INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS

Gerencia de Energías No Convencionales

Global Enviroment Facility

PNUD México

Guía de Usuario

Sistemas Fotovoltaicos Interconectados con la Red
Aplicaciones de Pequeña Escala

Primera edición – versión electrónica, México 2010

Este material es de distribución gratuita; prohibida su venta.

© 2010 Instituto de Investigaciones Eléctricas.

Los textos e ilustraciones que se presentan en esta Guía de Usuario - Sistemas Fotovoltaicos Interconectados con la Red - Aplicaciones de Pequeña Escala, han sido preparados para efectos exclusivamente ilustrativos e informativos. Todas las fotografías, diagramas, tablas e ilustraciones sin referencia han sido creados por el Instituto de Investigaciones Eléctricas. Ni el Instituto de Investigaciones Eléctricas ni ninguno de sus empleados, aceptan responsabilidad alguna por pérdidas o daños en ninguna persona o propiedad, que resulten del uso del material, instrucciones, métodos o ideas aquí contenidos, o de la acción o abstención de acción que resultaren de tal uso.

Edición realizada parcialmente con recursos del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (Global Environment Facility, GEF), implementados a través del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Esta guía fue desarrollada por la Gerencia de Energías No Convencionales del Instituto de Investigaciones Eléctricas participando en su preparación el Dr. Humberto Rubén Becerra López, el Ing. Jaime Agredano Díaz y el Dr. Jorge M. Huacuz Villamar. Se agradece la información y colaboración proporcionada por: Ing. Francisco Javier Varela Solís, Jefe del Departamento de Inspección, Gerencia de Ingeniería de Servicios al Cliente, CFE; Ing. Salvador Villalón Espinoza, Oficina Atención al Cliente, División BC, CFE; Ing. Job Carlos García Mendoza, FIDE; e, Ing. Héctor del Águila, Atlantis Solar Systems.

Contenido

Introducción 1

Tecnología 2

Sitio e instalación 5

Costo 7

Incentivos 9

(a) Medición neta 9

(b) Depreciación acelerada 10

(c) Apoyo financiero 11

Rentabilidad 12

Capacidad 14

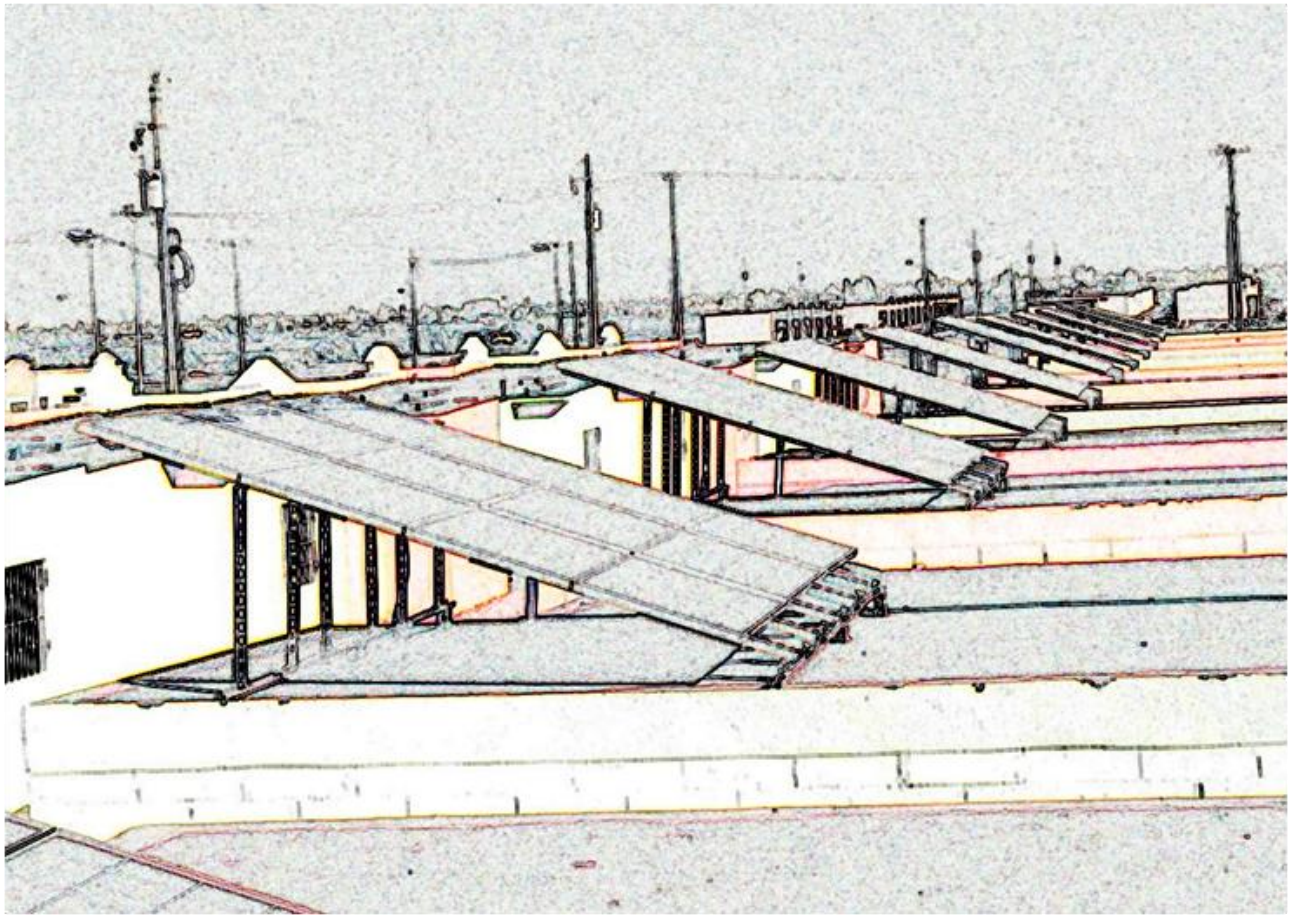
(a) Estimación de la capacidad por requerimiento específico 14

(b) Estimación de la capacidad por disponibilidad de espacio 16

(c) Estimación de la capacidad por limitación presupuestal 19

Seleccionando a un proveedor 20

Trámite de interconexión 21



Introducción

Si eres un usuario eléctrico con altos consumos, los sistemas fotovoltaicos interconectados con la red (SFVI) constituyen una alternativa viable para reducir tu facturación eléctrica. La tecnología fotovoltaica es una tecnología limpia y confiable que se encuentra en franca expansión, con un vasto potencial de aprovechamiento en nuestro país y con ventaja económica en muchos casos.

Es por ello que el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) pone a tu disposición esta guía de usuario, que aun cuando no es un prontuario técnico de diseño e instalación, sí constituye una referencia mediante la cual podrás conducir correctamente tu interés, y eventualmente, tu inversión. La guía es aplicable a sistemas de pequeña escala, lo que incluye sistemas de uso residencial con capacidades menores a 10 kW_p, y sistemas de uso general en baja tensión con capacidades menores a 30 kW_p.

Esta guía te ayudará a

- revisar aspectos clave de los SFVI para su mejor apreciación
- identificar requerimientos del sitio e instalación
- examinar conceptos y proporciones de los costos involucrados
- ponderar los incentivos que existen actualmente en México y determinar si aplican en tu caso
- explorar qué condiciones de rentabilidad se tienen
- estimar *a priori* la capacidad de tu sistema
- contactar y seleccionar a un proveedor comercial

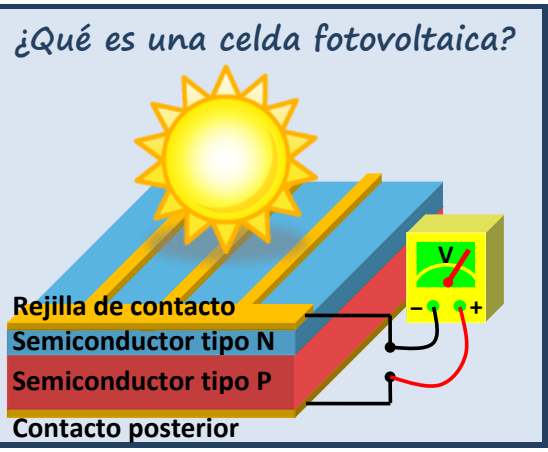
Hoy en día los SFVI requieren una inversión de capital que puede ser significativa. Es por ello que así como con cualquier otro proyecto económico, se debe determinar si el desembolso por realizar es acorde con tu presupuesto, y estimar si el beneficio resultante cumplirá satisfactoriamente con tus expectativas.

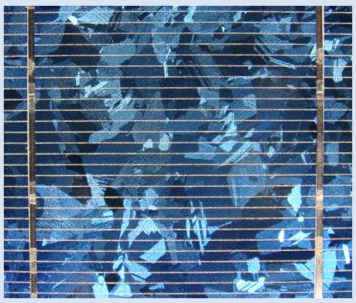
Fotografía cortesía de la Comisión Estatal de Energía del Gobierno de Baja California

Tecnología

Existen algunos aspectos claves de la tecnología fotovoltaica (FV) que se deben conocer para valorar sus beneficios potenciales y que a continuación te presentamos de manera simplificada.

