



Universidad Nacional Autónoma de México
Centro de Investigación en Energía

CURSO-TALLER SISTEMAS FOTOVOLTAICOS



**Módulos y Arreglos
Fotovoltaicos**



Módulos fotovoltaicos



$$V_{CA} = 0.6 \text{ V}$$

$$J_{CC} = 44 \text{ mA/cm}^2$$

$$V_M = 0.49 \text{ V}$$

$$J_M = 30.5 \text{ mA/cm}^2$$

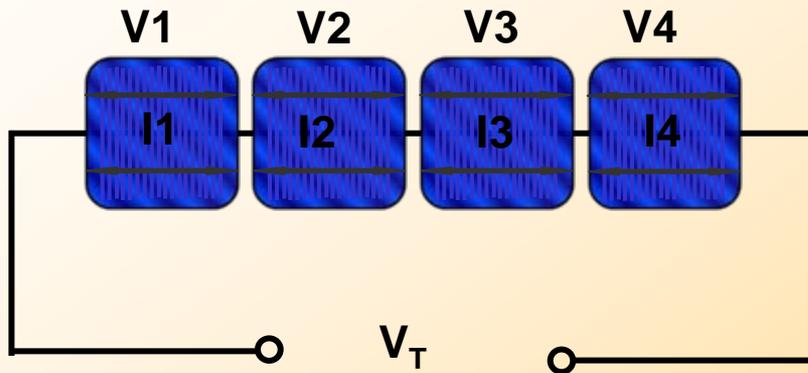
$$P_M = 15 \text{ mW/cm}^2$$

Conexión Serie: La terminal negativa de una celda se conecta a la terminal positiva de la siguiente.
Resultado: *Incremento de voltaje*

Conexión Paralelo: La terminal negativa de una celda se conecta a la terminal negativa de la siguiente, la terminal positiva se conecta a la positiva de la siguiente celda.
Resultado: *Se Incrementa la corriente de salida.*



Conexión de las celdas FV para formar un módulo



Conexión en serie

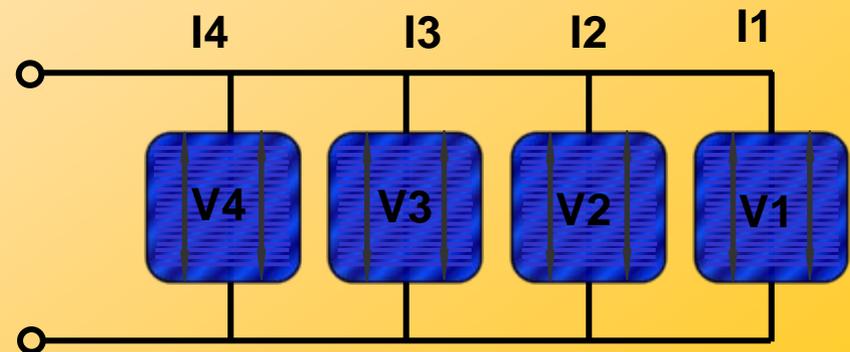
$$V_T = V1 + V2 + V3 + V4$$

$$I = I1 = I2 = I3 = I4$$

Conexión en paralelo

$$V_T = V1 = V2 = V3 = V4$$

$$I = I1 + I2 + I3 + I4$$

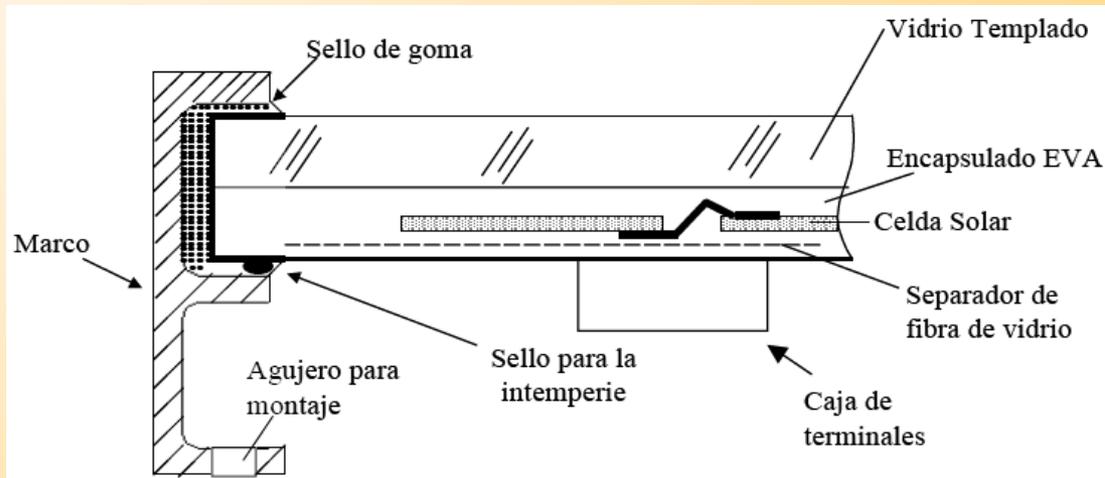
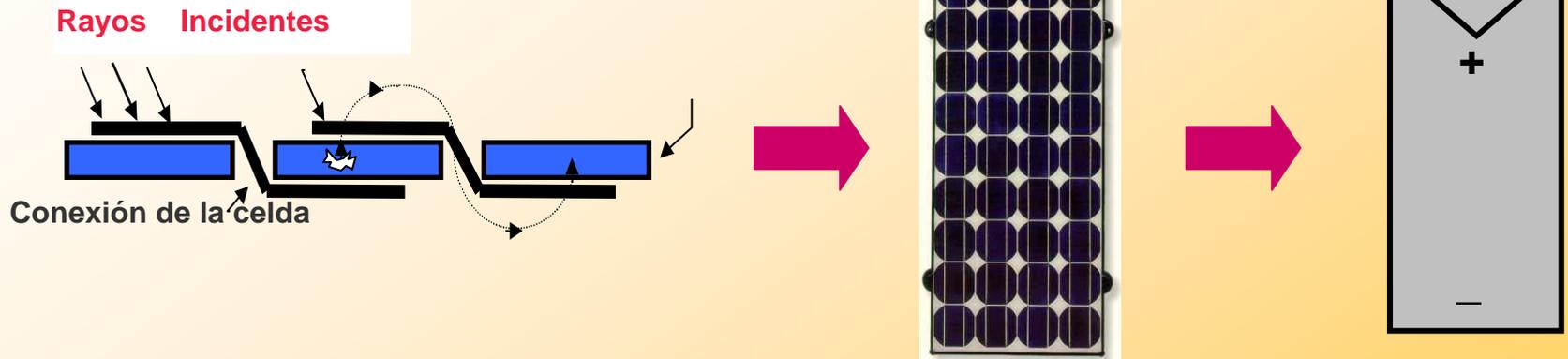




Módulos fotovoltaicos

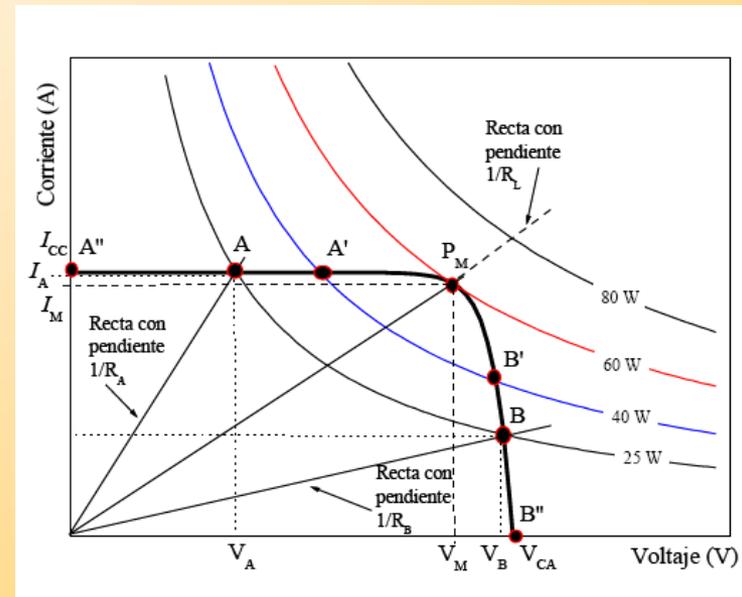
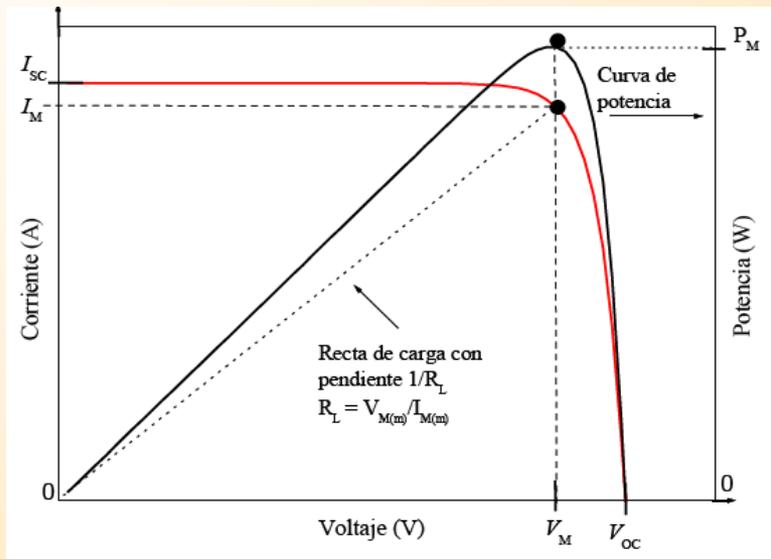


Celdas fotovoltaicas



Módulo fotovoltaico para instalarse!!!!

Las características eléctricas de un módulo FV, se determinan a partir de sus curvas características de voltaje vs corriente



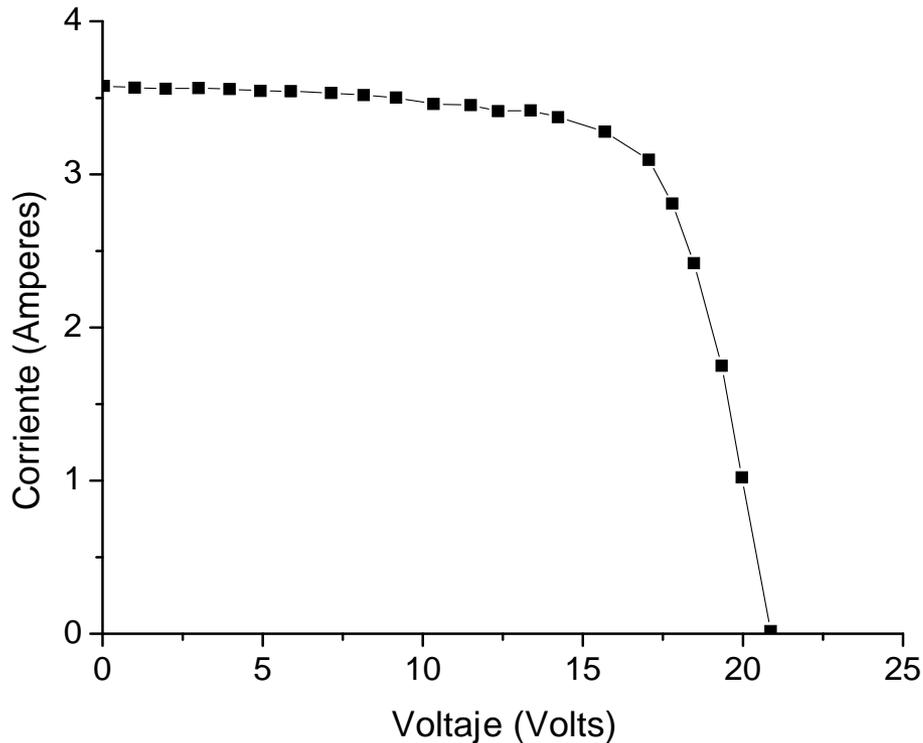
Condiciones estándares de prueba: Irradiancia 1000 W/m^2 ,
Temperatura de celda de 25°C , AM 1.5

Curva de rendimiento (I VS V)



Define todos los puntos de operación

MÓDULO DE 55 W-p; AM1.5 1000 W/m²; 25°C.

