



SEMINARIO INTERVENCIONES URBANAS CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

MANUAL



INTERNATIONAL
SOLAR CITIES CONGRESS
BUENOS AIRES 2014

Agencia de Protección Ambiental

agenciaambiental.gob.ar

  /BACiudadVerde



Buenos Aires Ciudad



EN TODO ESTÁS VOS

SECCION 1

**TECNOLOGÍA
FOTOVOLTAICA
EN EDIFICIOS**

1. Introducción

La utilización de fuentes energéticas renovables resulta vital en la estrategia de desarrollo de políticas de sostenibilidad, no solo porque representa el aprovechamiento de un recurso inagotable, sino también porque su uso tiene un impacto mucho más bajo en el medio ambiente comparado con las fuentes energéticas convencionales para la producción de energía.

De hecho, las preocupaciones medioambientales probablemente llevarán a la adopción masiva de sistemas de generación de energías renovables, antes que ocurra una crisis en el suministro de combustibles convencionales como ser los fósiles.

Una de las tecnologías energéticas renovables más importantes para la producción de energía eléctrica es la correspondiente a los sistemas solares fotovoltaicos, la cual se basa en la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica, mediante el efecto fotovoltaico. Esta tecnología no solo tiene bajo impacto ambiental, sino también puede utilizarse en áreas urbanas sin perturbar el estilo de vida de sus habitantes.

Esta sección introductoria detalla los principios básicos de la integración de los sistemas fotovoltaicos en edificios, proporcionando una visión global del concepto. Las consideraciones específicas serán revisadas con más detalle en capítulos subsecuentes.



Figura 1: Fachada ventilada fotovoltaica de innegable valor estético e imbatible en términos de aislamiento térmico y acústico, que produce electricidad limpia y gratuita gracias al sol.

1a. Los sistemas fotovoltaicos

Los sistemas solares fotovoltaicos (FV) convierten la luz solar directamente en electricidad, sin producir ningún tipo de emisión o ruido. Si bien la magnitud de la potencia producida por un generador fotovoltaico está relacionada directamente con la intensidad de la radiación solar que incide sobre los paneles fotovoltaicos, se produce energía eléctrica aun cuando las condiciones de luminosidad no son las ideales.

La celda solar fotovoltaica es la unidad fundamental de los sistemas fotovoltaicos. Está compuesta de un material semiconductor y posee la estructura de un diodo plano. Estos dispositivos son más eficientes para la conversión de energía solar en electricidad a medida que la temperatura decrece. Por consiguiente, al diseñar sistemas fotovoltaicos en edificios, se deben tomar medidas especiales para mantener la temperatura tan baja como sea factible.

Un módulo fotovoltaico consiste esencialmente en un conjunto de celdas fotovoltaicas interconectadas eléctricamente y encapsuladas. Posee en su parte anterior un vidrio de características especiales y en su parte posterior una protección mecánica de Tedlar y Poliéster. Todo este conjunto se inserta en un marco de aluminio anodizado y se lo sella para evitar el ingreso de humedad. Los módulos fotovoltaicos pueden producirse en un amplio rango de tamaños y formas.

Los módulos fotovoltaicos producen corriente eléctrica continua y sus circuitos pueden diseñarse para proveer los valores de tensión e intensidad de corriente requeridos específicamente. En la mayoría de las aplicaciones fotovoltaicas en áreas urbanas, la energía eléctrica producida se transforma a corriente alterna, de forma tal que la misma pueda ser utilizada directamente en el suministro eléctrico del edificio. Los recientes desarrollos tecnológicos han llevado a la producción de módulos de corriente alterna, mediante un inversor electrónico de corriente continua/corriente alterna, el cual se instala directamente en la parte posterior del módulo. Estos son denominados "micro inversores" y permiten que el módulo fotovoltaico entregue en forma directa corriente alterna.

La orientación de los módulos fotovoltaicos afectará la cantidad de radiación solar que ellos reciben y por consiguiente la energía generada. Puesto que la posición del sol varía durante el día y también durante las diferentes estaciones, no es posible encontrar una orientación que produzca el rendimiento máximo en todo momento del año, aunque el posicionamiento puede optimizarse para ciertas condiciones particulares. En general, las superficies orientadas entre el noreste y el noroeste (en el hemisferio sur) ofrecen las situaciones óptimas para los sistemas fotovoltaicos. La inclinación (ángulo de inclinación respecto a la horizontal) del sistema fotovoltaico determina si este funcionará mejor en el invierno o el verano. Las fachadas verticales favorecen la producción de energía en el invierno y los techos horizontales en el verano.



Para un funcionamiento óptimo, el sistema fotovoltaico debe tener una inclinación y orientación acorde a lo que menciona la teoría al respecto; sin embargo, en un ambiente urbano, es difícil de evitar sombras en algunas partes del sistema durante ciertos períodos del año, debido a la proximidad de estructuras edilicias circundantes. Los circuitos eléctricos del sistema pueden diseñarse para minimizar este efecto, pero lo aconsejable es evitar las sombras sobre los módulos fotovoltaicos ya que esto afecta el rendimiento energético significativamente. Una alternativa es utilizar diferentes orientaciones dentro del mismo sistema fotovoltaico, siempre y cuando el sistema eléctrico se diseñe correctamente.

Los módulos fotovoltaicos se producen en una amplia variedad de formas, tamaños y colores para satisfacer los requerimientos de diseño del edificio. En la mayoría de las instalaciones se utilizan módulos fotovoltaicos con celdas de silicio monocristalino o policristalino, generalmente de un color azulado, aunque también existe en el mercado tecnología de módulos transparentes, los cuales se pueden instalar como soporte posterior creando una unidad semitransparente, que permite transmitir la luz solar y que pueden ser utilizados en atrios, claraboyas y superficies vidriadas en general.



Figura 2: Los paneles fotovoltaicos integrados en fachadas con células no opacas es otra opción para que los edificios urbanos sean más sostenibles. Edificio de SMA Solar Academy en Niestetal (Alemania).

1b. Conceptos arquitectónicos

Hay una variedad de formas en las que se pueden integrar módulos fotovoltaicos en el diseño arquitectónico. Los sistemas fotovoltaicos integrados a edificios deben ser capaces de proporcionar la protección que sería brindada por revestimientos o cubiertas convencionales y, por otra parte, deben estar diseñados de forma tal que la energía eléctrica generada pueda ser conectada a la instalación eléctrica del edificio. Algunos proyectos de demostración, fundamentalmente en Europa, han sido la base para la investigación en relación a la incorporación de módulos fotovoltaicos como revestimiento exterior de fachadas, como cortina vidriada, como atrio vidriado, tragaluces, etc. Inclusive se han desarrollado tejas fotovoltaicas. También pueden utilizarse los módulos fotovoltaicos como elementos decorativos formando esculturas que pueden ser visibles desde el exterior y/o interior del edificio.



Figura 3: ejemplo de sistema fotovoltaico



Figura 4: ejemplo de sistema fotovoltaico aplicado a un edificio.



Figura 5: ejemplo de sistema fotovoltaico semitransparente.

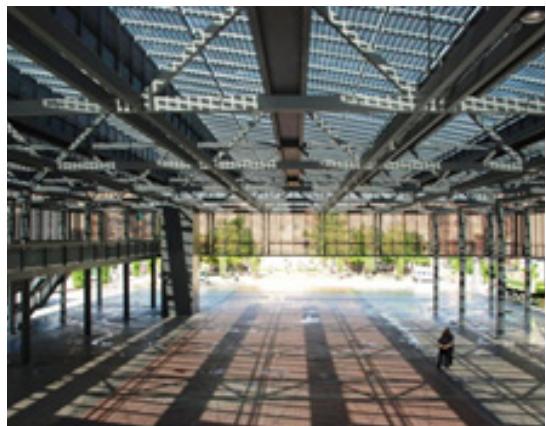


Figura 6: ejemplo de sistema fotovoltaico integrado a un tejado.

1c. Normativas

Los sistemas fotovoltaicos integrados a edificios deben obedecer las normativas correspondientes a los aspectos estructurales y eléctricos del país en el que se instala. La conexión del sistema fotovoltaico a los circuitos eléctricos requiere la complacencia con las reglamentaciones de la compañía distribuidora de electricidad. Dado que el sistema puede producir corriente continua de alta tensión, dependiendo del diseño eléctrico del mismo, los procedimientos de instalación deben ser los adecuados. En los demás aspectos, los módulos fotovoltaicos no se diferencian de un elemento más de los utilizados para la construcción del edificio, debiendo cumplir con las normativas correspondientes.

1d. Consideraciones económicas

Tradicionalmente, las consideraciones económicas de los sistemas fotovoltaicos analizan solo el costo de electricidad producida por el sistema. Como en todo generador de energías renovables, el rendimiento depende del lugar donde el sistema es instalado y el costo principal es el capital inicial que se necesita para su compra e instalación. Los costos de mantenimiento y funcionamiento son relativamente bajos. En el caso de un sistema fotovoltaico integrado a un edificio, habría que considerar también el costo diferencial con respecto a los materiales o revestimientos que se habrían usado en una construcción convencional. El costo de la unidad eléctrica fotovoltaica depende, por consiguiente, de los detalles de diseño del sistema y del edificio.

En una comparación directa con la generación de energía eléctrica convencional, los sistemas fotovoltaicos no son aún competitivos desde el punto de vista meramente económico, excepto en ciertas zonas geográficas específicas con altos niveles de insolación. Sin embargo, los costos de los sistemas han bajado y se espera que disminuyan aún más como resultado de las mejoras técnicas y del crecimiento del mercado (ver figura 7). Esto debe llevar a costos competitivos dentro de los próximos años.

Por supuesto, en muchos casos, el costo por unidad de electricidad producida no es el único factor que determina la instalación de un sistema fotovoltaico como parte de la estructura de un edificio. Una consideración importante es el aspecto visual que puede lograrse con módulos fotovoltaicos que podrían ser utilizados para lograr un efecto innovador y futurista. Un segundo factor es la imagen ecológica o de cuidad por el medio ambiente que transmite la energía solar. Esto es particularmente relevante en el presente clima de preocupación pública por los problemas medioambientales. En efecto, estas consideraciones pueden ser más relevantes que el costo por unidad eléctrica producida. Este razonamiento es especialmente válido para edificios de categoría, donde el sistema fotovoltaico representaría solo una parte pequeña del costo total del proyecto.

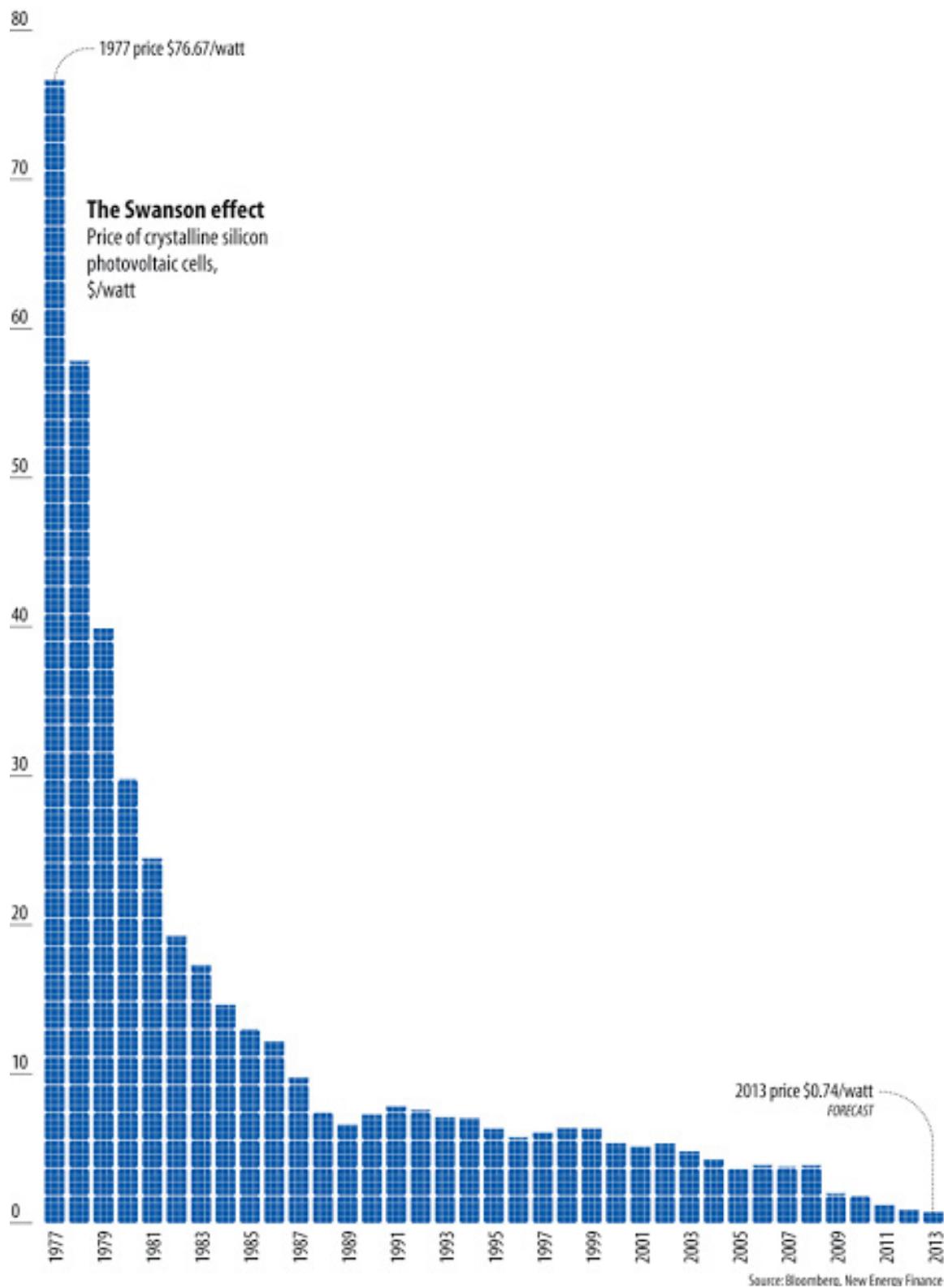


Figura 7: evolución histórica del costo de los módulos solares fotovoltaicos.

1e. El medio ambiente

La fuerza más importante que impulsa el uso masivo de la tecnología fotovoltaica es de carácter ecológico o medio ambiental. Los sistemas fotovoltaicos producen energía eléctrica, que es una de las formas más valiosas y versátiles de la energía y lo hacen sin emisiones contaminantes de ningún tipo y, en particular, sin emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero.

Por supuesto, ninguna tecnología de generación de energía es completamente benigna con respecto al medio ambiente. En el caso de la tecnología fotovoltaica, las fases de mayor impacto ambiental ocurren durante la fabricación y deposición de los módulos y los equipos asociados al sistema. Los procesos industriales utilizados para la fabricación de los módulos fotovoltaicos son similares a aquellos utilizados para producir cualquier otro dispositivo semiconductor y los impactos medio ambientales pueden ser controlados por la adopción de prácticas industriales adecuadas.

En funcionamiento, el sistema fotovoltaico presenta riesgos muy bajos, sin ruidos ni emisiones que perturben sus actividades. Aunque el sistema fotovoltaico puede operar a elevadas tensiones de corriente continua, el sistema eléctrico no es accesible y no presenta peligro de contacto con cualquiera de las superficies de los módulos. Estudios de situaciones de emergencia, particularmente incendios, han mostrado que los módulos presentan menores riesgos que otros materiales convencionales del edificio.

En la actualidad, se utilizan fuentes convencionales de energía durante la fabricación de los módulos, lo que hace que estos tengan asociados un nivel de emisiones de CO₂. El tiempo de recuperación energética, es decir, el período de tiempo que se necesita para que el sistema genere la misma cantidad de energía que se utilizó para su fabricación, depende de varios factores pero está demostrado que puede reducirse a unos pocos meses, en condiciones climáticas favorables. En las peores condiciones, el tiempo de recuperación energética no supera los 2,5 años y así, para el resto de la vida del sistema, del orden de los 30 años, la energía eléctrica producida puede decirse que está libre de emisiones de CO₂.



Figura 8: La Biblioteca de Mataró no solo integra FV en el techo y en la fachada, sino también utiliza el aire caliente generado en la parte posterior de los módulos para contribuir a la calefacción en invierno.

1f. Argumentos en favor de FV

Quizás la tecnología de energía renovable más prometedora y adaptable a áreas urbanas es la fotovoltaica. Esta provee una manera elegante y limpia de producir electricidad directamente del sol sin dañar el medio ambiente, al mismo tiempo que presenta un nuevo desafío a los conceptos de los diseños arquitectónicos.

Las tecnologías de la energía solar tienen muchas ventajas, pero también deben ser capaces de reunir los requisitos básicos de toda fuente de energía: ser confiable, económica, compatible con las normas y prácticas de la industria al mismo tiempo que ser totalmente aceptable por el público.

El uso de elementos de energía solar en el diseño de edificios presenta una opción viable hacia la construcción de las ciudades sustentables del futuro. Hoy en día, la mayoría de los edificios se diseñan aprovechando al máximo la energía solar natural; en el futuro la utilización de la energía solar se extenderá, maximizando la energía solar utilizada y produciendo edificios equilibrados energéticamente. Idealmente, este uso de la energía solar debe ser logrado con diseños tales que no comprometan los aspectos estéticos ni los económicos.