- La tecnología FV convierte directamente la luz solar en electricidad a través de celdas de material semiconductor. Existen varias clases de celdas FV: de silicio cristalino (monocristalino o policristalino), de película delgada, para alta concentración y de materiales orgánicos.



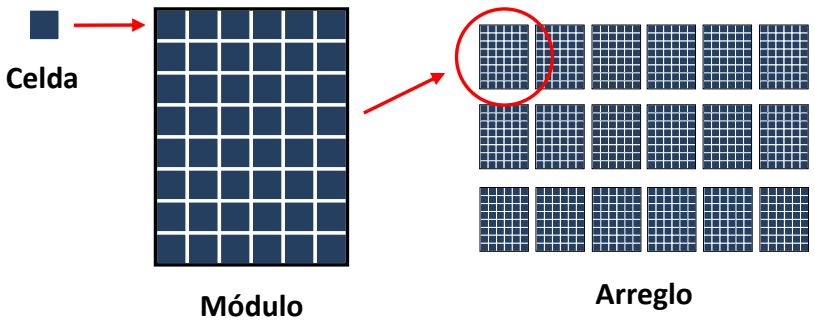


Vista superior de una celda de silicio policristalino

Una celda FV

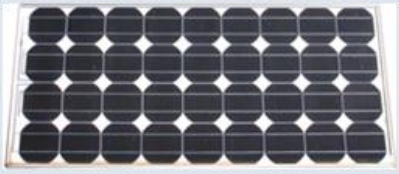
- **convierte la luz solar en electricidad**
- **se constituye por capas de semiconductores y de otros materiales auxiliares**
- **produce típicamente 0.5 V al ser iluminada**
- **de silicio policristalino de 15 cm × 15 cm y 15% de eficiencia genera a pleno sol alrededor de 3.4 W**

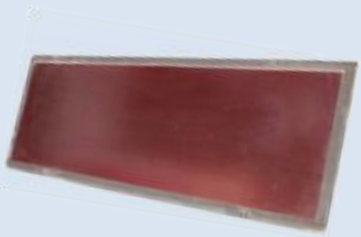
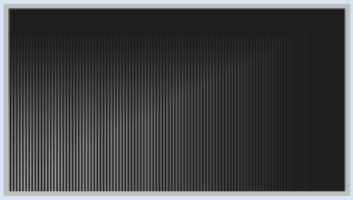
- Las celdas FV se integran en módulos, que pueden ser planos de marco rígido, de laminados flexibles, o bien, de formas especiales como tejas o elementos constructivos translucidos. A un grupo pre-ensamblado de módulos FV se le denomina panel. También es común que a un módulo se le identifique como 'panel' o 'colector', lo cual no es conveniente ya que ambos términos son muy utilizados para referirse a los calentadores solares de agua. Módulos FV conectados en serie forman hileras. En aplicaciones mayores las hileras se conectan en paralelo para formar sub-arreglos, los que a su vez, se combinan para formar un arreglo.



La operación de un sistema FV no genera emisiones contaminantes, es silenciosa y confiable.

En la actualidad, algunos fabricantes garantizan sus módulos hasta por 25 años.

Módulos de silicio cristalino		
 Módulo de silicio monocristalino	Módulo de silicio policristalino	Los módulos de silicio monocristalino constan de obleas circulares o cuadradas con esquinas recortadas y tonalidades de azul oscuro a negro. Los módulos de silicio policristalino poseen celdas cuadradas con apariencia moteada en azul; este aspecto se debe a las múltiples orientaciones de los granos de cristal.

Módulos de película delgada		
 Módulo de silicio amorfo	 Módulo de telururo de cadmio	La tecnología FV de película delgada consiste en celdas depositadas en sustratos rígidos de metal o vidrio, o en láminas ligeras y flexibles de plástico vidriado. El material activo incluye compuestos como silicio amorfo, telururo de cadmio o di-seleniuro de cobre, indio y galio.

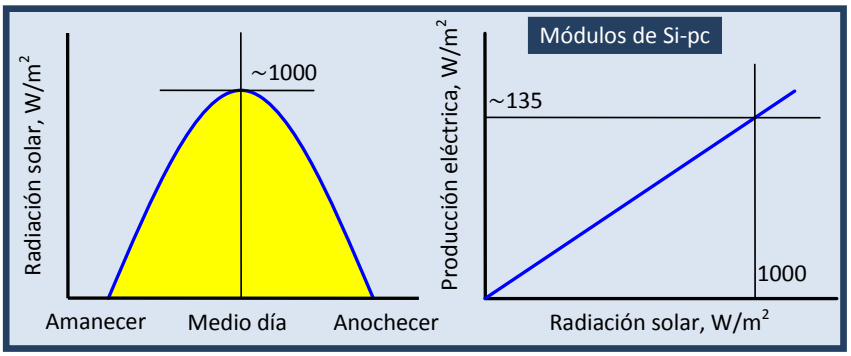
ATRIBUTOS DE TECNOLOGÍAS FV	*Silicio policristalino*	*Película delgada*
Mayor eficiencia	✓	
Mayor capacidad de generación para áreas iguales	✓	
Menor requerimiento de área de arreglo	✓	
Mayor producción eléctrica al año por kW instalado		✓
Mayor confiabilidad y estabilidad	✓	
Mejor desempeño en clima cálido y con nublados		✓
Mejor desempeño en clima frío	✓	
Menor afectación del desempeño por sombreados		✓
Mayor versatilidad de integración arquitectónica		✓

- Los módulos FV para sistemas interconectados con la red están disponibles en capacidades de 100 a 300 W_p (watts-pico) nominales. Esta potencia corresponde a condiciones estándar de prueba: radiación solar de 1,000 W/m^2, temperatura de módulo de 25°C y sin viento.

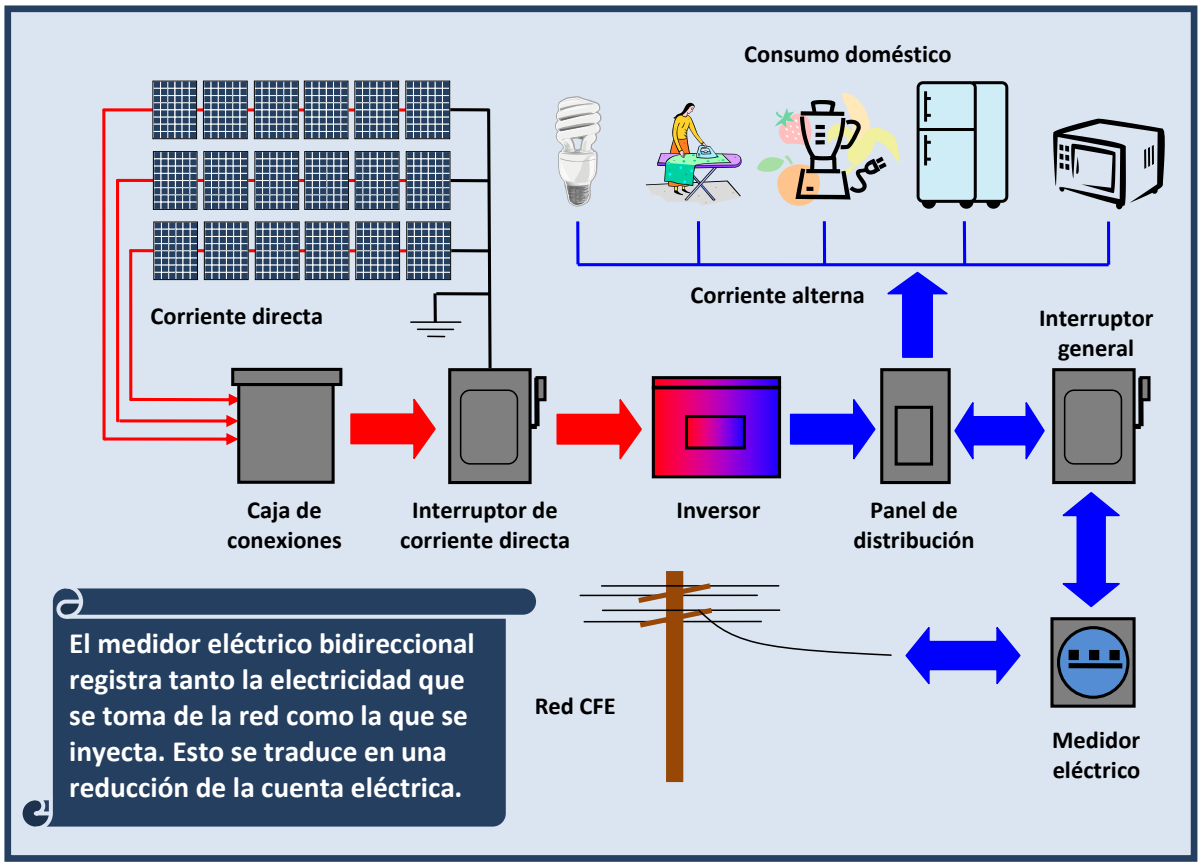
- Los voltajes nominales de módulos y arreglos en sistemas autónomos pueden ser de 12, 24 o 48 V, convenientes para acoplarse a bancos de baterías. Sin embargo, en sistemas interconectados con la red se configuran voltajes más elevados, típicamente de 90 a 600 V. Es importante mencionar que durante un día soleado típico, el voltaje que se produce es muy estable.