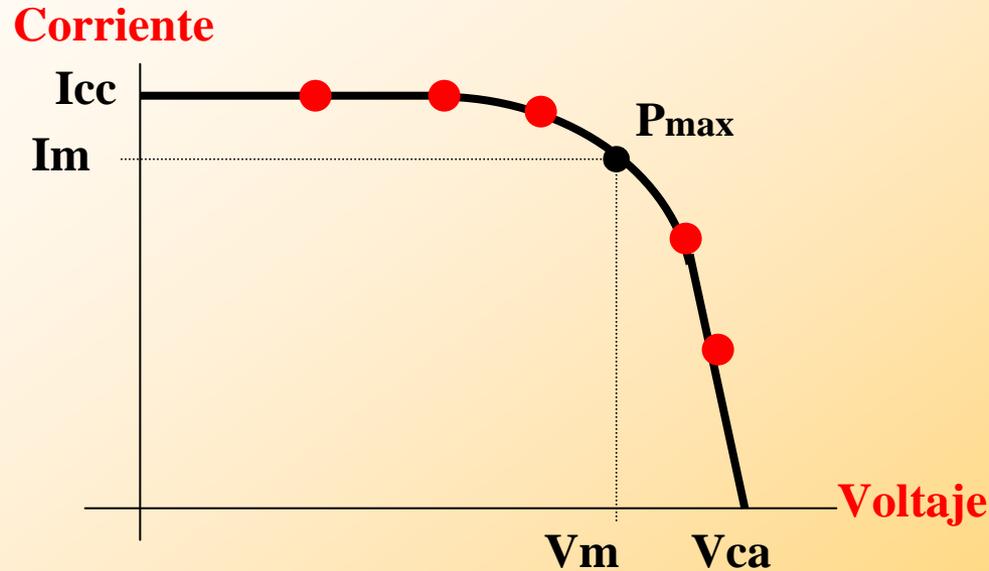


Voltaje (V*)	Corriente (I*)	Potencia (P*)
[Volts]	[Amp.]	[Watts]
0	3.6	0
10	3.5	35
17	3.2	55
19	2.0	38
21	0.0	0

(*) Condiciones estándares de prueba



Parámetros eléctricos de un Módulo Fotovoltaico



I_{cc} Corriente de Corto circuito ($P = 0$ watts): Es la corriente máxima que puede generar el Módulo bajo una intensidad luminosa de 1000 W / m^2

V_{ca} Voltaje a circuito Abierto ($P = 0$ watts):
Voltaje máximo que puede generar el Módulo

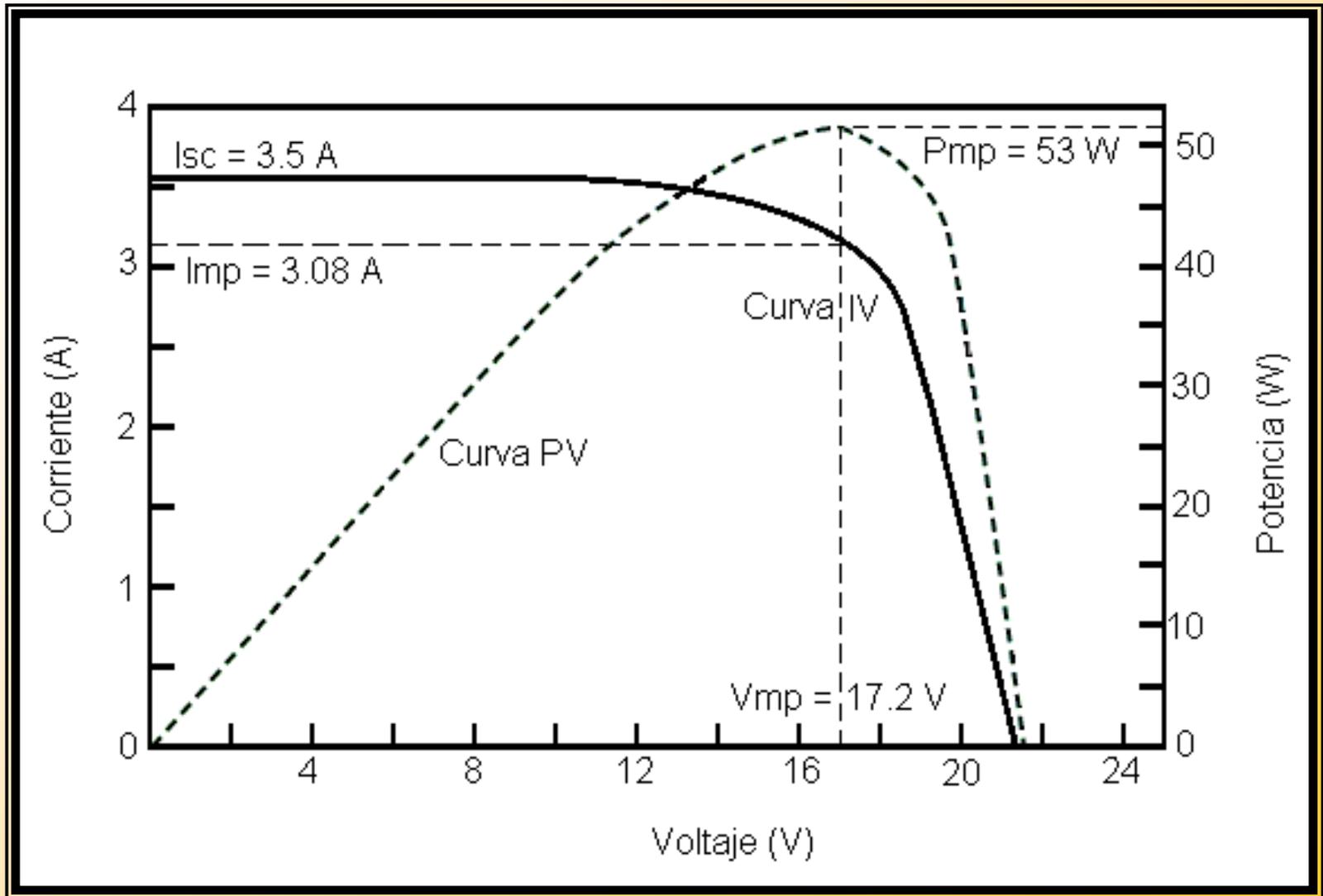
V_m Voltaje de Operación **I_m** Corriente de Operación

Voltaje y corriente para los cuales el Módulo genera la máxima potencia

P_{max} potencia máxima



El Módulo Fotovoltaico



Características eléctricas bajo condiciones NTC



MÉTODOS

Hidráulicos

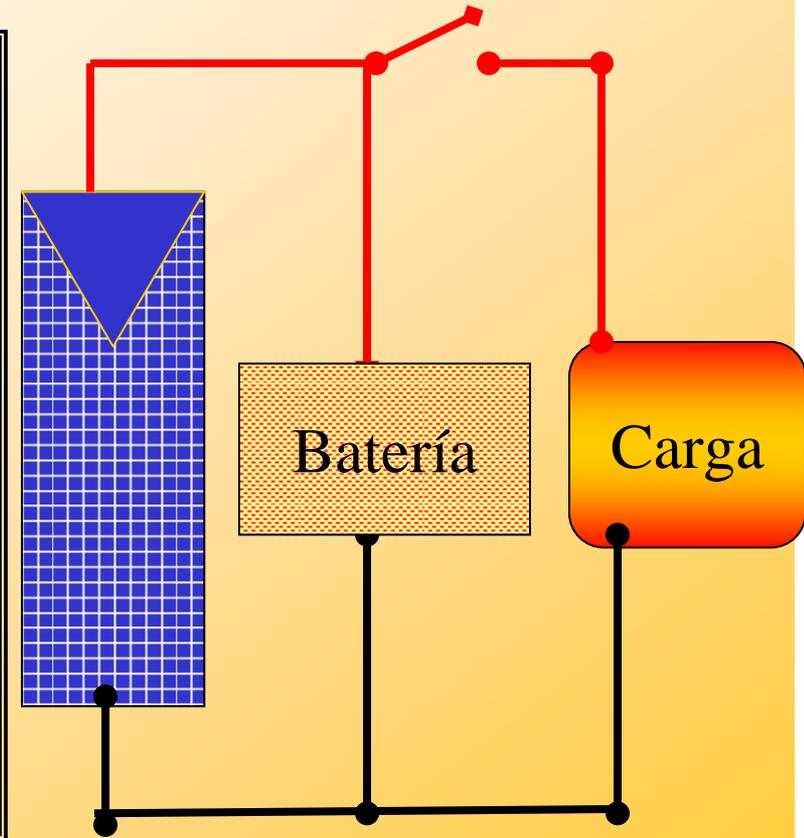
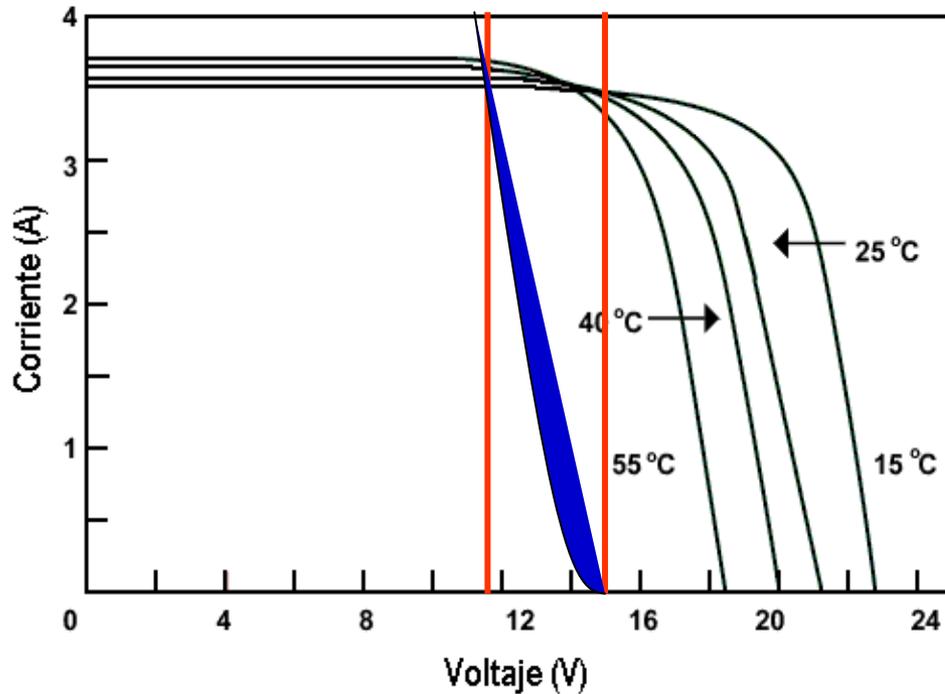
Electroquímicos: Baterías

Para el almacenamiento de Energía Eléctrica en Sistemas Electroquímicos, los Módulos FV se construyen con el número de celdas necesarias para cargar acumuladores.

