

Energía Eléctrica y Uso de la Energía Solar para su Sustitución

Dr. Luis Aarón Martínez, UCA (El Salvador)

Objetivos

La Ponencia pretende que el (la) participante:

- Adquiera nociones sobre el potencial de utilización de energía solar para generar energía eléctrica.
- Conozca las tecnologías disponibles de energía solar.



1. El Sol y su potencial



SOLARIMETRIA

- ▶ Para cuantificar la disponibilidad de energía solar en Honduras se registra el **brillo solar, la irradiancia y la irradiación solar ó radiación solar y las horas sol pico.**
- ▶ Los parámetros anteriormente mencionados constituyen la base para la mayoría de las actividades relacionada con el desarrollo de modelos y para la investigación aplicada (sistemas fotovoltaicos, solares térmicos y otras aplicaciones).



▶ **Irradiancia (W/m^2)** : Es la rapidez con la que la energía radiante incide sobre la unidad de área de una superficie.

▶ **Irradiación o Radiación Solar (kWh/m^2 o J/m^2)**

Es la energía incidente sobre la unidad de área de una superficie. Se calcula por la integración de la irradiancia dentro de un tiempo específico, usualmente una hora o un día.



BRILLO SOLAR :

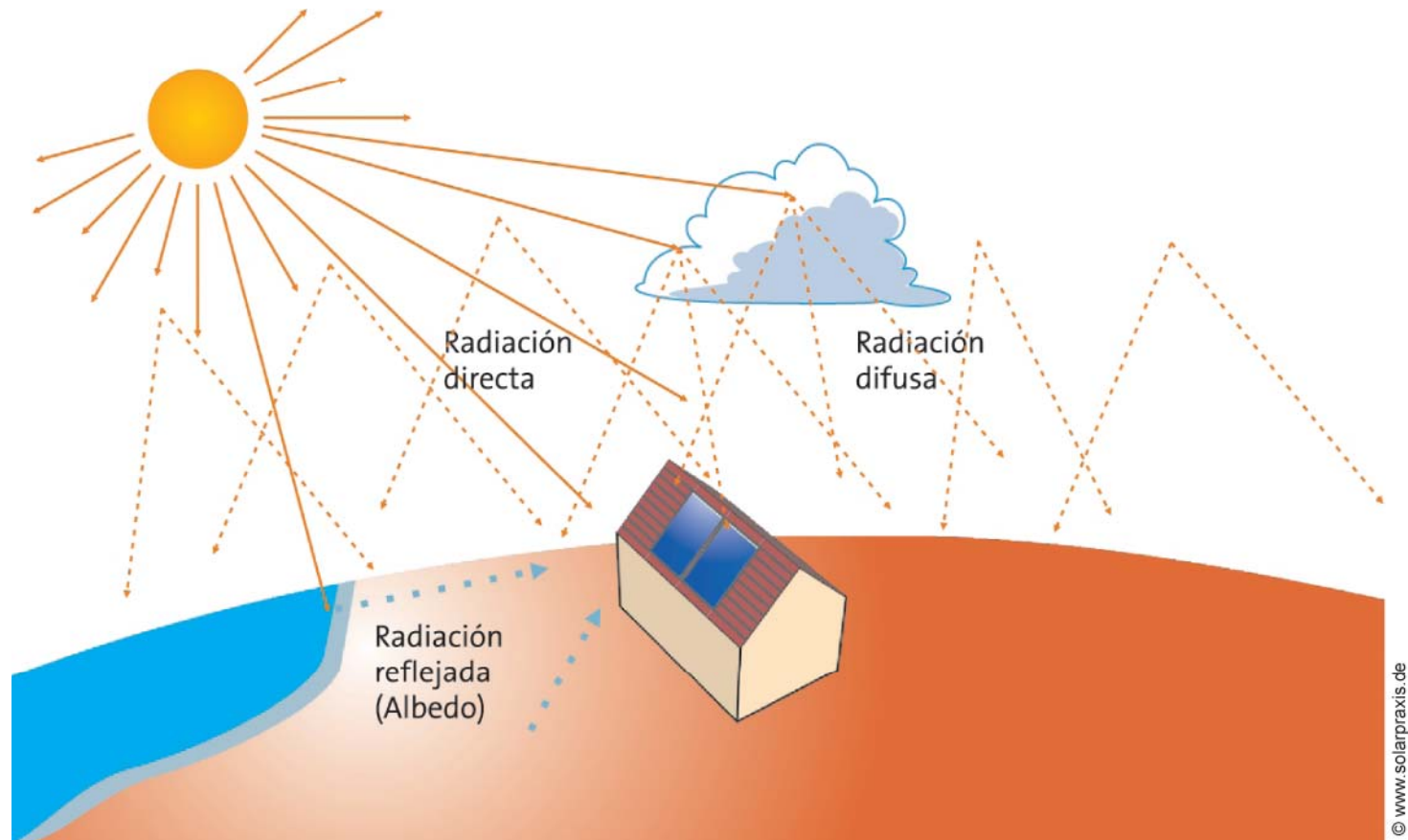
Representa el número de horas durante las cuales el nivel de irradiancia es superior a los 150 W/m^2 y es capaz de producir efectos útiles (calentar o generar electricidad).