Los argumentos para el uso de la tecnología fotovoltaica en edificios son muy variados. Entre ellos destacamos los siguientes:

1. Los módulos fotovoltaicos, cuando se integran en edificios, ocupan una estructura ya existente: el propio edificio. No se necesita espacio adicional para captar la energía del sol. Esto es particularmente significante en las áreas densamente pobladas de la Argentina.
2. La electricidad se genera directamente donde se consume, evitando pérdidas de distribución.
3. La sinergia con otras partes del edificio reduce la inversión adicional. Los módulos fotovoltaicos integrados forman componentes arquitectónicos de la piel exterior del edificio que reemplazan a los materiales tradicionales.
4. La calidad arquitectónica de una fachada fotovoltaica da una nueva alternativa frente a otros materiales convencionales bien establecidos (por ejemplo, módulos fotovoltaicos en lugar de mármol).
5. La utilización de sistemas fotovoltaicos estimula a menudo el concepto de uso racional de la energía, tanto en residencias particulares como en oficinas.
6. Los módulos fotovoltaicos son una expresión arquitectónica de innovación y de alta tecnología. En particular, refuerzan la imagen medio ambiental empresarial cuando se los utiliza como un componente en edificios corporativos de categoría.



La combinación de las ventajas de esta tecnología, las posibilidades de su integración en los edificios y la escasa factibilidad práctica de otras fuentes de energía renovables en aplicaciones urbanas sugiere que los sistemas fotovoltaicos son la clave a una solución limpia y eficaz para nuestras ciudades sustentables del futuro.

1g. Perspectivas de la tecnología fotovoltaica en Argentina

En Argentina, la tecnología fotovoltaica se utiliza en una muy variada cantidad de aplicaciones, fundamentalmente en regiones donde la red eléctrica convencional no está disponible o en regiones remotas donde la extensión de la red eléctrica es demasiado costosa. Sin embargo, el sector residencial consume más del 30% de la energía primaria total producida en el país. El consumo de energía eléctrica crece significativamente y los picos de consumo en el verano generalmente exceden los picos de consumo invernales. Las regiones urbanas de Buenos Aires, Rosario y Córdoba tienen una población combinada de más de 15 millones de personas.

Esto justifica que se preste especial atención al uso racional de la energía en el sector domiciliario y al posible uso de fuentes renovables de energía para reducir el consumo de combustibles contaminantes (fósiles o nucleares) y su impacto ambiental. Los sistemas fotovoltaicos integrados a edificios funcionan como pequeños generadores dispersos embebidos en áreas urbanas y presentan varias ventajas, entre las que se encuentran que no necesitan espacio adicional para su instalación, no requieren inversiones adicionales para infraestructura, tienen bajo costo de montaje y no producen contaminación ambiental.

Dado que la curva de producción fotovoltaica coincide con el pico de consumo debido a los sistemas acondicionadores de aire, las compañías eléctricas pueden ser también beneficiadas debido a:

- La reducción del pico de consumo y la consecuente reducción en los costos de generación.
- Menor inversión en la red de distribución.
- Reducción de los costos de transmisión.

En el corto y mediano plazo, las aplicaciones que se prevén para la tecnología fotovoltaica integrada a edificios en Argentina están relacionadas con los desarrollos urbanos y periurbanos en las zonas donde la capacidad de la infraestructura eléctrica existente está cercana al pico de la demanda. En este caso, los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica son una solución técnicamente posible. Los sistemas fotovoltaicos pueden aplicarse para satisfacer la demanda eléctrica del sector de servicios de los desarrollos urbanos, o bajar el pico de demanda debido al uso

fundamentalmente de sistemas acondicionadores de aire.

Otra potencial aplicación es la incorporación de los módulos fotovoltaicos en la cara norte de las fachadas de los edificios. En este caso:

- El pico de carga eléctrica y la máxima generación fotovoltaica son casi simultáneos en la mayoría de los edificios de oficinas.
- Las superficies fotovoltaicas verticales son viables debido a la gran superficie disponible y a la gran aceptación que tienen los módulos fotovoltaicos diseñados para fachadas, como superficies decorativas.
- Las dimensiones normalizadas de los sistemas de cerramiento de fachadas permiten la integración directa de los módulos a estos.
- En la mayoría de los edificios, el consumo eléctrico total es bastante mayor que la energía generada por los sistemas fotovoltaicos. Esto significa que solo pequeñas cantidades de energía eléctrica son “exportadas” a la compañía eléctrica, sin presentar mayor dificultad alguna.
- La utilización de sistemas fotovoltaicos da una imagen de compromiso con el medio ambiente.
- Otras aplicaciones especiales como por ejemplo los sistemas de seguridad robustos, actividades y equipamientos que son vulnerables a cortes de energía pueden ser consideradas.

Evaluar los beneficios relativos de la tecnología fotovoltaica en aplicaciones arquitectónicas en diferentes regiones climáticas, es un desafío para arquitectos e ingenieros que son los que diseñan y construyen nuestro hábitat, teniendo en cuenta aspectos culturales, sociales, estéticos y ecológicos. Para aplicar eficazmente esta tecnología dentro de la arquitectura Argentina, sus principios y condiciones de funcionamiento deben verse en un contexto regional y deben adaptarse para asegurar que se conviertan en un elemento más del conjunto de herramientas apropiadas para un diseño bio-climático.

Argentina y en particular Buenos Aires, es muy conocida por su arquitectura moderna. No hay duda que la sociedad aceptará esta nueva tecnología en edificios. Por otra parte, la disponibilidad del recurso solar en Argentina indica un gran potencial para las aplicaciones fotovoltaicas, en particular para aquellas relacionadas con la arquitectura. De este modo, el potencial de la electricidad fotovoltaica como un medio para enfrentar los problemas antes mencionados es enorme.



Figura 9: Edificios como este de la Universidad de Buenos Aires podrían ser FV utilizando vestido para proporcionar una piel visualmente atractiva y también producir electricidad para el consumo dentro del edificio.

2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: Principios de funcionamiento

La naturaleza modular de los generadores fotovoltaicos favorece su utilización en sistemas de suministro de energía para un rango sumamente amplio. El espectro de potencia suministrada en sus aplicaciones se extiende desde unos mW para relojes o calculadoras; potencias del orden del kW para electrificación rural o residencial en lugares remotos, bombeo de agua, etc. hasta grandes estaciones generadoras con potencias del orden de los MW.

Todo el rango de aplicaciones fotovoltaicas puede ser dividido en tres categorías:

- Sistemas remotos o autosuficientes, donde el sistema proporciona corriente continua mediante un banco de baterías.
- Sistemas aislados, donde el sistema suministra corriente alterna mediante un inversor, sin conexión a la red eléctrica, utilizándose baterías para asegurar el suministro continuo de electricidad.
- Sistemas conectados a la red eléctrica.

Los sistemas fotovoltaicos integrados a edificios pertenecen a la última categoría.

Los sistemas conectados a la red eléctrica interactúan con esta a través de un inversor, por lo tanto, no requieren almacenamiento de energía ya que la continuidad del suministro eléctrico está asegurada. Durante el día, el generador fotovoltaico proporciona energía eléctrica que se utiliza para los consumos del edificio y el excedente es inyectado a la red eléctrica. Durante la noche, la energía eléctrica es tomada de la red.

Este tipo de aplicaciones incluye desde sistemas pequeños, descentralizados, con los módulos fotovoltaicos instalados en los techos de las residencias, fachadas de edificios comerciales, hasta grandes centrales fotovoltaicas, que ocupan grandes áreas, estando los módulos montados sobre estructuras de soporte especialmente diseñadas. El rango de potencia se extiende desde los cientos de Watts hasta los MW.

2a. Fundamentos de la celda fotovoltaica

La parte activa más pequeña de cualquier sistema fotovoltaico es la celda solar fotovoltaica. Esta está compuesta fundamentalmente de silicio, el segundo elemento más abundante (después del oxígeno) en la corteza terrestre. No tiene partes móviles y puede, por consiguiente, operar casi indefinidamente sin deteriorarse.

Las celdas fotovoltaicas consisten, esencialmente, en una oblea de silicio de 0,2 – 0,3 mm de espesor (en el caso de la tecnología de silicio amorfo, donde el material se obtiene por deposición de una película delgada, por ejemplo de silicio, la oblea es aún más delgada) en las que se unen dos capas delgadas de materiales semiconductores diferentes, conocidos como tipo “p” (semiconductor positivo) y tipo “n” (semiconductor negativo). Uniendo estos semiconductores se crea una unión del tipo p-n (ver figura 10) que produce un campo eléctrico en la región de la unión. Este campo hace que las partículas con cargas negativas se muevan en una dirección y las positivas en dirección opuesta.

Cuando los fotones de la luz de una longitud de onda conveniente inciden en la unión, transfieren parte de su energía a los electrones en el material, poniéndolos en un nivel de energía más alto. En este estado excitado, los electrones pasan a ser portadores de carga eléctrica, moviéndose a través del material. Una tensión eléctrica se genera entre los contactos externos y cuando se cierra el circuito mediante una carga, circula una corriente eléctrica.

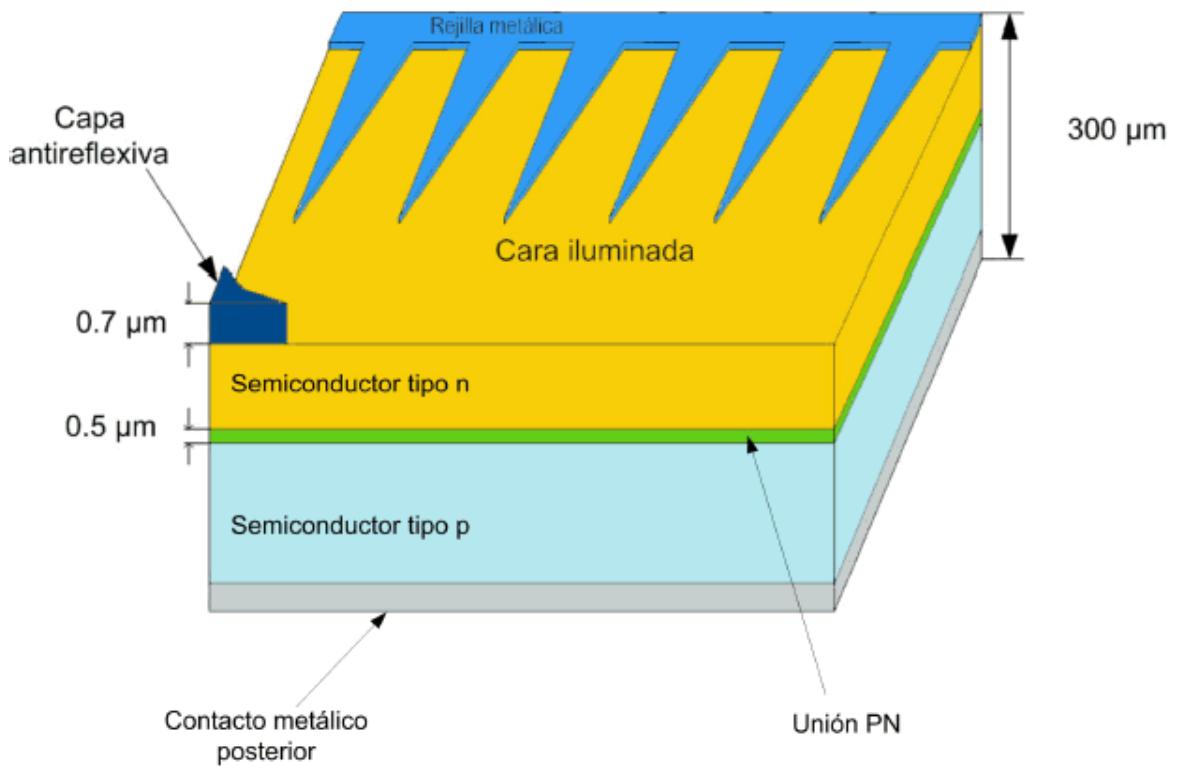


Figura 10: Sección transversal de una celda fotovoltaica de silicio cristalino

Al incidir la radiación solar en la celda fotovoltaica, se generan los portadores de carga que permiten que circule una corriente eléctrica a través de la carga conectada entre los terminales. El número de portadores de cargas libres creado es proporcional a la intensidad de la radiación solar incidente, por lo que la corriente eléctrica generada en la celda fotovoltaica es también proporcional a la intensidad de la radiación solar.

Ahora, no toda la radiación solar incidente sobre la celda se convierte en electricidad. El rendimiento eléctrico de una celda fotovoltaica se define como el cociente entre la energía eléctrica que produce la celda y la radiación solar incidente que hace producir dicha energía eléctrica. Este rendimiento depende de la tecnología utilizada y del tipo de celda. En el siguiente cuadro (cuadro 1) se muestran diferentes valores de rendimiento para distintas celdas fotovoltaicas.

Tipo de material	Celda fotovoltaica de laboratorio		Celda fotovoltaica comercial	
	Tamaño (cm ²)	η (%)	Tamaño (cm ²)	η (%)
Monocristalinas	4	23,3	100	17,5
Celdas parabólicas	0,15	29,5	26	17,2
Policristalinas	100	17,8	100	14,2
Silicio amorfo (monojuntura)	1	11,5	1000	5 - 8
Silicio amorfo (multijuntura)	1	13,7	500	5 - 8

Cuadro 1: Valores de rendimiento que se logran con diferentes celdas de silicio

2b. Tecnología para la fabricación de celdas solares

Varios materiales semiconductores son aptos para la fabricación de celdas solares. Para evaluar las diferentes tecnologías, se aplican varios criterios. Los más importantes son:

- Valores de rendimiento altos.
- Disponibilidad de material semiconductor.
- Estabilidad electrónica del material.
- Costos aceptables para el material.
- Costos de producción industrial adecuados.
- Bajo impacto ambiental de los procesos industriales asociados y del material en sí.

Las tecnologías que se utilizan actualmente y que están disponibles comercialmente para la producción de celdas solares son:

Celdas de silicio monocristalino, las cuales poseen las siguientes características:

- El proceso de producción está basado en la tecnología de semiconductores convencionales, es decir, es un proceso industrial maduro.
- El rendimiento de las celdas que se producen industrialmente está entre el 15 y el 18%.
- Hay gran potencial para llegar a rendimientos mayores al 23% con procesos de producción más sofisticados.
- Las celdas tienen gran estabilidad electrónica y como resultado se obtienen celdas con rendimiento estable durante décadas.

- La materia prima es prácticamente ilimitada.
- El material es inocuo al medio ambiente.
- Se necesitan capas de silicio de espesor considerable, dado el bajo coeficiente de absorción, por lo que se necesitan cantidades de material relativamente grandes.

Entre las innovaciones que se estudian para mejorar el rendimiento y para optimizar el uso de materia prima, es la de usar texturas piramidales en la cara superior de la celda, para aumentar la cantidad de luz “atrapada” y “esconder” los contactos eléctricos para mejorar la resistencia eléctrica y minimizar las pérdidas debido a sombras.

Celdas de silicio policristalino, cuyas características son similares a las monocrísticas, con las siguientes diferencias:

- Las celdas no son obleas de silicio sino que se logran con silicio fundido en forma de lingotes o trazado en láminas.
- El rendimiento es sustancialmente más bajo (entre un 12 y un 15%).
- Costos de producción en serie sensiblemente menores, con la misma robustez industrial.

Celdas de silicio amorfo (a-Si), que poseen las siguientes características:

- Fáciles de preparar en grandes áreas.
- Se necesitan capas de silicio delgadas (menores a un micrómetro).
- Se integran fácilmente para formar módulos de áreas considerables, estructurando adecuadamente los contactos eléctricos.
- Las celdas de monojuntura logran valores de rendimiento de alrededor del 10%.
- El rendimiento de la celda decae con el tiempo, por lo que solo rendimientos del orden del 4 - 6% son garantizados para los módulos comerciales.
- No han cumplido las expectativas de lograr procesos industriales sin degradación, a costos sustancialmente menores que los de la tecnología cristalina.

Existen otros tipos de celdas fotovoltaicas donde se han utilizado nuevos materiales para su constitución. Los mismos están basados en la tecnología denominada “película o capa delgada” (de forma similar al silicio amorfo). La principal ventaja de esta tecnología es que tiene el potencial de producir celdas a bajo costo, con procesos automatizados.

Uno de esos materiales es el telurio de cadmio, un compuesto de los elementos cadmio y telurio. El rendimiento de este material es ligeramente más alto que el silicio amorfo, pero también es más costoso. Módulos de telurio de cadmio ya están disponibles comercialmente.

Otros materiales utilizados son el diseleniuro de cobre indio, un compuesto de cobre, indio y selenio y el diseleniuro de cobre galio indio que es similar pero incluye galio. Módulos fotovoltaicos fabricados con estos materiales tienen rendimientos de casi el 10%. Los problemas radican en que el indio es relativamente costoso; que algunos pasos del proceso de producción involucran el uso de gases de diseleniuro de hidrógeno que es muy tóxico y que resulta complejo controlar las proporciones de los elementos en áreas grandes.