Para el caso de acumuladores de 12 V nominales, los módulos se diseñan con 30, 33 y hasta 36 Celdas FV conectadas en serie.



Tecnología Diseñada para Cargar Baterías



Módulos de c-Si: Treinta y seis celdas conectadas en serie con dos diodos de paso para prevenir efectos de puntos calientes

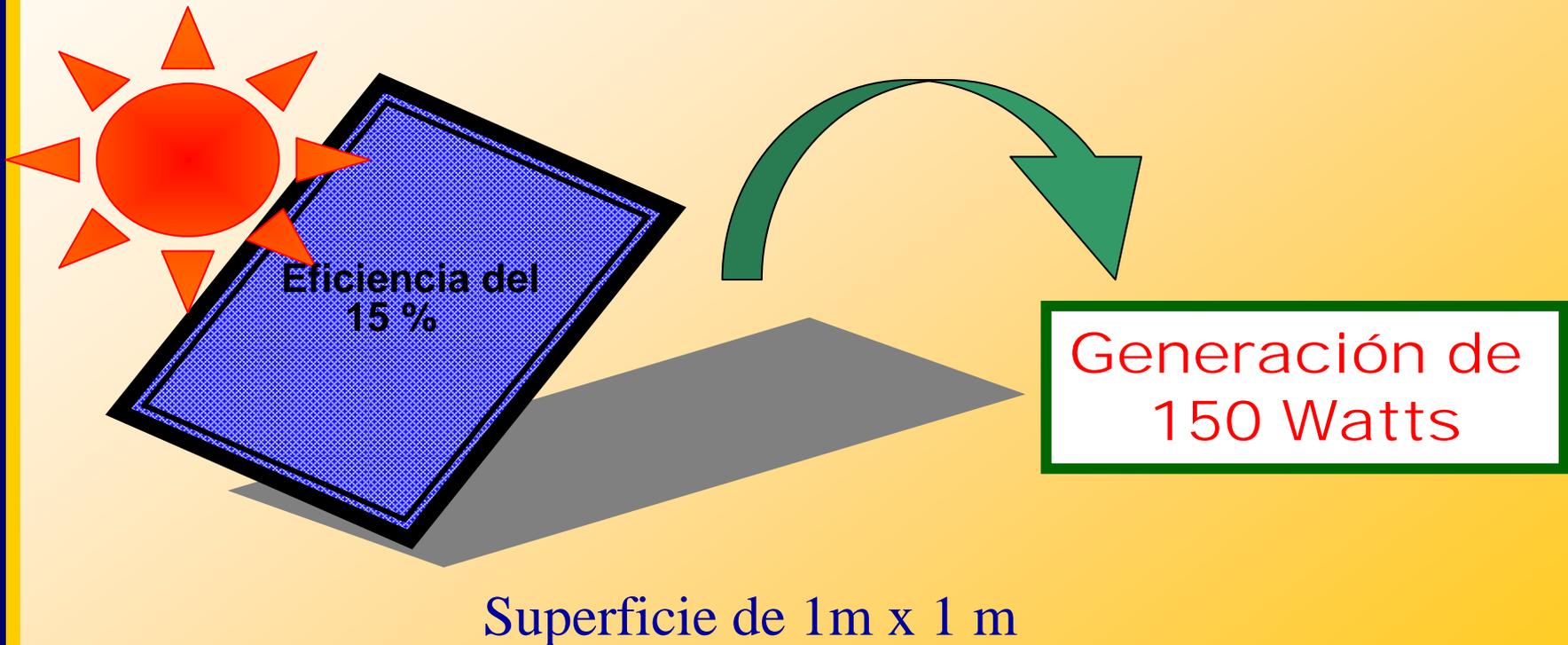


Módulos fotovoltaicos



Eficiencia en celdas y módulos comerciales de silicio

TIPO DE CRISTAL	CELIDAS (100 cm ² de area)	MÓDULOS
MONOCRISTAL	18%	Del 13 % al 16.8%
POLICRISTAL	17%	Del 11% al 13%
AMORFO	13%	Del 7.5% al 10%





Módulos fotovoltaicos



STC @ 1000 Wm² - AM 1.5 - T_{CELL} 25°C

MODEL TYPE	MSX64	P_{MAX}	64.5 W
SERIAL NO.	FW936099338801	V_{oc}	21.4 V
MAX. SYS. OPER. VOLT.	600 V	I_{sc}	4.02 A
MIN. BYPASS DIODE IF	5 A	V_PMAX	17.2 V
SERIES FUSE	5 A	I_PMAX	3.75 A

AT 800 W/m² - AM 1.5 - T_{CELL} 49°C

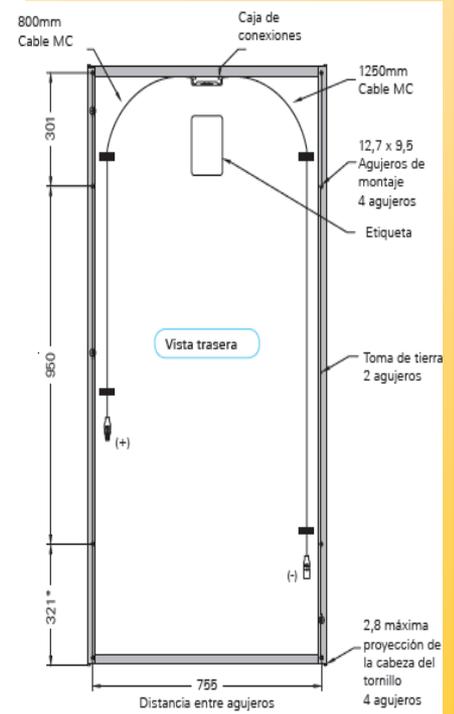
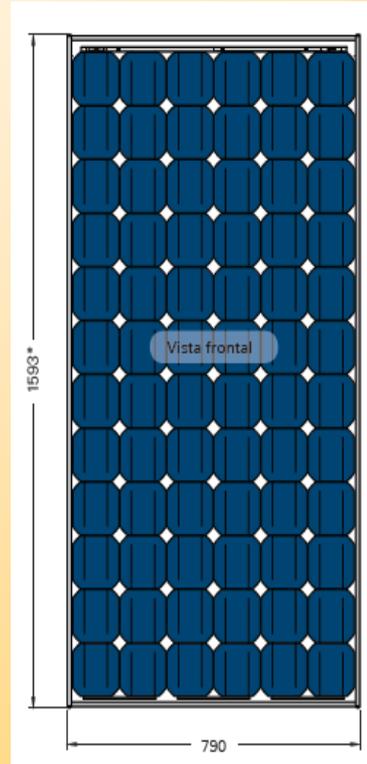
WILL PRODUCE: P_PMAX= 46.7 W
I_PMAX= 3.06 A

SOLAREX
630 Solarex Court
Frederick, MD, 21701, USA


 Class 1
 División 2
 Grupo C & D
 Approved for NEC


 Listed for
 Electrical
 And Class
 "C"

Clase C



Los módulos FV comerciales incluyen Valores de placa y diagrama de conexiones



Modulo de Silicio Monocristalino

Marca: SIEMENS Modelo SP75 (PC-J4)

Características Eléctricas STC 1000 W/m²; 25°C

$V_{ca} = 21.7 \text{ V}$ $V_m = 17 \text{ V}$ $P_{max} = 75 \text{ W}$
 $I_{cc} = 4.8 \text{ A}$ $I_m = 4.4 \text{ A}$

Características Físicas

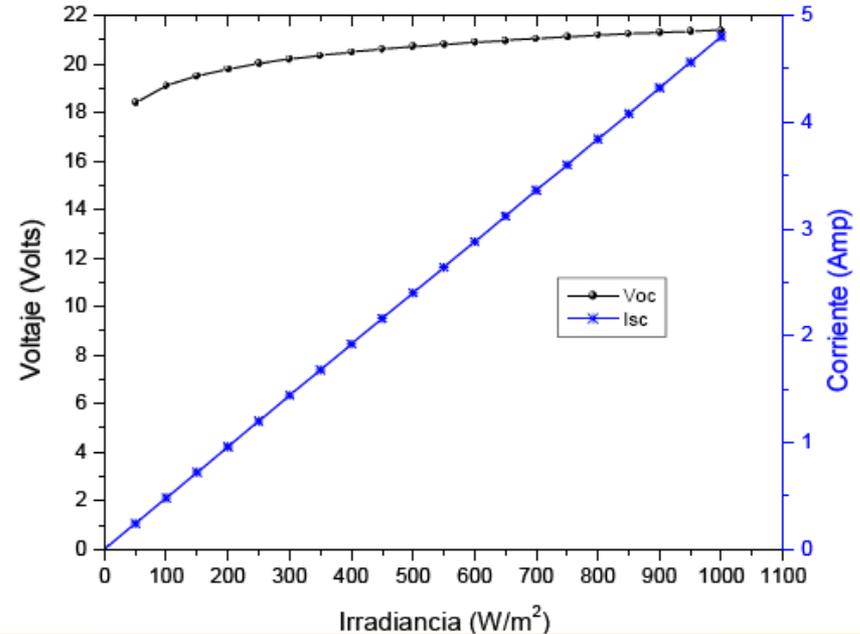
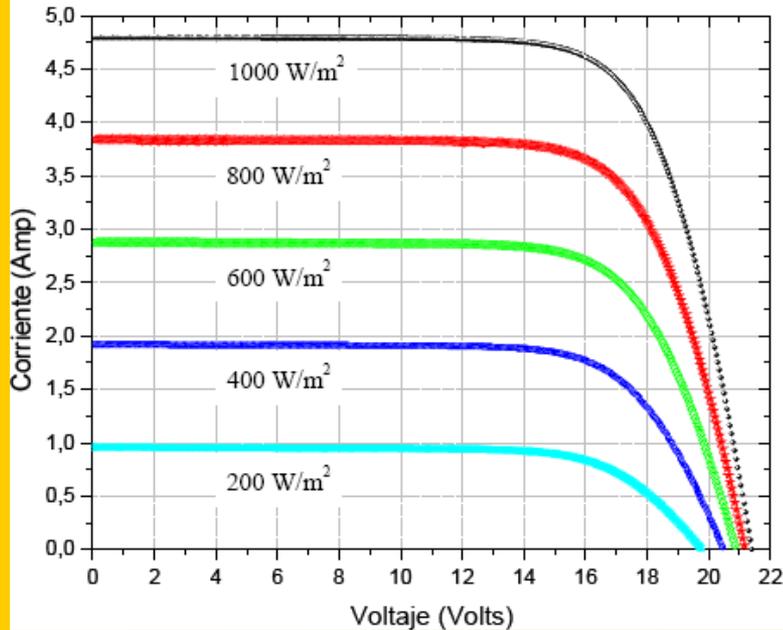
Nº de Celdas = 36