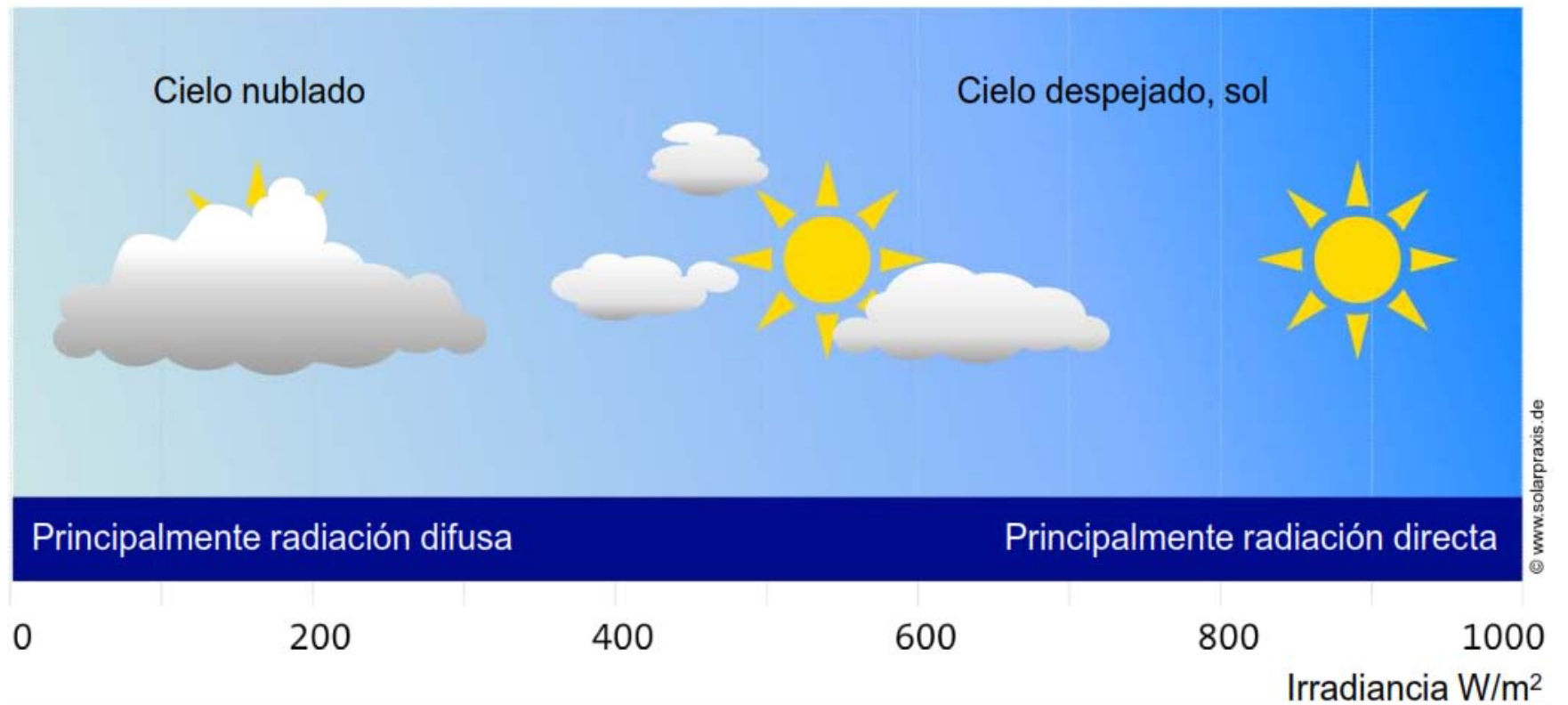
HORAS SOL PICO

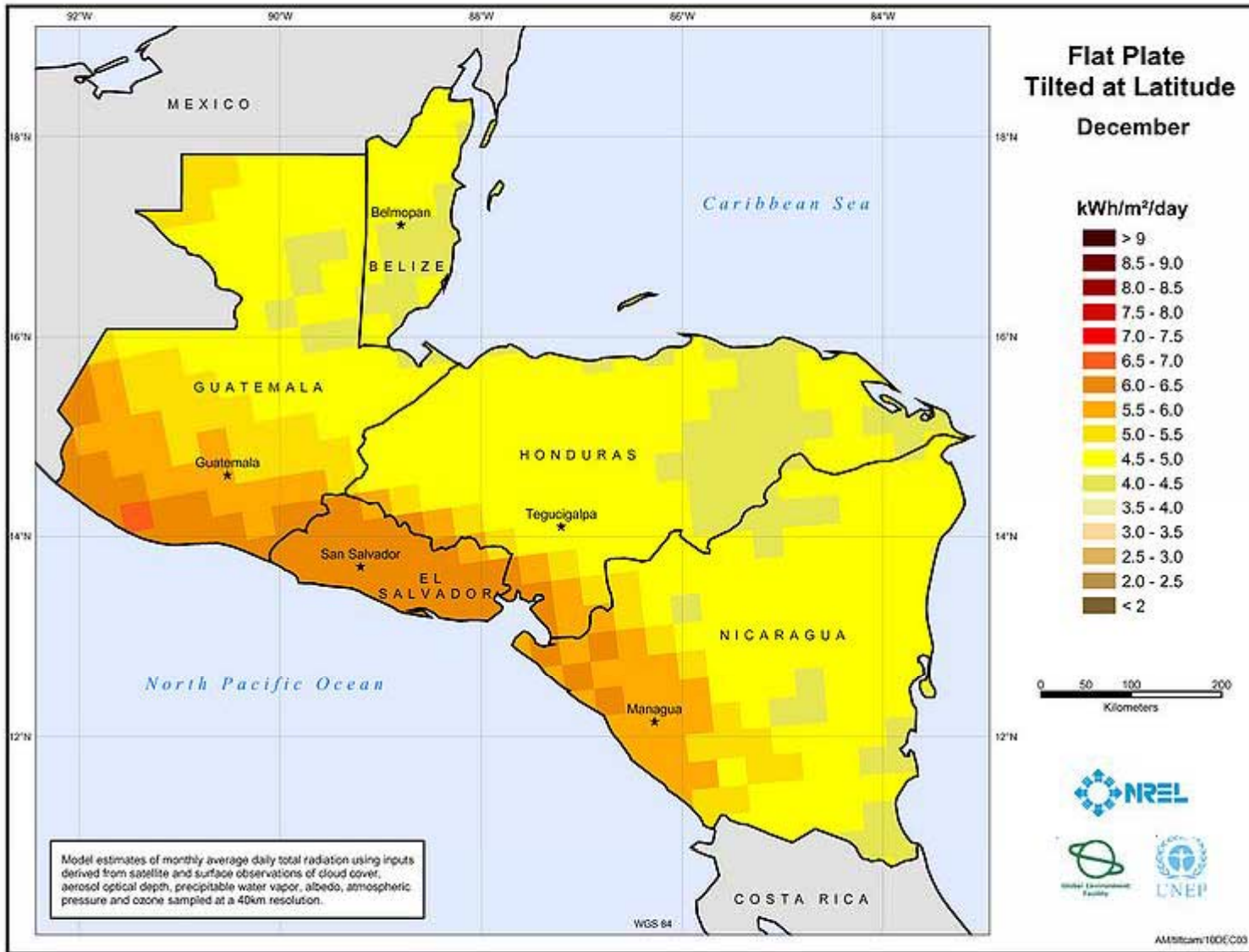
Representa el tiempo en horas diarias con una radiación equivalente de $1,000 \text{ Watts/m}^2$.