Un material que se utiliza para aplicaciones especiales como la espacial, es el arseniuro de galio. Este tiene una estructura similar a la del silicio cristalino, pero está formado por galio y átomos de arsénico. Resulta muy conveniente para el uso en sistemas fotovoltaicos porque las celdas solares producidas con este material tienen un muy alto rendimiento y pueden trabajar a temperaturas elevadas. El problema fundamental es su costo y además, el galio y el arsénico son materiales bastante raros.

2c. Características eléctricas de las celdas fotovoltaicas

Para utilizar celdas fotovoltaicas eficazmente debemos saber cómo se comportan cuando se les conecta una carga eléctrica. Cuando no hay ninguna carga conectada a los terminales de la celda, es decir, cuando la celda se encuentra a “circuito abierto”, la corriente en el circuito tiene su valor mínimo (cero) y la tensión de la celda está en su valor máximo, conocido como el valor de tensión a circuito abierto V_{oc} . Por otra parte, cuando los terminales de la celda se interconectan directamente son carga alguna, es decir, cuando se cortocircuitan, la corriente alcanza su valor máximo, conocido como corriente de cortocircuito I_{sc} . Variando la resistencia entre cero e infinito, la corriente y la tensión variarán. La curva corriente tensión (curva I-V) que se obtiene caracteriza la celda. La misma entregará su máxima potencia cuando la resistencia externa sea tal que su valor corresponda al punto de máxima potencia en dicha curva (P_{max}). Las características de las celdas o módulos se determinan en las condiciones normalizadas de radiación solar, densidad atmosférica y temperatura de la celda: 1000 W/m²; AM: 1,5 y 25°C. (Ver figura 11)

La intensidad de corriente generada por la celda o el módulo fotovoltaico es directamente proporcional a la intensidad de la radiación solar incidente (ver figura 12). La tensión depende fundamentalmente del material con que está construida la celda.

La temperatura también afecta la curva I-V (ver figura 13) y, por lo tanto, incide en el rendimiento de la celda. Aunque la corriente aumenta ligeramente con la temperatura

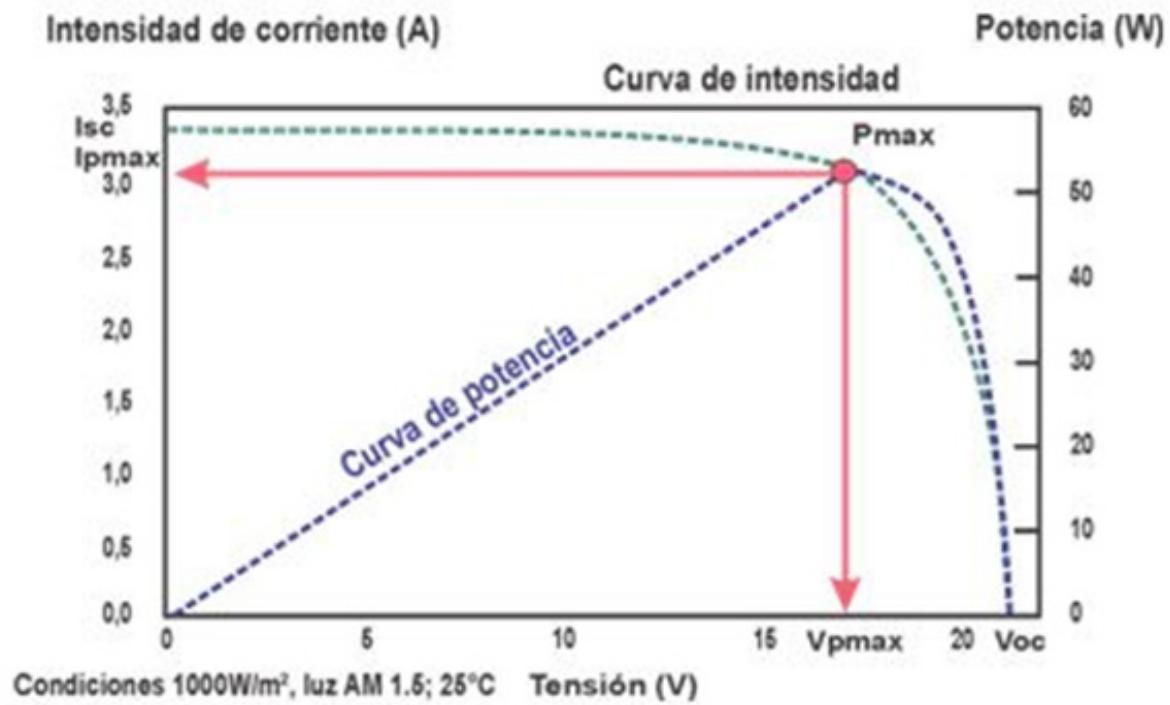


Figura 11: Curva I-V para una celda o un módulo fotovoltaico.

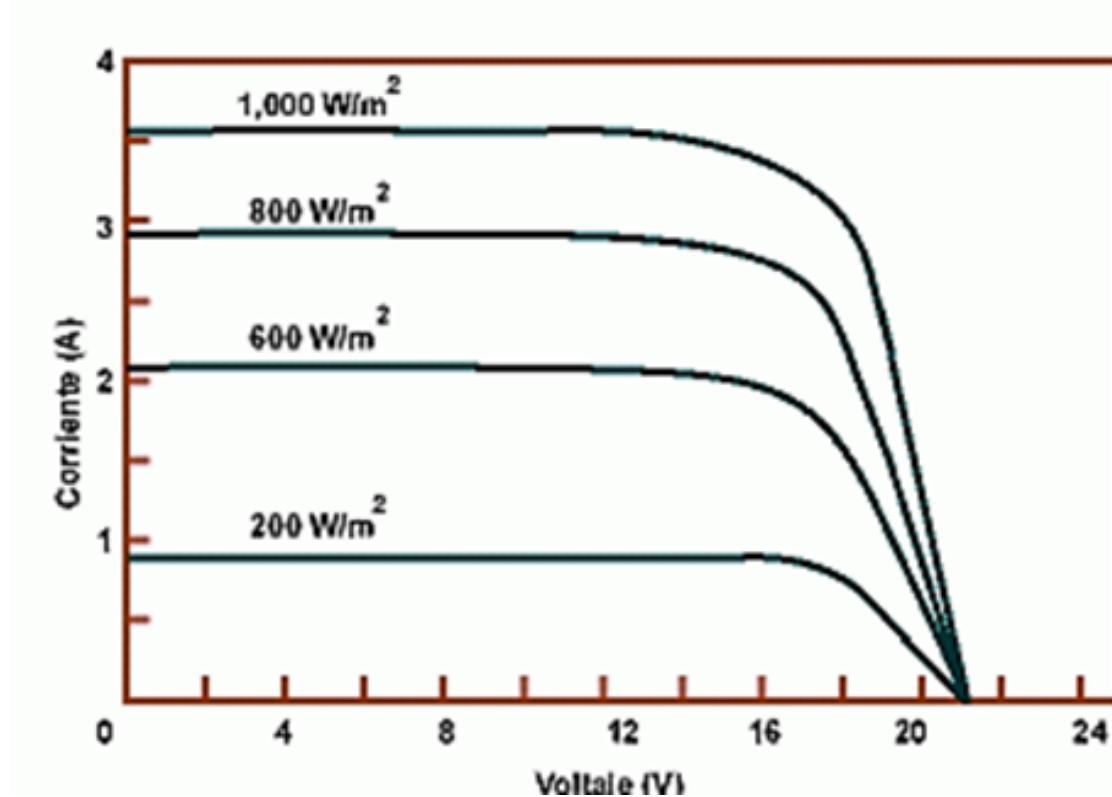


Figura 12: Curva I-V para diferentes valores de radiación solar.

(a razón de aproximadamente 0,07% por $^{\circ}\text{C}$), la tensión disminuye significativamente (aproximadamente 0,5% por $^{\circ}\text{C}$). La temperatura es un parámetro que debe ser considerado cuando se diseñan sistemas fotovoltaicos ya que el rendimiento de la celda depende de la temperatura de la misma y pueden llegar a alcanzar temperaturas de 50 $^{\circ}\text{C}$ más altas que las ambientales.

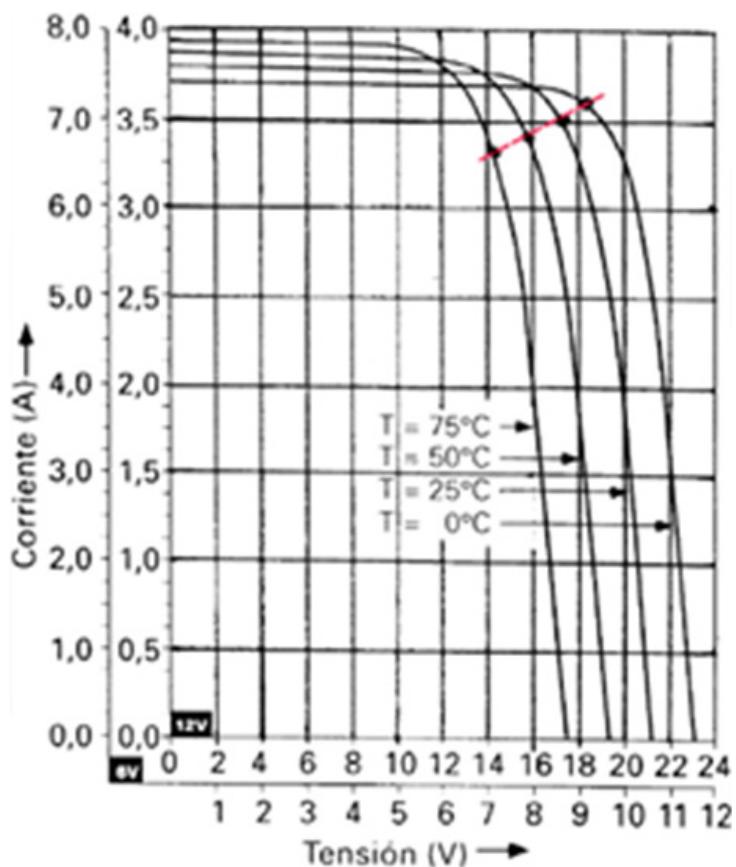


Figura 13: Curva I-V para diferentes valores de temperatura.

Cuando las celdas fotovoltaicas están entregando energía a los consumos eléctricos en condiciones de funcionamiento reales, la intensidad de la radiación solar varía constantemente. Algunos sistemas fotovoltaicos incorporan un dispositivo electrónico, generalmente instalado en el regulador de carga y control o en el inversor, llamado “seguidor del punto de máxima potencia”. Este dispositivo se encarga de que el sistema siempre esté operando alrededor del punto de máxima potencia de la celda fotovoltaica, entregando así la máxima energía a los consumos, independientemente de los niveles de radiación solar.

2d. De las celdas a los generadores fotovoltaicos

Para obtener potencias más elevadas, las celdas fotovoltaicas individuales se interconectan en serie conformando los módulos fotovoltaicos. A su vez, estos módulos se pueden interconectar entre sí en serie y en paralelo para configurar el sistema apto para generar la energía eléctrica necesaria para los consumos. Luego, se incorporan los dispositivos necesarios para el acondicionamiento de la energía, formando el sistema completo o generador fotovoltaico. Pueden conformarse generadores para una gran diversidad de aplicaciones en el rango de potencias que van desde los mW a los MW.

El módulo solar fotovoltaico está formado generalmente por un número de celdas que va entre los 36 y las 72, de acuerdo a la aplicación específica. A este conjunto se lo encapsula generalmente en EVA (Etilen Vinil Acetato) y en su parte posterior posee una protección mecánica de Tedlar y Polyester, mientras que en su parte anterior posee un vidrio de características especiales. Todo este conjunto se lo inserta en un marco de aluminio anodizado, el cual se sella en su parte posterior mediante una silicona (ver figura 14).

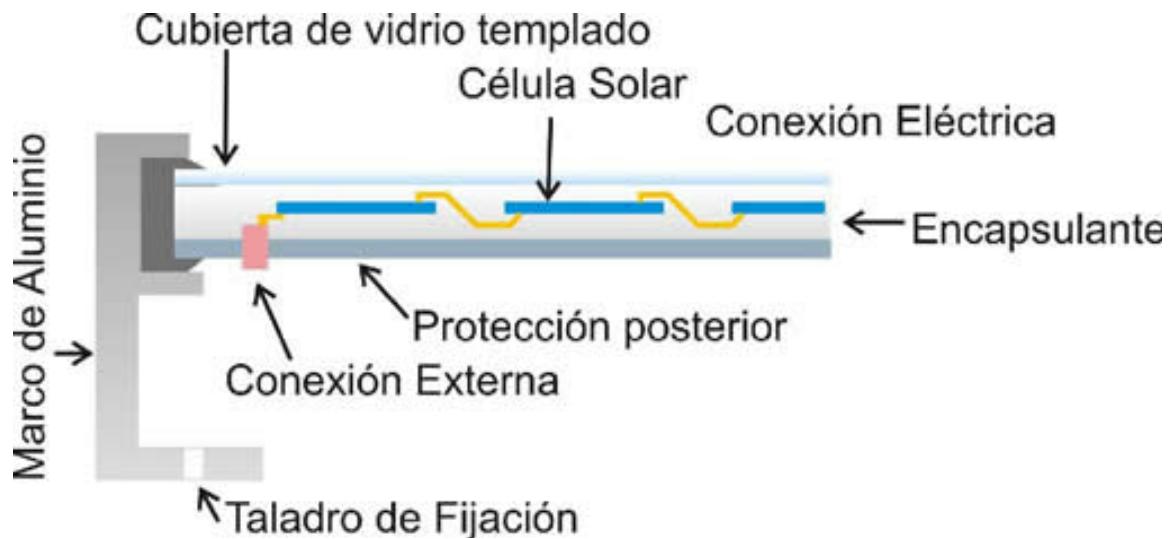


Figura 14: Conformación de un módulo fotovoltaico

Los módulos fotovoltaicos que se adquieren en el mercado vienen listos para ser conectados eléctricamente. Los sistemas fotovoltaicos integrados a edificios utilizan muchas veces laminados fotovoltaicos en lugar de módulos. Estos consisten esencialmente en un módulo sin el marco de aluminio.

El rendimiento eléctrico de un módulo se calcula igual que el rendimiento de una celda, es decir, se divide la potencia generada por el módulo por la radiación total que incide sobre

el mismo. Como no toda el área del módulo está cubierta por las celdas solares, el rendimiento de los módulos es un poco más bajo que el de cada celda que lo compone.

Varios módulos pueden ser combinados por medio de conexiones eléctricas y mecánicas para crear un generador fotovoltaico. A la interconexión de módulos fotovoltaicos en serie se la denomina “cadena” y al montaje electromecánico de módulos y otros componentes necesarios para formar una unidad de suministro de energía en corriente continua se la denomina “grupo fotovoltaico”. El “generador fotovoltaico” es el conjunto de los grupos fotovoltaicos. Entonces, un generador fotovoltaico incluye:

El grupo fotovoltaico. Los módulos fotovoltaicos poseen determinados valores normalizados de corriente y tensión, lo que nos da la potencia del mismo. Para poder obtener mayores potencias, los módulos se interconectan en serie y/o en paralelo. Cuando se los conecta en serie se obtienen mayores tensiones y cuando se los conecta en paralelo se obtienen mayores corrientes.

Diodos de by pass. Estos diodos son un “camino alternativo” para la corriente eléctrica del módulo. Se utilizan para proteger a las celdas solares contra las condiciones de sombreado parcial, que pueden llevar a la destrucción de la misma. Generalmente estos diodos están alojados en la caja de conexiones de los módulos.

Diodos de bloqueo. Estos diodos son utilizados para evitar la circulación de corriente hacia una serie particular desde el resto del generador. Esto reduciría el rendimiento del generador y bajo ciertas circunstancias podría llevar a una destrucción de los cables de interconexión y de los propios módulos. Sin embargo, utilizando módulos certificados “clase II” y cables de buena calidad, virtualmente se elimina la necesidad de usarlos. También pueden venir incorporados en los dispositivos electrónicos del generador.

Fusibles. Protegen a los cables de un exceso de corriente. En generadores fotovoltaicos deben utilizarse si se conectan cadenas en paralelo y la corriente de cortocircuito del generador excede la corriente nominal del cableado de una cadena. En muchos sistemas residenciales los cables entre módulos pueden llevar la corriente de varias cadenas paralelas sin que se sobrecarguen. Una pauta de diseño conservadora indica que se deben colocar fusibles siempre que haya más de 4 cadenas en paralelo.

Cables. Normalmente los cables utilizados están doblemente aislados y protegidos contra radiaciones ultravioletas. Los cables deben resistir temperaturas elevadas que se generan detrás de los módulos. La sección del cable está determinada por la caída de tensión máxima admisible a lo largo del conductor a la corriente nominal.

Terminales. Las conexiones de un generador fotovoltaico son numerosas y dado que en la mayoría de ellas circula corriente continua, se deben adoptar estrictas normas de seguridad al realizarlas. Una mala conexión puede anular una serie entera y en el peor

de los casos causar un incendio. Se deben usar conectores que faciliten la conexión eléctrica y el reemplazo de los módulos ante un eventual desperfecto.

Dispositivos de protección. Se utilizan dispositivos de protección contra sobretensiones y descargas eléctricas que evitan que los transitorios eléctricos entren en el sistema. También se utilizan interruptores termomagnéticos e interruptores diferenciales.