Largo 120.1 cm Ancho 52.8 cm

Espesor 3.4 cm peso 5.8 Kg



Efecto de la intensidad luminosa

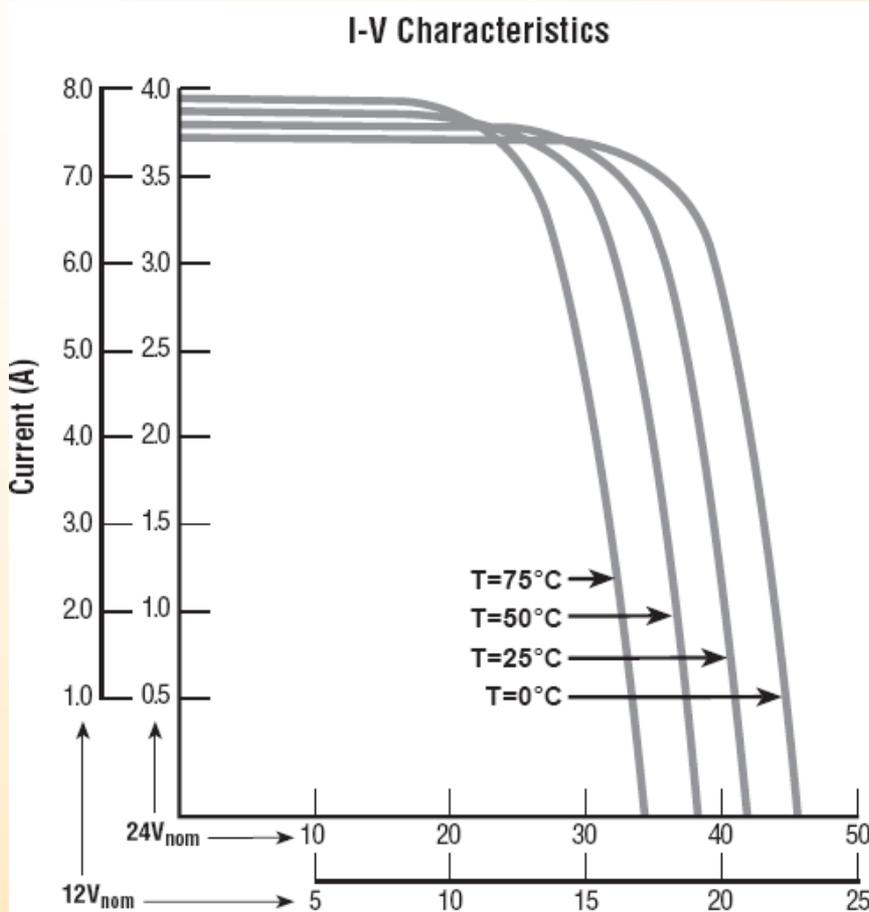


El voltaje permanece casi invariante a diferentes intensidades luminosas, la corriente varía proporcionalmente a la irradiancia.

$$I'_{cc} = \frac{I_{cc}(SCT) * H}{1000}$$



Efecto de la temperatura



La corriente aumenta ligeramente mientras que el voltaje esta disminuyendo en una razón muy grande.

La temperatura de la celda en función de la irradiancia:

$$T_{cell} = T_{amb} + C1H,$$

$$C1 = 0.025 \text{ } ^\circ\text{C m}^2/\text{W}.$$



Efecto de la Temperatura



Valores típicos de funcionamiento a 1kW/m^2

Temperatura de la unión	T _j	(°C)	25	45	60
Voltaje nominal de la batería		(V)	12	12	12
Potencia máxima (± 10%)	P _m	(W)	47.5	43.4	40.2
Voltaje a máxima Potencia	V _m	(V)	17	15.44	14.27
Corriente a máxima Potencia	I _m	(A)	2.8	2.81	2.82
Corriente de corto circuito	I _{sc}	(A)	3.05	3.07	3.08
Voltaje a circuito abierto	V _{oc}	(V)	21.6	20	18.9

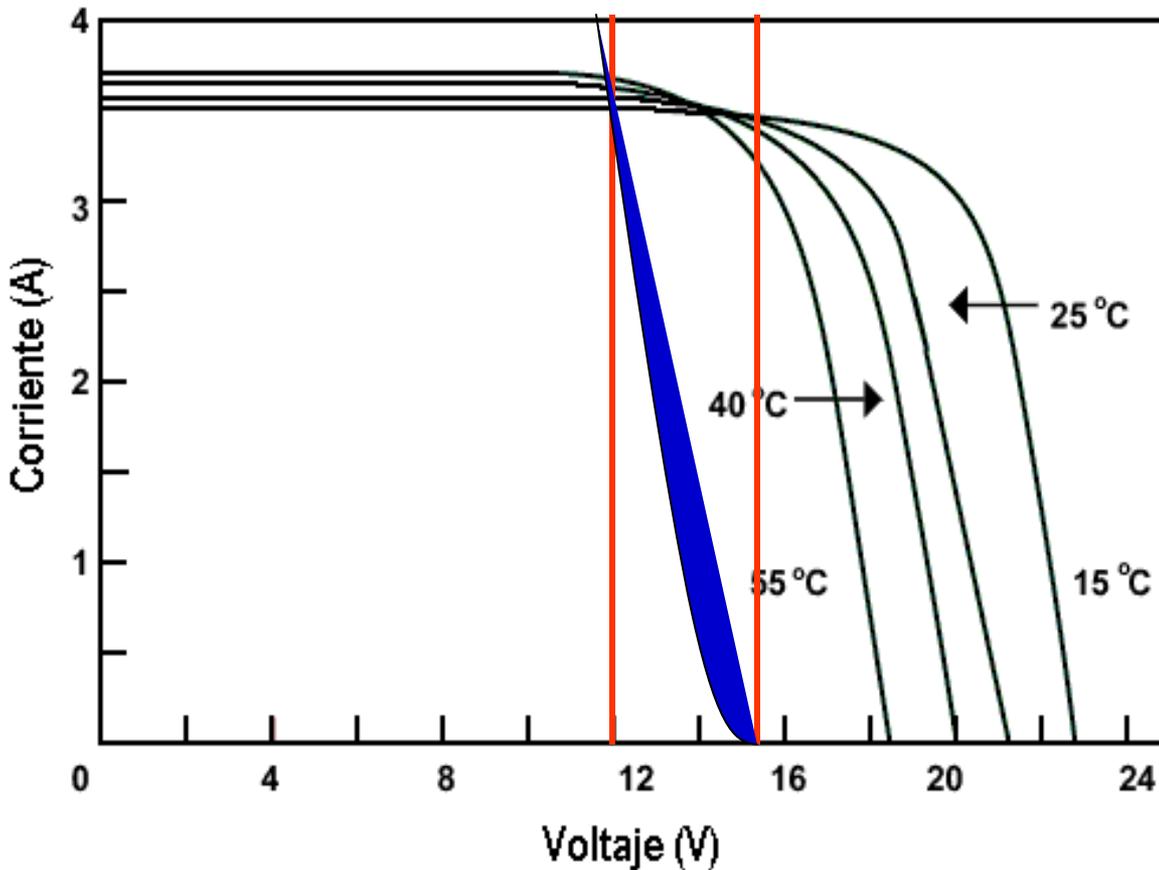


Efecto de la Temperatura



MÓDULO DE 36 CELDAS EN SERIE

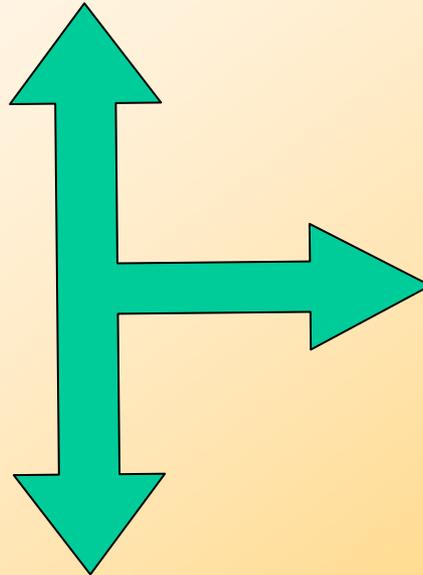
En el voltaje: reducción de $2.2 \text{ mV}/^\circ\text{C}/\text{celda}$
En la potencia: reducción del $0.35\%/^\circ\text{C}$