- Por el contrario, la corriente que durante el día genera un módulo no es constante, ya que depende directamente del nivel de radiación solar. Es por ello que en las mañanas y tardes la producción eléctrica es baja y al mediodía alta (cercana o incluso mayor a la potencia nominal).

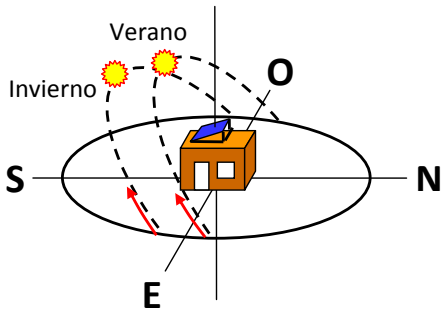
Un sistema FV entrega electricidad de forma intermitente, de acuerdo al perfil diario que exhibe la energía solar incidente en el arreglo de módulos. Sin embargo, al interconectarse con la red, se logra que ésta actúe como una gran batería de respaldo, y que el servicio eléctrico sea constante.



- Los módulos FV producen corriente eléctrica continua (también nombrada corriente directa), por lo que para aplicaciones de interconexión con la red se requiere su transformación a corriente alterna. Esta transformación se realiza a través de equipos llamados *inversores*. Además, se requieren otros elementos para completar el sistema: cables, cajas de conexiones, protecciones, interruptores y un medidor eléctrico bidireccional.



Sitio e instalación



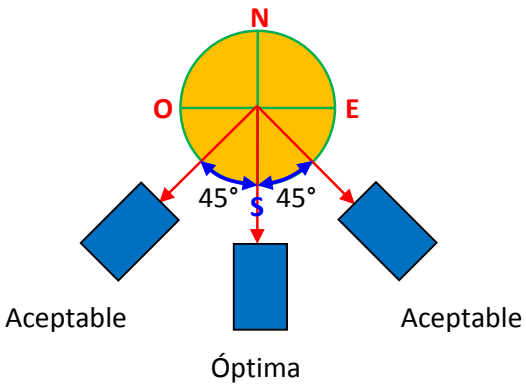
El territorio mexicano se encuentra en el hemisferio norte. En esta región, la trayectoria aparente del sol durante la mayor parte del año, desde el amanecer hasta el atardecer, se observa hacia el sur.

La latitud del sitio define la orientación e inclinación que deberá poseer un arreglo FV.

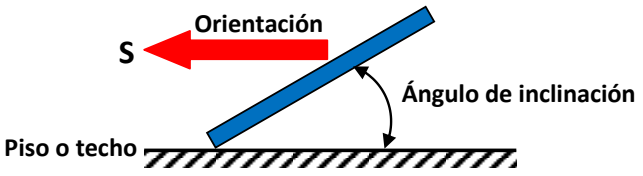
En México es muy común que las viviendas posean techos horizontales. Los techos horizontales son convenientes para la instalación de un arreglo FV, ya que el montaje puede realizarse en estructuras con condiciones óptimas de orientación e inclinación.

La orientación e inclinación son aspectos determinantes en los arreglos FV para su producción eléctrica. Si se establece una orientación hacia el sur geográfico y un ángulo de inclinación igual al ángulo de latitud, se maximiza la producción en términos anuales. En el norte del país donde la demanda eléctrica es mayor durante el verano, se recomienda una inclinación igual al ángulo de latitud menos 15°, y dependiendo del caso, se puede optar por una orientación sur-oeste para incrementar la generación por las tardes, justo cuando suele ocurrir el pico de demanda.

Orientación del arreglo FV para máxima producción anual



Ángulo de inclinación	Resultado
Latitud	Máxima generación eléctrica anualizada y durante la primavera y el otoño
Latitud – 15°	Máxima generación eléctrica en el verano
Latitud + 15°	Máxima generación eléctrica en el invierno



En caso de que los techos ya posean cierta inclinación, su orientación deberá ser preferentemente hacia el sur geográfico y en ningún caso al norte. Si el montaje es horizontal, la ganancia energética es menor, pero puede ser aceptable –estimándose una reducción en la producción de menos del 10%.

Cuando el techo no resulta apropiado y existe terreno disponible, el arreglo FV puede montarse en tierra. También existen modalidades con integración arquitectónica en techos y fachadas, así como montajes en cobertizos y toldos.

Cortesía de Alternativa Energética

Cortesía de US DOE/NREL - USSC

Cortesía de US DOE/NREL Spire Solar Chicago

Cortesía de US DOE/NREL Atlantis Energy, Inc.

Sombreados El sitio que se elija para el montaje del arreglo FV, ya sea sobre techos o en tierra, debe estar libre de sombreados por obstrucciones o árboles durante todo el día, o al menos, en su mayor parte. Es importante resaltar que aunque el área donde se instale el arreglo FV se encuentre libre de sombras a una cierta hora del día, en otro momento sí podría verse afectada. También, debe observarse que la proyección de sombras en el invierno es mayor que en el verano. El problema con los sombreados es que, sombras recurrentes e inclusive ocasionales, reducen sustancialmente la producción eléctrica de los módulos FV. El usuario puede hacer una somera observación para determinar si un sitio es elegible. Sin embargo, éste es un trabajo detallado que corresponde al proveedor del sistema, quien finalmente determinará si habrá o no afectación por sombreados.

Requerimientos de espacio En la siguiente tabla se presenta una estimación del área requerida para el montaje del arreglo FV, considerando varias tecnologías y capacidades.

Área requerida del arreglo FV con diversas tecnologías y capacidades, m^2 (valor aproximado)

Tecnología de módulo	Eficiencia	m^2 / kW_p	0.5 kW_p	1 kW_p	2 kW_p	3 kW_p	5 kW_p	10 kW_p	30 kW_p
Silicio policristalino (Si-pc) o multicristalino (Si-mc)	13 - 15%	~8	4	8	16	24	40	80	240
Silicio monocristalino (Si-sc)	14 - 20%	~7	4	7	14	21	35	70	210
Silicio amorfo (Si-a)	5 - 7%	~16	8	16	32	48	80	160	480
Telururo de cadmio (CdTe)	9 - 11%	~11	6	11	22	33	55	110	330
Di-seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS)	10 - 12%	~10	5	10	20	30	50	100	300

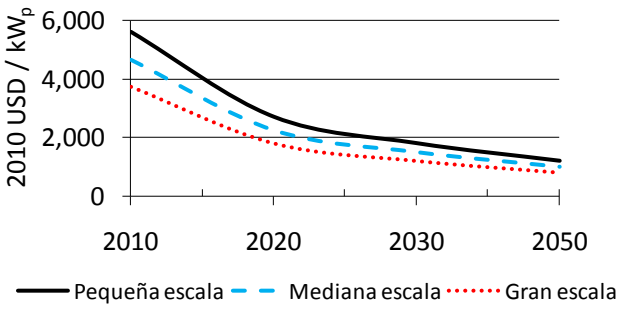
Si el área disponible para la ubicación del arreglo es limitada, se pueden elegir módulos de alta eficiencia, aunque esto implicaría una inversión mayor. Alternativamente, si se dispone de una superficie amplia se podría elegir el uso de módulos de menor eficiencia y costo, sin embargo, al ser mayor su requerimiento de área, el costo de la estructura podría ser alto. En lo que respecta al inversor y demás equipo, se requiere de poco espacio para su montaje, regularmente en muro cubierto.

Costo

Existen dos conceptos de costo que se deben tomar en cuenta al considerar la adquisición de un sistema FV: el **costo de inversión** y el **costo de energía**. El **costo de inversión** de un sistema FV depende de diversos factores, como son:

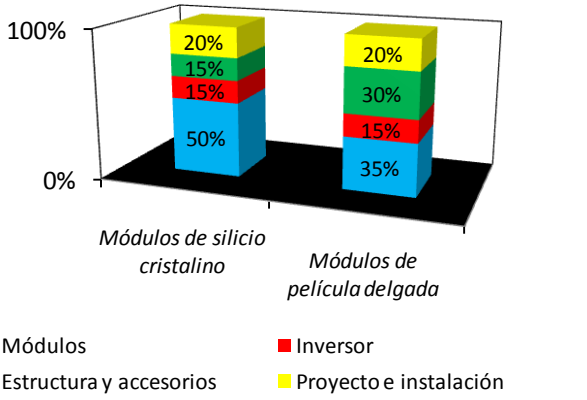
- la capacidad del sistema.
- la preparación y ejecución del proyecto; lo que incluye diseño, instalación, interconexión y puesta en marcha del sistema.
- las características tecnológicas y económicas de los componentes, principalmente de los módulos y el inversor. Se debe resaltar que en promedio el costo de los módulos ha venido declinando consistentemente y se espera que en los próximos años esta tendencia continúe.
- si la casa o edificio al que se integrará el sistema ya existe o será construido.
- si el sistema se montará sobre el techo o a nivel de piso, o bien, si será un elemento integral de techos y fachadas.