Tablero de conexión. Los dispositivos antes mencionados se localizan y conectan eléctricamente en uno o más tableros de conexión. Este debe estar adecuado al diseño de integración del edificio y satisfacer las normas de seguridad de cualquier tablero de conexión. Además deben estar protegidos contra altas temperaturas y radiaciones ultravioletas. Debe estar instalados de forma tal que sean de fácil acceso para la realización de los mantenimientos.

Estructura de soporte. En esta se fijan los módulos fotovoltaicos al edificio. Deben estar diseñadas para soportar todas las cargas mecánicas, las cargas de viento, nieve, expansión y contracción térmica y deben tener una vida útil acorde a la vida útil del sistema. La misma debe ser en lo posible simple, para permitir el montaje sin dificultad, al igual que los mantenimientos. Las estructuras de integración en fachadas tienen por lo general conductos especiales por donde pasan los cables.

2e. Inversores

Los inversores son los componentes principales de un generador fotovoltaico, después de los módulos. Son los dispositivos electrónicos que convierten la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA). En sistemas conectados a la red eléctrica, el inversor es el eslabón entre el generador solar y la red de CA. Sus características técnicas tienen una gran influencia en la eficiencia del sistema fotovoltaico. El inversor realiza la conversión en sintonía con la CA de la red eléctrica y lo realiza de manera compatible con las curvas I-V de los módulos.

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica consisten en los siguientes componentes:

- Módulos fotovoltaicos.
- Inversor.
- Circuito de seguridad.

El inversor es el corazón del sistema. Los dispositivos de seguridad sirven como interface con la compañía eléctrica. Ellos desconectan el sistema fotovoltaico cuando las condiciones de conexión a red son irregulares.

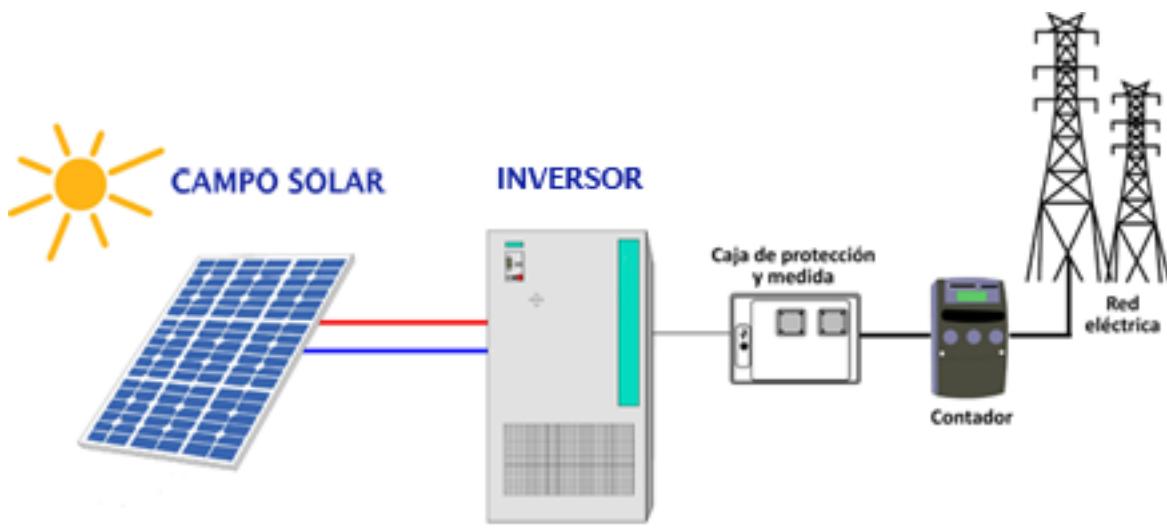


Figura 15: Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica

Los inversores pueden utilizarse en diferentes configuraciones:

- Inversores del sistema completo, donde se utiliza un solo inversor para todo el sistema.
- Inversores de serie, donde se utiliza un inversor por cada cadena del sistema.
- Inversor integrado a los módulos o micro inversores, los cuales se colocan directamente en la parte posterior de cada módulo, de forma tal que cada uno de ellos me entrega directamente CA.

2e.1 Requisitos para la conexión a red de inversores

Los inversores son diseñados para satisfacer los siguientes requisitos:

Alto rendimiento. Los niveles de eficiencia de los inversores deben ser del orden del 90% o más para el rango de carga de hasta el 10% de la carga nominal.

Distorsión armónica baja. La distorsión armónica afecta la calidad de la CA, que debe ser, idealmente, senoidal pura. Los inversores deben, por consiguiente, entregar una onda senoidal pura.

Ajuste automático al punto de máxima potencia. Para obtener la máxima potencia del generador, el inversor debe ajustar automáticamente su punto de operación para hacerlo coincidir con el punto de máxima potencia de los módulos, considerando que se producen variaciones de radiación solar y de temperatura.

Bajo consumo eléctrico. El consumo interno de energía eléctrica del inversor debe ser mínimo para maximizar el rendimiento del sistema. Es deseable obtener valores menores al 1% de la potencia nominal del inversor. Idealmente, el inversor debe tener un modo de “consumo cero” durante la noche.



Protección contra sobretensión y sobrecorriente. Esto protegerá al inversor en caso de una sobrecarga que podría ocurrir debido a problemas en el sistema fotovoltaico o en la red eléctrica. Si el generador fotovoltaico, en condiciones de radiación solar elevada produce más potencia que la potencia nominal del inversor, este debe abandonar el punto de máxima potencia para limitar la corriente eléctrica.

Protección contra “isla”. Esta protección es esencial para proteger al personal de la compañía eléctrica que trabaje en mantenimiento o reparación de la red eléctrica. Bajo ciertas condiciones, un sistema fotovoltaico podría continuar operando aún cuando la red eléctrica se haya apagado. Este comportamiento se llama “isla”. Los inversores deben poder reconocer esto y proteger contra el mismo.

Requerimientos de la compañía eléctrica. A veces la compañía eléctrica local impone sus propios requisitos adicionales para la conexión de sistemas fotovoltaicos. La demanda más común es que los interruptores estén siempre accesibles al personal de la compañía.

2e.2 Elección del inversor

Los módulos fotovoltaicos raramente entregan su potencia nominal máxima, por consiguiente, la potencia nominal del inversor no necesita coincidir con la de los módulos. Eliriendo la potencia nominal del inversor menor que la potencia de los módulos se obtiene un mejor rendimiento del sistema. La potencia nominal de un inversor en un sistema fotovoltaico óptimamente orientado debe ser 80 a 90% de la potencia nominal de los módulos. Para fachadas, con un 50 a 60% es suficiente.

2e.3 Módulo integrado al conversor (MIC)

Existe un atendencia tecnológica en materia de inversores, relacionada con la reducción de su tamaño y su potencia, de forma tal que cada módulo pueda llevar su propio inversor. Esta configuración se denomina “módulo integrado al conversor (MIC). La gran ventaja de estos sistemas es que no necesitan circuitos de CC, ya que cada módulo produce directamente CA. Además, el generador es menos susceptible a problemas de sombreado parcial que en los sistemas con un solo inversor ya que, al haber sombra sobre un módulo, se anula la serie entera a la que pertenece ese módulo. Por otra parte, se reducen las pérdidas que ocurren cuando se conectan en serie módulos de diferente rendimiento. Esta técnica ofrece sobre todo ventajas para las fachadas fotovoltaicas.

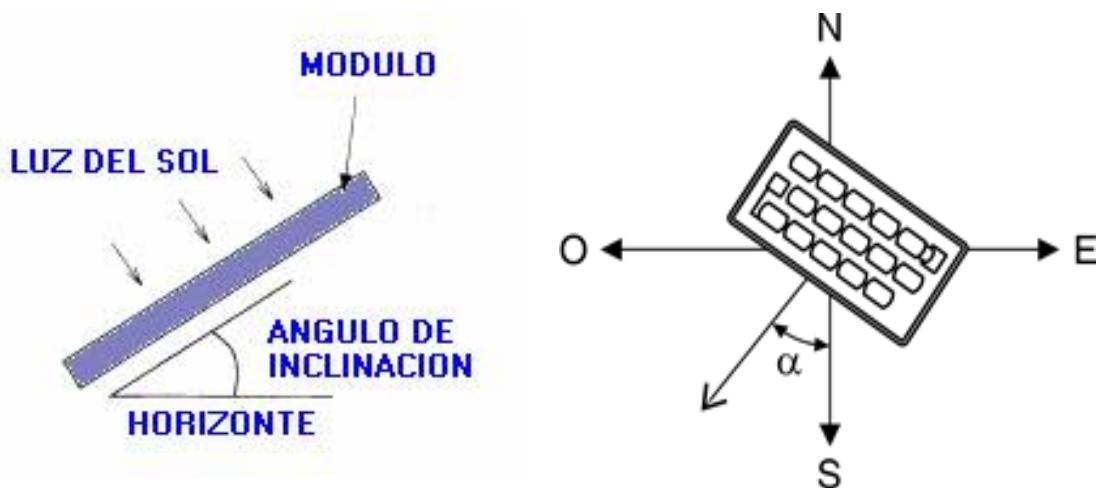


Figura 16: el ángulo de inclinación es el ángulo entre la horizontal y la dirección perpendicular al módulo. El ángulo acimutal describe la orientación con respecto al norte geográfico.

Para un sistema conectado a la red eléctrica, lo que importa es maximizar el rendimiento del sistema durante el ciclo anual completo. En Buenos aires, esto se logra con un ángulo de inclinación de aproximadamente 35° y 0° acimutal. Los ángulos de inclinación de menos de 15° deben evitarse para asegurar la auto limpieza de los módulos cuando llueve. Cuando los módulos están integrados a las fachadas, se reduce el rendimiento energético global a lo largo del año, pero puede generar más energía durante el invierno, cuando el sol está más bajo en el horizonte.

3b.2 Sombreado

Cuanto más homogénea la iluminación solar sobre los módulos, mejor será el rendimiento. Si alguno de los módulos está sombreado durante parte del día, los niveles de radiación sobre el sistema no serán homogéneos, afectando su rendimiento. Aún sombras pequeñas afectan el rendimiento. Esto se debe a que en un módulo, las celdas solares se conectan en serie y cada celda opera como si fuera una fuente de potencia. Esto significa que la celda con la iluminación más baja determina la corriente de operación de todas las celdas, no solo del módulo, sino de toda la serie a la que esté conectado el módulo. Bajo circunstancias extremas, esta celda puede pasar de ser fuente de potencial a ser una carga resistiva. Esto puede destruir térmicamente la celda y también el módulo. Para evitar este efecto, llamado “punto caliente”, se colocan los diodos de bypass, como se explicó anteriormente. El efecto del sombreado parcial puede ser minimizado mediante un diseño adecuado del circuito de CC. Idealmente el generador fotovoltaico no debe presentar obstrucciones a la radiación solar durante todo el año. Debe ponerse especial atención a sombras que puedan proyectar edificios contiguos, árboles, montañas o pequeñas obstrucciones como chimeneas, antenas, etc.



3b.3 Incompatibilidad

Un efecto similar al descrito en el punto anterior acurre cuando se conectan en serie módulos con diferentes curvas I-V. Estas variaciones se originan en el proceso de fabricación y producen una fluctuación en las especificaciones técnicas de los módulos de alrededor del 10%. Como en el caso anterior, el módulo “más débil” determina la corriente a través de todos los módulos en serie. Por lo tanto, deben elegirse módulos con las mismas especificaciones técnicas para cada serie.

3b.4 Efectos de temperatura

Como ya se mencionó, la temperatura influye en el rendimiento de los módulos. De ser posible, la parte posterior de los módulos debe ser ventilada libremente. En caso que los módulos estén apoyados sobre la piel del edificio, fachada o techo, debe dejarse un espacio de alrededor de 10 cm.

3b.5 Acumulación de suciedad

La acumulación de suciedad en la superficie de los módulos normalmente no es un problema, a menos que el edificio esté localizado en un área muy sucia. Para un edificio comercial que limpia regularmente las fachadas se recomienda una limpieza anual.

3c. Métodos de fijación

Los módulos fotovoltaicos son generalmente fijados a la estructura de los edificios por medio de alguno de los siguientes métodos:

- Fijación por integración total.
- Fijación por medio de estructuras.
- Fijación en techos planos por medio de estructuras.

3c.1 Integración total

La función tradicional de la piel del edificio, techo, pared o fachada ha sido la de actuar como barrera impermeable y la de proteger al edificio y sus ocupantes del medio ambiente exterior. Este concepto fue evolucionando en el sentido que la piel del edificio ahora también debe proporcionar protección al ruido, calor (flujo en ambas direcciones) y otros elementos. Además, este juega un papel importante en los

desarrollos actuales orientados hacia mejorar la eficacia de energía y el impacto medio ambiental de edificios.

Elementos fotovoltaicos (módulos, laminados, etc.) pueden cumplir estas funciones cuando los módulos reemplazan a los techos o a las fachadas convencionales, es decir, pasan a ser parte de la estructura del edificio. Pueden usarse de la misma forma que los revestimientos convencionales teniendo la ventaja que, además, producen electricidad. Este tipo de fijación integrada ofrece mucha flexibilidad en el diseño estético.

Un tipo especial de elemento fotovoltaico es la teja fotovoltaica. Estas son tejas convencionales a las que se les ha incorporado celdas fotovoltaicas y las conexiones eléctricas necesarias. Estas tejas fotovoltaicas se colocan como las tejas comunes y desde el punto de vista eléctrico son de fácil instalación y mantenimiento.

Las fachadas son el lugar más popular para la fijación de módulos. Estas ofrecen un lugar en el edificio desde donde los módulos pueden cumplir varias funciones; además de producir energía eléctrica, los módulos pueden servir para proyectar una identidad corporativa de los dueños del edificio. Las fachadas fotovoltaicas se basan en los mismos tipos de fijación que las fachadas convencionales. Se debe, sin embargo, tener en cuenta cuales son las modificaciones que hay que hacer para permitir las conexiones eléctricas.

Se analizan a continuación las fachadas convencionales y cuáles son los requisitos que tienen que tener para poder adaptarlas a una fachada fotovoltaica.

Parasoles. La preocupación de los arquitectos por los niveles de satisfacción de los ocupantes de edificios respecto a la iluminación y al confort visual, ha llevado a la incorporación de grandes superficies vidriadas y al uso de dispositivos que limiten la luz directa y la ganancia de calor. Los sistemas de protección solar externos se usan cada vez más como expresiones arquitectónicas funcionales. Estos sistemas de protección, parasoles, son fijos o ajustables y colocados en la cara externa de las ventanas o incorporados en los accesos a las vías de mantenimiento de las fachadas. Se fabrican de metal, vidrio o plástico, de acuerdo a las especificaciones del arquitecto.

La incorporación de módulos fotovoltaicos en parasoles tiene muchas ventajas: los sistemas móviles pueden aumentar al máximo el aprovechamiento de la energía solar incidente; el área disponible para los módulos puede ser mayor que la de las paredes verticales; los parasoles, en general, están montados en estructuras con una ventilación adecuada que es muy favorable al funcionamiento de los módulos (figura 17).

Sistemas con paneles laminados. Las fachadas con paneles laminados se construyen en fábrica. Los paneles típicos tienen un piso de alto y no más de ocho metros de ancho para que puedan transportarse fácilmente al sitio de construcción del edificio. Una vez en la construcción, los paneles se elevan y colocan en sus respectivos lugares. La instalación es un proceso relativamente simple dado que el trabajo de



Figura 17: sistemas de parasoles fotovoltaicos

Revestimiento tipo rainscreen. Estas estructuras son normalmente diseñadas para agregar la mínima carga estructural al edificio. Se fabrican de aluminio y son “colgadas” de canales fijos a la estructura del edificio que tienen la función de ser, además, canales de drenaje para agua de lluvia. Así, las fachadas rainscreen usan dos formas de proteger al edificio del agua de lluvia: proporcionan un espacio ventilado que separa físicamente la estructura del edificio del revestimiento y canales de drenaje. El revestimiento forma la piel exterior y proporciona una barrera de agua.

Este sistema se desarrolló inicialmente para ser usado en la restauración de edificios. Sin embargo, ahora es usado normalmente en cualquier proyecto arquitectónico. Un revestimiento fotovoltaico debe ser un sistema liviano, igual que su símil convencional, que use canales de drenaje y tenga una cámara de aire. El espacio de ventilación de las fachadas de rainscreen servirá, además, para refrescar los módulos, aumentando así su rendimiento. El análisis económico de este sistema puede ser relativamente favorable debido a la simplicidad de su construcción e instalación y al uso estructural de los módulos fotovoltaicos (figura 18).



Figura 18: Ejemplo de revestimiento fotovoltaico tipo rainscreen – Escuela Blandford – Dorset – Inglaterra

construcción principal se ha llevado a cabo en la fábrica. Este tipo de sistemas se usa en construcciones ubicadas en el centro de la ciudad donde la facilidad de la instalación adquiere una importancia relevante.

El uso de paneles fotovoltaicos en este sistema tiene ciertas ventajas. Se fabrican las estructuras en un ambiente controlado, lo que ayuda a que se desarrollen procedimientos para manejar unidades poco familiares en la industria de la construcción. Puesto que el panel entero se fabrica de antemano, la caja de conexión eléctrica también puede incorporarse en esta fase y el cableado en sitio se realiza simplemente entre las cajas (figura 19).