EFFECTO GLOBAL

Atenuación en la irradiancia



20% de reducción en potencia

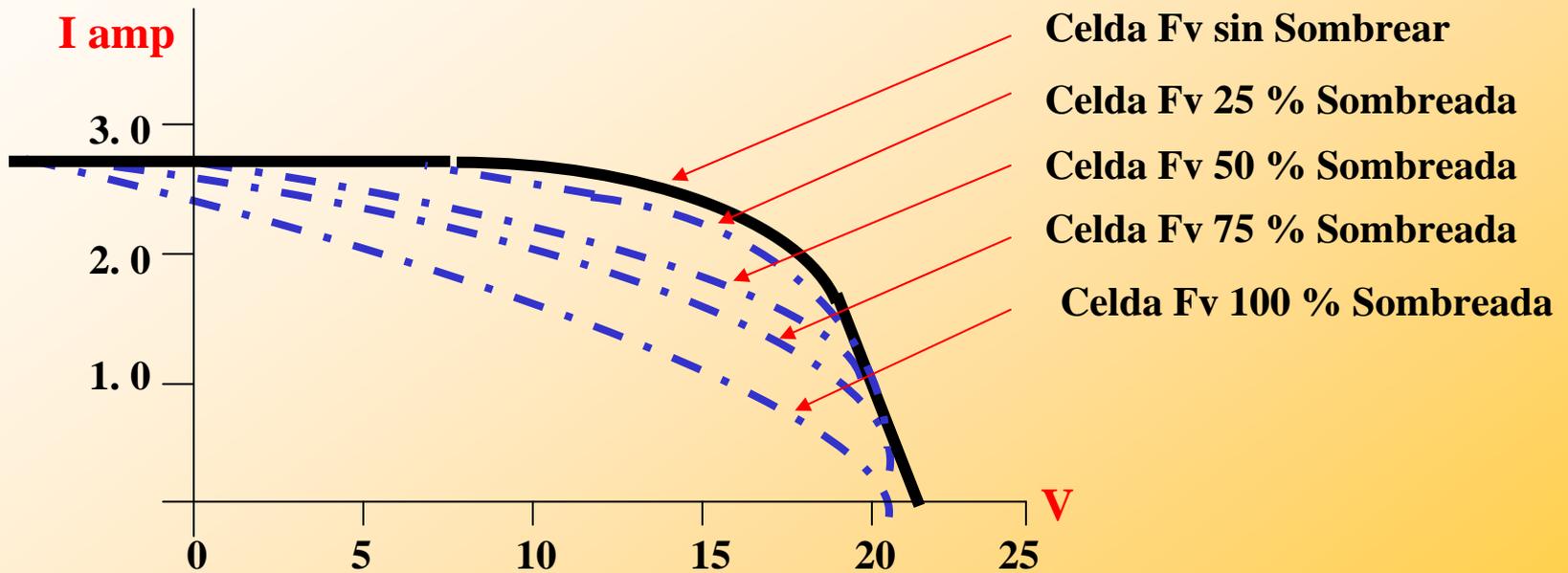
Temperatura de operación



Módulos fotovoltaicos



Efecto de las sombras



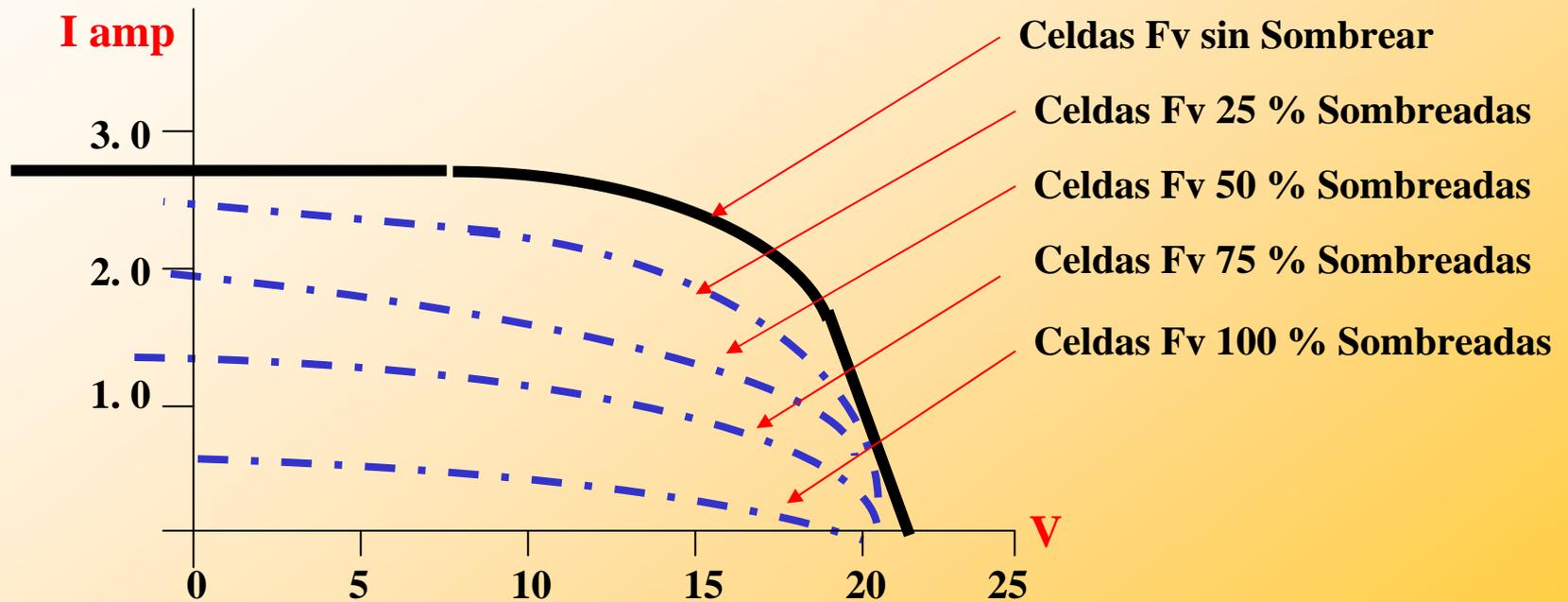
Módulo FV con una celda sombreada



Módulos fotovoltaicos



Efecto de las sombras



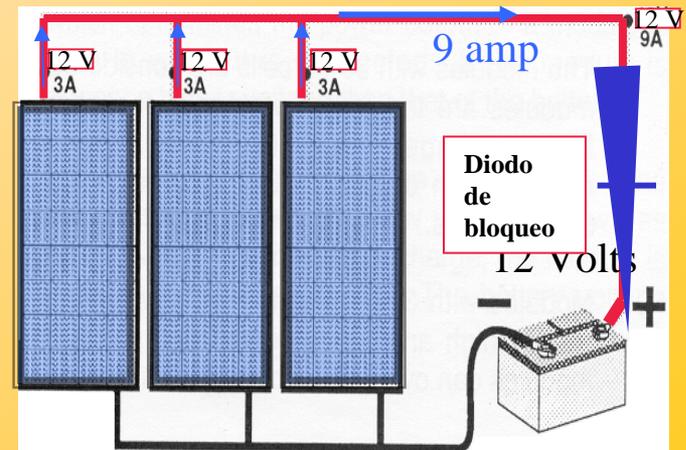
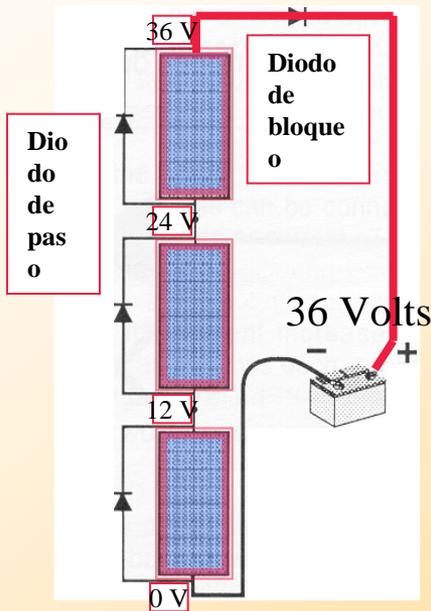
Módulo FV con tres celdas sombreadas



Arreglos fotovoltaicos

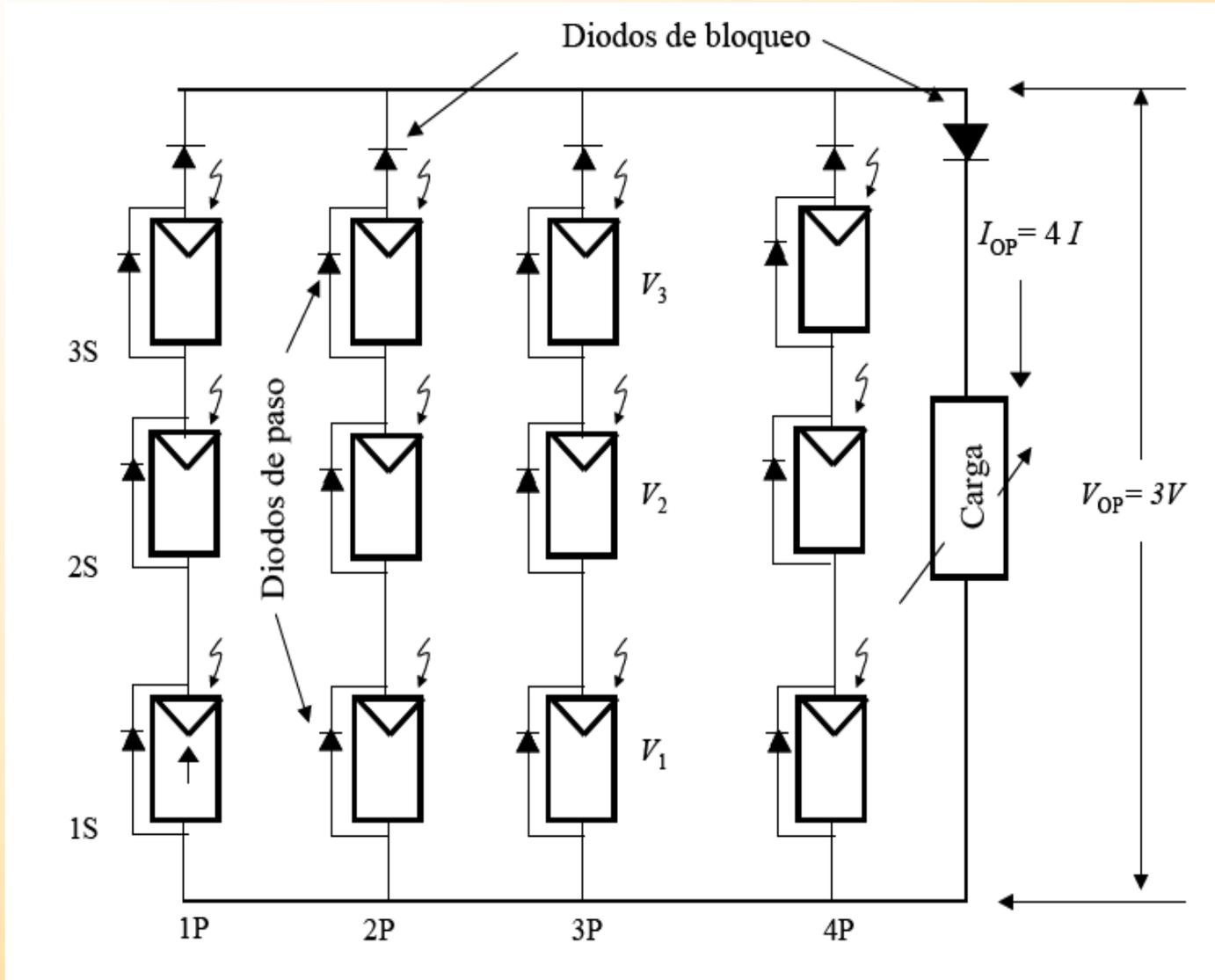


Incrementando potencia: Los módulos se pueden conectar en serie ó en paralelo para incrementar la potencia de trabajo, y formar una nueva estructura llamada el *arreglo fotovoltaico*.



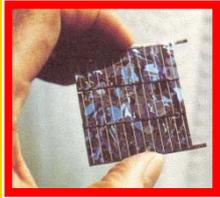


Arreglos fotovoltaicos

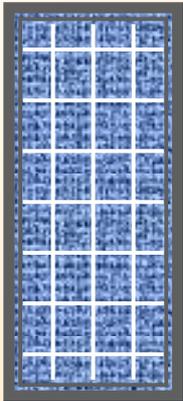




Términos empleados en Sistemas Fotovoltaicos



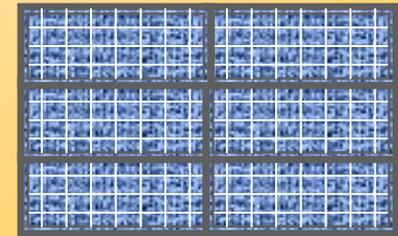
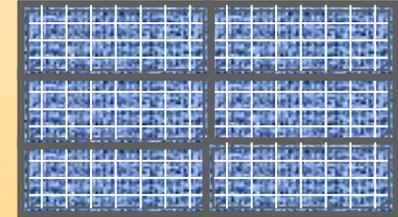
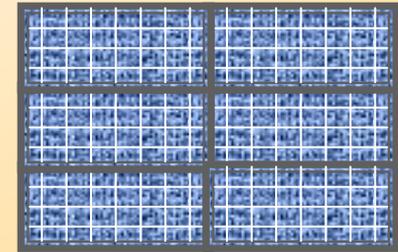
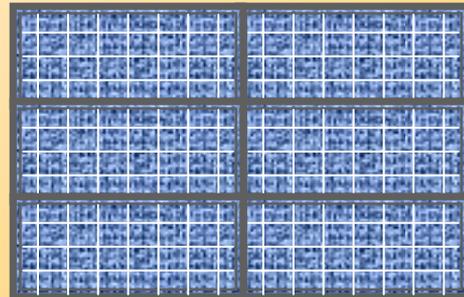
Celda Solar
 $P \approx 1.5 \text{ W}$



Módulo FV.



