

**Evaluación del potencial  
de  
aplicaciones fotovoltaicas**

**CESEN**

## EVALUACION DEL POTENCIAL DE APLICACIONES FOTOVOLTAICAS

CESEN

Los sistemas fotovoltaicos permiten convertir directamente la energía solar en energía eléctrica.

Estos sistemas presentan las siguientes ventajas:

- Ningún consumo de combustible.
- Producción de energía eléctrica sin contaminación.
- Ausencia de componentes en movimiento (gran confiabilidad).
- Ausencia total de fluidos y gases.
- Rápida respuesta.
- Capacidad de utilizar también la radiación difusa.
- Mínimo mantenimiento.
- Celdas de silicio, el segundo entre los elementos más abundantes en el mundo.
- Modularidad de los sistemas que pueden pasar de pocos vatios a muchísimos KW.
- Elevada eficiencia total del sistema.

Aplicaciones típicas de las celdas fotovoltaicas

Potencia pico menor que 10 vatios.

Relojes. Calculadoras electrónicas de bolsillo. Juguetes; objetos de regalo.

Potencia pico menor que 100 Wp

- Estaciones meteorológicas.
- Sistemas de emergencia.
- Radiotelefonos.
- Televisores.
- Refrigeradores de pequeño tamaño.
- Sistemas de control para gaseoductos y oleoductos.
- Sistemas de control de tránsito urbano.
- Repetidores televisivos.

Potencia pico entre 100 y 1000 vatios.

- Transmisores televisivos.
- Líneas de microondas.
- Bombas de pequeño tamaño.
- Refrigeradores.
- Sistemas para protección catódica.
- Electrificación de usuarios monofamiliares.

Potencia pico entre 1.000 y 10.000 vatios.

- Central de telecomunicación de canal múltiple.
- Sistemas de bombeo.
- Electrificación de haciendas.
- Electrificación aldeas de pequeño tamaño.
- Sistema de desalinización.
- Molinos para cereales.

Potencia pico mayor de 10.000 vatios.

- Sistemas de bombeo para irrigación.
- Electrificación de aldeas.
- Electrificación de poblados rurales.
- Planta de desalinización de gran tamaño.

### **Desventajas típicas de los sistemas fotovoltaicos y medidas para evitarlas.**

#### **Producción de energía eléctrica no continua e influenciada por factores meteorológicos**

Se puede eliminar este inconveniente mediante un apropiado dimensionamiento de almacenamiento electroquímico o adoptando un sistema de generación diesel de soporte.

#### **Costo elevado de los sistemas fotovoltaicos**

Los componentes que más contribuyen a elevar el costo de una planta fotovoltaica son el módulo y el sistema de almacenamiento. Una producción de celdas a grande escala, junto a un apropiado proyecto que limite la cantidad de módulos a instalarse, puede permitir una reducción del costo de la parte fotovoltaica de las plantas.

La optimización de los componentes tipo para plantas fotovoltaicas y el consecuente mejoramiento de la eficiencia y de la fiabilidad de las mismas, puede reducir los costos de la planta.

## Orígenes de la conversión fotovoltaica

1839: En Francia Becquerel descubre, por primera vez, el efecto fotovoltaico.

1880: Construcción de la primera celda de selenio.

1920-1930: La teoría cuántica explica el efecto fotovoltaico.

1940-1950: Se establece la tecnología para la producción de celdas fotovoltaicas de silicio monocristalino (Czochralski).

1954: Los laboratorios de investigación de la Bell Telephone fabrican una celda de silicio con una eficiencia del 4%.

1958: Primera aplicación espacial: el satélite de los Estados Unidos "Vanguard" lleva al espacio un equipo fotovoltaico para alimentación del radioreceptor/transmisor de abordo.

## Consideraciones económicas

Una planta fotovoltaica puede subdividirse en dos partes principales:

— Los módulos fotovoltaicos.

— Todo lo necesario para el montaje y el funcionamiento de la planta, esto es:

- Estructuras de soporte.
- Obras civiles.
- Conexiones eléctricas.
- Sistema de acondicionamiento de potencia y sistema eléctrico de interfase.
- Sistema de almacenamiento electroquímico.
- Sistema de control.

El costo de esta segunda parte de la planta, depende considerablemente del uso final de la energía producida.

## Inversión necesaria por vatio fotovoltaico instalado (Wp).

Actualmente, al costo del Wp oscila respecto a los módulos, entre 6 y 8 US \$/Wp. La parte restante del sistema fotovoltaico, excepto los acumuladores, alcanza un costo que puede fluctuar entre 4 y 9 US \$/Wp. (1985)

Por consiguiente, el costo total de un equipo fotovoltaico puede oscilar entre 10 y 17 US \$/Wp; este valor no tiene en cuenta el costo de los acumuladores ni el costo de las actividades de ingeniería.