Muro cortina. Este tipo de sistema puede ser visualmente similar al sistema de paneles estructurales, pero hay diferencias considerables en el método de construcción. Los componentes individuales del sistema se entregan en el sitio de la construcción y el proceso constructivo incluye el armado de la fachada in situ y la instalación en el edificio.

Las fachadas muro cortina que incorporan módulos fotovoltaicos, usan unidades pre armadas de vidrios dobles o simples con aislación térmica donde el módulo



Figura 19: Ejemplo de paneles pre armados

fotovoltaico es el panel vidriado de delante de la unidad. El diseño de la fachada debe ser tal que el comportamiento térmico no afecte los niveles de confort en el interior del edificio. Los mulliones verticales pueden usarse para llevar el cableado del sistema fotovoltaico al inversor. Sin embargo, las condiciones de temperatura de estos sistemas deben ser controladas.

Si los paneles fotovoltaicos se construyen de vidrio/resina/vidrio, un rasgo arquitectónico que puede explotarse es la transparencia proporcionada por el área entre las celdas solares que permite a la luz solar entrar al edificio a través de la resina translúcida del laminado. La disposición de las celdas en el panel puede variarse para controlar la proporción de luz que los atraviesa figura 20).

3c.2 Fijación por medio de estructuras

La fijación de paneles fotovoltaicos por medio de estructuras externas al edificio es un método adecuado para obras de remodelación y reacondicionamiento. Las estructuras son adheridas a la fachada o al techo y los paneles son asegurados a esta estructura de apoyo. Esta debe tener ductos especiales por donde poder pasar

y proteger los cables. Estos ductos penetran en el edificio por canales a prueba de agua. Puesto que los cables se exponen al medio ambiente, necesitan ser seleccionados adecuadamente.

3c.3 Fijación en techos planos por medio de estructuras tradicionales

En este caso se pueden utilizar estructuras similares a las usadas para instalaciones en zonas remotas. Para evitar la penetración del techo al fijar la estructura, se utilizan pesas de hormigón u otro material pesado, utilizando así la gravedad para proporcionar las cargas de fijación.

3d. Costos y economía

Las consideraciones económicas de los módulos fotovoltaicos deben basarse en las dos funciones principales que cumplen en el edificio: producir energía eléctrica y ser un elemento constructivo del edificio. La importancia relativa de estas funciones depende del edificio en cuestión, particularmente cuando el sistema fotovoltaico se usa para proporcionar un rasgo arquitectónico definido, como ser los nuevos efectos arquitectónicos que proyectan esta tecnología y el mensaje ambientalista. Además, los módulos fotovoltaicos pueden cumplir roles adicionales como el de protección solar, que tiene o puede tener un valor en sí mismo.

3d.1 Costos de los sistemas fotovoltaicos

Para calcular el costo de cada unidad de energía producida por cualquier tecnología, debe conocerse la siguiente información:

- El costo de capital del generador.
- Los costos operativos, incluyendo el mantenimiento y el combustible consumido.
- La vida útil del generador.
- Los parámetros financieros durante el período esperado de operación del generador, como por ejemplo las tasas de interés.
- El rendimiento energético total durante el período de operación del generador.

Estos factores son generalmente conocidos para las tecnologías convencionales, aunque los efectos de las variaciones del precio de los combustibles durante el período de funcionamiento del equipo deben ser estimados ya que no son conocidos exactamente. Aunque los mismos factores deben ser incluidos para el cálculo del costo de la energía producida por una tecnología de energía renovable, hay algunas diferencias importantes.



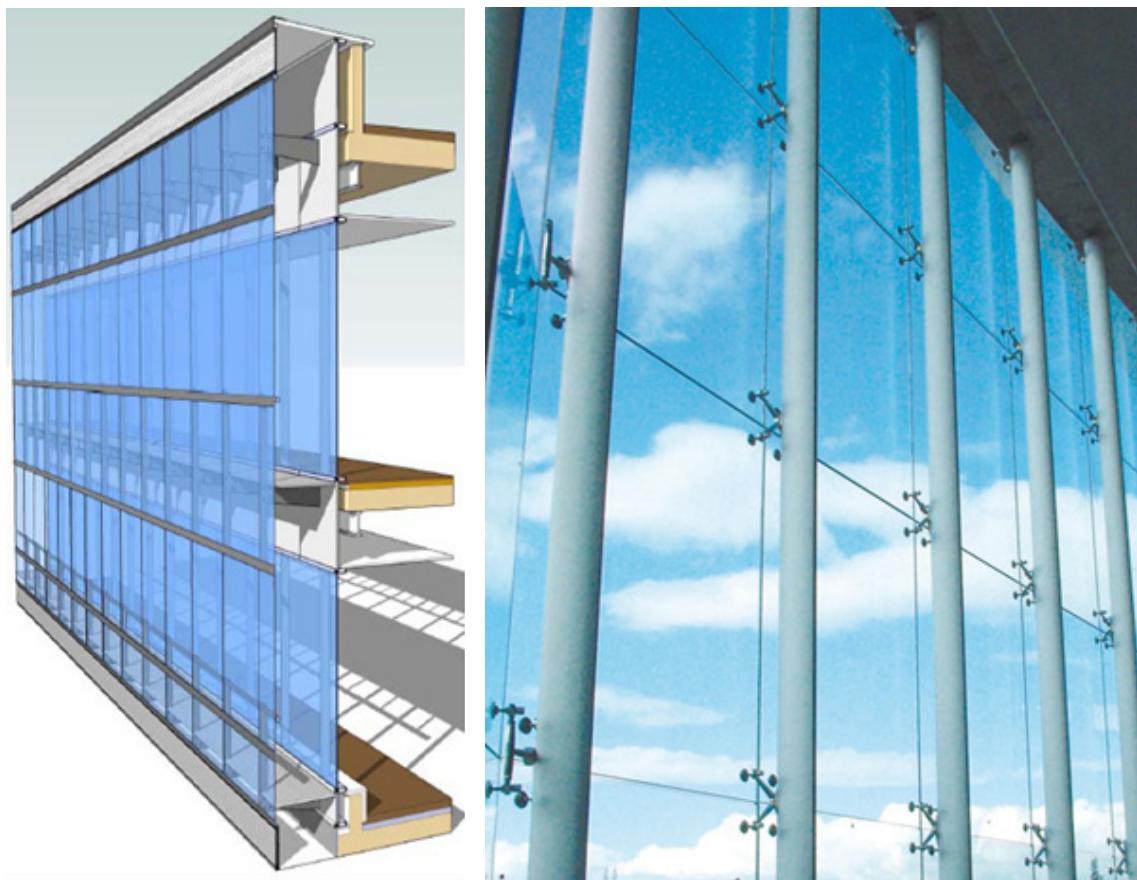


Figura 20: esquema de muro cortina y ejemplo de muro cortina con fijación puntual.

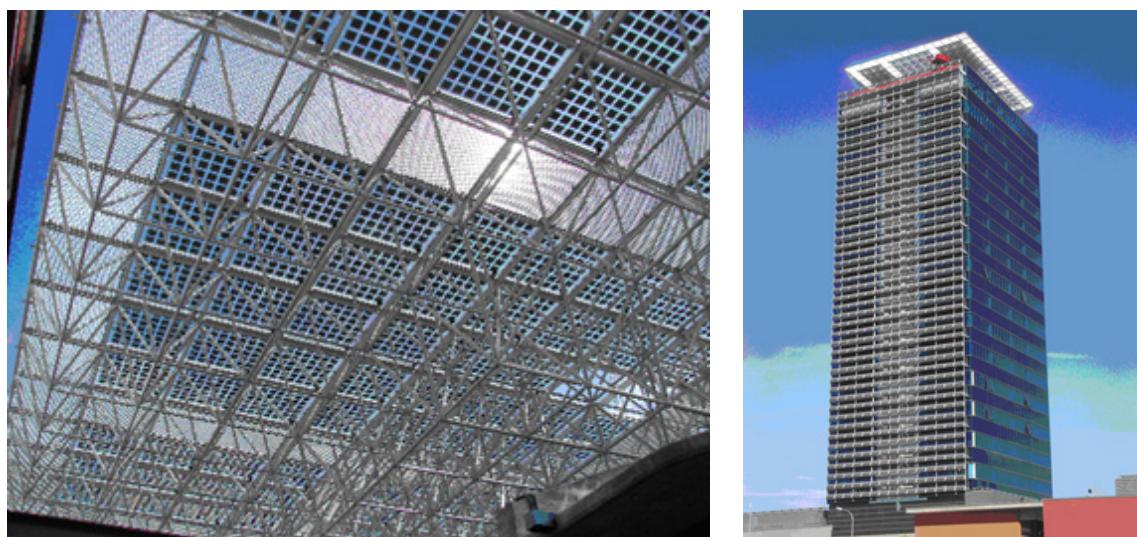


Figura 21: Sistema fotovoltaico de 75,48 kWp - Edificio Torre Garena - Alcalá de Henares - Madrid - España

Para un sistema de energía renovable, donde el combustible puede considerarse como un “regalo de la naturaleza”, el equilibrio entre los costos de capital y los costos operativos es considerablemente diferente del que se establece en centrales de energías convencionales. Esta diferencia es particularmente importante para sistemas fotovoltaicos, donde los costos de mantenimiento pueden ser sumamente bajos pero no los de capital. Así, los sistemas fotovoltaicos son de costo de capital intensivos y, como resultado, la tasa interna de retorno (TIR) tiene una gran influencia en el costo final de la unidad energética producida.

Puesto que muchas tecnologías de energías renovables están en fase de desarrollo, la vida útil del sistema no siempre se conoce exactamente. En el caso de los sistemas fotovoltaicos integrados a edificios, la vida útil dependerá de la forma en la que se ha integrado el sistema y de la vida útil de los componentes asociados. Sin embargo, puede esperarse que los módulos fotovoltaicos tengan una vida útil similar o mayor a la de los materiales convencionales del edificio.

El “combustible” de un sistema de energía renovable depende de las condiciones climáticas (radiación solar incidente, temperatura, velocidad del viento, etc.). Hay una variación estadística de estos parámetros. Por otra parte, la producción de energía dependerá del diseño del sistema (por ejemplo, la orientación e inclinación para un sistema fotovoltaico). Por consiguiente, el rendimiento energético de sistemas similares variará según donde y como se lo ha instalado.

El costo del módulo fotovoltaico se expresa normalmente en U\$S/Wp, donde Wp es la potencia pico bajo condiciones de ensayo normalizadas. El costo del módulo por Wp es una convención que permite la comparación de costos de módulos con rendimientos diferentes y que se desarrolló originalmente para los sistemas remotos, donde el parámetro más importante es la potencia del sistema. Para sistemas integrados a edificios donde el área cubierta es la variable predominante, el parámetro apropiado es U\$S/m².

Los módulos fotovoltaicos son los componentes más costosos del sistema. Los precios internacionales oscilan entre U\$S 0,7 y 1,4. Esto es equivalente a aproximadamente U\$S 100 – 200/ m² para módulos de silicio cristalino.

En el caso de los demás componentes del sistema energético, es usual considerar los costos por potencia nominal de la unidad. Los costos de instalación están incorporados en los costos del edificio y variarán según el diseño del edificio en cuestión. En la figura 22 podemos ver un gráfico de evolución de los costos de generación de energía fotovoltaica con proyección al año 2040.



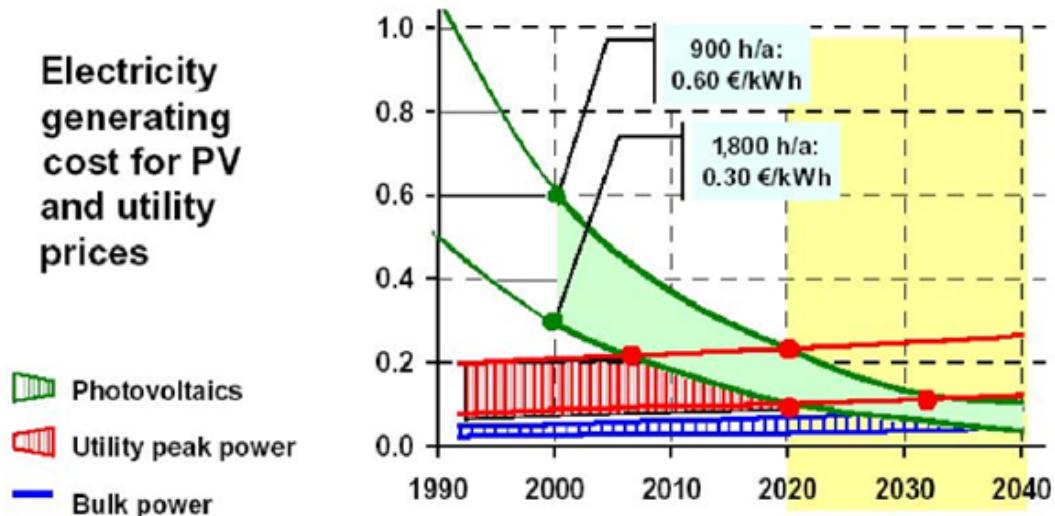


Figura 22: evolución de los costos de generación fotovoltaica

Además de su capacidad para la generación de electricidad, un revestimiento fotovoltaico tiene una función estructural y, por consiguiente, un valor asociado con dicha función. El costo efectivo es un concepto que se utiliza para cuantificar el hecho de que un módulo fotovoltaico cumple, además, la función de elemento del edificio que reemplaza. Este costo efectivo es el costo del sistema fotovoltaico menos el costo del revestimiento (u otro elemento constructivo) que se habría usado si el sistema fotovoltaico no hubiese sido instalado. Así, el costo efectivo tiene en cuenta solo el valor adicional del sistema fotovoltaico cuando se calcula el costo de la electricidad generada por el sistema integrado.

Cuando se reemplazan revestimientos de bajo costo, el costo representaría una diferencia real muy pequeña. Sin embargo, cuando se reemplazan revestimientos costosos como el granito o el mármol, el sistema fotovoltaico puede tener un costo más bajo y la electricidad generada considerarse “gratuita”.

La decisión de incluir un sistema fotovoltaico involucra consideraciones estéticas, innovadoras y medio ambientales. La potencia instalada no necesariamente coincidirá con la máxima potencia posible de acuerdo a la superficie disponible, sino que los sistemas fotovoltaicos se colocan en áreas seleccionadas del edificio para proporcionar los efectos deseados específicos.

Hay dos factores fundamentales que influirán en la economía de los sistemas fotovoltaicos en el futuro: los costos de capital asociados a los sistemas fotovoltaicos se reducirán substancialmente como resultado del incremento del mercado fotovoltaico y el desarrollo de esta tecnología; además, aumentará la presión sobre las tecnologías de generación

eléctrica convencionales para que incluyan en el costo de la energía así generada los costos externos que reflejan el impacto medioambiental de estas tecnologías, haciendo que el costo relativo de la electricidad fotovoltaica sea cada vez menor.

4. Conceptos de arquitectura de bajo impacto ambiental

Los principios de arquitectura solar y diseño bioclimático son fáciles de incorporar en el proceso de diseño y fueron utilizados en la vivienda tradicional durante siglos. Con el creciente costo de la energía convencional y la necesidad de conservar energía con el fin de conservar el ambiente, el mensaje a los arquitectos, proyectistas, constructores e ingenieros es que diseñar edificios solares eficientes es posible, económicamente conveniente y deseable.

La utilización de las energías renovables en la arquitectura requiere un enfoque integral con el fin de reducir la demanda de energía convencional y aprovechar la captación de las energías naturales a través de un diseño apropiado. El diseño en armonía con el clima y la naturaleza permite reducir al mínimo la energía convencional utilizada para la calefacción e iluminación artificial y, en la mayoría de los casos, eliminar totalmente la energía para refrigeración sin comprometer la calidad de vida de los usuarios. Los conceptos sencillos incluyen:

- Aprovechamiento de las características del terreno.
- Orientación del edificio y sus aberturas.
- Zonificación de los espacios.
- Ventilación selectiva y ventilación cruzada.
- Control de infiltración por aire.
- Incorporación de masa térmica en los elementos constructivos.
- Incorporación de materiales aislantes en paredes y techos.
- Uso controlado del vidrio y el efecto invernadero.
- Incorporación de protección solar y control del sol directo.
- Uso de la vegetación y microclima local.

La minimización del impacto ambiental implica un emplazamiento correcto del edificio, una forma apropiada, materiales seleccionados por sus características favorables, artefactos eléctricos de bajo consumo y un comportamiento conservacionista de los

usuarios. La importancia de los distintos recursos de diseño bioambiental dependerá de las características específicas de cada localidad (en Argentina, ver Norma IRAM 11.603). Los principios básicos del diseño bioclimático en la región de la Pampa Húmeda de Argentina son:

- Reducir pérdidas de calor del edificio en invierno: una forma edilicia relativamente compacta y buenos espesores de aislamiento térmico liviano (>5 cm en paredes y 10 cm en techos, ver Norma IRAM 11.604).
- Captación controlada de la radiación solar: fachada orientada al norte con buenas superficies de aislamiento que captan la radiación solar en invierno.
- Materiales con capacidad térmica (materiales pesados): superficies interiores que disminuyen la variación de temperatura en verano y almacenan el calor en invierno.
- Protección solar en verano: aleros y elementos de protección solar en la fachada norte y ventanas reducidas al oeste y al este.
- Ventilación en verano: tipo y ubicación de ventanas que favorecen la ventilación cruzada en los espacios interiores.
- Control de las infiltraciones de aire frío en invierno: ventanas reducidas al sur, aber turas de buena calidad y puertas exteriores ubicadas con protección del viento, con doble puerta con antecámara en situaciones expuestas.
- Vegetación: sombra en espacios exteriores y sobre fachadas con orientaciones desfavorables en verano y refrescamiento evaporativo, sin perjudicar el sol invernal.