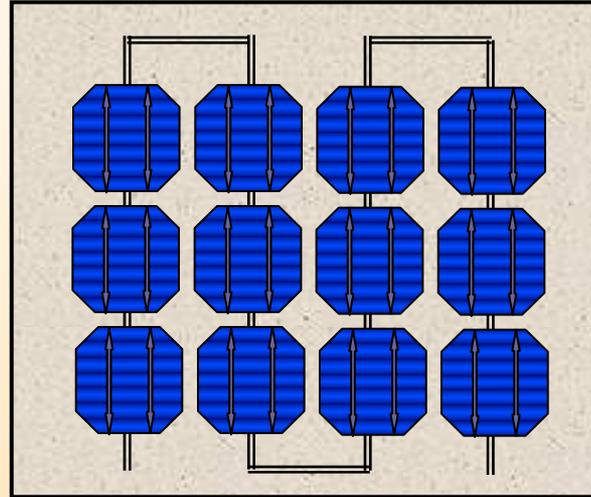
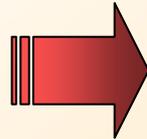
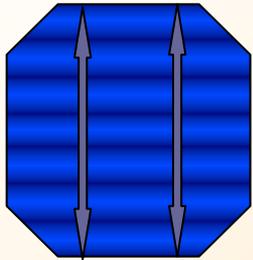
Panel FV



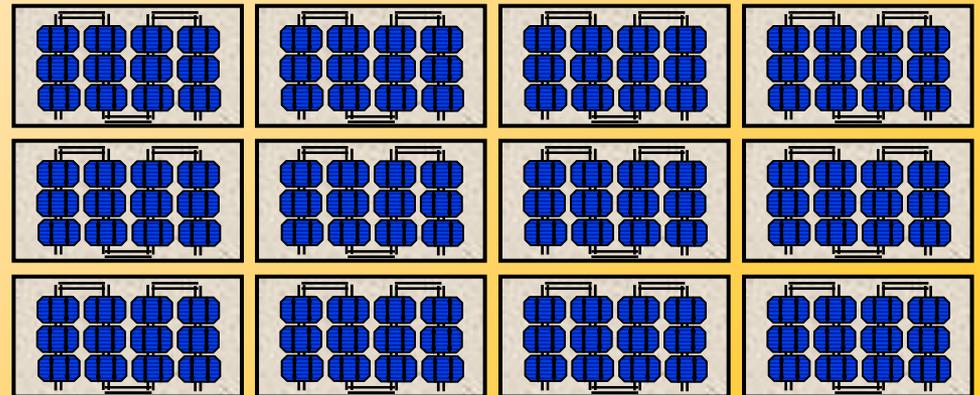
Arreglo
Fotovoltaico



Arreglos fotovoltaicos

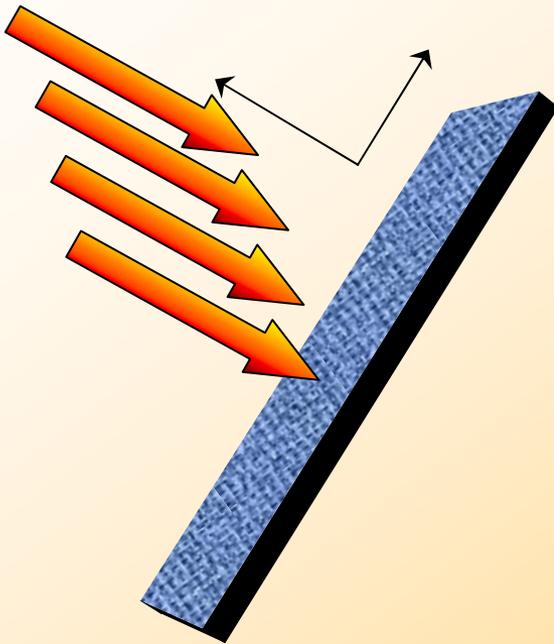


Desde unos pocos watts hasta Megawatts !!!!!





Orientación óptima de un AFV

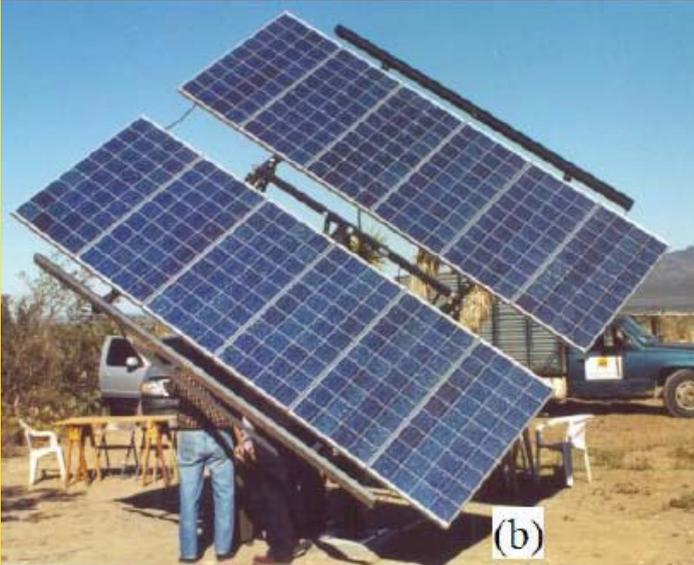


**Seguidor solar un eje,
Ganancia 30 %**

**Seguidor solar, dos ejes
Ganancia 50 %**



Orientación óptima de un AFV



Para AFV montados en estructuras fijas, se debe tener en cuenta: el sur geográfico y la latitud del lugar. Si β es la inclinación del AFV, y L la latitud del lugar, la máxima potencia se obtendrá cuando :

$$\beta = L$$

Otras condiciones para maximizar la energía captada:

$\beta = L - \delta$, δ es la declinación promedio en una época de año

$\beta = L + 15$ en invierno

$\beta = L - 15$ en verano



FABRICANTES



Producto comercial en México

Shell/Solarex

Sharp

Unisolar (USCC)

Kyocera

Photowatt

First Solar

BP Solar/Siemens/Arco Solar

ASE

Isofoton

Atersa

Astro Power



Tecnologías fotovoltaicas

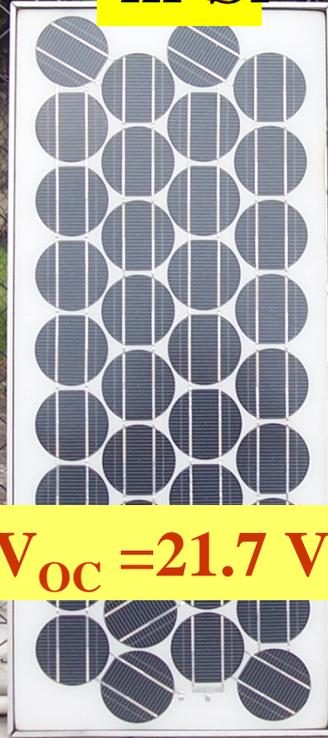
Módulos en película delgada y Tecnología de silicio cristalino

Centro de Investigación en Energía, UNAM



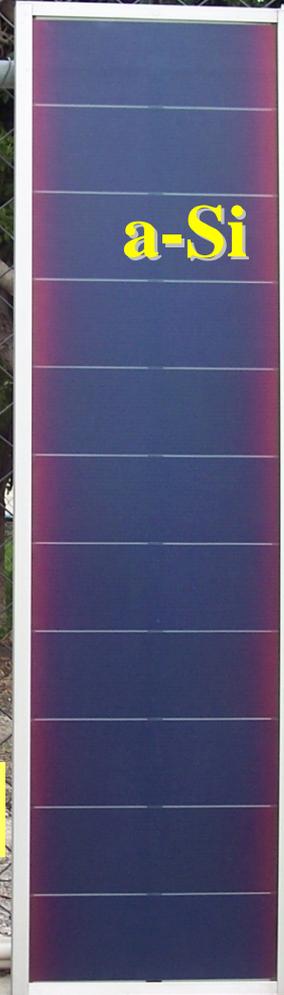
CdTe

$V_{OC} = 95 \text{ V}$



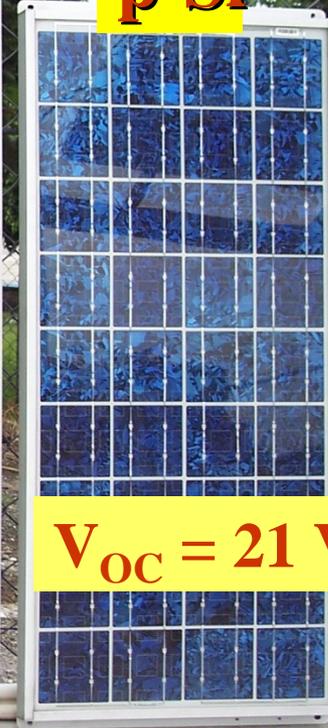
m-Si

$V_{OC} = 21.7 \text{ V}$



a-Si

$V_{OC} = 23.8 \text{ V}$



p-Si

$V_{OC} = 21 \text{ V}$



Que es lo que se compra?



SIEMENS SP75



Propiedades eléctricas	
Potencia Pico Típica	75 W
Voltaje \approx Pmax [Vp]	17.0 V
Corriente \approx Pmax [Ip]	4.4 A
Corriente de corto circuito [Isc]	4.8 A
Voltaje a circuito abierto [Voc]	21.7 V
Coefficientes de temperatura	
Voc	-0.077 Volts/°C
Isc	+2.06 mA/°C
Garantía	25 años
Precio	US\$450.00
Dimensiones	
Largo	1.20 mts
Ancho	52.7 cm
Profundidad	3.4 cm
Peso	7.6 kg

Modulo Fotovoltaico Silicio Monocristalino

Que es lo que se compra?



MODULO DE SILICIO AMORFO

Specifications

Model	US-64	US-32	US-11	US-5
Rated Power (Wp)	64.0	32.0	10	5.0
Max Power Point VMPP (V)	16.5	16.5	16.5	16.5
Max Power Point IMPP (A)	3.9	1.9	0.6	0.3
Open Circuit Voltage VOC (V)	23.8	23.8	23.8	23.8
Short Circuit Current ISC (A)	4.8	2.4	0.8	0.4
Weight (lbs./kg)	20.2/9.2	10.6/4.8	3.6/1.6	2.5/1.1
Length of the panel (in./mm)	53.8/1366	53.8/1366	19.3/491	19.3/491
Width of the panel (in./mm)	29.2/741	15.1/383	15.1/383	8.1/206
Cable length (ft./mm)	-	-	8/2438	8/2438
Warranty On Power Output	20 yr.	20 yr.	10 yr.	10 yr.

Coeficiente de Temperatura para el módulo a $T_c = 45^\circ\text{C}$

-Potencia (P_p)	$T_k(P_p)$	-0.20%/°C
-Voltaje a circuito abierto	$T_k(V_{oc})$	-0.27%/°C
-Corriente a corto circuito	$T_k(I_{sc})$	+0.004%/°C

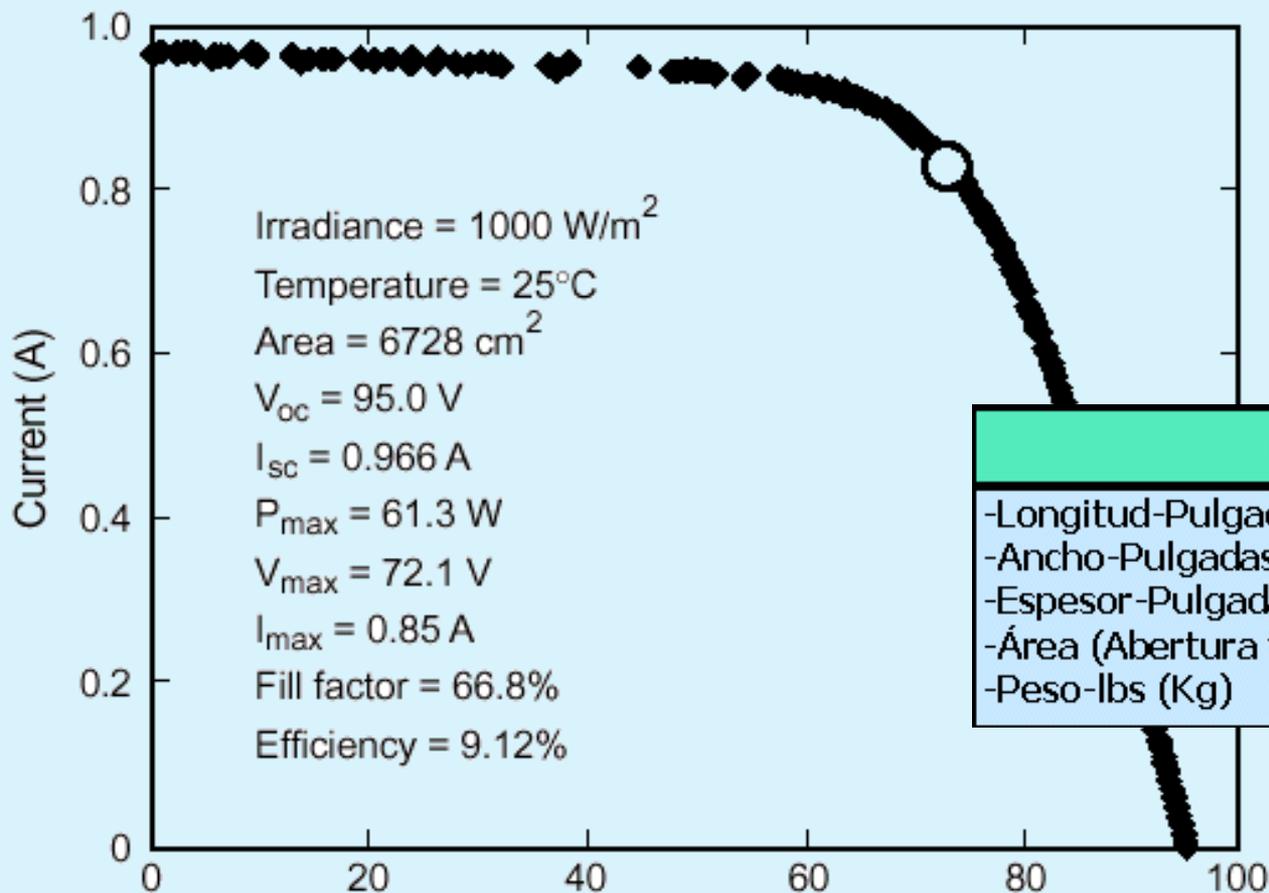
Que es lo que se compra?