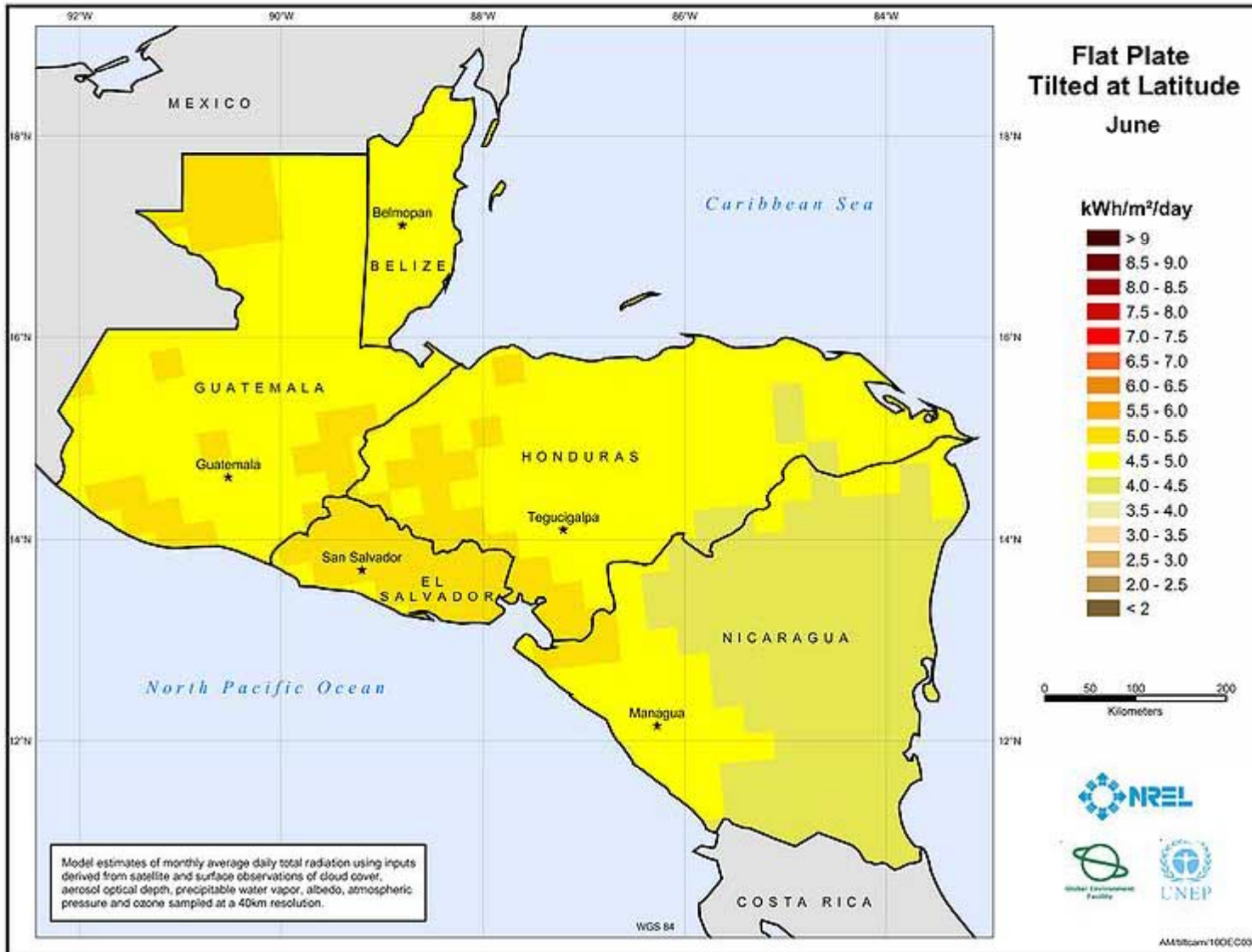


Los componentes de la radiación solar



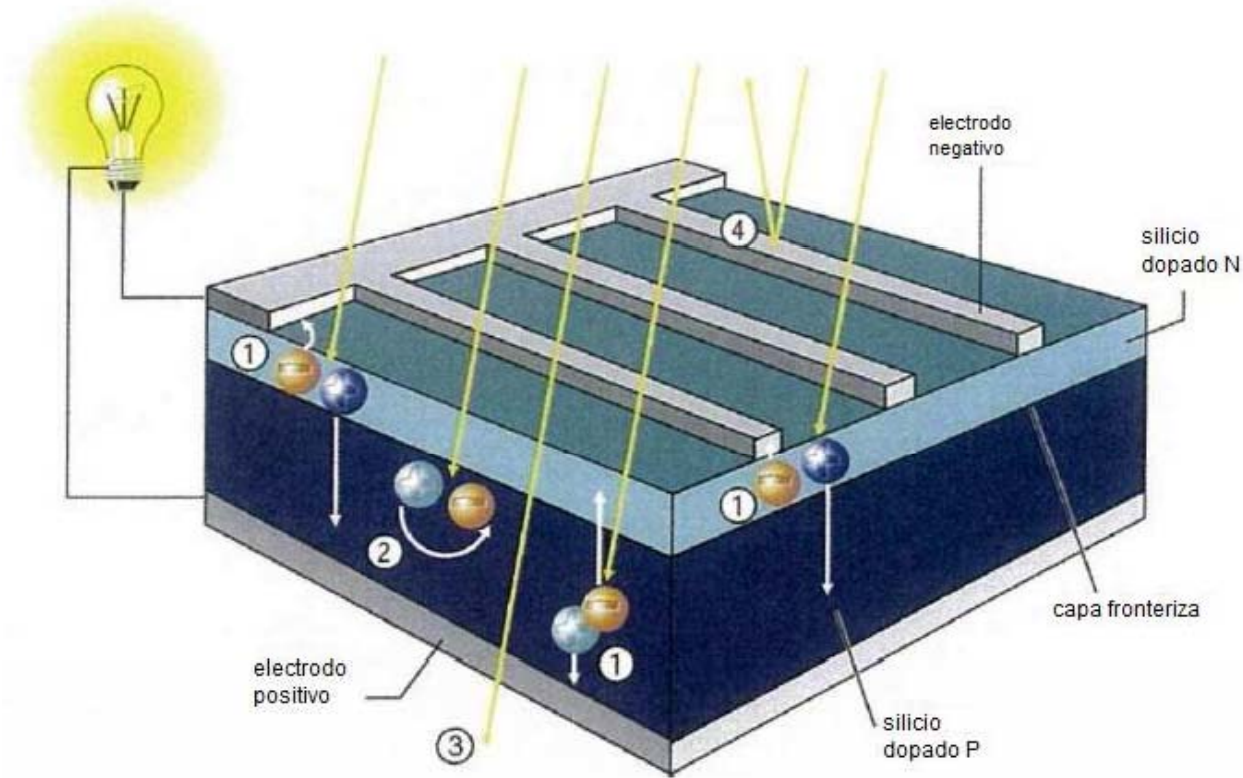




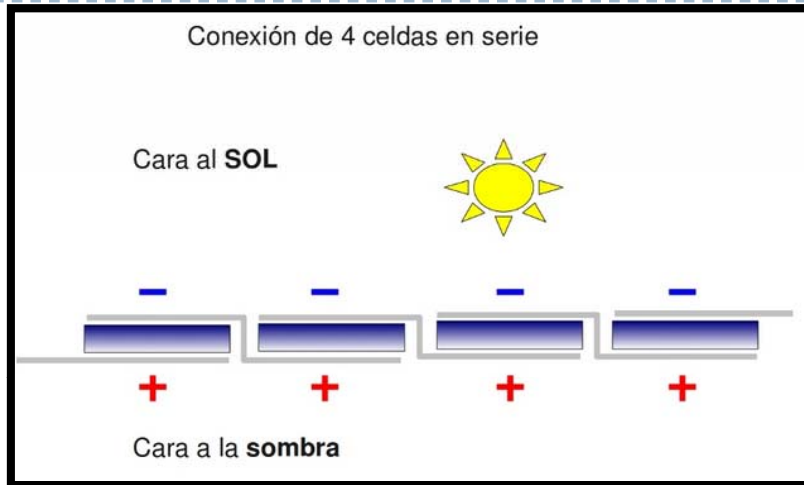


2. Celda Fotovoltaica

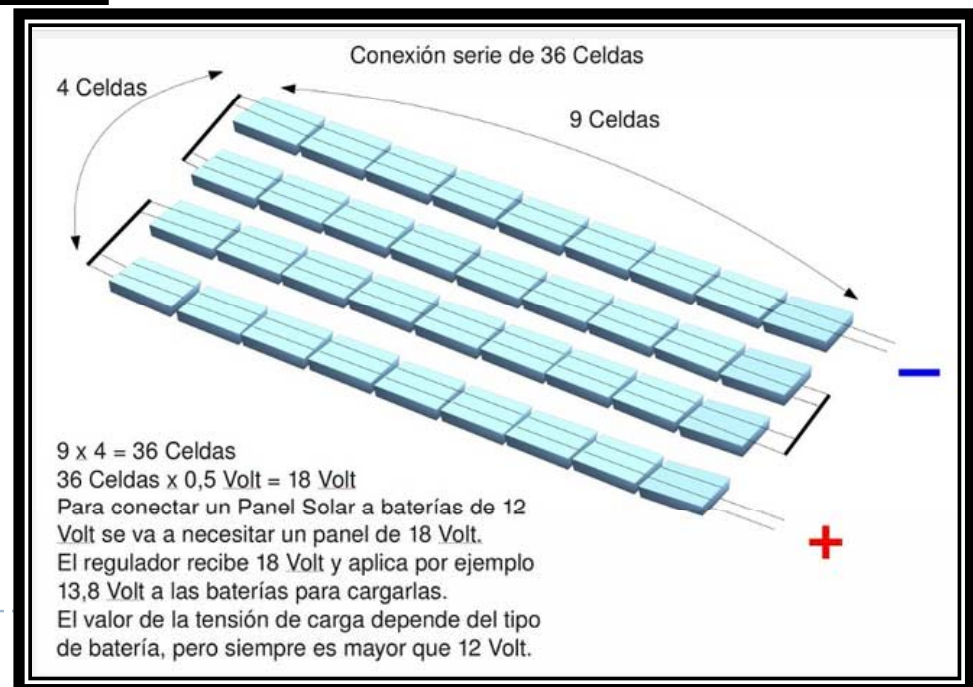
Funcionamiento de una celda solar



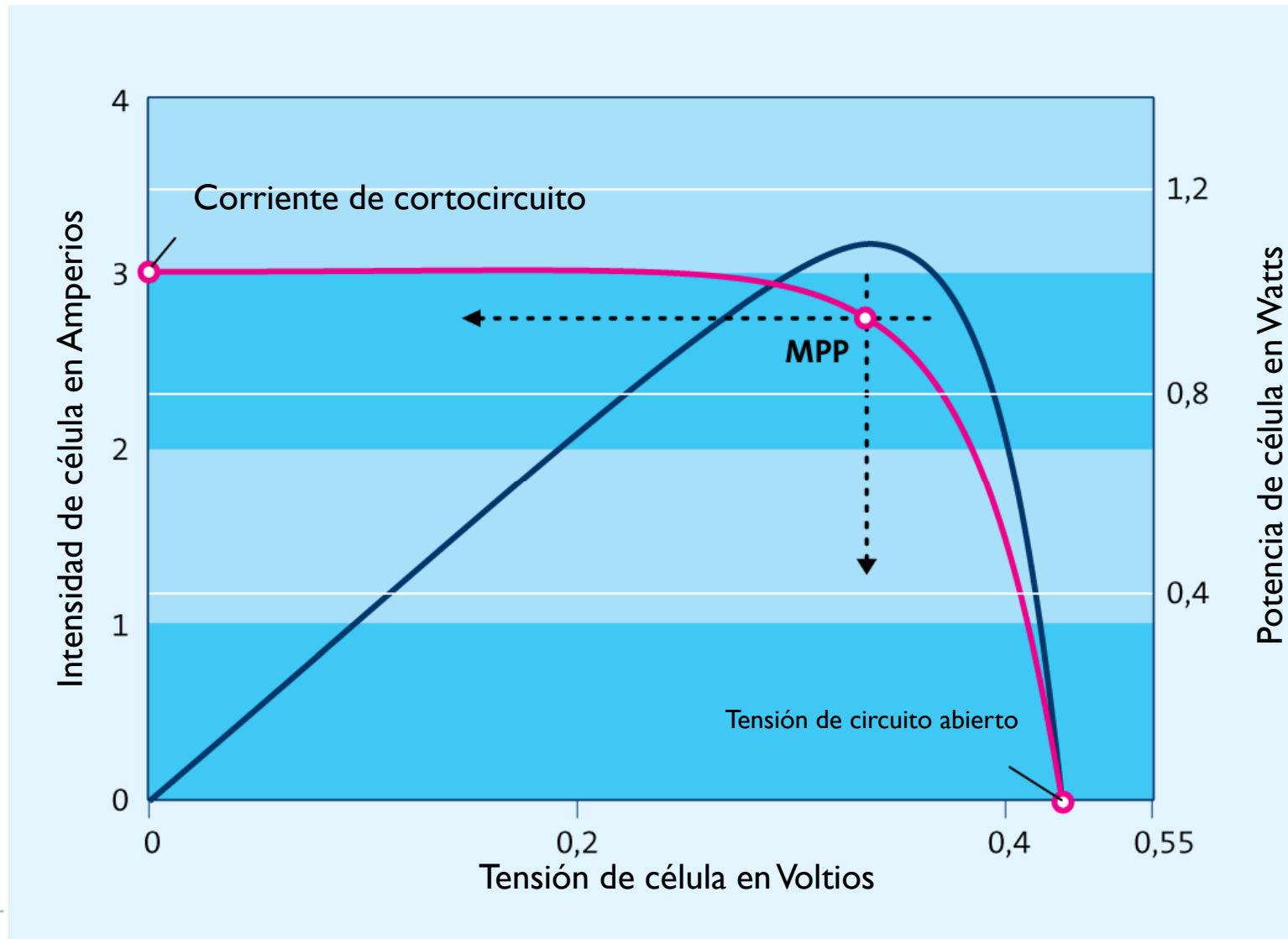
Las celdas FV se conectan en serie (suma de voltajes)



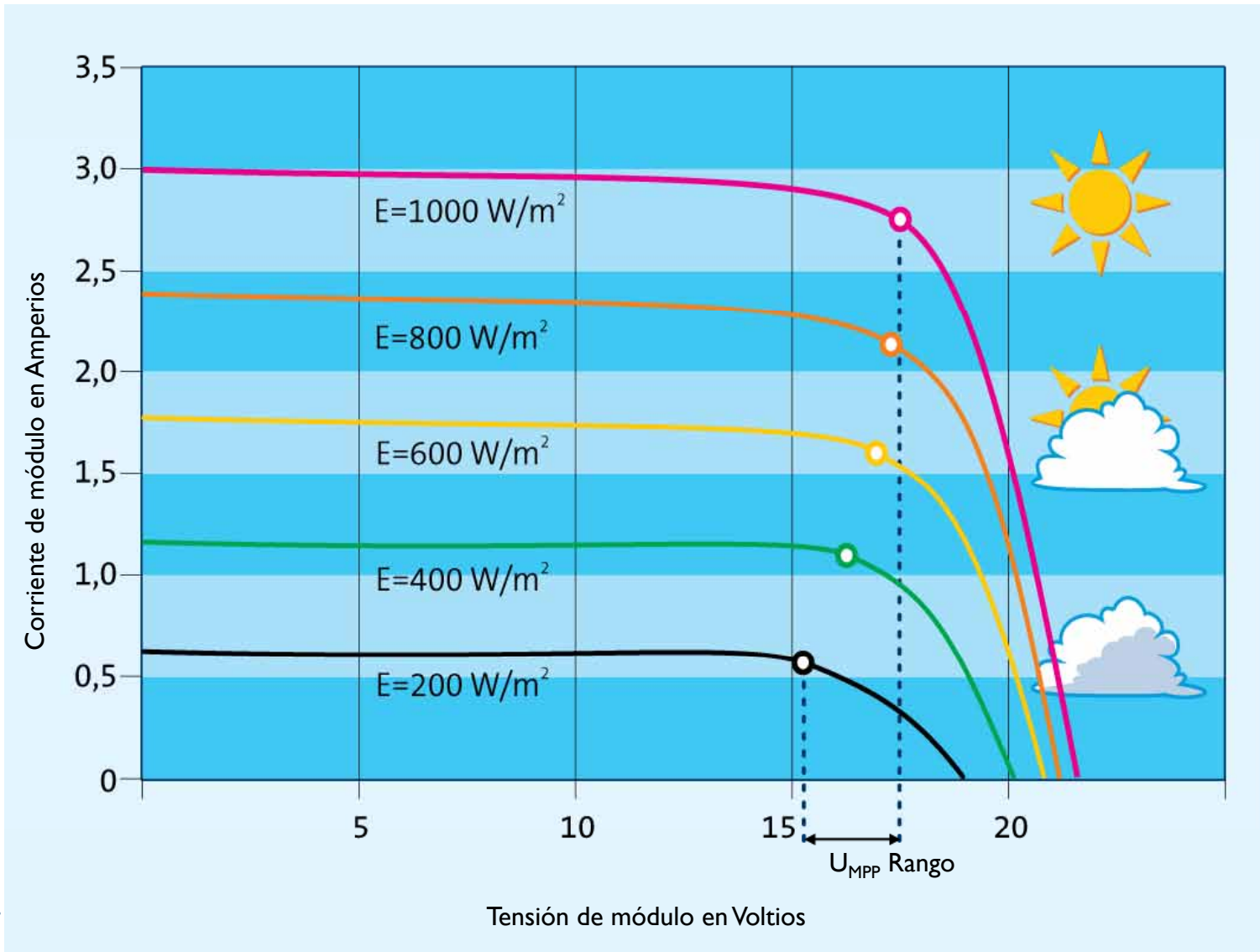
► <http://www.lawebdelasenergiasrenovables.com>