Proyección del costo instalado de SFVI en mercados líderes*



*Con base en proyecciones presentadas en ***Technology Roadmaps*** *Solar photovoltaic energy OECD/IEA 2010*

Composición típica en el ámbito internacional de costos de inversión de SFVI de pequeña escala



La inversión actual para un SFVI de pequeña escala se estima en US$ 5,000 - 7,000 / kW_p dependiendo de la tecnología utilizada, país de aplicación y proveedor comercial.

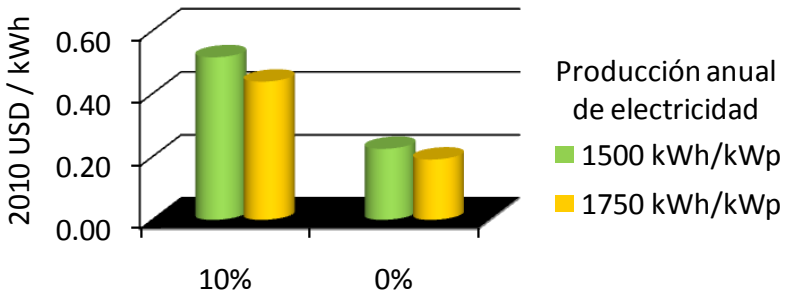
El **costo de energía** se refiere al costo por cada kilowatt-hora de electricidad producida por el sistema FV. En el ámbito técnico se denomina costo nivelado de energía y se puede comparar directamente contra el precio de electricidad de la red. En su determinación intervienen los siguientes factores:

- el monto de la inversión.
- la eficiencia con la cual se estará efectuando la conversión de energía, de solar a eléctrica.
- la localidad donde se instalará el sistema. Éste es un aspecto muy importante ya que del sitio específico depende la disponibilidad de energía solar aprovechable.
- la afectación por sombreados.
- la vida útil del sistema.

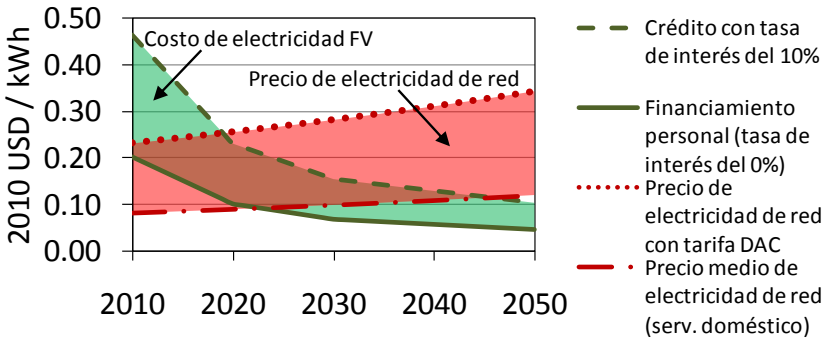
A continuación se presentan gráficas del costo de energía. En primera instancia se muestra el costo nivelado FV con dos condiciones de financiamiento y a diferentes niveles de producción. La segunda gráfica muestra proyecciones a largo plazo del costo de energía FV y del precio de electricidad de red.

El costo de energía, o técnicamente, costo nivelado de energía, es un concepto económico que se presenta en pesos o dólares por kWh e incluye todos los costos en la vida del proyecto: inversión inicial, costo de capital, operación, mantenimiento y retiro.

Costo nivelado de la energía eléctrica producida por sistemas FV interconectados de pequeña escala



Proyección del costo de energía de sistemas FV interconectados de pequeña escala



*Suposiciones: producción FV de 1500 kWh/kW$_p$ y tasa de crecimiento anual del 1% en los precios de electricidad de red

El costo de energía FV se irá reduciendo significativamente. Se espera que para 2030 este costo sea del orden de 1/3 del costo en 2010.

El precio de la electricidad de red aumenta en función del crecimiento de la inflación y del costo de los combustibles.

Incentivos

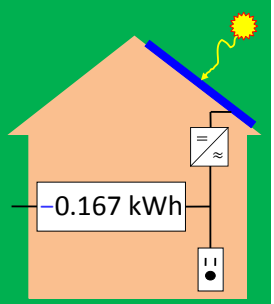
Actualmente, existen en México tres tipos de incentivos para la realización de proyectos de SFVI: medición neta, depreciación acelerada y apoyo financiero.

(a) Medición neta

El Programa Sectorial de Energía 2007-2012, definió como lineamiento de política el establecimiento de mecanismos que permitan el funcionamiento de sistemas de medición neta, entre la red eléctrica y los usuarios que opten por tener capacidad de generación con energía renovable en sus hogares y pequeñas empresas. Esta directriz se concretó en junio de 2007, con la publicación del modelo de *contrato de interconexión para fuente de energía solar en pequeña escala*, y que en 2010, se ha sustituido por el *contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en pequeña escala*.

Esquema de medición neta

- Se rige por un Contrato de Interconexión celebrado entre el usuario (persona física o moral) y la CFE, con duración indefinida.
- Es aplicable a servicio residencial hasta 10 kW_p.
- Es aplicable a servicio de uso general en baja tensión (< 1 kV) hasta 30 kW_p.
- Los medidores requeridos se instalan por la CFE, con cargo equivalente a la diferencia en costo con el medidor convencional.
- El usuario puede instalar y mantener a su propia costa medidores adicionales, siempre y cuando cumplan con las normas y prácticas de CFE.



Facturación de la medición neta

Para fines de facturación la medición neta se determinará como la diferencia:

energía eléctrica recibida de CFE *menos* energía eléctrica entregada a CFE

diferencia mayor que cero	*diferencia igual a cero*
Consumiste más energía que la que entregaste. Se considerará como un saldo a favor de la CFE y se facturará en la tarifa aplicable de acuerdo al contrato.	Consumiste la misma cantidad de energía que la que entregaste a CFE, por lo que se facturará el mínimo establecido en la tarifa en la que tienes tu contrato de suministro normal.

diferencia menor que cero

Entregaste más energía que la que consumiste, por lo que se considerará como un crédito energético a tu favor que podrá ser compensado dentro de los 12 meses siguientes, de no ser así dicho crédito se cancela. La facturación procede de la siguiente manera:

a. se factura el mínimo establecido en la tarifa en la que tienes tu contrato de suministro normal y
b. se te guarda virtualmente la energía que quedó a tu favor, para regresártela automáticamente en las siguientes facturaciones en las que se presenten diferencias mayores que cero.

(b) Depreciación acelerada

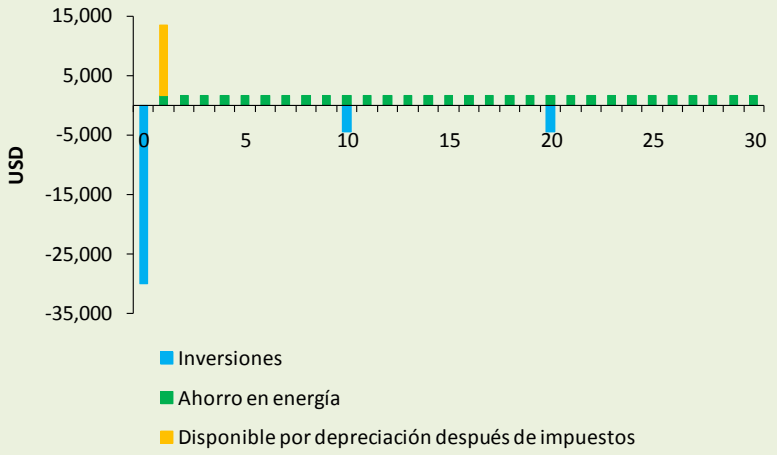
La depreciación acelerada es un beneficio fiscal que se otorga sólo a personas morales para la inversión en proyectos de energía renovable, y se encuentra establecida en el Artículo 40 de la Ley del Impuesto Sobre la Renta (LISR) desde el 2005. Usualmente este mecanismo fiscal es aplicable a proyectos comerciales y sus características principales son las siguientes:

- impulsa el uso de energía proveniente de fuentes renovables.
- prevé la depreciación acelerada hasta por el 100% durante el primer año, de la maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables.
- se sujeta a una operación mínima de 5 años. Ésta es una condición para asegurar el cumplimiento del propósito de generación limpia.

Ejemplo	
Capacidad del sistema	5 kW
Costo del sistema FV	US$ 30,000
Menos valor de rescate	– 0
Costo depreciable (cantidad a ser depreciada durante la vida útil del sistema)	US$ 30,000
Vida útil del sistema (años)	30
Depreciación lineal	
Cantidad a depreciar por año (costo depreciable entre vida útil del sistema)	US$ 1,000

Depreciación acelerada

Cantidad a depreciar: año 1 al 100% (por ejemplo) US$ 30,000



El modo de depreciar es elegido por el inversionista de acuerdo a su plan fiscal.

La depreciación acelerada es permitida por la ley y puede ser apropiada dependiendo de las necesidades de flujo de efectivo de una empresa. Cuando se aplica, se difiere el pago de impuestos y se libera flujo de efectivo.