Módulo de CdTe



Solar Cells, Inc. CdS/CdTe Module

NREL Spire 240A Solar Simulator (peak), March 6, 1996



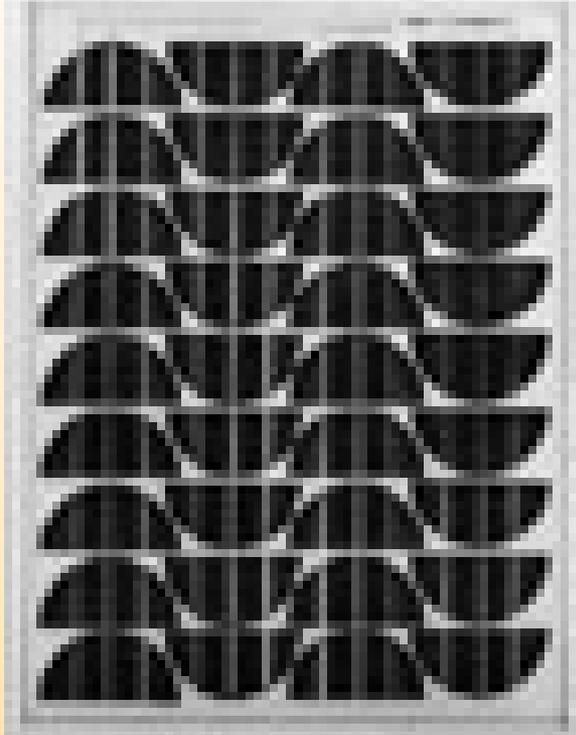
Dimensiones y peso

-Longitud-Pulgadas (cm)	47.250	(120)
-Ancho-Pulgadas (cm)	23.625	(60)
-Espesor-Pulgadas (cm)	0.25	(0.64)
-Área (Abertura total)-ft ² (m ²)	7.75	(0.72)
-Peso-lbs (Kg)	25	(11.36)



Módulos Fotovoltaicos de Silicio Monocristalino

SIEMENS SR-100



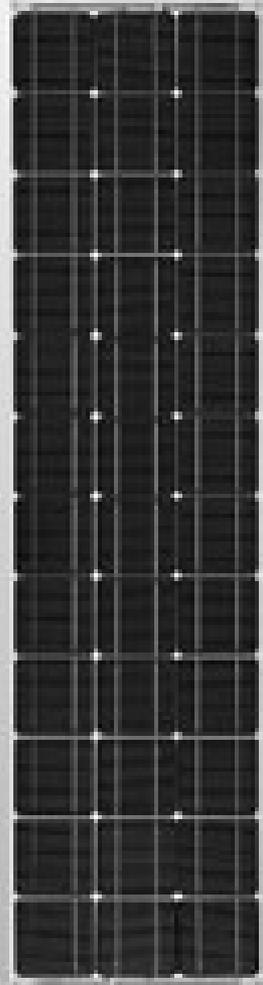
Propiedades eléctricas	
Potencia Pico Típica	100 W
Voltaje \approx Pmax [Vp]	17.7 V
Corriente \approx Pmax [Ip]	5.6 A
Corriente de corto circuito [Isc]	6.3 A
Voltaje a circuito abierto [Voc]	22.0 V
Coeficientes de temperatura	
Voc	-0.079 Volts/°C
Isc	+2.1 mA/°C
Garantía	
	25 años
Precio	
	US\$612.00
Dimensiones	
Largo	1.49 mts
Ancho	59.4 cm
Profundidad	4.0 cm
Peso	10.9 kg

SIEMENS SP75



Propiedades eléctricas	
Potencia Pico Típica	75 W
Voltaje \times Pmax [Vp]	17.0 V
Corriente \times Pmax [Ip]	4.4 A
Corriente de corto circuito [Isc]	4.8 A
Voltaje a circuito abierto [Voc]	21.7 V
Coefficientes de temperatura	
Voc	-0.077 Volts/°C
Isc	+2.06 mA/°C
Garantía	25 años
Precio	US\$450.00
Dimensiones	
Largo	1.20 mts
Ancho	52.7 cm
Profundidad	3.4 cm
Peso	7.6 kg

SIEMENS SM55

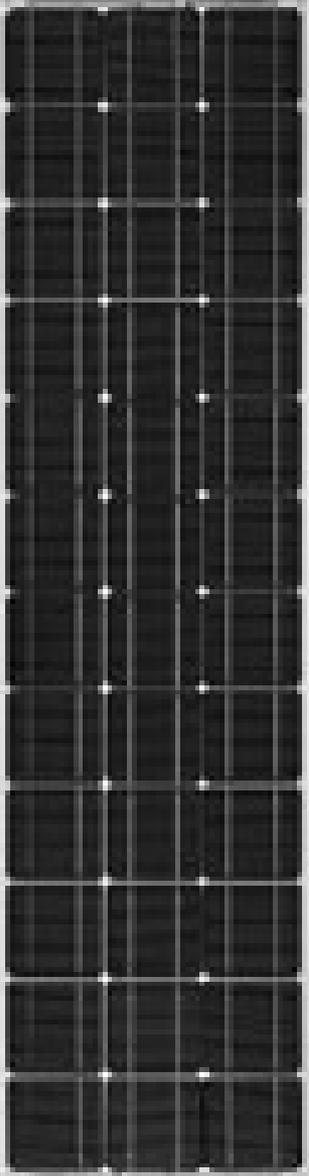


Propiedades eléctricas	
Potencia Pico Típica	55 W
Voltaje \times Pmax [Vp]	17.4 V
Corriente \times Pmax [Ip]	3.15 A
Corriente de corto circuito [Isc]	3.45 A
Voltaje a circuito abierto [Voc]	21.7 V
Coefficientes de temperatura	
Voc	-0.077 Volts/°C
Isc	+1.2 mA/°C
Garantía	25 años
Precio	US\$357.85
Dimensiones	
Largo	1.29 mts
Ancho	32.9 cm
Profundidad	3.4 cm
Peso	5.5 kg



SIEMENS SM50

Propiedades eléctricas	
Potencia Pico Típica	50 W
Voltaje \cong Pmax [Vp]	16.6 V
Corriente \cong Pmax [Ip]	3.05 A
Corriente de corto circuito [Isc]	3.4 A
Voltaje a circuito abierto [Voc]	21.4 V
Coefficientes de temperatura	
Voc	-0.077 Volts/°C
Isc	+1.2 mA/°C
Garantía	
	10 a 25 años
Dimensiones	
Largo	1.29 mts
Ancho	32.9 cm
Profundidad	3.4 cm
Peso	5.5 kg



COMPAÑÍA BP-250



Propiedades electricas

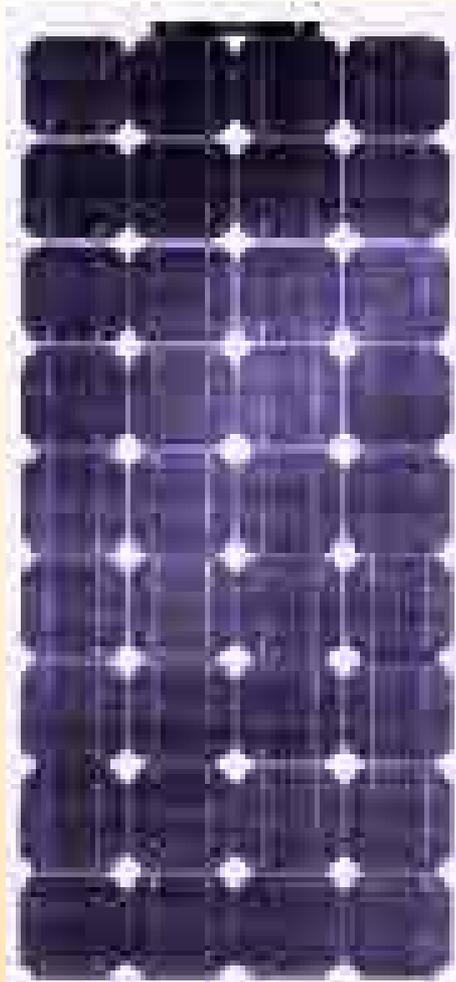
Potencia Pico Típica	50 W
Voltaje \cong Pmax [Vp]	17.0 V
Corriente \cong Pmax [Ip]	2.94 A
Corriente de corto circuito [Isc]	3.22 A
Voltaje a circuito abierto [Voc]	21.2 V

Coefficientes de temperatura

Voc	-0.078 Volts/°C/módulo
Isc	+0.68 mA/°C/módulo
Pmáx	-0.45%/°C/módulo
Pmáx	-0.23 Watts/°C/módulo

Dimensiones

Largo	82.5 cm
Ancho	53.0 cm
Profundidad	4.35 cm
Peso	5.6 kg



COMPAÑÍA BP

Modelo	BP275
Potencia	75 Watts
Garantía	20 años
Precio	US\$460.00

Modelo	BP585
Potencia	85 Watts
Garantía	20 años
Precio	US\$530.00



Modulo Matrixsolar Policristalino

Modelo Pwx500



Aplicaciones:

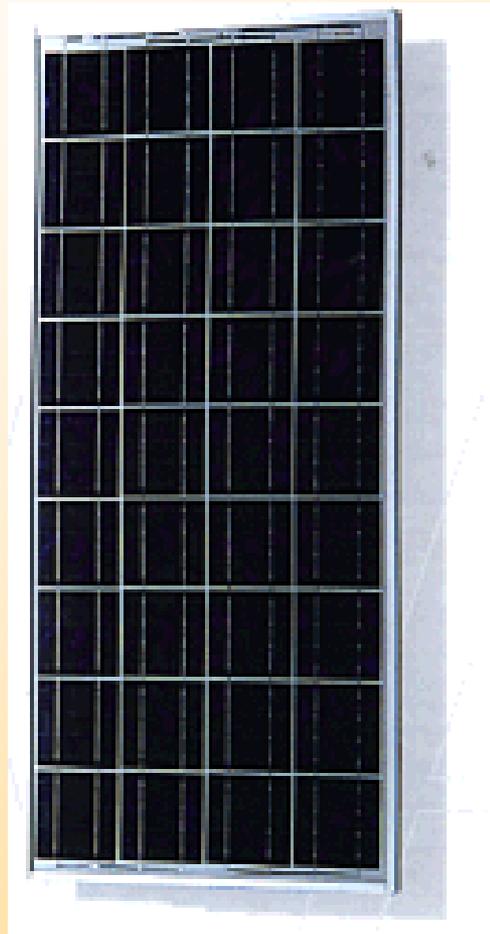
- ◆ Telecomunicaciones
- ◆ Protección catódica
- ◆ Hospitales, clínicas
- ◆ Bombeo de agua
- ◆ Iluminación
- ◆ Señalización
- ◆ Electrificación rural
- ◆ Conexión a la red