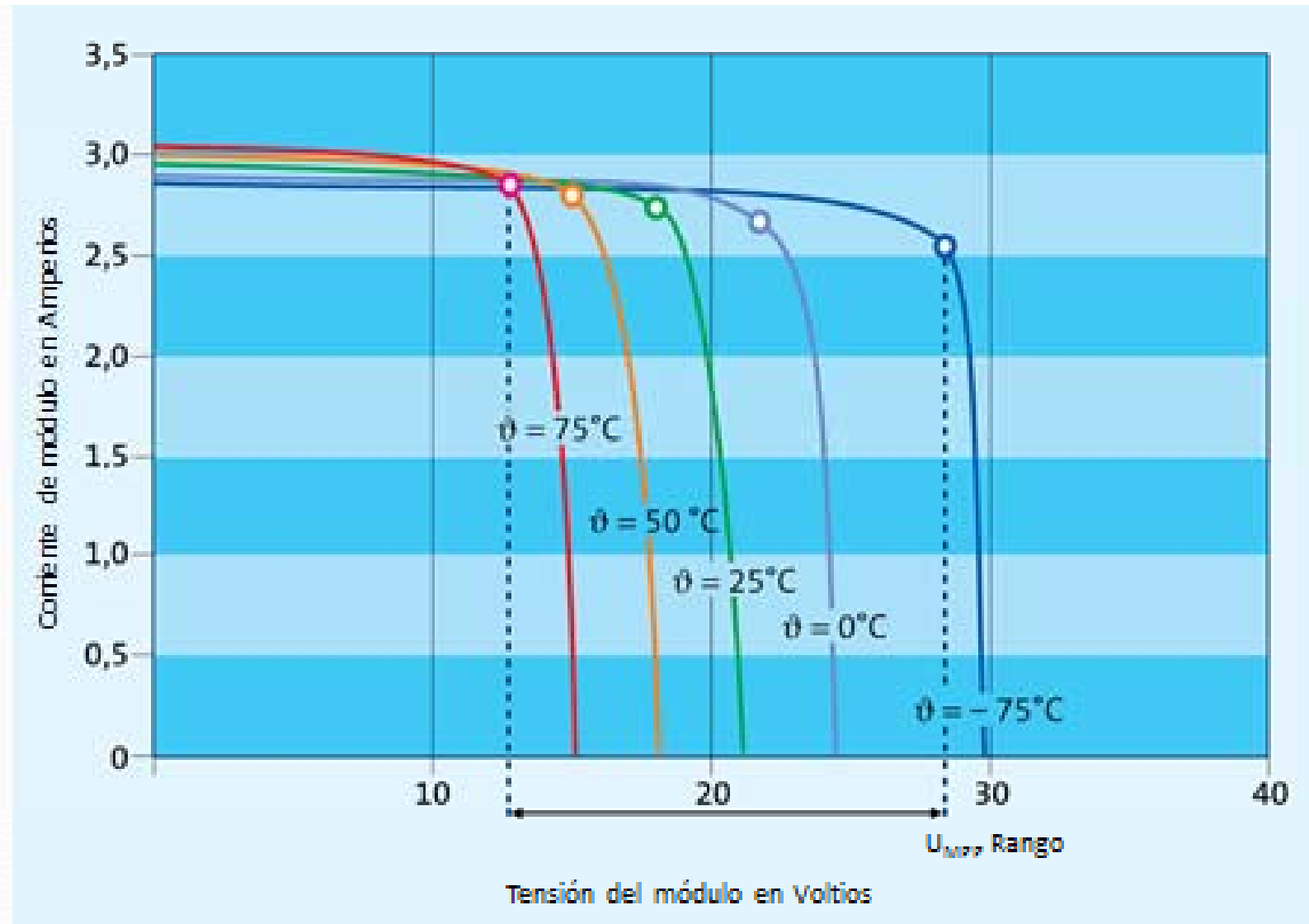
Curva característica de una célula solar cristalina



Potencia de un módulo solar cristalino en función de la radiación



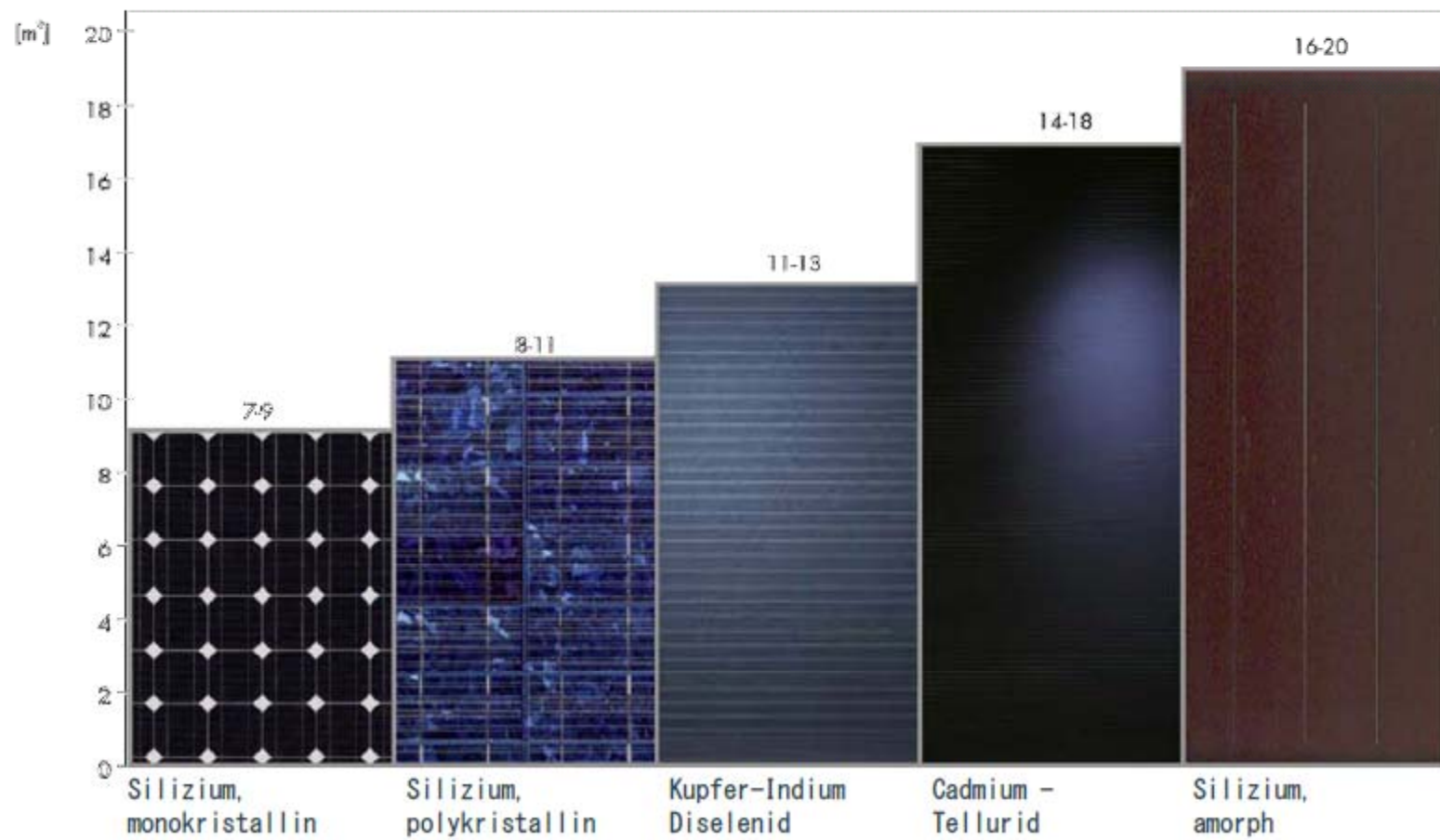
Potencia de un módulo solar cristalino en función de la temperatura



Tipos de Células Fotoeléctricas

- ✓ Monocristalinas
- ✓ Policristalinas
- ✓ Amorfas





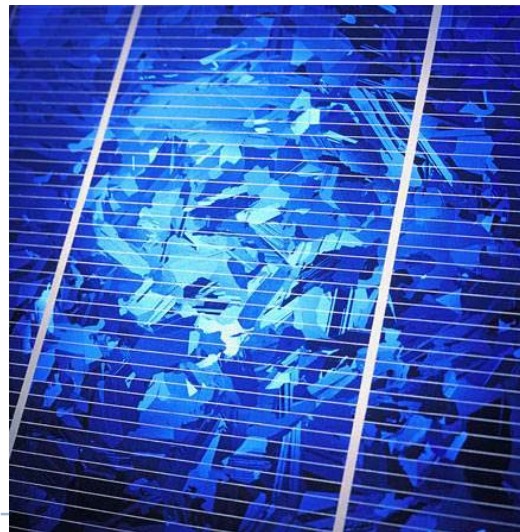
Células Monocristalinas

- ▶ Son células formadas por un sólo tipo de cristal, estructura cristalina casi perfecta. Costo relativamente alto.
- ▶ Rendimientos aproximados del 15% al 18%.



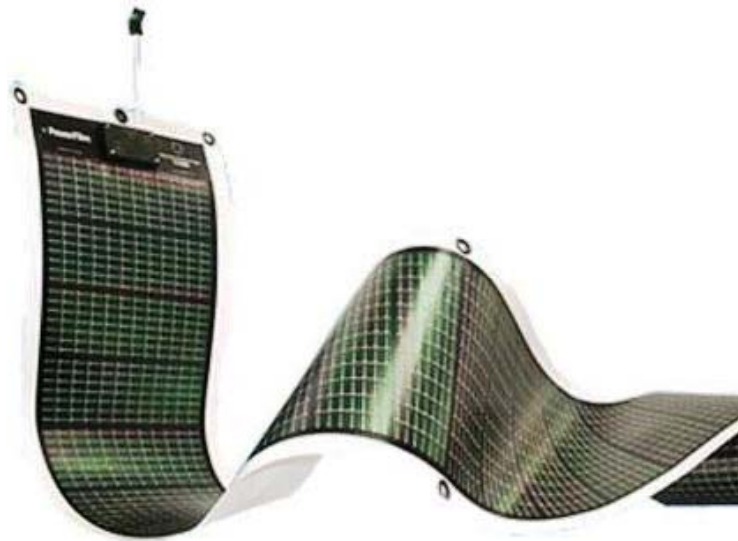
Células Policristalinas

- ▶ Se parte de planchas policristalinas, obtenidas de un proceso de moldeo a partir de pasta de silicio formada por múltiples pequeños cristales. Son más baratas.
- ▶ Rendimientos más bajos que los de células monocristalinas, entre 12-14%.








Células Amorfas

- ▶ Células de lámina delgada, a base de silicio en una forma no cristalina. Proceso de fabricación más simple y barato.
- ▶ Rendimientos más bajos ($< 10\%$), vidas útiles más cortas.