Las recomendaciones para las instalaciones de acondicionamiento (artefactos y sistemas de refrigeración y calefacción) son las siguientes:

- Minimizar la potencia de las instalaciones a través del diseño arquitectónico y constructivo apropiado. Así, en Buenos Aires, se puede evitar el uso de aire acondicionado en casi todos los edificios sin perjudicar el confort de los ocupantes.
- Usar combustibles de bajo impacto (gas natural).
- Instalaciones eficientes y limpias con alta eficiencia y bajas tasas de emisiones y de polución.

La eficiencia energética en iluminación requiere:

- Buena calidad de iluminación natural con ventanas correctamente dimensionadas; superficies interiores claras y control del sol directo por la orientación y elementos de protección fijos o móviles.

- Buen control de la iluminación artificial con interruptores ubicados en lugares que facilite el control para el usuario.
- Artefactos de bajo consumo, especialmente en los locales de mayor uso. Estos incluyen fluorescentes compactos, fluorescentes comunes con balastos electrónicos y luminarias de alta eficiencia.
- Controles según la disponibilidad de luz natural, por sensores de movimiento o por reloj, según la aplicación.

La eficiencia energética en los otros artefactos eléctricos debe contemplar artefactos de muy bajo consumo en los electrodomésticos y otros artefactos de uso continuo.

La ubicación del edificio también influye en su impacto:

- Edificios cercanos a servicios de transporte público permite evitar o reducir el uso del automóvil.
- Ubicaciones favorables también permiten viajes en bicicleta o a pie.

Finalmente los materiales también provocan impactos, por lo tanto conviene adoptar las siguientes opciones:

- Materiales con procesos de fabricación de bajo consumo energético, reduciendo el consumo e impacto ambiental durante el proceso de fabricación.
- Materia prima sostenible, evitando el uso de materiales escasos, no renovables o que dañan el ambiente en la etapa de extracción y/o fabricación.
- Materiales que favorezcan la re utilización o reciclaje, cuando el edificio llega al fin de su vida útil.
- Proyectos flexibles y adaptables permiten una mayor vida útil y un mejor aprovechamiento de los materiales en plazos más largos.

Los colectores solares (agua caliente), los sistemas solares pasivos (acondicionamiento térmico de edificios) y fotovoltaicos (electricidad) permiten minimizar el impacto ambiental, reducir el consumo de energía y aumentar la autonomía de proyectos de arquitectura sostenible. Solamente con un proceso de diseño consciente desde las etapas iniciales del proyecto se puede lograr el control del impacto ambiental y la eficiencia energética integral.



SECCIÓN 2

**ESTUDIO
DE CASOS**

HOSPITAL DE GRANADA - ESPAÑA

Tipo de instalación: fotovoltaica conectada red.

Aplicación: producción de energía eléctrica con conexión a red.

Potencia del sistema fotovoltaico: 15,7 kWp.



Energía anual producida: 21.780 kWh

Ahorro económico anual: € 6.126

Emisiones de CO₂ evitadas: 8,6 toneladas CO₂.

COLEGIO DE SEVILLA - ESPAÑA

Tipo de instalación: fotovoltaica conectada red.

Aplicación: producción de energía eléctrica con conexión a red.

Potencia del sistema fotovoltaico: 15 kWp.



Energía anual producida: 20.808 kWh

Ahorro económico anual: € 5.853

Emisiones de CO₂ evitadas: 8,2 toneladas CO₂.

ESTACIONAMIENTO EN LA UNIVERSIDAD DE JAEN - ESPAÑA

Tipo de instalación: fotovoltaica conectada red.

Aplicación: producción de energía eléctrica con conexión a red.

Potencia del sistema fotovoltaico: 140 kWp.



Energía anual producida: 194.217 kWh

Ahorro económico anual: € 38.524

Emisiones de CO₂ evitadas: 76,7 toneladas CO₂.

ARQUITECTURA FOTOVOLTAICA EN JAPÓN - SANYO SOLAR ARK



Es un edificio de 315 metros de largo, 37 de alto, con formas curvas, elegantes y rotundas a la vez, muy al estilo japonés, un edificio puente, un cuadrado curvo y gigante forrado de 5.000 paneles fotovoltaicos. Se construyó en el 2005 para la exposición universal de Aichi, como un ícono de lo que puede conseguir la arquitectura integrada con las tecnologías productoras de energías renovables.



Lo particular, es que este edificio surgió a partir de un error, hace varios años Sanyo anunció la construcción de la central de energía solar más grande del mundo, con 3,4 MW de potencia, para celebrar su quincuagésimo aniversario. Para este proyecto tenían previsto aplicar tecnología de punta, la más desarrollada, un sistema híbrido de cristal y film de silicio con un 15% de rendimiento. Pero el proyecto fracasó a causa de un fraude detectado en la fabricación de estas células solares.



Buenos Aires Ciudad



EN TODO ESTÁS VOS



Sanyo etiquetaba sus paneles, predecesores de esta tecnología híbrida, con rendimientos mayores a los reales. Ahí surgió la idea de aplicar esta tecnología en la construcción de un edificio para mostrar su arrepentimiento sincero por este error, y su buena voluntad y determinación por reconocer públicamente su equivocación y por mantener la calidad.

Como resultado de esta enmienda se obtuvo un edificio con las células fotovoltaicas recicladas procedentes del proyecto abortado, con 75000 leds de colores. Así se logró este edificio ícono, que produce 500.000 kWh al año y tiene una potencia instalada de 630 kWp de paneles fotovoltaicos, en su interior hay un museo sobre la energía solar y puede ser visto a 300 Km. por hora desde el tren bala.



INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EN EDIFICIO DE OFICINAS EN ALCALÁ DE HENARES

De la mano de Grupo Casabella Proyectos Inmobiliarios S.A., se creó el “Parque de Negocios Garena Plaza”, que es como se denomina el conjunto de edificios sobre el que se eleva “Torre Garena”.

Se presenta como una estructura de hormigón de fachadas acristaladas y ha sido provisto de los equipamientos más avanzados, entre los que se han cuidado especialmente los que se refieren a la eficiencia energética del edificio, destacando su fachada sur totalmente cubierta de paneles fotovoltaicos.



El edificio presenta una altura de 75,60 m y 17 plantas, de las que 14 son plantas de oficinas. La instalación fotovoltaica se compone de 882 paneles organizados de la siguiente forma:

Fachada Sur: 720 módulos opacos rectangulares modelo BP380s organizados en 48 hiladas con 15 módulos cada una.

Cubierta: 72 módulos opacos rectangulares modelo BP380s y 90 módulos cuadrados transparentes modelo glass-glass.

El CTE, en función de la zona climática y la superficie del edificio, marca una potencia pico mínima a instalar. Torre Garena debería tener un mínimo de 12,10 kWp, pero se han instalado 75,84 kWp.

HOSPITAL OLV EN AALST, BÉLGICA

Durante años, el hospital O.L.V.-Ziekenhuis en Aalst ha sido uno de los mejores hospitales del mundo en cuanto a investigación y tratamiento de dolencias cardiovasculares. El hospital quería que sus instalaciones fuesen un claro reflejo de su relevancia. En el año 2005 se crea un campus nuevo y preparado con la última tecnología, del cual la BIPV es una parte importante.



Si tuviésemos que destacar algo del renovado hospital, sin duda sería el atrio. Es el punto central de un recibidor impresionante y tiene todas las cualidades del BIPV: energéticamente eficiente, aislado y estéticamente agradable. Una pendiente orientada 45 grados hacia el sur utiliza la energía solar de la forma más eficiente posible.

La construcción de la fachada fue precedida por un amplio estudio. La estructura no solo debía ser capaz de albergar las células fotovoltaicas, sino que también debería contener las conexiones requeridas por los paneles. También se prestó atención al hecho de ser resistente al fuego y fácil de mantener. En un principio se pensó en una instalación móvil de limpieza para la superficie de vidrio, pero después de que arquitectos y contratistas lo consultasen, se decidió implantar otra solución: una superficie de la fachada que se limpia por sí sola con un sistema de desagüe que elimina el polvo acumulado.

Las células fotovoltaicas se introdujeron entre las dos placas de cristal de seguridad. Estos módulos pre-ensamblados (con un tamaño de 120x240) están conectados a los perfiles de aluminio con rotura de puente térmico y conexionados al circuito eléctrico para transportar la energía eléctrica generada.

También se realizó un estudio acerca de la capacidad de soporte de los cuadros de aluminio y la integración de los puntos de conexión. En particular, cualquier curvatura que presenten los cuadros es peligrosa. Los módulos que contienen las células fotovoltaicas son muy pesados. Hasta la más mínima curvatura del cuadro puede dañarlos o poner en peligro sus operaciones. No hace falta decir que realizar una construcción a prueba del viento y del agua era una condición indispensable en las especificaciones. Toda la construcción se desarrolló y probó de forma especial para este proyecto, lo que resultó en paneles exteriores verticales cubiertos y elementos de goma especiales. Se llevaron a cabo distintas pruebas de puesta en marcha en un centro de pruebas y se utilizaron las mejores soluciones.



La energía solar alimenta la red eléctrica del hospital, para la que se han concedido certificados de energía respetuosa con el medio ambiente. La capacidad anual es de 31,122 kWh. Cada metro cuadrado produce 100 W y el total neto del área de superficie de las células fotovoltaicas es de 500 m.

RENOVACIÓN DE 'PALMENHOUSE' MUNICH, ALEMANIA

Para la renovación de este invernadero, financiada por el ayuntamiento de la ciudad de Munich, se sustituyó una parte de la vidriera por paneles solares transparentes. Dado que la exposición directa a los rayos solares es perjudicial para algunas de las plantas tropicales que se encuentran en el invernadero, los módulos con 35 % de transparencia se utilizaron en el tejado.



Datos del Proyecto

Paneles policristalinos Opacos	360 unidades 75 Wp
Capacidad Total instalada	27 kWp

LIVING TOMORROW BRUSELAS, BÉLGICA

Para el exterior de la entrada al Living Tomorrow entrance, el muro Cortina se diseñó con una cristalera con tecnología fotovoltaica integrada. La tecnología fotovoltaica integrada en la fastuosa construcción del tejado solar contribuyó en gran medida a reducir el consumo de energía y a proporcionar más luz natural al interior del edificio.



Datos del proyecto

Paneles policristalinos

Opacos	14 paneles	100Wp
Transparentes	33 paneles	136Wp

Capacidad total instalada	6 kWp
---------------------------	-------

OFICINAS CENTRALES NATIONAL TELECOM EN SUDÁN JARTUM, SUDÁN

En Mayo de 2007, se inició en Jartum, la capital de Sudán, un prestigioso proyecto de 2.300 m². Se utilizaron sistemas de aluminio para BIPV que se integraron en la torre de oficinas de las oficinas centrales de National Telecom en Sudán.



Datos del proyecto

Paneles aSi standard

Opacos	600 paneles	83.8 Wp
Transparentes	600 paneles	81.0 Wp

Paneles aSi para esquinas

Opacos	100 paneles	30.0 Wp
Transparentes	100 paneles	27.9 Wp

Capacidad total instalada 104.67 kWp

SECCIÓN 3

DOCUMENTOS ADICIONALES

1. Análisis del sector fotovoltaico

Introducción

La tecnología fotovoltaica se está convirtiendo rápidamente en una parte vital del suministro eléctrico mundial. Desde fines de la década de los 80, la demanda mundial no ha dejado de crecer, aumentando exponencialmente en los últimos siete años, hasta alcanzar un valor de potencia instalada al año 2013 de 139 GWp (ver figura 23).

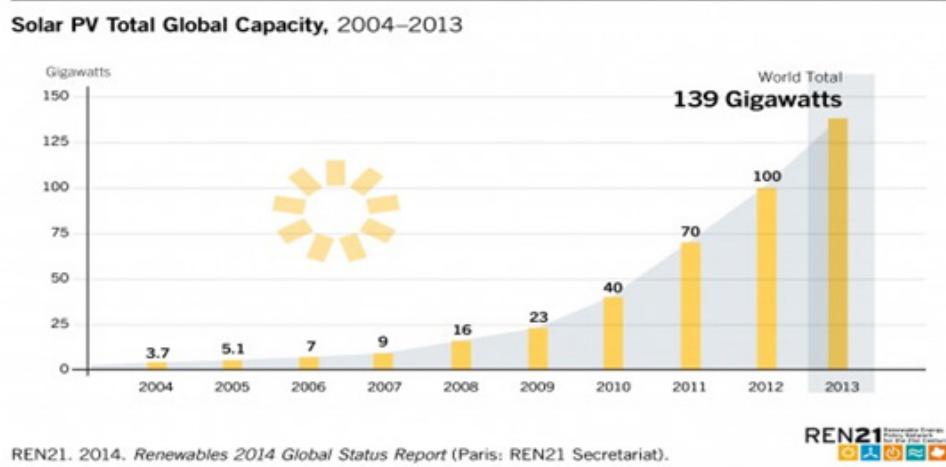


Figura 23: potencia fotovoltaica mundial instalada hasta fines del año 2013

La aceptación de la tecnología fotovoltaica es cada vez mayor. Inicialmente, las aplicaciones se remitían a áreas remotas de todo el mundo, donde alrededor de dos billones de personas no tienen acceso a la electricidad y este era el campo tradicional de las aplicaciones fotovoltaicas. En los últimos años, el campo de acción se ha expandido a regiones urbanas, en países desarrollados, con el advenimiento de su integración arquitectónica.

Sin embargo, para que la tecnología fotovoltaica sea considerada como una alternativa seria a las demandas energéticas mundiales, es necesario expandirla hacia nuevos mercados haciéndola más competitiva en una gama más amplia de aplicaciones y comparada con otras formas de generación eléctrica. Para lograr ambos objetivos, el desafío técnico es lograr sistemas de menor costo, más confiables y simples de usar.

Sin embargo, la propia dinámica del mercado energético hace que la solución de los aspectos puramente técnicos no sea suficiente. El mercado fotovoltaico aún no ha alcanzado la aceptación que potencialmente se espera ya que se encuentra con barreras que impiden su rápida expansión. Algunas de estas barreras son el alto costo

inicial de los sistemas, la falta de normas que regulen la actividad del sector y la falta de apoyo financiero.

EL DESARROLLO TECNOLOGICO DEL SECTOR FOTOVOLTAICO

Los principales programas de investigación y desarrollo que se llevan a cabo en el sector fotovoltaico, tienen como objetivo la reducción del costo de la electricidad producida por estos. Estos programas están, en general orientados hacia:

- Obtener dispositivos cada vez más eficientes y confiables.
- Reducir los costos de producción.
- Mejorar los componentes del balance del sistema (BOS).
- El control de calidad y aplicaciones.

El desarrollo de los materiales

Actualmente, la tecnología de silicio cristalino es la más utilizada para la fabricación de celdas fotovoltaicas y todo hace indicar que dominará el mercado en los próximos años. Esta tecnología ha conseguido celdas de relativamente alta eficiencia, estabilidad y precios competitivos. Las celdas de silicio amorfo también han alcanzado rendimientos y performance competitivos. Si bien estas tienen menor eficiencia que las de silicio cristalino, sus costos de producción son menores, lo que hace esta tecnología potencialmente atractiva.

Otra tecnología que prometía una brusca reducción de los costos es la denominada “película delgada”, por lo que muchas compañías comenzaron a realizar sus inversiones en producción de celdas con dicha tecnología. Sin embargo, no ha tenido el auge esperado y continua aún en un período de transición, de modo que el riesgo técnico y económico están aún presentes. Hace falta más investigación e inversiones para desarrollar estos materiales y mejorar su eficiencia y homogeneidad sobre toda la superficie de la celda con un menor costo de producción. En la actualidad se producen celdas de película delgada de cadmio-telurio (CdTe), cobre-indio-diselenide (CIS) y Arseniuro de Galio (GaAs).

El desarrollo de los módulos

Los módulos fotovoltaicos han alcanzado un punto de considerable robustez técnica y su esperanza de vida útil excede los 30 años. En muchas aplicaciones, la calidad y la robustez de los módulos que se ofrecen en el mercado superan las necesidades. Sin

embargo, el desarrollo de nuevos módulos y su testeo ocupan una parte importante de los programas de I+D. Temas como mejorar las técnicas de laminado, la incorporación de nuevos diseños de celdas en los módulos y el mejoramiento de los materiales que los estructuran son centrales en muchos programas. Con el advenimiento de la incorporación arquitectónica de la tecnología fotovoltaica a edificios, ha adquirido especial importancia el desarrollo de módulos sin marco, de dimensiones distintas a los tamaños normales y de colores variados.