(c) Apoyo financiero

El Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) financia la utilización de fuentes de energía renovable para generación eléctrica, lo que incluye a los sistemas fotovoltaicos conectados a red, con capacidad hasta por 500 kW. Este apoyo financiero para la inversión tiene las siguientes características:

- Monto de financiamiento → 100% del proyecto.
- Interés → Tasa preferencial por debajo de la banca comercial. Se causan intereses sobre saldos insolutos.
- Plazo → Hasta 20 pagos trimestrales fijos (5 años).
- Sujetos de financiamiento → Personas morales.

Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE)		
Mariano Escobedo 420 Col. Anzures 11590 México, D.F.	Tel. (55) 1101-0520 (Conmutador) FIDETEL 01-800-34-33-835 http://www.fide.org.mx/	El FIDE cuenta con oficinas en numerosas ciudades de la República Mexicana

Mecanismo de Operación de los Financiamientos FIDE para la utilización de fuentes de energía renovable

1. El usuario entrega al FIDE: (a) solicitud de apoyo, (b) carta de Buró de Crédito, (c) recibos de energía eléctrica, y (d) monto de la inversión.
2. El FIDE consulta al Buró de Crédito y responde al usuario en 24 horas.
3. La propuesta técnica, es responsabilidad del usuario, la cual elabora y entrega al FIDE.
4. FIDE analiza la propuesta técnica–económica.
5. De comprobarse la factibilidad técnico-económica, se aprueba el proyecto.
6. Firma del contrato entre el usuario, el FIDE y el consultor/proveedor.
7. Se lleva a cabo la ejecución del proyecto.
8. Proyecto concluye satisfactoriamente (puesta en operación del sistema).
9. El usuario inicia el reembolso del financiamiento y continúa haciéndolo hasta el plazo previsto.
10. El FIDE da seguimiento hasta recuperar totalmente el financiamiento.

Se recomienda…

- **considerar este incentivo únicamente en proyectos comerciales o industriales. Aunque actualmente este incentivo no está dirigido a usuarios domésticos, es posible que eventualmente el FIDE expanda su aplicación.**
- **contactar a consultores certificados, fabricantes de equipo, distribuidores y/o contratistas en sistemas fotovoltaicos para la preparación de la propuesta técnico-económica y la realización del proyecto.**
- **contactar al FIDE para información sobre más detalles, vigencia y cambios de este mecanismo.**

Rentabilidad

¿Me conviene instalar un sistema fotovoltaico en mi casa e interconectarlo con la red?

Bajo el esquema de medición neta que actualmente existe en México, un SFVI para un usuario doméstico es rentable dependiendo del consumo eléctrico que se tenga, de la tarifa aplicable, del costo del sistema, del recurso solar disponible y del plan financiero. Un aspecto que favorece la rentabilidad es cuando el consumo mensual promedio del usuario (promedio móvil del consumo durante los últimos 12 meses), supera el límite de alto consumo establecido por la CFE para cada localidad.

Límites de alto consumo de la CFE		
Tarifa	**kWh / mes**	**kWh / bimestre**
Tarifa 1	250	500
Tarifa 1A	300	600
Tarifa 1B	400	800
Tarifa 1C	850	1,700
Tarifa 1D	1,000	2,000
Tarifa 1E	2,000	4,000
Tarifa 1F	2,500	5,000

Tarifas específicas 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E y 1F (Año 2010)	Véase http://www.cfe.gob.mx
1	Servicio doméstico
1A	Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 25 grados centígrados.
1B	Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 28 grados centígrados.
1C	Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 30 grados centígrados.
1D	Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 31 grados centígrados.
1E	Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 32 grados centígrados.
1F	Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 33 grados centígrados.

Las tarifas aplicables para consumos domésticos superiores al límite de alto consumo (LAC) se denominan 'domésticas de alto consumo' (tarifas DAC). Cuando el usuario mantenga un consumo mensual promedio inferior al LAC fijado para su localidad, la CFE aplicará la tarifa de servicio doméstico correspondiente. La CFE establece esta tarifa para uso exclusivamente doméstico y es aplicable individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda.

A continuación te presentamos un ejemplo de análisis de rentabilidad de un SFVI residencial.

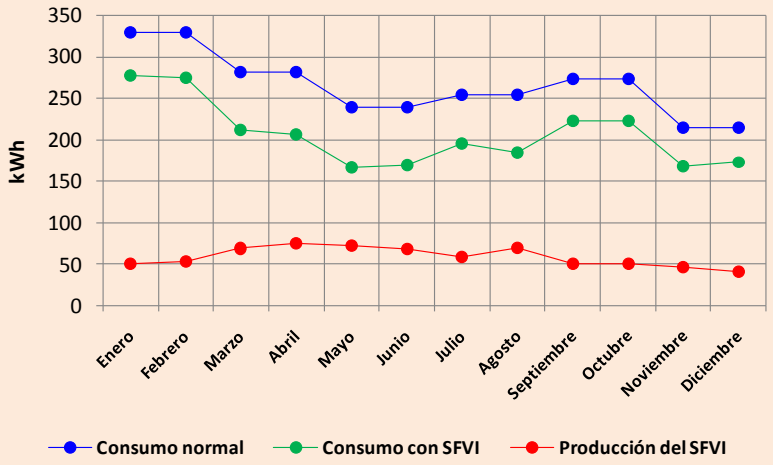
Ejemplo: Rentabilidad de un SFVI residencial con tarifa DAC, en Celaya, Guanajuato

Consumo eléctrico:	530 kWh/bimestre
Tarifa:	1 - DAC
Sistema FV:	0.5 kW_p (interconectado)
Costo O&M:	1% anual de la inversión
Factor de planta:	16.2%
Vida útil:	25 años

Período de recuperación de la inversión (años)			
Tasa de interés	Inversión (USD)		
	3,500	4,000	4,500
0%	8.6	9.7	10.8
10%	16.1	23.0	> 25

¡Si un usuario residencial invierte 4,000 (0% de tasa interés), a partir del año 10 se producen ganancias netas!

Ejemplo (continuación): Rentabilidad de un SFVI residencial con tarifa DAC, en Celaya, Guanajuato



Producción anual del SFVI: 710 kWh

Facturación (USD)					
	Normal	**Con SFVI**		**Normal**	**Con SFVI**
Ene	84.3	44.9	**Jul**	64.9	26.9
Feb	82.2	44.5	**Ago**	65.6	24.4
Mar	70.3	30.3	**Sep**	70.9	33.6
Abr	69.4	29.0	**Oct**	71.6	33.7
May	60.1	19.9	**Nov**	58.0	20.8
Jun	60.7	20.8	**Dic**	58.6	22.1

Facturación anual normal: 817 USD
Facturación anual con SFVI: 351 USD

El usuario ahorra anualmente ... ¡¡466 USD!!

¿Me conviene instalar un sistema fotovoltaico en mi negocio e interconectarlo con la red?

De la misma manera que con usuarios domésticos ocurre, la rentabilidad de los SFVI para usuarios comerciales depende del consumo eléctrico, de la tarifa aplicable, del costo del sistema, del recurso solar y del plan financiero. Sin embargo, el sistema no sólo puede aportar beneficios energéticos y económicos directos, sino que además, dentro de un plan de negocios éste puede representar un valor agregado que resulte compensatorio de la inversión realizada. Al invertir en un SFVI de aplicación comercial se deben considerar los siguientes factores:

- un SFVI representa una decisión de negocios de largo plazo y bajo riesgo.
- se reduce la dependencia sobre la electricidad de la red. Una vez instalado, el SFVI requiere mínimo mantenimiento proporcionando energía eléctrica de manera limpia y silenciosa durante más de 25 años.
- se disminuye la facturación eléctrica. Instalar un SFVI es equivalente a efectuar un prepago de más de 25 años de energía.
- los costos de los módulos FV exhiben una tendencia decreciente. Esto hace que los proyectos de inversión en SFVI tengan cada vez mejores índices financieros.
- se podría incrementar la renta o precio de venta de propiedades comerciales con SFVI por su carácter de proyectos con responsabilidad ambiental.
- convertirse en un 'negocio verde' puede representar mejores relaciones públicas y una buena herramienta de mercadotecnia, ya que un número creciente de consumidores hacen sus decisiones de compra basados en la percepción de responsabilidad ambiental del proveedor.

Capacidad

Siempre es conveniente que antes de contactar a un proveedor de sistemas FV, tengas una estimación preliminar de la capacidad que se pretende instalar e interconectar. En esta sección te presentamos tres criterios de cálculo para tal propósito: por requerimiento específico, por disponibilidad de espacio y por limitación presupuestal. Debe enfatizarse que un ejercicio semejante sólo constituye una primera aproximación, por lo que tanto el diseño como la selección de módulos y componentes son tareas que corresponden en última instancia al proveedor.

(a) Estimación de la capacidad por requerimiento específico

Aunque estimar la capacidad de un SFVI por requerimiento específico pudiese parecer complicado, en realidad es una tarea sencilla. Como ejemplo, se puede considerar el caso de un usuario doméstico con residencia en la Ciudad de México. Como punto de partida se requiere el recibo eléctrico, ya que éste contiene el historial de consumo (medido en kilowatts-hora o kWh).