MODULO MATRIXSOLAR MODELO PWX750 DE POTENCIA A GRAN ESCALA

Aplicaciones:

- ◆ Telecomunicaciones
- ◆ Protección catódica
- ◆ Bombeo de agua
- ◆ Residencias privadas
- ◆ Señalización
- ◆ Edificios comerciales
- ◆ Electrificación rural
- ◆ Sistemas de conexión a la red a gran escala



SOLAREX SX-85U



Propiedades eléctricas	
Potencia Pico Típica	85 W
Voltaje \nearrow Pmax [Vp]	17.1 V
Corriente \nearrow Pmax [Ip]	4.97 A
Corriente de corto circuito [Isc]	5.3 A
Voltaje a circuito abierto [Voc]	21.3 V
Coefficientes de temperatura	
Voc	$-(80 \pm 10) \text{ mVolts}/^\circ\text{C}$
Isc	$+(0.065 \pm 0.015) \%/^\circ\text{C}$
Garantía	20 años
Precio	US\$640.00
Pmáx	$-(0.5 \pm 0.05) \%/^\circ\text{C}$
Dimensiones	
Largo	1.45 mts
Ancho	50.1 cm
Profundidad	5.0 cm
Peso	9.5 kg



MODULOS FOTOVOLTAICOS ASE AMERICAS



Nombre	Potencia	Garantía	Precio
ASE 100	100 Watts	10 años	US\$575.00
ASE 285	285 Watts	20 años	US\$1,700.00
ASE 300	300 Watts	20 años	US\$1,830.00
ASE 50	50 Watts	10 años	US\$295.00



SIEMENS ST20 DE PELICULA DELGADA (CIS)

CARGADOR DE BATERÍAS

Propiedades eléctricas	
Potencia Pico Típica	20 W
Voltaje \times Pmax [Vp]	15.6 V
Corriente \times Pmax [Ip]	1.29 A
Corriente de corto circuito [Isc]	1.48 A
Voltaje a circuito abierto [Voc]	21.0 V
Coefficientes de temperatura	
Voc	-0.1 Volt/°C
Isc	+0.26 mA/°C
Garantía	10 años
Precio	US\$240.00



COBRE-INDIO-SELENIO₂



Parámetros Eléctricos

Potencia Pico	(Pp)(Watts)	40
Voltaje Máximo Pico	Vp(Volts)	16.6
Corriente Máxima Pico	Ip(Amp)	2.41
Voltaje a Circuito Abierto	Voc(Volts)	22.2
Corriente a CortoCircuito	Ip(Amp)	2.59

Parámetros Térmicos

Voltaje a Circuito Abierto	-0.1V/°C
Corriente de Corto Circuito	+0.26mA/°C





Módulos de CdS/CdTe

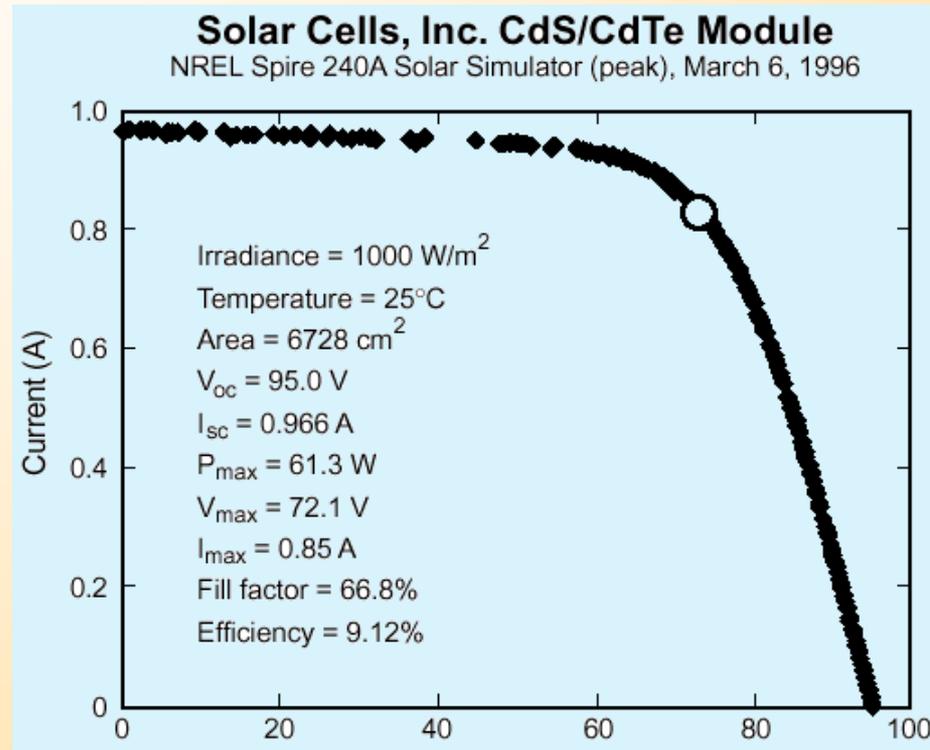


Fig. 5. Curva I-V para el módulo CdS/CdTe

Módulos de CdTe comerciales



Fig. 6 Modulo:FS-50 (a)

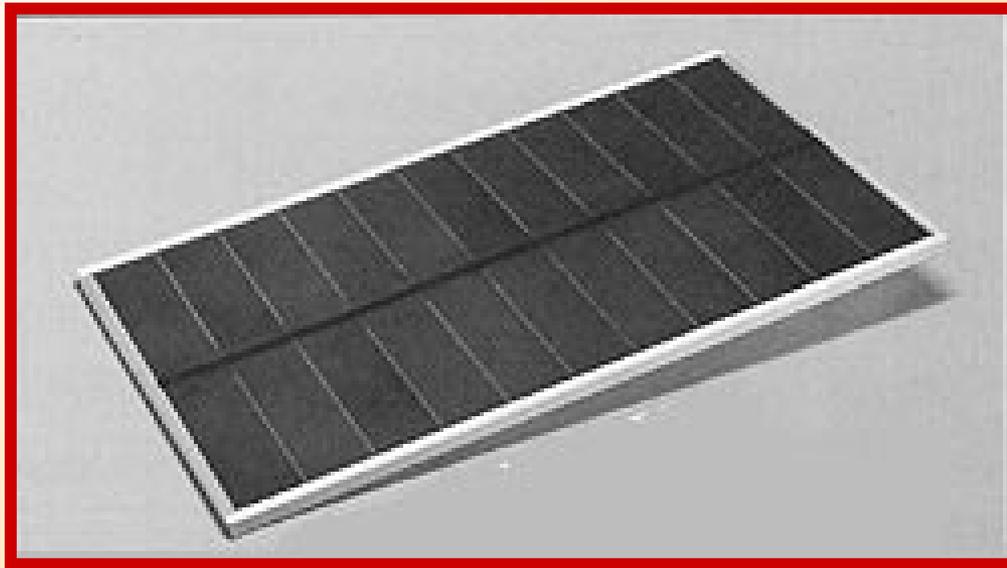
Parámetros Característicos

Coeficiente de Temperatura para el módulo a $T_c = 45^\circ\text{C}$		
-Potencia (P_p)	$T_k(P_p)$	-0.20%/°C
-Voltaje a circuito abierto	$T_k(V_{oc})$	-0.27%/°C
-Corriente a corto circuito	$T_k(I_{sc})$	+0.004%/°C

Dimensiones y peso		
-Longitud-Pulgadas (cm)	47.250	(120)
-Ancho-Pulgadas (cm)	23.625	(60)
-Espesor-Pulgadas (cm)	0.25	(0.64)
-Área (Abertura total)-ft ² (m ²)	7.75	(0.72)
-Peso-lbs (Kg)	25	(11.36)



MODULO UNISOLAR DE SILICIO AMORFO



Nombre	Potencia	Garantía	Precio
US-32	32 Watts	20 años	US\$219.00
US-42	42 Watts	20 años	US\$320.00
US-64	64 Watts	20 años	US\$395.00



Módulos flexibles Uni-Solar de silicio amorfo

Propiedades eléctricas	
Potencia Pico Típica	32 W
Voltaje \cong Pmax [Vp]	16.5 V
Corriente \cong Pmax [Ip]	1.94 A
Corriente de corto circuito [Isc]	2.4 A
Voltaje a circuito abierto [Voc]	23.8 V
Garantía	
	3 años
Dimensiones	
Largo	(56.3 in)
Ancho	(16.7 in)
Profundidad	(0.3 in)
Peso	(4.7 lbr)



*Aplicación:
Cargadores de
baterías de 12
Volts*



PRECIOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS (2008)



Fabricante	Modelo	Potencia [Watts]	Precio (2002) (Dls)	Precio por Watt (Dls)	Area del Módulo (m ²)	Precio W/m ² (Dls)
Solarex (p)	SA-2	2.2	\$47.00	\$21.36		
Unisolar (a)	US-5	5.25	\$53.00	\$10.60	0.105	\$504.7
Siemens (cis)	ST-10	10	\$104.00	\$10.40	0.128	\$812.5
Siemens (m)	SM-20	20	\$219.00	\$10.95	0.186	\$1177.4
Unisolar (a)	US-32	32	\$185.00	\$5.78	0.527	\$351
Kyocera (p)	KC-35	35	\$200.00	\$5.71	0.307	\$651.4
Solarex (p)	SX-50M	50	\$305.00	\$6.10	0.514	\$593.3
Kyocera (P)	LA-51	51	\$268.00	\$5.25	0.438	\$611.8
Siemens (m)	SM 55	55	\$319.00	\$5.80	0.425	\$705.5
Unisolar (a)	US-64	64	\$298.00	\$4.66	1.01	\$295
BP solar (m)	BP75	75	\$375.00	\$5.00	0.646	\$580.4
Solarex (p)	MSX83	83	\$479.00	\$5.77	0.732	\$654.3
Siemens (m)	SR100	100	\$485.00	\$4.95	0.89	\$544.9
Solarex (p)	MSX120	120	\$619.00	\$4.99	1.098	\$563.7
Kyocera (p)	KC120	120	\$585.00	\$4.88	0.929	\$629.7

m monocristal de silicio; p policristal de silicio; a silicio amorfo; cis cobre indio selenio



Conclusiones:



- La energía FV es una alternativa ecológica para la generación de electricidad debido a que no provoca desechos contaminantes ni contribuye al deterioro ambiental
- Aunque presenta costos de inversión altos, los tiempos de vida de un AFV son largos, mayores a 20 años.
- Existen diversidad de materiales para la fabricación de celdas solares, aunque en la actualidad la tecnología basada en silicio es la mas madura.
- Las potencia generada por una celda solar es pequeña, pero se pueden hacer módulos fotovoltaicos y arreglos fotovoltaicos para incrementar la potencia requerida, conectando las celdas en serie o paralelo.



Gracias

sgestec@cie.unam.mx

www.cie.unam.mx