Componentes BOS

Además de las celdas fotovoltaicas y de los módulos, todos los sistemas fotovoltaicos tienen componentes que ayudan a convertir, entregar y almacenar la electricidad generada. Los componentes del balance del sistema (BOS) incluyen reguladores de carga, baterías, inversores, sistemas de control, estructuras de montaje y cableado. Los componentes BOS representan una parte importante en los costos de los sistemas y son responsables de más del 90% de los problemas técnicos. Además, alrededor del 10% de la energía generada por los módulos es perdida durante su conversión y transmisión a través de los BOS. Los programas de I+D en el área de los BOS están orientados a mejorar el rendimiento y la confiabilidad.

Ingeniería y aplicaciones

El diseño de sistemas apropiados para cada aplicación es y fue una de las principales causas de fallas en los sistemas fotovoltaicos. Normalización es, sin duda, uno de los puntos clave para la penetración y difusión de cualquier tecnología. En la actualidad hay varios programas orientados a crear un marco regulatorio de referencia que obligue a la industria a producir componentes y sistemas fotovoltaicos con una calidad adecuada. La integración de sistemas fotovoltaicos en edificios es un área en donde aún hay problemas técnicos no resueltos. La estrecha colaboración entre arquitectos e ingenieros ha de proveer las soluciones. La interface con el usuario es otra área donde aún hace falta desarrollo, no desde el punto de vista técnico sino para satisfacer las necesidades sociales, culturales, administrativas y organizativas de usuarios, cooperativas, compañías eléctricas locales y otras instituciones que proveen servicios de electricidad.

EL MERCADO FOTOVOLTAICO

La demanda de mercado para la tecnología fotovoltaica puede ser dividida en tres áreas:

- Aplicaciones aisladas.
- Aplicaciones de pequeña escala, conectada a la red eléctrica, usualmente en techos o fachadas de edificios (menores a 5 kWp).

- Plantas de producción eléctrica medianas y grandes.

En la Argentina, por su configuración social y geográfica, la aplicación más inmediata de la tecnología fotovoltaica es, sin duda, la de sistemas aislados. La energía eléctrica proveniente de la red es más cara en áreas rurales debido a la baja densidad de carga, a la baja densidad de utilización y a la pérdida por transporte. En esta situación, la energía solar fotovoltaica es la fuente de energía más apropiada para apoyar o sustituir la red eléctrica. Este es un nicho de mercado que, si es desarrollado adecuadamente, tiene el potencial de ser económicamente sostenible.

A nivel mundial, el mercado de conexión a red de sistemas pequeños no es un mercado libre, sino que es subsidiado por gobiernos de países que ya tienen establecida una estrategia energética a largo plazo. La razón para estos subsidios es que, por el momento, el costo de la energía fotovoltaica no puede competir con el precio por kWh que el consumidor paga a la compañía eléctrica (salvo en algunos países donde se está próximo a llegar al “grid parity” o “paridad con la red”) y desde un punto de vista económico tradicional, no es posible recuperar el valor de la inversión inicial. Consideraciones similares son válidas para las plantas fotovoltaicas de producción medianas y grandes, que tienen que competir con extensiones de la red eléctrica o con plantas generadoras con motores diesel.

Sistemas autónomos

En términos generales, la tecnología fotovoltaica puede ser usada en cualquier aplicación eléctrica en áreas donde la red de distribución no está disponible o presenta deficiencias estructurales que la hace poco confiable. Las aplicaciones tradicionales son:

- Acceso a agua potable o para riego.
- Acceso a refrigeración en puestos sanitarios remotos.
- Provisión de electricidad a usuarios públicos y privados.

El típico sistema solar autónomo incluye un sistema fotovoltaico de entre 100 y 300 Wp, baterías recargables para almacenamiento, un regulador de carga para las baterías, lámparas fluorescentes y accesorios. Estos sistemas pueden ser claves para el desarrollo económico en áreas remotas.

Dado el carácter rural de la Argentina, el potencial para este tipo de aplicaciones es enorme. Para cuantificar este potencial hacen falta datos concretos de las necesidades de la población rural, que no tiene barreras sociales, abarcando todo el espectro de la escala social y, por lo tanto, teniendo diferentes necesidades y demandas.

Los sistemas autónomos fotovoltaicos, al ser modulares, pueden satisfacer ambos

extremos de demanda, desde la más básica donde la alternativa es el uso de biomasa, hasta los requerimientos más sofisticados, donde la alternativa son motores diesel. La lista de países que tienen campañas de electrificación rural ya sea iniciadas por el gobierno o por iniciativa privada crece día a día. En Argentina el proyecto PERMER, Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales, que a llevado adelante la Secretaría de Energía de la Nación y cuyo objetivo principal es el abastecimiento de electricidad a un significativo número de personas que viven en hogares rurales y a una apreciable cantidad de servicios públicos de todo tipo (escuelas, salas de emergencia médica, destacamentos policiales, etc.) que se encuentran fuera del alcance de los centros de distribución de energía, ha sido exitoso en su primera etapa y se espera comenzar el año próximo con una segunda etapa.

Aplicaciones de pequeña escala conectadas a la red eléctrica

Estos sistemas son la base de lo que se conoce como generación eléctrica distribuida, donde la red eléctrica no solo es usada para la distribución proveniente de unas pocas centrales eléctricas, sino que al mismo tiempo, para recoger energía generada por un gran número de mini centrales domésticas distribuidas a lo largo del territorio. Si las compañías eléctricas usan como estrategia la generación distribuida, para aprovechar al máximo los beneficios económicos de la misma, los generadores fotovoltaicos han de ser colocados lo más cerca posible del usuario, es decir, en su propia vivienda o edificio de oficinas.

El interés por los sistemas fotovoltaicos integrados a edificios, es decir, donde estos forman, por ejemplo, una parte integral del techo, actuando como la capa exterior impermeable al agua, la fachada, parapetos, etc., crece mundialmente. En los últimos años, sistemas fotovoltaicos incorporados a edificios como sistemas de producción dispersos, han logrado la atención de las compañías eléctricas. Los sistemas fotovoltaicos en edificios eliminan los costos de soporte estructural para los equipos de distribución eléctrica de conexión a red. El edificio provee el área donde poner los paneles fotovoltaicos, el soporte estructural y las conexiones a la red del edificio pasan a ser la interface de los sistemas con la red. Hoy en día, las compañías eléctricas no solo auspician sino que patrocinan la instalación de sistemas fotovoltaicos integrados a edificios y conectados a la red.

En la mayoría de los sistemas interactuantes con la red, el excedente de electricidad generada por el sistema fotovoltaico es exportado a la red eléctrica y “comprado de vuelta” cuando los fotovoltaicos no están generando. En muchos lugares, la ley exige que los medidores giren en ambas direcciones en lo que se conoce como “medición neta”. En estos sistemas, la red pasa a ser un medio donde se almacena la electricidad, reemplazando el uso de baterías. Los usuarios se benefician al tener que comprar sistemas más baratos y de menor manutención. Las compañías eléctricas se benefician porque los sistemas fotovoltaicos producen su excedente en, o cerca, de la hora de la demanda pico para la compañía. Estos sistemas sirven de complemento

a la red, ayudan a suplir la demanda pico y reducen la dependencia de fuentes tradicionales de energía mejorando la calidad del medioambiente. Los sistemas fotovoltaicos integrados a edificios tienen el potencial de ser arquitectónicamente atractivos, lo que hace que esta tecnología sea también aceptada por arquitectos, dueños de edificios y público en general. Con costos de instalación cada vez más bajos, con un mejoramiento en la calidad estética y con todos los beneficios de una distribución dispersa, los sistemas fotovoltaicos integrados a edificios son una opción cada vez más atractiva para edificios residenciales y comerciales.

Para evaluar y cuantificar el mercado potencial para pequeños sistemas fotovoltaicos conectados a red, se estima la superficie de fachadas y techos disponibles en la región bajo consideración. La metodología para esta estimación se basa en la evaluación de parámetros estadísticos y urbanísticos y en la determinación de factores de utilización que cuantifiquen las pérdidas por obstáculos que hacen sombra, orientación, áreas inaccesibles, etc. Estudios de este tipo se han llevado a cabo en Europa, Japón y USA. Excepto en Japón, donde la alta densidad de población hace que haya pocos techos y fachadas disponibles, el potencial de pequeños sistemas integrados a la red es de 1000 kWh/año por habitante, que equivale a más o menos el 15% de la consumición final de electricidad de dichos países. En nuestro país, para que este tipo de tecnología sea viable, las limitaciones regulatorias a nivel nacional y regional deben ser reevaluadas y adaptadas a los requerimientos de una interfaz entre la red eléctrica y los sistemas fotovoltaicos.

BARRERAS PARA EL USO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Los ingredientes fundamentales para que la introducción de una nueva tecnología tenga éxito son:

- Que sus aplicaciones estén fuertemente correlacionadas con las necesidades de los usuarios.
- Que su instalación, operación y mantenimiento sean simples.
- Que su costo sea accesible.

Si bien, como ya fue dicho, la industria fotovoltaica tiene en este momento como objetivo principal reducir los costos de producción y mejorar la robustez de los sistemas, esto es solo una parte de la ecuación. La adopción masiva de tecnologías nuevas como la fotovoltaica depende fuertemente del apoyo gubernamental:

- Reduciendo las barreras aduaneras.
- Introduciendo reducciones impositivas.

- Promoviendo la creación de empresas para la producción y eventual armado de equipamiento.

También es importante tener apoyo gubernamental para la formación de la infraestructura que se requiere para introducir masivamente esta tecnología, como ser campañas informativas y organismos de control. En general, las barreras que tiene la tecnología fotovoltaica para su establecimiento son:

- Barreras económicas y financieras.
- Barreras institucionales.
- Barreras regulatorias.
- Barreras sociales y culturales.

Barreras económicas y financieras

La barrera más importante que impide el desarrollo de la tecnología fotovoltaica es, sin duda, su alto costo en comparación con fuentes de energía convencionales como gas, petróleo, energía nuclear y energía hidroeléctrica. Esta es la razón por la cual las autoridades encargadas de la planificación eléctrica, compañías eléctricas y otras instituciones relevantes dan poca importancia a la energía fotovoltaica. Este razonamiento no tiene en consideración algunos puntos importantes como ser:

- El transporte de energía, incluyendo transmisión y distribución en áreas no densamente pobladas, que puede exceder el 85% del costo de la energía eléctrica que se suministra a los usuarios.
- En áreas remotas, donde no hay acceso a la red eléctrica nacional, la energía debe ser provista por medio de pequeños generadores, en general diesel, o a través de pequeñas redes de distribución. En estos casos, el costo del combustible, lubricante y repuestos incrementa sustancialmente el precio de las fuentes convencionales de energía.
- Costos externos como ser el costo social que proviene del daño medio ambiental, daño a la salud de la población y costos en el tratamiento de residuos (nucleares) no son tenidos en cuenta.

Cuando estos puntos son tendidos en cuenta, la comparación de costos favorece a la generación fotovoltaica sobre los métodos convencionales de generación eléctrica. Por otra parte, la tecnología fotovoltaica sufre la falta de una adecuada política de financiación y esquema de crédito que posibiliten a potenciales usuarios, como familias en áreas rurales, entidades comunales o cooperativas, compañías eléctricas, a superar la inversión inicial que hace falta para la instalación de sistemas fotovoltaicos. Debido a que la

inversión inicial para la instalación de estos sistemas es relativamente alta en comparación con otras fuentes energéticas, difícilmente las familias rurales dispongan del capital inicial necesario. Por otra parte, tal inversión inicial, que debe afrontarse al momento de la compra, es lo que desanima a potenciales usuarios que reforman o construyen nuevas viviendas en áreas urbanas. Por ello es fundamental que existan iniciativas financieras innovadoras y bien definidas para el establecimiento de la tecnología.

Barreras institucionales

A nivel institucional, la tecnología fotovoltaica se ve perjudicada debido a que:

- Existen políticas distorsionadas en favor de fuentes energéticas convencionales.
- La periferia que el gobierno y las compañías eléctricas tienen por grandes centrales eléctricas hace que proyectos de implementación de sistemas fotovoltaicos no sean subsidiados.
- Se pone énfasis en costos de capital en vez de en costos de vida útil, al tomar decisiones energéticas.
- No hay créditos accesibles para la instalación de sistemas fotovoltaicos.

Un compromiso del gobierno para reformar el sistema tarifario en el sector energético sería, sin duda, un gran apoyo a la industria fotovoltaica.

Barreras regulatorias

Dado que la tecnología fotovoltaica es relativamente reciente y que la mayoría de las normas en el sector de aplicaciones eléctricas han sido desarrolladas anteriormente al uso terrestre de los sistemas fotovoltaicos, estas no tienen en cuenta los requerimientos específicos de las aplicaciones fotovoltaicas, en particular, aquellos que se relacionan con el diseño de sistemas, configuraciones y BOS.

El resultado es que, dado que no hay normas de referencia, es difícil para no expertos en esta tecnología evaluar si las soluciones propuestas para una aplicación fotovoltaica en particular es apropiada o no. Específicamente, la evaluación de licitaciones requiere el análisis cuidadoso de la calidad técnica de las configuraciones ofrecidas. Como no expertos, no están al tanto de las implicaciones que derivan de sistemas con BOS de baja calidad, o no adecuados, siendo el resultado que los proveedores de sistemas fotovoltaicos ofrecen BOS baratos sin la calidad ni los requerimientos necesarios, para ajustarse al margen de costos del llamado a licitación. Esto ocasiona que, al cabo del período de garantía de los componentes del BOS, el comprador queda con un sistema que no funciona o funciona deficientemente.



Normas y reglamentaciones de referencia son la solución para este problema que compromete la confianza del público en la tecnología fotovoltaica. También son necesarias normas estrictas para sistemas conectados a red, debido a la necesidad de proteger tanto a la compañía eléctrica como al usuario de interacciones peligrosas entre la red y el sistema fotovoltaico. Los requerimientos técnicos que la compañía eléctrica tiene que requerir a los usuarios con sistemas conectados a red tienen como objetivo:

- Definir las condiciones y los equipos técnicos a ser instalados en la interface, de manera tal que ambos, el usuario y la compañía eléctrica, puedan medir exactamente el flujo eléctrico hacia la red y desde la red.
- Proteger al edificio de daños y perjuicios a seres humanos por problemas originados en la red eléctrica y viceversa.

Barreras culturales y sociales

La falta de conocimiento y confianza en la tecnología fotovoltaica por parte del público y por parte de las personas con poder de decisión en temas energéticos, es una de las barreras más importantes que tiene la tecnología fotovoltaica. Los actores potencialmente interesados no saben:

- De las ventajas específicas de la tecnología como su carácter modular y de su conveniencia para aplicaciones a pequeña escala, además de lo obvio como ahorro de combustible y las consideraciones medioambientales.
- Cuales son las desventajas específicas de los sistemas fotovoltaicos. La mayoría cree que son “caros”, no funcionan bien y no son confiables dado que el sol no es una fuente confiable de energía. Este es un mito que hay que erradicar.
- Los sistemas fotovoltaicos no presentan economía de escala, es decir, no hay una ventaja significativa económica al instalar una gran central generadora fotovoltaica en comparación a instalar muchos sistemas pequeños. Esto hace que se eviten los problemas que hoy tienen las grandes plantas generadoras desde el punto de vista operacional y organizativo, así como el impacto que causan en el medio ambiente local, en particular sus residuos (tanto el almacenamiento como el transporte).
- Las ventajas desde el punto de vista económico que los sistemas fotovoltaicos presentan en áreas rurales remotas, donde la densidad de la población es baja o donde la red de tendido eléctrico necesita ser mejorada.

BENEFICIOS DE LA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

Tradicionalmente, cuando se analizan los beneficios de la tecnología fotovoltaica, se mencionan solamente el tema ambiental y el tema social relacionado con la provisión de energía eléctrica a una parte del espectro social, que sin la oportunidad de usar sistemas fotovoltaicos no tendría asistencia eléctrica. Pero hay otros beneficios importantes de carácter económico social que son la generación de empleo y la contribución fotovoltaica en la reestructuración del parque energético nacional.

Generación de empleo

La mano de obra que necesita la industria fotovoltaica puede ser dividida en dos grupos:

1. Mano de obra en planta
 - 1.1. Actividades relacionadas con la producción de módulos fotovoltaicos y BOS.
 - 1.2. Construcción de plantas de manufactura.
 - 1.3. Servicios como investigación, ingeniería y ventas.
2. Mano de obra en el lugar de instalación en:
 - 2.1. Servicios locales, ventas y distribución.
 - 2.2. Instalación de sistemas.
 - 2.3. Mantenimiento.

Sería importante, para estimar el impacto social que tendría el apoyo gubernamental a la industria fotovoltaica, tener datos precisos de la capacidad instalada fotovoltaica en Argentina. A partir de estos datos, se podría hacer una proyección hasta el año 2030 y estimar la cantidad de trabajo que generaría.

Desde el punto de vista del desarrollo económico, el empleo generado por la industria fotovoltaica presenta algunas características particulares:

- No reemplaza la mano de obra en otros sectores. La tecnología fotovoltaica no reemplaza otras tecnologías convencionales, sino que provee nuevas aplicaciones y necesidades.
- Está distribuido en todo el territorio.