Superfície necesaria de diferentes tipos de célula

Tipo de célula	Eficiencia de módulo	Superfície FV necesaria para 1 kW _p
Monocristalina	11–16%	7–9 m ² 
Policristalina (EFG)	10–14%	8–9 m ² 
Policristalina	8–10%	9–11 m ² 
Capa fina de diseleniuro de cobre e indio	6–8%	11–13 m ² 
Amorfa	4–7%	16–20 m ² 

2. Sistemas Fotovoltaicos



Residencial < 20 kW



Comercial < 250 kW



Industrial > 250 kW



Off-Grid > 2 kW

Ventajas de un SFV

- ▶ Diseño simple
- ▶ Fácil operación y automatización
- ▶ Alto grado de confiabilidad ya que carecen de partes móviles reduciendo los costos de operación y mantenimiento
- ▶ Alternativa viable para lugares aislados
- ▶ Independencia de los combustibles fósiles (suministro, almacenamiento, manejo)
- ▶ Por ser modulares, la capacidad de generación se puede expandir gradualmente con la demanda
- ▶ Cercanía con el sitio de la demanda
- ▶ Fácil transporte de los componentes y su instalación
- ▶ No producen emisiones de gases ni ruido

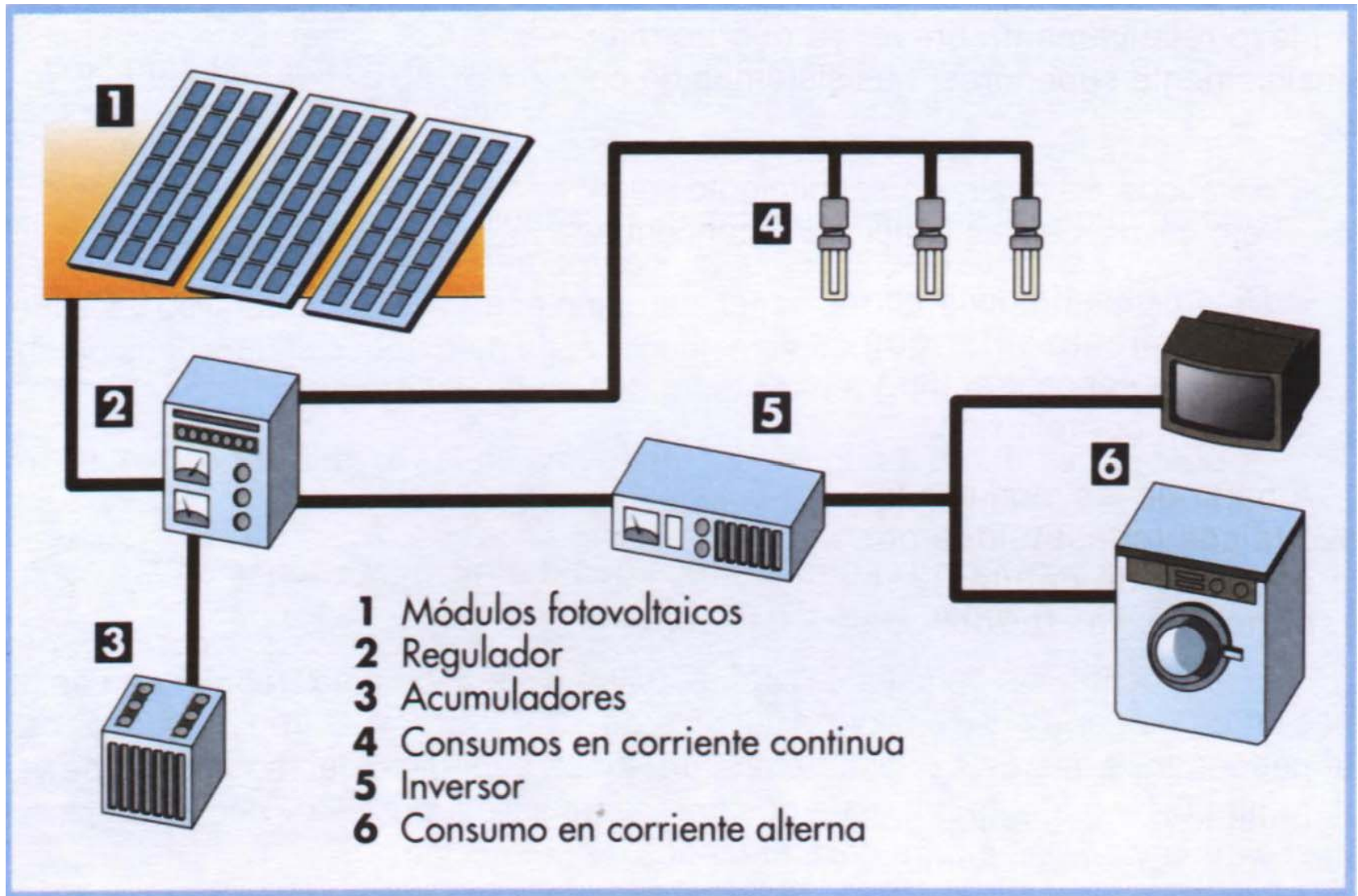


Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

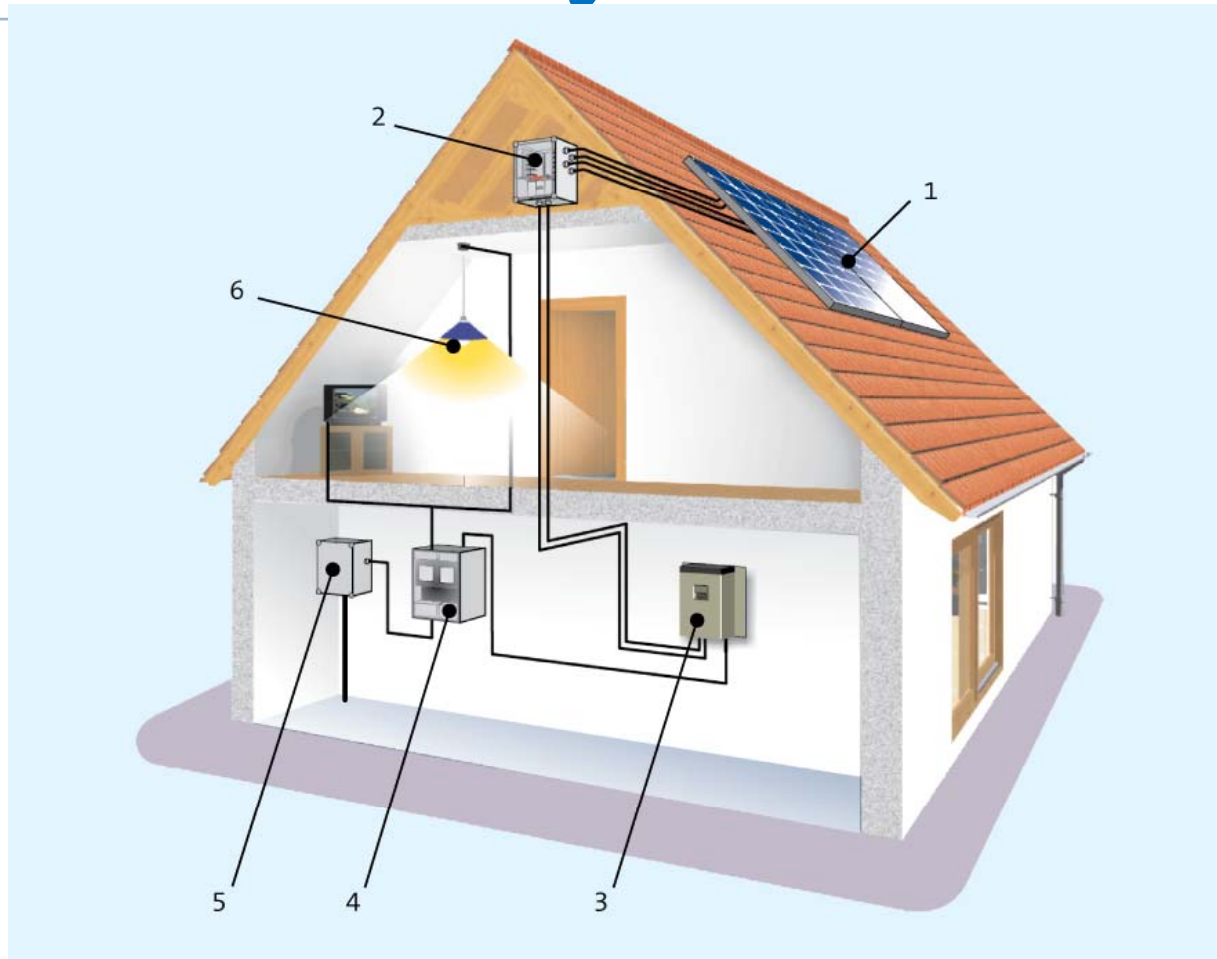
- ▶ Tipo Isla (Off Grid)
- ▶ Inyección a red
- ▶ Inyección a red + autoconsumo
- ▶ Inyección a red + autoconsumo + autarquía