Ejemplo de costo para una planta fotovoltaica de 10 kWp apta para alimentar un usuario final en corriente alterna:

— Módulos fotovoltaicos:	7 US \$/Wp
— Estructuras de soporte:	1 US \$/Wp
— Cable y conexiones eléctricas:	0.5 US \$/
— Wp Tablero de mando y sistema de control:	2.5 US \$/Wp
— Almacenamiento electroquímico (10 kwh/kwp):	1.5 US \$/Wp
— Convertidor (C/A)(1 kva/1 kwp):	2.0 US \$/Wp

Costo total de los componentes en taller: 14,5 US \$/Wp

(\*) Wp = un sistema de la potencia nominal de 1 kwp puede suministrar 1 kw de potencia eléctrica con un valor de radiación solar de 1 kW/m<sup>2</sup> a una temperatura ambiente de 25°C.

**Estado actual de la tecnología para la producción de las celdas fotovoltaicas** (The P.V Industry Today and Tomorrow N. Alberger-Vacker- Chemitronic GmbH- october '84)

La producción actual de celdas fotovoltaicas, se basa en el uso de varios tipos de silicios, esto es:

- Silicio monocristalino Czchralski.
- Silicio policristalino.
- Ribbon.
- Silicio amorfo.

El estado de la tecnología se sintetiza a continuación en la tabla No. 1.

Según se puede ver en el cuadro No. 2, la subdivisión de la producción de celdas por áreas geográficas y por tecnologías adoptadas en 1980 y 1984, la cantidad de celdas producidas utilizando silicio monocristalino está disminuyendo en las áreas de mayor producción (USA, EUROPA y JAPON).

La producción de silicio policristalino es, en el momento, la que más ha aumentado, pasando en los Estados Unidos de 5,5% en 1980 al 28% en 1984 y en Europa, en el mismo período, del 25% al 70%.

La tecnología de deposición sobre cinta se adopta hoy día en Japón y en los Estados Unidos, países en que se pasa respectivamente, de 90 KWp de 1980 a 250 KWp (Japón) y de 9 KWp a 412 KWp (Estados Unidos) en el mismo período.

La producción de silicio amorfo se encuentra, en el momento, limitada al Japón, 5 MWp en 1984; pero casi todas estas celdas se utilizan para muy pequeñas aplicaciones, tales como: relojes, calculadoras etc.

## **Sistemas que utilizan la conversión fotovoltaica de la energía solar**

Las plantas fotovoltaicas pueden ser la solución óptima para la electrificación de usuarios aislados, como son, por ejemplo, aldeas, equipos de bombeo, telecomunicación y desalinización, cuando tales usuarios estén ubicados lejos de una red eléctrica y en zonas caracterizadas por elevados valores de energía solar utilizable.

Las plantas fotovoltaicas no necesitan combustibles, tampoco considerable mantenimiento. Por consiguiente, hay que examinar siempre la posibilidad de hacer frente a la demanda de energía con plantas fotovoltaicas en zonas donde se encuentran dificultades para el aprovisionamiento y el transporte de combustibles y donde es difícil emplear personal especializado.

Se relacionan a continuación algunas de las cargas que se pueden alimentar con sistemas fotovoltaicos destinados a la producción de energía para habitaciones y agricultura:

- Luces
- Televisores
- Radio receptores
- Equipos receptores / transmisores
- Refrigeradores de pequeño tamaño
- Ventiladores
- Bombas para agua (extracción de pozos y circulación)
- Herramientas eléctricas (taladros, sierras, compresores de aire, etc).

El cuadro No.3, indica para las cargas antedichas que se encuentran en el comercio, las varias posibilidades de alimentación.

Para el dimensionamiento de sistemas que utilizan las cargas antes citadas se necesita conocer los valores típicos de consumo. Se relacionan estos datos a continuación; cuadro No. 3 y No. 4.

TABLA No. 1: Estado tecnológico de la industria fotovoltaica, 1984

	Fase de Conside- ración	Fase Experi- mental	Fase Piloto	Fase Comercial	Fase de substitución de tecnología
<b>USA</b>					
Mono CZ	x	x	x	x	x
Mono-Conc.	x	x	x	x	x
Si multicristalino	x	x	x	x	x
Ribbon	x	x	x	x	x
Si amorfo	x	x	x	x	x
Otros	x	x	x	x	x
<b>EUROPA</b>					
Mono CZ	x	x	x	x	x
Mono-Conc.	x	x	x	x	x
Si multicristalino	x	x	x	x	x
Ribbon	x	x	x	x	x
Si amorfo	x	x	x	x	x
Otros	x	x	x	x	x
<b>JAPON</b>					
Mono CZ	x	x	x	x	x
Mono-Conc.	x	x	x	x	x
Si multicristalino	x	x	x	x	x
Ribbon	x	x	x	x	x
Si amorfo	x	x	x	x	x
Otros	x	x	x	x	x
<b>RoW</b>					
Mono CZ	x	x	x	x	x
Mono-Conc.	x	x	x	x	x
Si multicristalino	x	x	x	x	x
Ribbon	x	x			
Si amorfo	x	x			
Otros	x	x			