- Tiene continuidad temporal.
- Se desarrolla en aquellas regiones geográficas que necesitan más estímulo laboral.

Los beneficios para las compañías eléctricas

Mientras que tradicionalmente las expectativas en los sistemas fotovoltaicos estaban puestas en una reducción en el costo de producción, actualmente las compañías de electricidad han comenzado a ver ventajas intrínsecas en su uso. En este momento, la utilización más importante que las compañías eléctricas ven es el potencial que tienen para “load matching” es decir, usar la electricidad generada por los sistemas para satisfacer los perfiles de carga de la compañía. Por ejemplo, sistemas fotovoltaicos instalados en edificios de oficinas están adquiriendo popularidad como una forma de reducir el pico de demanda del edificio, ya que este pico coincide con el período de mayor insolación. La generación dispersa ofrece varias ventajas en comparación con las grandes plantas generadoras ya que:

- Las inversiones y mano de obra requerida para la instalación y mantenimiento no está concentrada en un solo lugar, sino que está distribuida a lo largo del territorio. También están distribuidas en el tiempo, produciendo un desarrollo de las economías locales más estable, así como un crecimiento sostenible del sector fotovoltaico.
- Pequeños sistemas fotovoltaicos conectados a red e integrados a la estructura de edificios son la columna vertebral para el desarrollo futuro de redes de distribución eléctrica y, por lo tanto, deben ser consideradas de una importancia estratégica fundamental.
- Sistemas fotovoltaicos instalados en el lugar de consumo de la electricidad y conectados a la red ofrecen un gran potencial para la reducción de pérdidas por distribución y transmisión. Esto, desde el punto de vista de la compañía eléctrica, significa menos gastos en el mantenimiento y en la construcción de nuevas plantas generadoras.
- Los sistemas fotovoltaicos pueden ser instalados rápidamente y la disponibilidad de planta es excelente.

Dado estos beneficios, es de esperar que las compañías eléctricas puedan aportar más que una mera fuente de capital, contribuyendo con su conocimiento de ingeniería y su experiencia en marketing y planes de negocios.

TENDENCIAS DEL SECTOR FOTOVOLTAICO

Hay diferentes factores que sugieren que el futuro de la industria fotovoltaica es promisorio. En principio, las metas que se han fijado algunos países en relación a la potencia

fotovoltaica que instalarán; luego, la capacidad productiva que se encuentra en constante crecimiento. La combinación de estos dos motivos ha hecho que la industria fotovoltaica crezca en los últimos años a un promedio de entre el 30 al 40% anual. Manteniéndose estos valores de crecimiento, será necesario realizar una inversión en nuevas plantas de producción, que harán reducir los costos, incrementando la demanda y generando año tras año más puestos de trabajo.

2. EL USO DE LA TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA EN ÁREAS URBANAS DE LA ARGENTINA.

Para poder comenzar el desarrollo y la implementación de sistemas solares fotovoltaicos en el ámbito urbano y periurbano de la Argentina, es necesario contar con un marco regulatorio que tenga en cuenta los aspectos técnicos, legales, administrativos y económicos que implican llevar a cabo esta idea.

Al respecto se ha implementado un proyecto mediante el Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Nación, a través de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica para favorecer iniciativas de cooperación mixta público-privadas, financiado por el Fondo Argentino Sectorial (FONARSEC); el proyecto IRESUD.

El proyecto tiene por objeto introducir en el país tecnologías asociadas con la interconexión a la red eléctrica, en áreas urbanas y periurbanas, de sistemas solares fotovoltaicos (FV) distribuidos, contemplando para ello cuestiones técnicas, económicas, legales y regulatorias. A tal fin, se propone:

- Generar y ejecutar proyectos de desarrollo de capacidades tecnológicas vinculados con la inserción en el país de las tecnologías de generación FV distribuida e interconectada a red.
- Desarrollar e impulsar el establecimiento de instrumentos (legislación, normativa, etc.) que promuevan la instalación en el país de sistemas FV distribuidos conectados a la red.
- Diseñar, instalar y operar sistemas FV, ubicados en viviendas y edificios públicos y privados, conectados a la red pública de baja tensión.
- Promover la inyección a la red de energía eléctrica generada mediante sistemas FV distribuidos.
- Instalar sistemas FV en los organismos de ciencia y tecnología involucrados, para análisis, ensayo, determinación de eficiencia y calificación de diseños y componentes de sistemas.
- Desarrollar recursos humanos especializados en las empresas y organismos intervenientes.

Para su ejecución se creó el Convenio asociativo público- privado IRESUD conformado por dos organismos públicos, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM), y 5 empresas privadas: Aldar S.A., Edenor S.A., Eurotec S.R.L., Q-Max S.R.L. y Tyco S.A.. Asimismo, cuenta con el apoyo del Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE), la Secretaría de Energía de la Nación, y las Secretarías de Energía de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y de las provincias de Corrientes, Entre Ríos y Santa Fe. Participan también en el proyecto desde un comienzo las Universidades de Buenos Aires (Facultad de Ingeniería), Nacional de General Sarmiento, Nacional de Luján, Nacional de La Plata y Tecnológica Nacional (Regionales Buenos Aires y Mendoza), a través de un proyecto de investigación científica y tecnológica orientado (PICTO) de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) y la Universidad Nacional del Nordeste. Más recientemente, se han sumado otras universidades y organismos: Universidad Nacional de Misiones, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Universidad Nacional de Tucumán, Universidad Nacional de Chaco, INENCO - Universidad Nacional de Salta, Universidad Nacional de Mar del Plata, Universidad Nacional de La Plata, UTN - Regional San Francisco, Cooperativa Luz y Fuerza de Rojas - Prov. Buenos Aires, y el Observatorio de Buenos Aires (Asociación Argentina de Amigos de la Astronomía), Secretaría de Energía del GCBA, Secretaría de Energía de Corrientes, Secretaría de Energía de Entre Ríos, Secretaría de Energía de Santa Fe y el Ente Nacional Regulador de la Electricidad.

A título de ejemplo, se vuelcan datos del Área Metropolitana de la Ciudad de Buenos Aires, que clarifica el por qué de la implementación de la generación distribuida:
Datos del AMBA (a modo de ejemplo):

1. 33% de la población del país.
2. 40% del PBI.
3. Produce sólo el 26% de la energía que consume, que proviene de centrales en base a combustibles fósiles (gas y petróleo).
 - Aprovecha la Energía Solar disponible en grandes centros urbanos, donde se concentra la mayor parte del consumo.
 - Acerca los centros de generación eléctrica al usuario final.
 - Mejora la eficiencia energética al minimizar pérdidas por transmisión.
 - Genera en los usuarios sensibilidad respecto del medio ambiente.

	Anual
Demanda en CABA (MWh)	11,9 x 106
Rad. Global diaria (KWh/(m2.día))	4,51
Superficie paneles solares (m2) - 2% del total	4,4 x 106
Potencia Sistema FV - 130 W/m2 (MW)	570
Energía producida sistemas FV (MWh)	0,9 x 106
% de Energía generada con sistemas FV	7,70%
Ton CO ₂ evitadas (0,6 Ton/MWh)	554000

En el marco del proyecto, se realizarán instalaciones piloto en edificios públicos, parques, asociaciones y otras entidades con el fin de probar la tecnología, realizar ensayos y capacitar RRHH.

El 4 de julio de 2012, se instaló el primer sistema fotovoltaico piloto en la terraza del edificio Tandar del Centro Atómico Constituyentes de la CNEA. La potencia del panel solar es 1,44 kWp y está formado por 8 módulos fotovoltaicos de 180 Wp cada uno. Se instalaron en una estructura desarrollada especialmente con una inclinación de 35°, correspondiente a la latitud de Bs. As para equilibrar la generación en invierno y verano (generación pico).

Los módulos FV tienen la capacidad de generar, en el punto de potencia máxima, 40 V de tensión y 5 A de intensidad de corriente eléctrica. Estos están interconectados en serie, alcanzando una tensión de 320 V. El sistema se conecta a un inversor de tensión de CC/CA que se sincroniza con la tensión alterna de red de 220 V e inyecta energía a la misma. El inversor es un equipo de 1,5 kW sin transformador. La eficiencia del sistema está limitada por la eficiencia de los módulos FV (energía que reciben los mismos en forma de radiación solar vs. energía eléctrica que generan) y además por la eficiencia de conversión del inversor (potencia eléctrica de corriente continua vs. potencia eléctrica de corriente alterna inyectada a la red). El sistema de generación se ha puesto en marcha el 4 de julio y durante el transcurso del mismo mes ha producido 110kW·hora de energía, teniendo en promedio una generación diaria de 4kW·hora de energía.

Instalación y operación de sistemas piloto

En el Área Comercial se desarrollará una actividad de difusión tendiente a dar a conocer la tecnología de los Sistemas Fotovoltaicos de Conexión a la Red. Una de las herramientas fundamentales para ello es la instalación y explotación de Sistemas Piloto. Para ello, se realizarán un conjunto de instalaciones en diferentes partes del país con el objeto difundir y promover el uso de la tecnología fotovoltaica conectada a red en áreas urbanas. En una primera etapa, estas instalaciones estarán conectadas a la red interna de los respectivos edificios. Una vez conseguida la autorización de los entes de regulación y las distribuidoras correspondientes, las instalaciones serán conectadas a la red pública.

En la siguiente tabla 1 se enumeran los sistemas piloto instalados o a instalar en los organismos de ciencia y técnica (CNEA, Universidades, Institutos), indicándose en cada caso



la potencia del sistema FV, la potencia del inversor y el grado de avance de la instalación. Por su parte, en la tabla 2 se presentan los sistemas piloto instalados o programados en organismos públicos del sector y en entidades privadas.

Organismo	Ubicación	Potencia FV (kW _p)	Potencia Inversor/es (kW)	Estado
Centro Atómico Constituyentes, CNEA	Buenos Aires	5,0	4,6	Instalada
Centro Atómico Constituyentes, CNEA	Buenos Aires	4,8	5,0	En construcción
Universidad Nacional de Catamarca	Catamarca	2,9	2,8	En construcción
Universidad Nacional de La Plata	Buenos Aires	16,9	16,6	En construcción
Universidad Nacional de Luján	Buenos Aires	2,9	2,8	Definiendo lugar
Universidad Nacional de Mar del Plata	Buenos Aires	5,7	4,5	En construcción
Universidad Nacional de Misiones	Misiones	2,9	2,8	Definiendo lugar
Universidad Nacional de Neuquén	Neuquén	2,9	2,8	Pendiente de firma*
Universidad Nacional de San Martín	Buenos Aires	5,0	4,6	Definiendo lugar
Universidad Nacional de Santiago del Estero	Santiago del Estero	4,8	4,6	En construcción
Universidad Nacional de Tucumán	Tucumán	2,9	2,8	En construcción
Universidad Nacional del Nordeste	Chaco	2,9	2,8	En construcción
Universidad Nacional del Nordeste	Corrientes	6,7	6,1	Definiendo lugar
UTN Regional Buenos Aires	Buenos Aires	2,9	2,8	Pendiente de firma*
UTN Regional Mendoza	Mendoza	2,9	2,8	Definiendo lugar
UTN Regional San Francisco	Córdoba	2,9	2,8	Pendiente de firma*
Instituto de Física Rosario, CONICET	Santa Fe	1,7	1,5	Pendiente de firma*

Tabla 1: Sistemas piloto en organismos de ciencia y técnica

Organismo	Ubicación	Potencia FV (kW _p)	Potencia Inversor/es (kW)	Estado
Secretaría de Energía de la Nación	Buenos Aires	1,7	1,5	Pendiente de firma*
Ente Nacional Regulador de la Electricidad	Buenos Aires	4,8	4,6	Pendiente de firma*
Secretaría de Energía de Corrientes	Corrientes	2,9	2,8	Definiendo lugar
Secretaría de Energía de Entre Ríos	Entre Ríos	2,9	2,8	En construcción
Secretaría de Energía de Santa Fe	Granadero Baigorria	2,9	2,8	En construcción
Secretaría de Energía de Santa Fe	Rosario	2,9	2,8	En construcción
Edenor – Sede San Isidro	Buenos Aires	2,9	2,8	Definiendo lugar
Coop. Luz y Fuerza, Rojas	Buenos Aires	2,9	2,8	En construcción
Observatorio de Buenos Aires (AAAA [†])	Buenos Aires	1,9	1,5	Instalada

Tabla 2: Sistemas piloto en organismos públicos y entidades privadas

3. PROYECCIONES DEL COSTO DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A medida que la tecnología fotovoltaica ha ido evolucionando y el tamaño de su mercado se ha expandido, el valor del módulo fotovoltaico por Wp producido ha decrecido. Esta tendencia se observa en los últimos años, como puede verse en la figura 7. El costo del módulo, como el de cualquier otro producto industrial, disminuirá a medida que su volumen de fabricación y venta aumente. Por esto y dado los grandes avances tecnológicos que han demostrado esta tecnología, se espera que el costo del módulo continúe disminuyendo.

El tamaño del mercado actual es de alrededor de 40 GWp anuales y ha crecido firmemente durante la última década. Las proyecciones para el tamaño del mercado durante los próximos años requieren hipótesis no solo económicas sino políticas, particularmente aquellas asociadas con el ambiente.

Los proyectos de demostración de la tecnología fotovoltaica integrada a edificios que ya se han implementado y aquellos que se desarrollarán durante los próximos años, proporcionarán información que permitirá la reducción del costo de la integración fotovoltaica a edificios. Pueden esperarse adelantos en aspectos estructurales y eléctricos. Además de la reducción del costo del módulo, esto reducirá el costo global del sistema, reducirá el costo de la electricidad fotovoltaica y así la integración fotovoltaica será aún más atractiva.

4. COSTOS AMBIENTALES

Se conoce ampliamente que los métodos convencionales de producción de energía son los responsables mayores del daño medioambiental global que sufre nuestro planeta. La ciudadanía en general, es consciente que quemando combustibles fósiles se contribuye al efecto invernadero a través de las emisiones de dióxido de carbono, con el efecto potencialmente catastrófico que esto tiene para el planeta tierra y sus habitantes. Por otro lado, la energía nuclear no presenta las garantías técnicas ni políticas necesarias para que se la continúe usando como combustible. Los aspectos más peligrosos respecto a esta tecnología, que aún no han sido resueltos, a costos aceptables, son la seguridad de las plantas nucleares, el cierre de las mismas y el almacenamiento de los residuos nucleares.

Generalmente, los costos asociados con el daño medioambiental son considerados externos a la economía energética, es decir, no son incluidos en el costo real de la energía. Esto es una consecuencia de la filosofía que propone que el medioambiente no es un bien comercializable, sino un recurso inagotable que está libremente disponible a todos. De este modo, los costos para revertir y reparar el daño medioambiental son pagados por la sociedad en su conjunto a través de impuestos (normalmente

ocultos) o por una disminución en la calidad de vida. Esta situación no proporciona ningún reconocimiento financiero al bajo impacto ambiental de las tecnologías asociadas con las energías renovables.

Es difícil asignar valores cuantitativos a las consideraciones medioambientales, dada la característica subjetiva de la temática. Sin embargo, es cada vez más evidente que no podemos continuar ignorando las consecuencias medioambientales de las actividades humanas y que debemos encontrar alguna manera de comparar tecnologías energéticas respecto a su impacto ambiental. Varios estudios han intentado desarrollar una metodología que permita la determinación de los costos externos de las diferentes tecnologías de suministro de energía de manera consistente. La metodología debe considerar todos los aspectos del proceso de producción energética, incluso la extracción de la materia prima, la construcción de equipos y centrales y el funcionamiento y disposición de los residuos.

Debido a la naturaleza compleja de la determinación de estos costos, no se pueden obtener valores exactos, sino que se obtiene un rango de variación de los valores dependiendo de los factores considerados y de las hipótesis de partida. La conclusión más aceptada entre los expertos internacionales indica que los riesgos de la radiación nuclear inducida por el proceso de fisión nuclear tiene un costo de entre 1,6 y 16 centU\$S/kWh y los costos asociados a la lluvia ácida como consecuencia de la combustión de combustibles fósiles es 1,6 a 33 centU\$S/kWh. El costo asociado al calentamiento global de la atmósfera es mucho más difícil de cuantificar, debido a los efectos desconocidos que un cambio de clima como el que se produce traerá a la agricultura, salud, etc.

No está claro como los costos externos, una vez determinados, serán incluidos en el costo de la energía. Los posibles métodos que se estudian incluyen la imposición de impuestos medioambientales a las tecnologías perjudiciales; regulaciones medioambientales más exigentes para la industria de suministro de energía (en cuyo caso los costos aparecerían directamente en el precio) o subsidios para las tecnologías con impacto medioambiental bajo, etc.

La producción del suministro de energía repercute en todos los aspectos de la vida y tiene una importancia política significativa. Así, es muy difícil de predecir cuales, cómo y cuando se internalizarán los costos externos dado que esto depende profundamente de decisiones políticas. Sin embargo, debe recordarse que la razón principal para el uso de la tecnología fotovoltaica para la generación de electricidad es su bajo impacto medioambiental y, al menos, se deben hacer consideraciones cualitativas al evaluarse el costo de la energía eléctrica producida con esta tecnología.



Buenos Aires Ciudad



EN TODO ESTÁS VOS