Sistema FV tipo isla



Sistema FV inyección a red

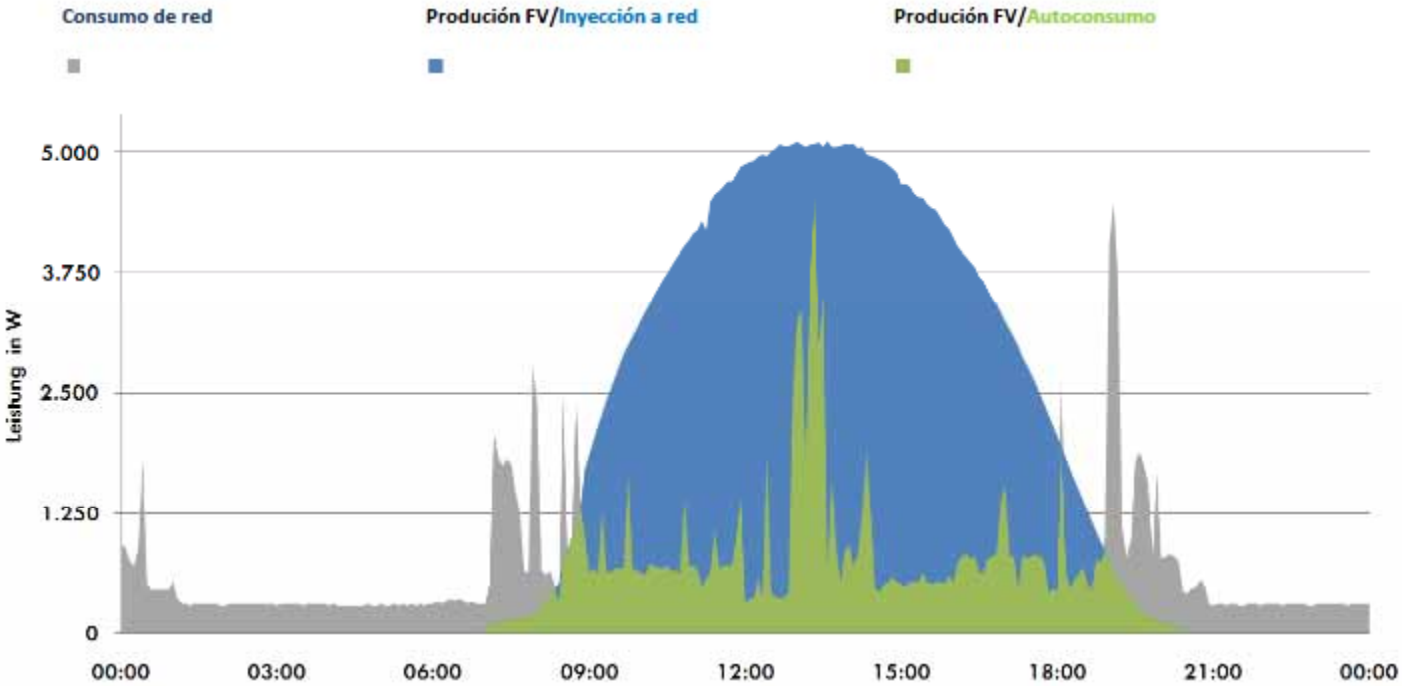


© www.solarpraxis.de

1 Generador solar, 2 Caja de conexión del generador, 3 Inversor, 4 Contador bidireccional de consumo e inyección, 5 Conexión a red, 6 Punto de consumo

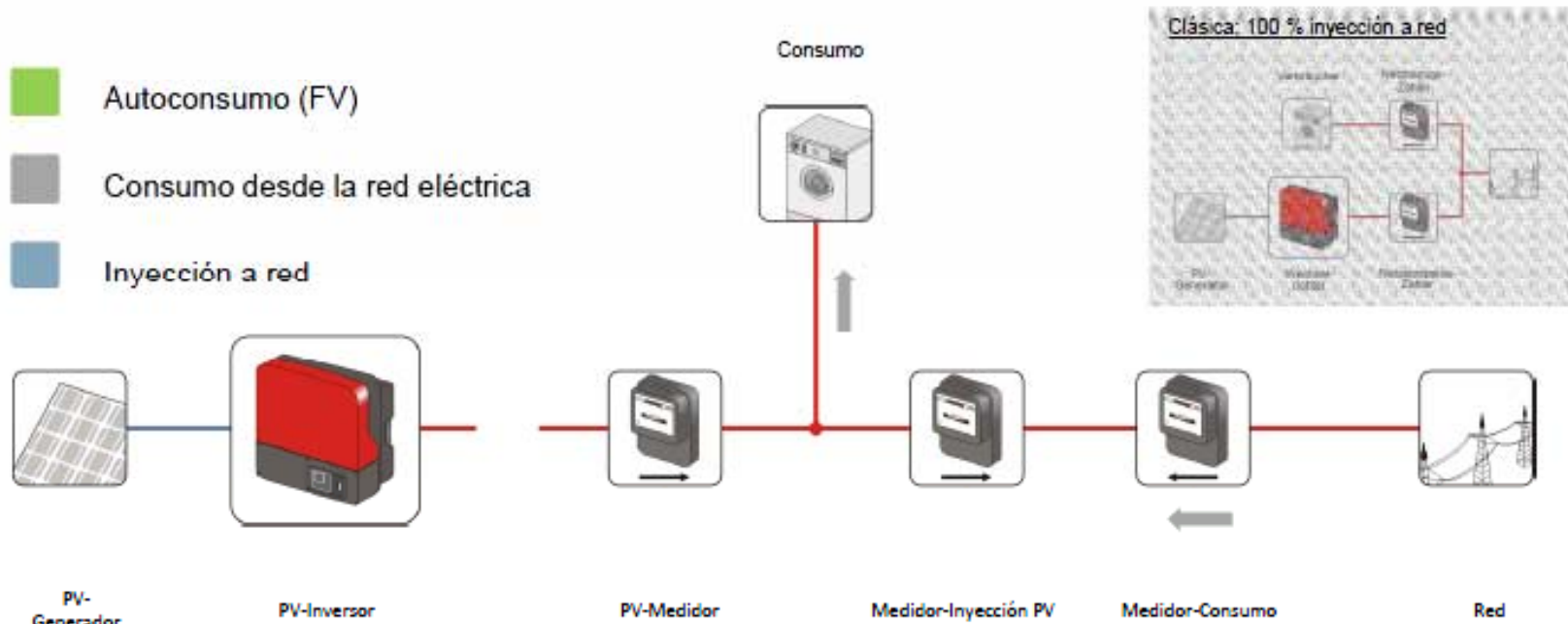
Sistema inyección a red + autoconsumo

Autoconsumo + inyección a red



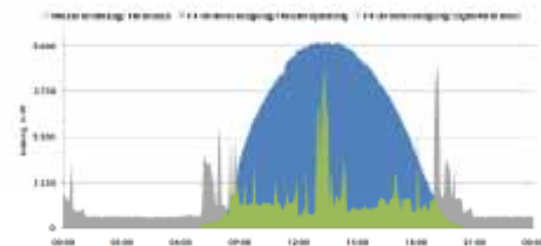
Se requiere otra conexión de los medidores de energía en la instalación fotovoltaica de inyección a la red:

- Autoconsumo (FV)
- Consumo desde la red eléctrica
- Inyección a red

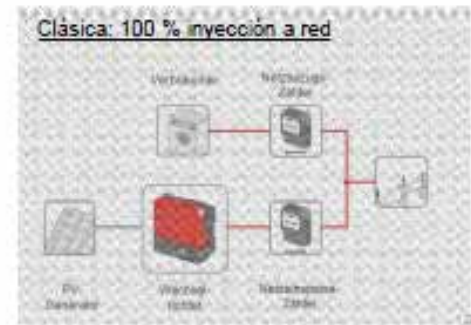
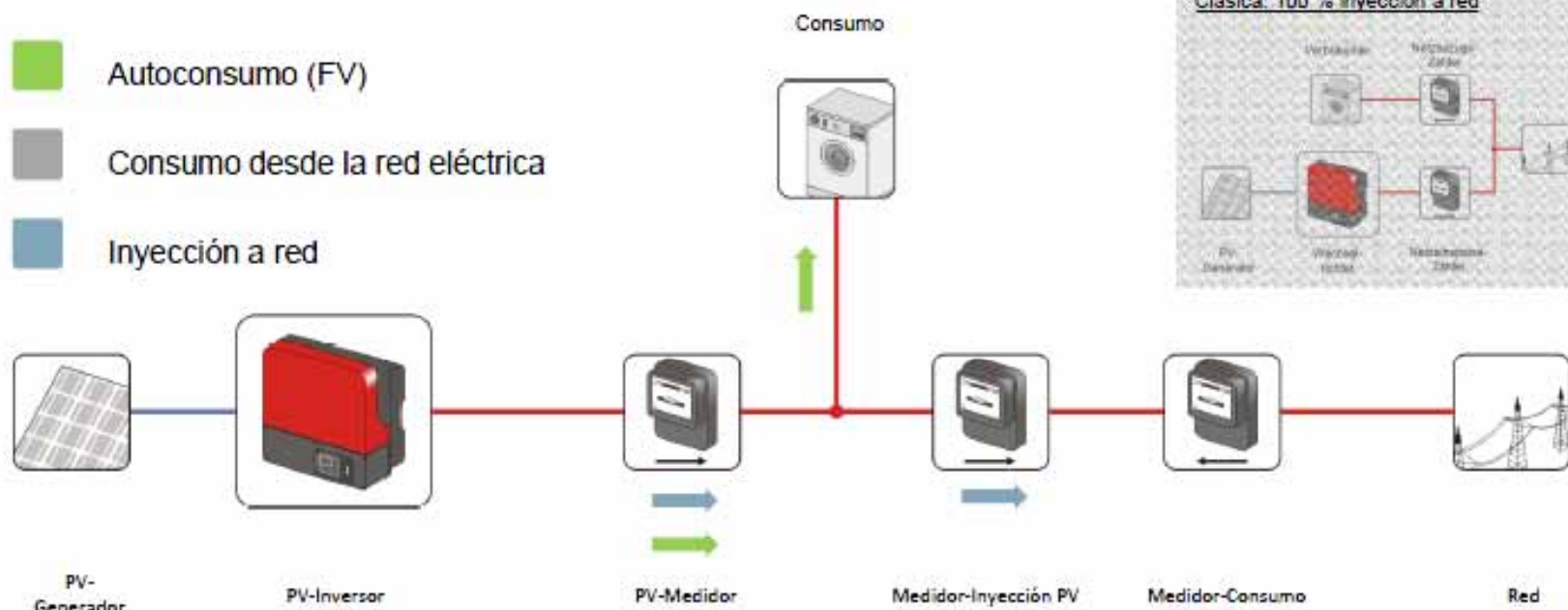


Ejemplo

03:00 A.M.