Cuadro No. 3

CARGA	C.C.	C.A
Luces	incandescentes fluorescentes con convertidor incorporado	incandescentes fluorescentes
Televisor	12, 24 V	sí
Radio receptor	12, 24 V	sí
Equipo receptores/ Transmisores	12, 24, 48 V	sí
Refrigeradores	12, 24, V con motor sin cepillos 12, 24 V con motor con cepillos	sí
Planchas	sí	sí
Bombas para pozos	12, 24, 48 V	trifásico o monofásico
Circuladores	sí	trifásico o monofásico
Bombas para irrigación	sí	trifásico o monofásico
Molinos para cereales	sí	trifásico o monofásico
Herramientas eléctricas	sí	trifásico o monofásico
Grandes refrigeradores (para comunidad)	sí	trifásico o monofásico

	CONSUMO (W)	FLUJO LUMINOSO (LUMENES)	RENDIMIENTO (LUMENES/W)
Luces			
Incandescentes	25	210	8.4
(alimentación	40	400	9.8
c.c o c.a.)	60	680	11.2
	100	1270	12.7
Fluorescentes	19	1000	53
(alimentación c.a.)	25	900	36
	30	1250	41.7
Fluorescentes	15.8	715	45.3
(con convertidor incorporado alimentación 12, 24 V c.c)			
Televisores			
B & W Blanco y Negro	30-100		
Colores	150-300		
Radio receptores	3-30		
Equipos receptores/ Transistores 1 WRF			
RX	1-3		
TX	15-20		
Reserva	0.2-0.5		
Refrigeradores			
70-100 L c.c.	70		
200 L c.a.	130-150		
Planchas	750-1500		
Ventiladores	60-100		

#### Cuadro No. 4

##### Bombas

##### Bombas para distribución de agua c.a. o c.c.

Altura de elevación (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Consumo (W)
10	1	100
10	5	300
10	25	1400
15	1	150
15	5	450
15	25	2000

##### Bombas anegadas para bombeo de pozos c.a. monofásica o trifásica

Altura de elevación (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Consumo (W)
10	1	200
10	5	1000
10	25	3000
20	1	350
20	5	1500
20	25	5000

##### Bombas para irrigación c.a.

Altura de elevación (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Consumo (W)
5	10	1000
5	50	3000
5	250	10000
10	10	1500
10	50	5000
10	250	17500

##### Herramientas eléctricas

	Consumo (W)
c.a. y c.c.	100- 300

### Cuadro No. 5

#### Tipologías para Irrigación

<b>POZOS NO MUY PROFUNDOS (h 5 m)-</b>	<b>BOMBEO DE RIOS, LAGOS, ETC.</b>
<b>Tipo de bomba</b>	<b>Características</b>
Bombas en superficie y motor de c.c. en superficie y cuerpo bomba anegado con o sin acumuladores	Problemas de cavitación cuando la aspiración no esté bajo altura de elevación
Motor de c.c. en superficie y cuerpo bomba anegado con o sin acumuladores	Problemas de transmisión debido a la presencia de un eje vertical
Bomba y motor de c.a. superficie	Necesita un convertidor
<b>BOMBEO DE POZOS PROFUNDOS (h.5 m)</b>	
Grupo bomba accionada por motor de c.a. anegado	Necesita un convertidor
Grupo bomba accionada por motor de c.c. anegado	Problemas de confiabilidad particularmente en las empaquetaduras de sellado
Grupo bomba anegado campo motor de c.c. en superficie	Problemas y pérdidas debido al largo eje de transmisión

**Cuadro No. 6**

**Demandas de energía típicas (KWh/día)**

Estos datos se refieren, como parámetros, a un poblado rural de 100 habitantes subdivididos en 25 familias.

Nivel de electrificación	Bajo nivel de electrificación E 0.5 KWh/día por habitante	Nivel mediano de electrificación 0.5 E 1 KWh/día habitante	Alto nivel de electrificación E 1 KWh/día por habit.
Carga			
LUCES	8	10	15
-Refrigeradores de pequeño tamaño	=	20	30
-TV	=	2.5	2.5
-Radio receptor	=	0.5	0.5
-Varios eq. dem.	=	=	10
LUCES	12	15	20
-Servic. comunes	5	10	15
-Refriger. para comunidades	15	15	15
-Distribución agua	5	5	5
-Taller	5	10	25
-Irrigación	=	10	50
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>48</b>	<b>188</b>

Con base en lo establecido en los párrafos precedentes, se pueden identificar las cargas a alimentarse y trazar la curva de carga.