Historial de consumo (kWh)						
Facturación	**Feb**	**Abr**	**Jun**	**Ago**	**Oct**	**Dic**
2009	**116**	**503**	**297**	**250**	**250**	**0**
2008	**0**	**0**	**0**	**0**	**343**	**351**

Consumo eléctrico promedio (kWh)

$anual = 351+116+503+297+250+250 = 1767$

$bimestral = 1767/6 = 294.5$

El procedimiento de cálculo es el siguiente:

	Procedimiento	Valor	Unidad
(a)	Registra el promedio de tus consumos eléctricos bimestrales	294.5	kWh
(b)	Establece el porcentaje que quieres de producción eléctrica solar fotovoltaica	50%	-
(c)	Multiplica el valor de la línea (a) por el valor de la línea (b) y divídelo entre 100%	147.25	kWh
(d)	Divide el valor de la línea (c) entre 60 para obtener el requerimiento diario	2.45	kWh
(e)	Identifica el número de horas de sol pico para plano inclinado (ver tabla adelante)	5.36	$h_{sol\text{-}pico}$
(f)	Divide el valor de la línea (d) entre (e) para obtener la capacidad (sin pérdidas)	0.457	kW_p
(g)	Divide el valor de la línea (f) entre 0.70 para compensar por pérdidas	**0.653**	kW_p

La capacidad requerida mínima es de 0.653 kilowatts-pico, pero debe ser ajustada…

Horas de sol pico por día para la República Mexicana

Entidad Federativa	Ciudad	Latitud norte (°)	Horas de sol pico*		Entidad Federativa	Ciudad	Latitud norte (°)	Horas de sol pico*	
			Hor	Inc				Hor	Inc
Aguascalientes	Aguascalientes	21.88	5.78	6.10	**Nayarit**	Tepic	21.51	6.06	6.42
Baja California	Ensenada	31.87	5.98	6.76	**Nuevo León**	Monterrey	25.70	5.17	5.43
	Mexicali	32.65	5.96	6.81	**Oaxaca**	Oaxaca	17.06	4.88	5.01
	Tijuana	32.54	5.96	6.79	**Puebla**	Puebla	19.06	5.22	5.44
Baja California Sur	La Paz	24.15	6.46	6.89	**Querétaro**	Querétaro	20.61	5.57	5.87
	San José del Cabo	23.06	6.41	6.80	**Quintana Roo**	Cancún	21.16	6.01	6.32
Campeche	Campeche	19.83	5.91	6.16		Chetumal	18.51	5.85	6.09
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	16.76	4.88	5.00	**San Luis Potosí**	San Luis Potosí	22.16	5.57	5.85
Chihuahua	Chihuahua	28.63	5.96	6.52	**Sinaloa**	Culiacán	24.82	6.05	6.52
	Ciudad Juárez	31.73	5.78	6.41		Los Mochis	25.80	6.35	6.84
Coahuila	Saltillo	25.42	5.54	5.86		Mazatlán	23.20	6.04	6.47
	Torreón	25.53	5.96	6.37	**Sonora**	Ciudad Obregón	27.49	6.35	6.89
Colima	Colima	19.26	5.97	6.30		Hermosillo	29.07	6.22	6.81
Distrito Federal	Ciudad de México	19.33	5.11	5.36	**Tabasco**	Villahermosa	18.00	5.36	5.50
Durango	Durango	24.04	5.92	6.36	**Tamaulipas**	Ciudad Victoria	23.73	5.18	5.38
Guanajuato	Guanajuato	21.02	5.77	6.09		Nuevo Laredo	27.49	4.95	5.19
	León	21.11	5.75	6.07		Tampico	22.21	5.05	5.23
Guerrero	Acapulco	16.88	6.19	6.52	**Tlaxcala**	Tlaxcala	19.32	5.08	5.29
	Chilpancingo	17.54	6.09	6.43	**Veracruz**	Coatzacoalcos	18.15	4.88	5.00
Hidalgo	Pachuca	20.11	4.96	5.17		Orizaba	18.85	4.64	4.76
Jalisco	Guadalajara	20.69	5.89	6.24		Veracruz	19.20	4.56	4.66
México	Toluca	19.28	5.77	6.09		Xalapa	19.50	4.71	4.84
Michoacán	Morelia	19.71	5.79	6.13	**Yucatán**	Mérida	20.97	5.94	6.23
Morelos	Cuernavaca	18.92	5.76	6.07	**Zacatecas**	Zacatecas	22.77	5.86	6.21

Hor = Plano horizontal Inc = Plano inclinado a la latitud de la localidad correspondiente
*De acuerdo con datos del Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables en México (SIGER) IIE-GENC, y del Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica de la UNAM.

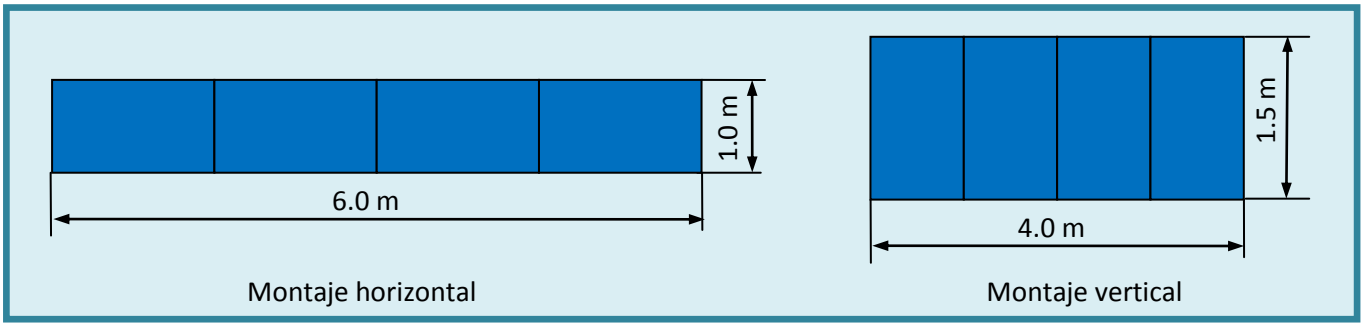
El resultado que se obtiene es una capacidad requerida mínima de 0.653 kilowatts-pico o 653 watts-pico. Este valor debe ser ajustado de acuerdo a la disponibilidad comercial de módulos FV. Por ejemplo, considera que se dispone de módulos comerciales con las siguientes especificaciones:

Potencia	175 W_p	**Dimensiones**	Largo: 1500 mm	Ancho: 1000 mm	Espesor: 45 mm

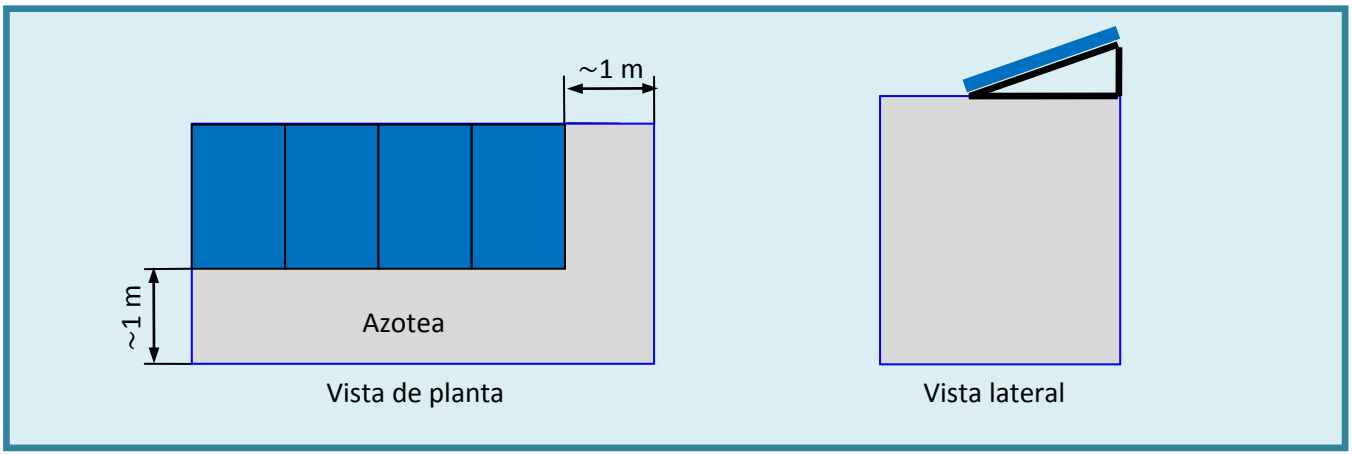
El arreglo entonces consistiría en una hilera de módulos con

$$\textit{Número de módulos} = \frac{653\ W_p}{175\ W_p} = 3.73 \cong 4 \quad \Rightarrow \quad \textit{Capacidad} = 4 \times 175\ W_p = 700\ W_p$$

La configuración del montaje puede ser horizontal o vertical:

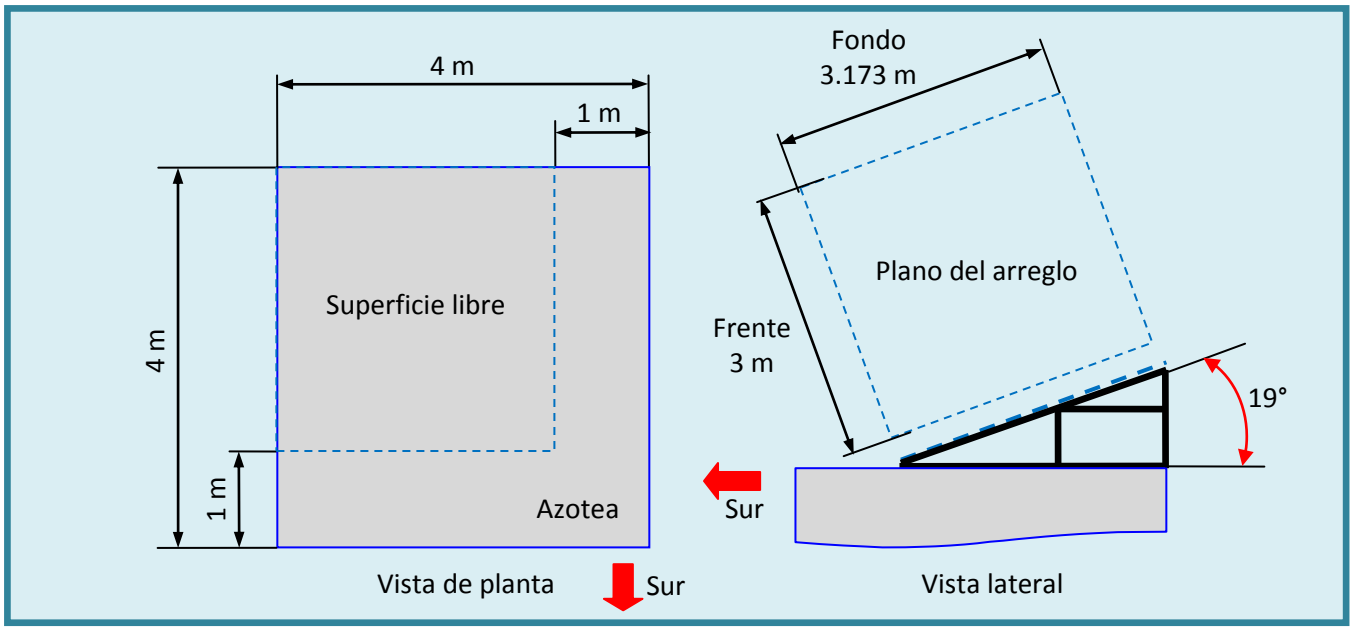


Cuando el montaje se realice en azotea, se recomienda que para fines de mantenimiento y por seguridad, se disponga de espacios libres adyacentes a la superficie destinada al arreglo. Existen diversas posibilidades pero en general es conveniente establecer franjas del orden de 1 m de ancho, tal como se ilustra para un arreglo inclinado con montaje vertical.



(b) Estimación de la capacidad por disponibilidad de espacio

También se puede calcular la capacidad del sistema de acuerdo al espacio disponible, el cual deberá estar libre de sombras durante todo el año. Por ejemplo, considera el caso de un sistema FV residencial que se desea instalar en la Ciudad de México con la máxima capacidad posible (el límite residencial es de 10 kW_p). Se dispone de una azotea horizontal libre de sombras sobre la que es posible orientar el arreglo hacia el sur, como se ilustra. La superficie disponible en el plano de la azotea se limita a 9 m^2.



Aunque se podría colocar el arreglo de módulos paralelo al techo, para obtener una mayor producción de energía en el año se recomienda un ángulo de inclinación igual a la latitud local, en este caso de la Ciudad de México, esto es ~19° (se debe tomar en cuenta que algunas estructuras prefabricadas sólo permiten ciertos incrementos en su inclinación). Por lo tanto, el plano del arreglo del ejemplo tendrá un frente de 3 m y un fondo de 3.173 m (= 3 m/cos 19°), siendo el área de 3.0 m × 3.173 m = 9.52 m^2.

Estimación con base en información general Suponiendo que se utilicen módulos de silicio policristalino con un requerimiento de área de ~8.0 m^2 / kW_p (véase la tabla correspondiente en la página 6), se puede hacer una primera estimación de la capacidad instalable

$$\frac{9.52\ m^2}{8.0\ \frac{m^2}{kW_p}} \cong 1.19\ kW_p\ \acute{o}\ 1190\ W_p$$

Estimación con base en información comercial También se puede realizar un cálculo más detallado con base en información comercial. Esta información puede ser consultada en sitios de internet de proveedores de módulos FV. Para efectos ilustrativos se supondrá también el uso de módulos de silicio policristalino, pero en este caso con las siguientes especificaciones:

Potencia	170 W_p	**Dimensiones**	Largo: 1575 mm	Ancho: 826 mm	Espesor: 46 mm

Tal como se ilustró en el inciso (a) de esta sección, los módulos FV se pueden agrupar en hileras con un montaje horizontal (por su largo) o vertical (por su ancho). Con el objeto de determinar su mejor distribución sin sobrepasar el área libre estipulada se debe hacer un cálculo para cada posibilidad, lo que se muestra a continuación.

Montaje horizontal,

$$\frac{\text{Frente del plano del arreglo}}{\text{Largo del módulo}} = \frac{3000\ mm}{1575\ mm} = 1.90 \qquad \frac{\text{Fondo del plano del arreglo}}{\text{Ancho del módulo}} = \frac{3173\ mm}{826\ mm} = 3.84$$

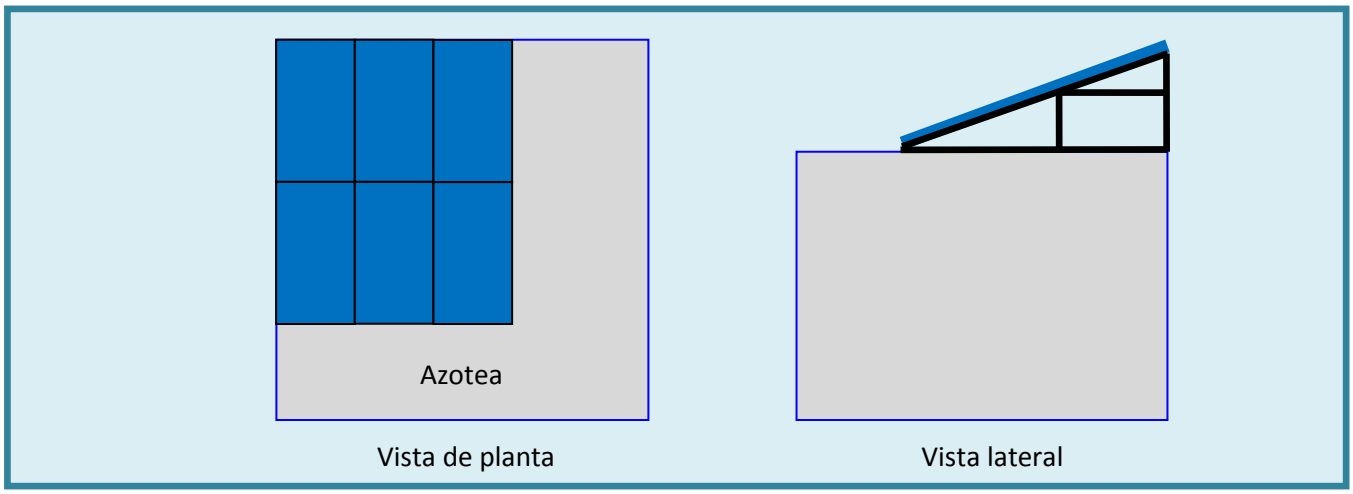
Esto daría un máximo de 1 × 3 = 3 módulos con una capacidad de arreglo de 3 × 170 W_p = 510 W_p.

Montaje vertical,

$$\frac{\text{Frente del plano del arreglo}}{\text{Ancho del módulo}} = \frac{3000\ mm}{826\ mm} = 3.63 \qquad \frac{\text{Fondo del plano del arreglo}}{\text{Largo del módulo}} = \frac{3173\ mm}{1575\ mm} = 2.01$$

Esto daría un máximo de 3 × 2 = 6 módulos con una capacidad de arreglo de 6 × 170 W_p = 1020 W_p.

Se selecciona entonces la distribución vertical con 6 módulos y 1020 W_p de capacidad, debido a que el propósito planteado es instalar la máxima capacidad posible sin sobrepasar el área límite estipulada.



Finalmente, se puede determinar la energía eléctrica que podría obtenerse con la capacidad FV calculada (usando el valor de 1020 W_p ó 1.02 kW_p). Si se considera una media anual de 5.36 horas de sol pico por día en plano inclinado a la latitud de la Ciudad de México (véase la tabla de la página 15), y una eficiencia del 70% en la conversión a corriente alterna, se tendría entonces una producción de

$$1.02\ kW_p \times 5.36\ \frac{\text{h}_{\text{sol}-\text{pico}}}{\text{día}} \times 365\ \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 0.7 \times \frac{1\ \text{año}}{6\ \text{bimestres}} = 232.8\ \frac{kWh}{\text{bimestre}}$$

Con esta producción eléctrica y considerando, por ejemplo, el historial de consumo referido en el apartado (a) de esta sección (294.5 kWh por bimestre), se tendría en promedio un ahorro en el consumo de electricidad de la red y en la facturación de alrededor del 79%.