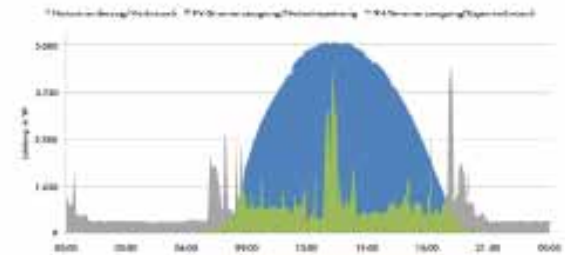


- Autoconsumo (FV)
- Consumo desde la red eléctrica
- Inyección a red

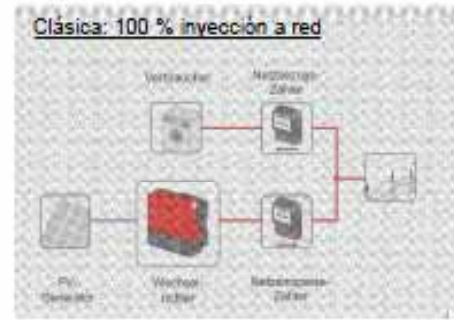
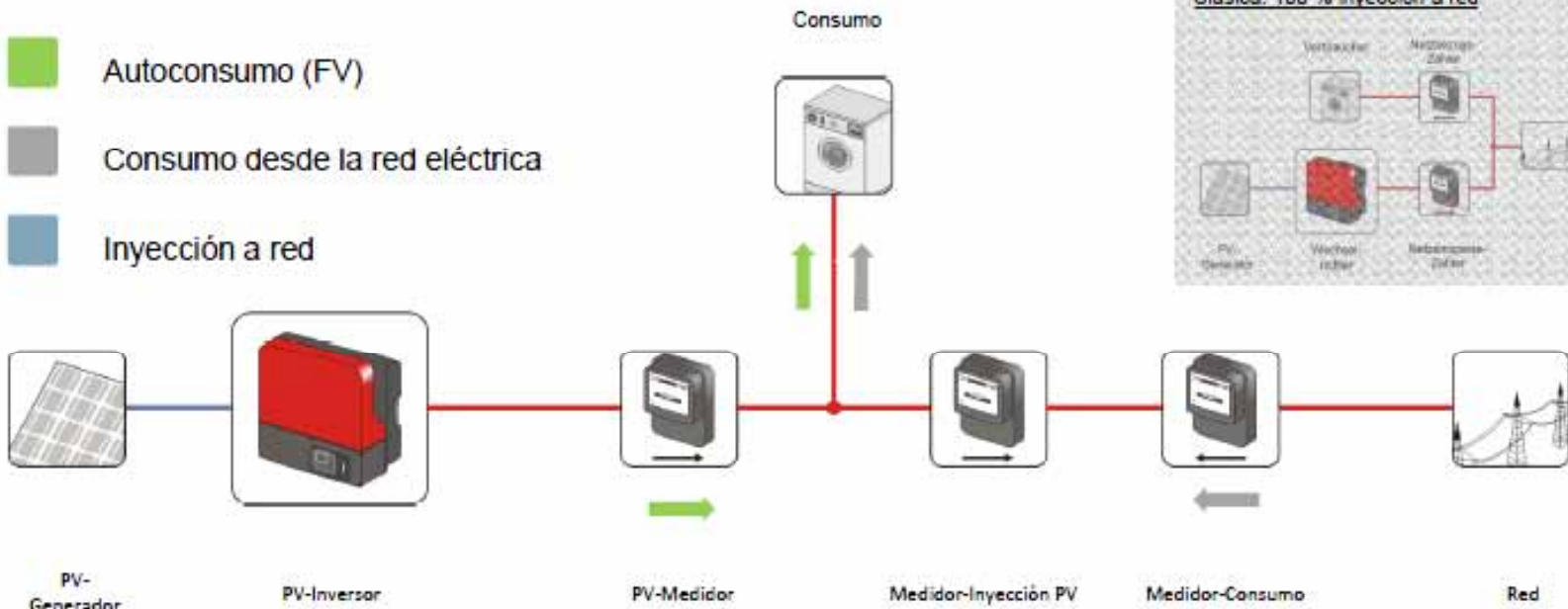


Ejemplo

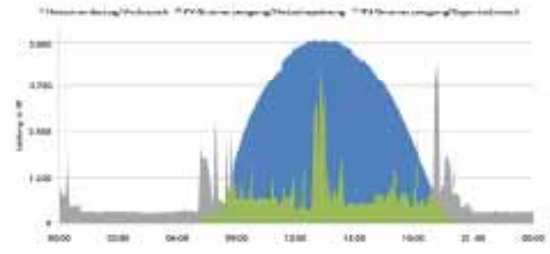
01:00 P.M.



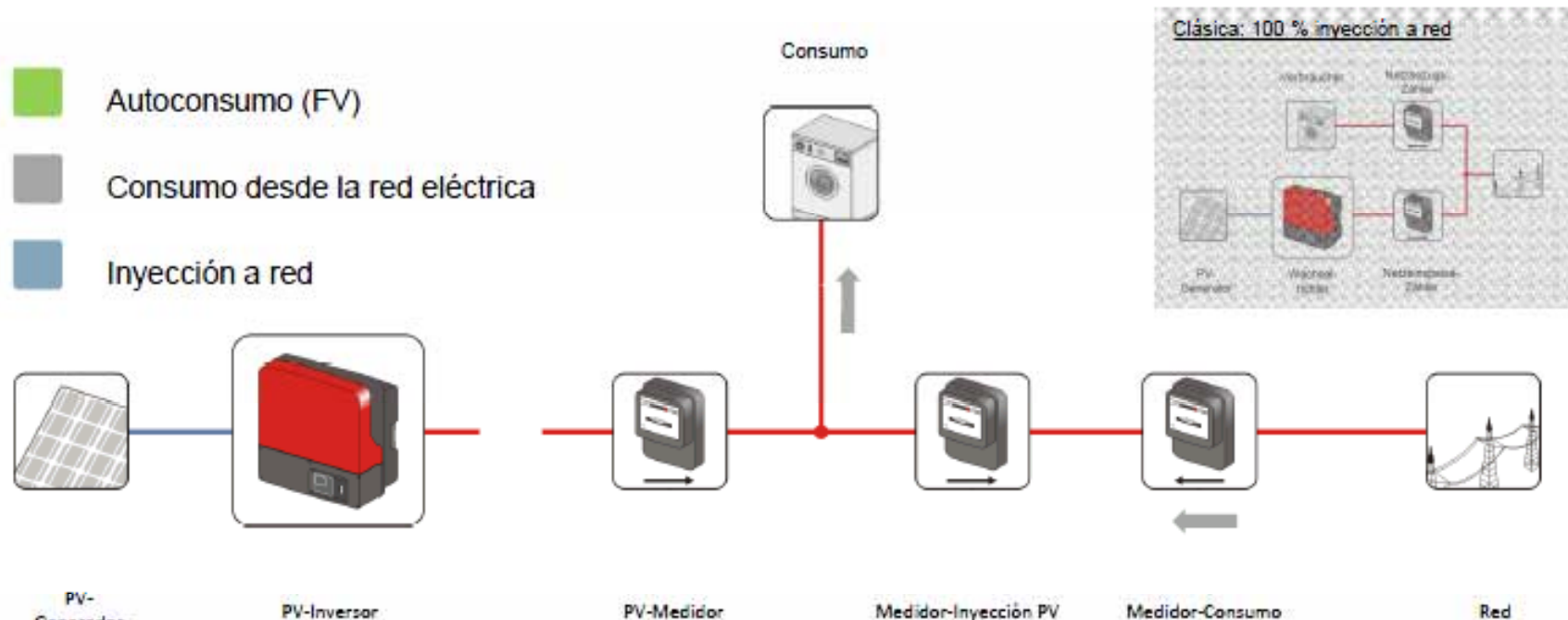
- Autoconsumo (FV)
- Consumo desde la red eléctrica
- Inyección a red



Ejemplo
04:00 P.M.



- Autoconsumo (FV)
- Consumo desde la red eléctrica
- Inyección a red



PV-Generador

PV-Inversor

PV-Medidor

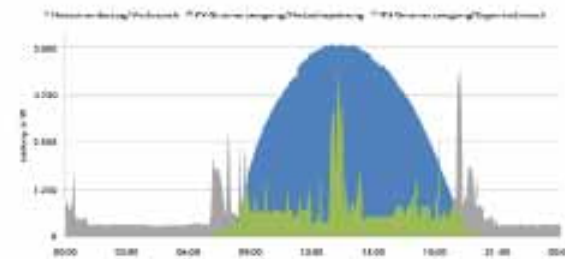
Medidor-Inyección PV

Medidor-Consumo

Red

Ejemplo

07:00 P.M.

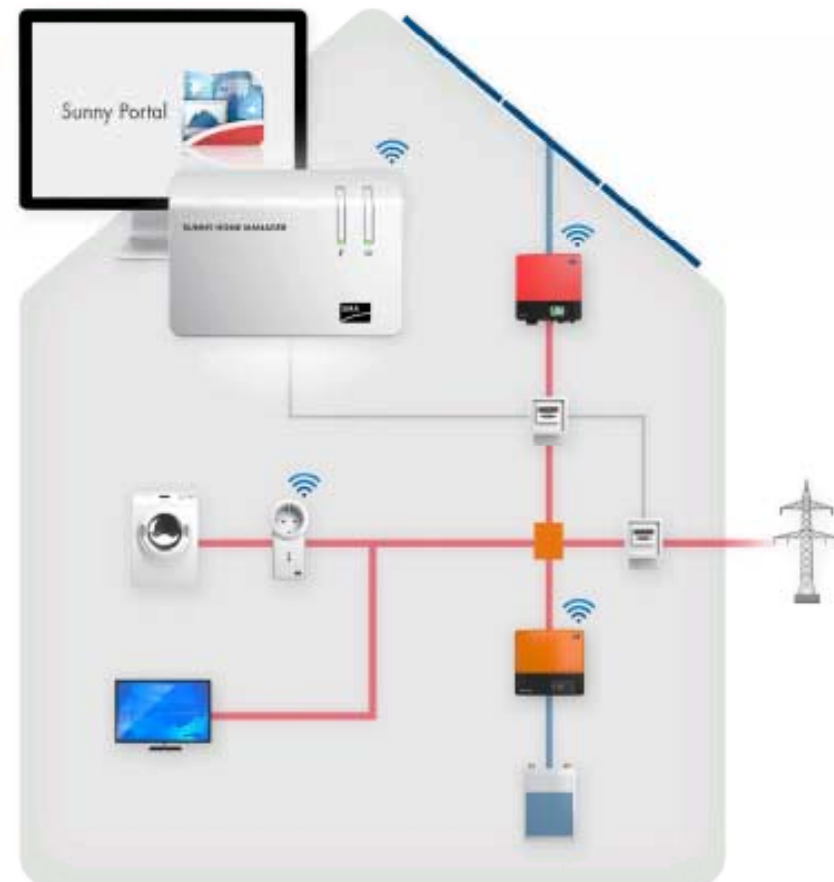
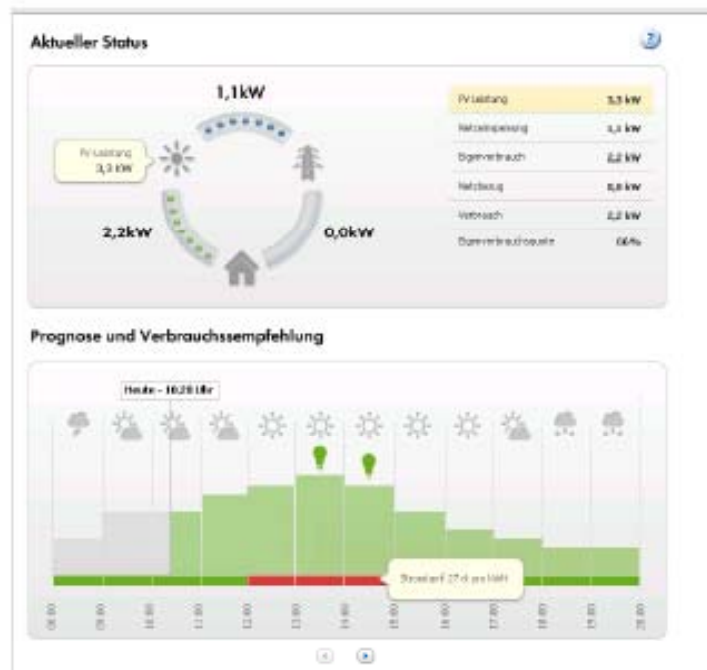


