEEE Photovoltaics Specialists; Conference and Exhibition; Lake Buena Vista, Florida; January 3-7, 2005
- [5] Arencibia G. (2016). La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica. Septiembre 9, 2016, de REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria Sitio web: <http://www.redalyc.org/pdf/636/63647456002.pdf>

- [6] Solar Energy International (SEI). 2007. Fotovoltaica manual de diseño e instalación. Pérez, B. H. (Trad.). New Society Publishers. Gabriola Island, Canada. 325 p.
- [7] Abu-Khader, M. M.; Badran, O. O. and Abdallah, S. 2008. Evaluating multi-axes sun-tracking system at different modes of operation in Jordan. *Renewable and sustainable energy reviews*. 12: 864-873.
- [8] Arreola R., Quevedo A., Castro M., Bravo A. & Reyes D. (2015). Diseño, construcción y evaluación de un sistema de seguimiento solar para un panel fotovoltaico. nov/dic, 2015, de *Revista mexicana de ciencias agrícolas*.
- [9] Sebastián E. (febrero 5, 2018). Calculo en eficiencia de módulos fotovoltaicos. Marzo 1, 2018, de ES Sitio web: <http://eliseosebastian.com/ejemplos-calculo-eficiencia-de-módulos-fotovoltaicos/>
- [10] Sebastián E. (enero 22, 2018). Rendimiento u eficiencia energética de una célula o MFV. Marzo 1, 2018, de ES Sitio web: <http://eliseosebastian.com/calcular-eficiencia-de-paneles-solares-fotovoltaicos/>
- [11] Sebastián E. (enero 20, 2018). Análisis de la curva I-V en paneles fotovoltaicos. Marzo 1, 2018, de ES Sitio web: <http://eliseosebastian.com/analisis-de-la-curva-iv-en-paneles-fotovoltaicos/>
- [12] Delta volt. (2018). Paneles Solares, Tipos y Eficiencias. Enero 7, 2018, de Delta Volt Sitio web: <http://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar/paneles-solares>.
- [13] Cepeda, Juan. Sierra, Adriana. (2017). Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones. Abril 04, 2018, de Universidad Santo Tomás Sitio web: <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/4196/cepedajuan2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [14] Mark Fedkin, John A. Dutton e-Education Institute, College of Earth and Mineral Sciences, Penn State University. <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/738>.