(c) Estimación de la capacidad por limitación presupuestal

Ahora considera, por ejemplo, que una empresa desea instalar un SFVI comercial de pequeña escala montado en tierra, en principio, sin restricciones de espacio, pero con un presupuesto máximo de US$ 50,000 (excluyendo impuestos). La capacidad que se puede instalar con este presupuesto depende fundamentalmente del costo de los módulos utilizados, como se ilustra en la tabla que adelante se presenta. Las tecnologías incluyen módulos tanto de silicio cristalino como de película delgada. Los costos han sido supuestos para efectos ilustrativos.

Con esta información y utilizando la proporción del costo de módulos con respecto al costo total (véase la gráfica de composición de costos en la página 7), se calcula el costo unitario del sistema, esto es el costo del sistema por cada kW_p instalado. La capacidad del sistema se obtiene dividiendo el presupuesto disponible entre el costo unitario del sistema. Subsecuentemente, se calcula el área requerida utilizando el requerimiento de área para cada tecnología (véase la tabla de área requerida del arreglo en la página 6).

Módulos FV		Costo del SFVI	Capacidad	Área requerida
Tecnología	Costo			
Si-pc	$US\$\ 3.5/W_p$ (ilustrativo)	$\frac{US\$\ 3{,}500/kW_p}{0.5} \approx US\$\ 7{,}000/kW_p$	$\frac{US\$\ 50{,}000}{US\$\ 7{,}000/kW_p} \approx 7.14\ kW_p$	$7.14\ kW_p \times 8\frac{m^2}{kW_p} = 57\ m^2$
Si-sc	$US\$\ 4.0/W_p$ (ilustrativo)	$\frac{US\$\ 4{,}000/kW_p}{0.5} \approx US\$\ 8{,}000/kW_p$	$\frac{US\$\ 50{,}000}{US\$\ 8{,}000/kW_p} \approx 6.25\ kW_p$	$6.25\ kW_p \times 7\frac{m^2}{kW_p} = 44\ m^2$
Si-a	$US\$\ 2.4/W_p$ (ilustrativo)	$\frac{US\$\ 2{,}400/kW_p}{0.35} \approx US\$\ 6{,}857/kW_p$	$\frac{US\$\ 50{,}000}{US\$\ 6{,}857/kW_p} \approx 7.29\ kW_p$	$7.29\ kW_p \times 16\frac{m^2}{kW_p} = 117\ m^2$
CdTe	$US\$\ 2.6/W_p$ (ilustrativo)	$\frac{US\$\ 2{,}600/kW_p}{0.35} \approx US\$\ 7{,}429/kW_p$	$\frac{US\$\ 50{,}000}{US\$\ 7{,}429/kW_p} \approx 6.73\ kW_p$	$6.73\ kW_p \times 11\frac{m^2}{kW_p} = 74\ m^2$
CIGS	$US\$\ 3.0/W_p$ (ilustrativo)	$\frac{US\$\ 3{,}000/kW_p}{0.35} \approx US\$\ 8{,}571/kW_p$	$\frac{US\$\ 50{,}000}{US\$\ 8{,}571/kW_p} \approx 5.83\ kW_p$	$5.83\ kW_p \times 10\frac{m^2}{kW_p} = 58\ m^2$

La selección final de la tecnología FV depende de una ponderación entre la capacidad posible y la superficie de instalación requerida. Otras variables a considerar están determinadas por las particularidades del sitio de aplicación, así como por las condiciones climáticas correspondientes. Es importante resaltar que no todas las tecnologías de módulo ofrecen las mismas garantías, por lo que en la decisión final también se deberá tomar en cuenta esta condición.

Seleccionando a un proveedor

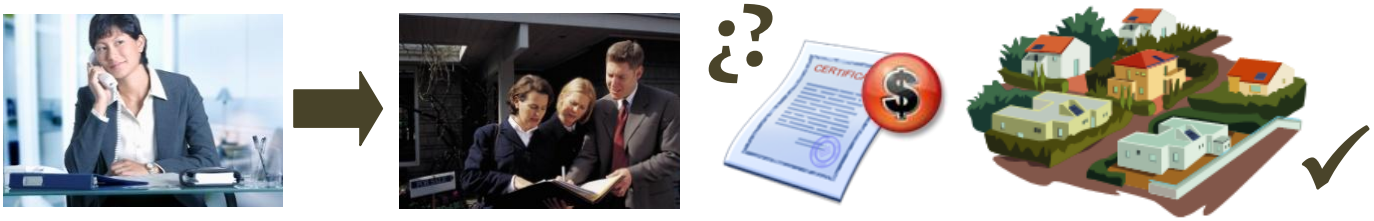
Al proveedor de SFVI también se le identifica como integrador, instalador o contratista de diseño e instalación. Existen en el mercado nacional diversos proveedores de sistemas y componentes FV distribuidos en la mayor parte de la República Mexicana. Muchos de ellos son localizables a través de los directorios proporcionados en los sitios web de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) y de la Asociación Mexicana de Proveedores de Energías Renovables (AMPER).

Asociación Nacional de Energía Solar (ANES)	
Nicolás San Juan 508 Col. Narvarte 03020 México, D.F.	Tel/Fax: (55) 56-01-87-63 http://www.anes.org/ anescomite@anes.org

Asociación Mexicana de Proveedores de Energías Renovables, A.C. (AMPER)
http://www.amper.org.mx/

Antes de seleccionar definitivamente al proveedor se recomienda…

- contactar varios proveedores para poder comparar los productos que ofrecen.
- obtener varias cotizaciones, donde se indique qué garantías aplican y por cuánto tiempo.
- solicitar información a los posibles proveedores acerca de
  - características, ventajas y desventajas de la tecnología utilizada.
  - las certificaciones que poseen sus productos.
  - sus proyectos realizados y que estén en operación. En especial, verificar si han instalado SFVI.
  - la observación en el proyecto de la normatividad vigente en México (NOM-001-SEDE, Especificación CFE G0100-04, etc.).
  - planes y condiciones de servicio.



Imágenes prediseñadas de Word

Trámite de interconexión

Requisitos	Contrato de interconexión
Los requisitos para realizar un contrato de interconexión en pequeña escala con CFE, son: • que tengas un contrato de suministro normal en baja tensión, • que las instalaciones cumplan con las Normas Oficiales Mexicanas y con las especificaciones de CFE, • y que la potencia de tu sistema FV no sea mayor de 10 kW_p si lo instalaste en tu domicilio, ó de 30 kW_p si lo instalaste en tu negocio.	La duración del contrato es indefinida y puede terminarse cuando lo desees notificando a la CFE con al menos 30 días de anticipación. ✦ Actualmente la CFE registra tus consumos de energía eléctrica con medidores que sólo integran la energía que recibes de la red. Al establecer un contrato de interconexión, CFE te cambiará el medidor, instalando uno que permitirá registrar tanto la energía eléctrica que entra a tu servicio, como la energía eléctrica que sale.

Sitio de CFE en internet http://www.cfe.gob.mx/	Ubicación de agencias comerciales:	**Inicio➔ Contacto➔ CFEmáticos y oficinas de atención**
	Descarga de solicitud y documentos:	**Inicio➔ Responsabilidad Social ➔ Energía renovable**

Pasos para realizar el contrato de interconexión

1. Solicitud Acude a la agencia comercial de CFE más cercana llevando el formato de solicitud lleno.

La persona que deberá realizar el trámite deberá ser el titular del contrato de suministro normal, si es persona física, o el representante legal, si se trata de persona moral. En ambos casos se requiere presentar identificación oficial. Si se trata de persona moral, el representante deberá presentar también la documentación que acredite la constitución de la sociedad y el otorgamiento de facultades de la misma hacia la persona que realiza el trámite.

2. Número de solicitud Recibirás un número de solicitud. Con este número podrás dar seguimiento a tu solicitud de interconexión.

3. Revisión de la instalación y requerimiento de obras Personal del área técnica de CFE acudirá a tu domicilio para revisar que el sistema FV cumpla con los requisitos técnicos correspondientes. CFE te informará de los resultados de la revisión, y en su caso, de las obras que se requiere construir o modificar para efectuar la interconexión, mismas que correrán a cargo del solicitante.

4. Firma de contrato y pago del importe Una vez que haya sido aprobado técnicamente, la persona que realiza el trámite acudirá nuevamente a la agencia comercial de CFE más cercana a firmar su contrato de interconexión y a pagar el importe correspondiente a la diferencia de costos de los medidores.

5. Instalación del medidor bidireccional Personal técnico de CFE acudirá a tu domicilio a cambiar el medidor.

6. Contrato de interconexión A partir de ese momento, ya tendrás un contrato de interconexión con CFE.

Notas:

Primera edición – versión electrónica, México 2010

Preparado por:

Humberto Rubén Becerra López
Jaime Agredano Díaz
Jorge M. Huacuz Villamar

Instituto de Investigaciones Eléctricas
Gerencia de Energías No Convencionales
Calle Reforma No. 113
Col. Palmira
C.P. 62490 Cuernavaca, Mor., México

http://www.iie.org.mx/proyectofotovoltaico/