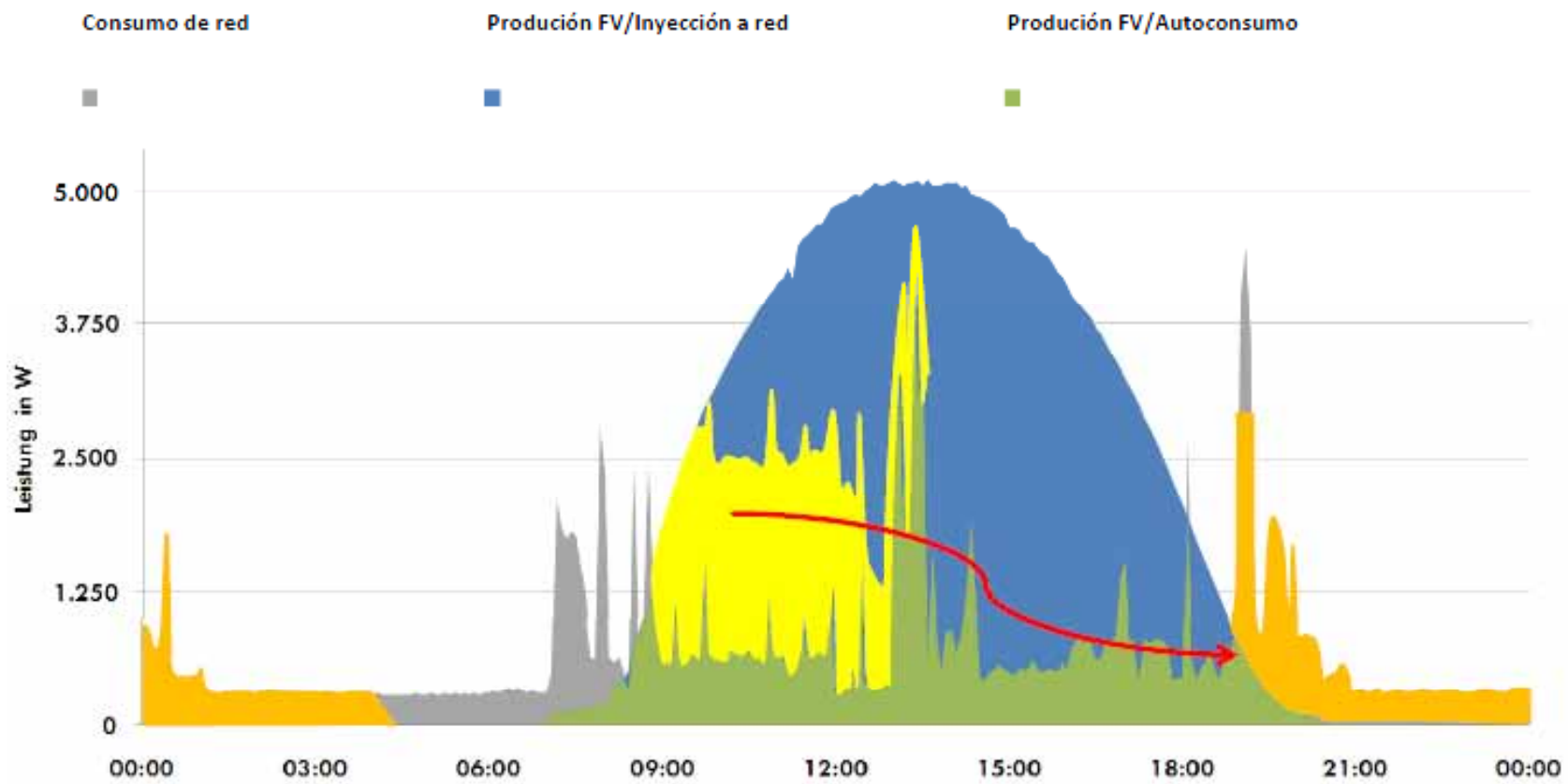
Inyección+autoconsumo+autarquía

Manana: 2013

Smart Home:

Ahorro + Autoconsumo + autarquía + inyección a red





3. Estimación del Potencial



A Performance Calculator for Grid-Connected PV Systems

Central America & Caribbean

BLZ Belize Intl Airport

CUB Varadero

GTM Flores/Santa Elena

GTM Guatemala/La Aurora

GTM Huehuetenango

GTM Puerto Barrios(Mil)

GTM San Jose (Civ/Mil)

HND Amapala/Los Pelonas

HND Catacamas

HND Choluteca

HND La Ceiba/Goloson






HND La Mesa/Pedro Sula

HND Puerto Lempira

HND Santa Rosa De Copan

HND Tela



Tipo de célula	Eficiencia de módulo	Superficie FV necesaria para 1 kW _p
Monocrystalina	11–16%	7–9 m ² 
Policristalina (EFG)	10–14%	8–9 m ² 
Policristalina	8–10%	9–11 m ² 
Capa fina de diseleniuro de cobre e indio	6–8%	11–13 m ² 
Amorfa	4–7%	16–20 m ² 



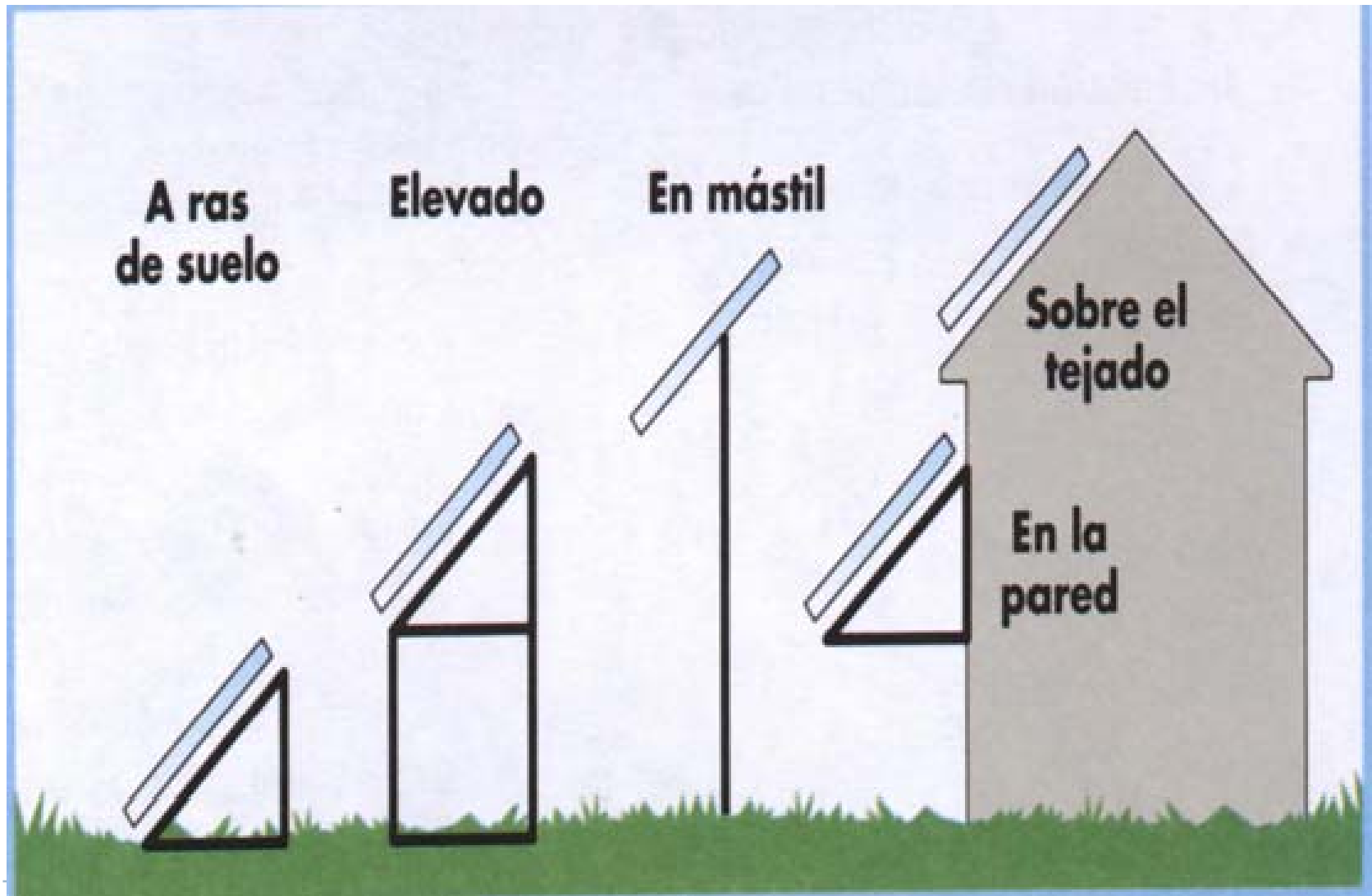
4. Criterios de diseño

Estructura de Soporte

- ▶ Liviana y resistente al óxido
- ▶ Fácil montaje sobre techos, paredes o mástiles
- ▶ Permitir la inclinación (15° inclinación, hacia el sur)
- ▶ Garantía: no menor a 20 años
- ▶ Observaciones:
 - ▶ Alteración mínima del techo
 - ▶ Distancia mínima del techo para facilitar enfriamiento del panel

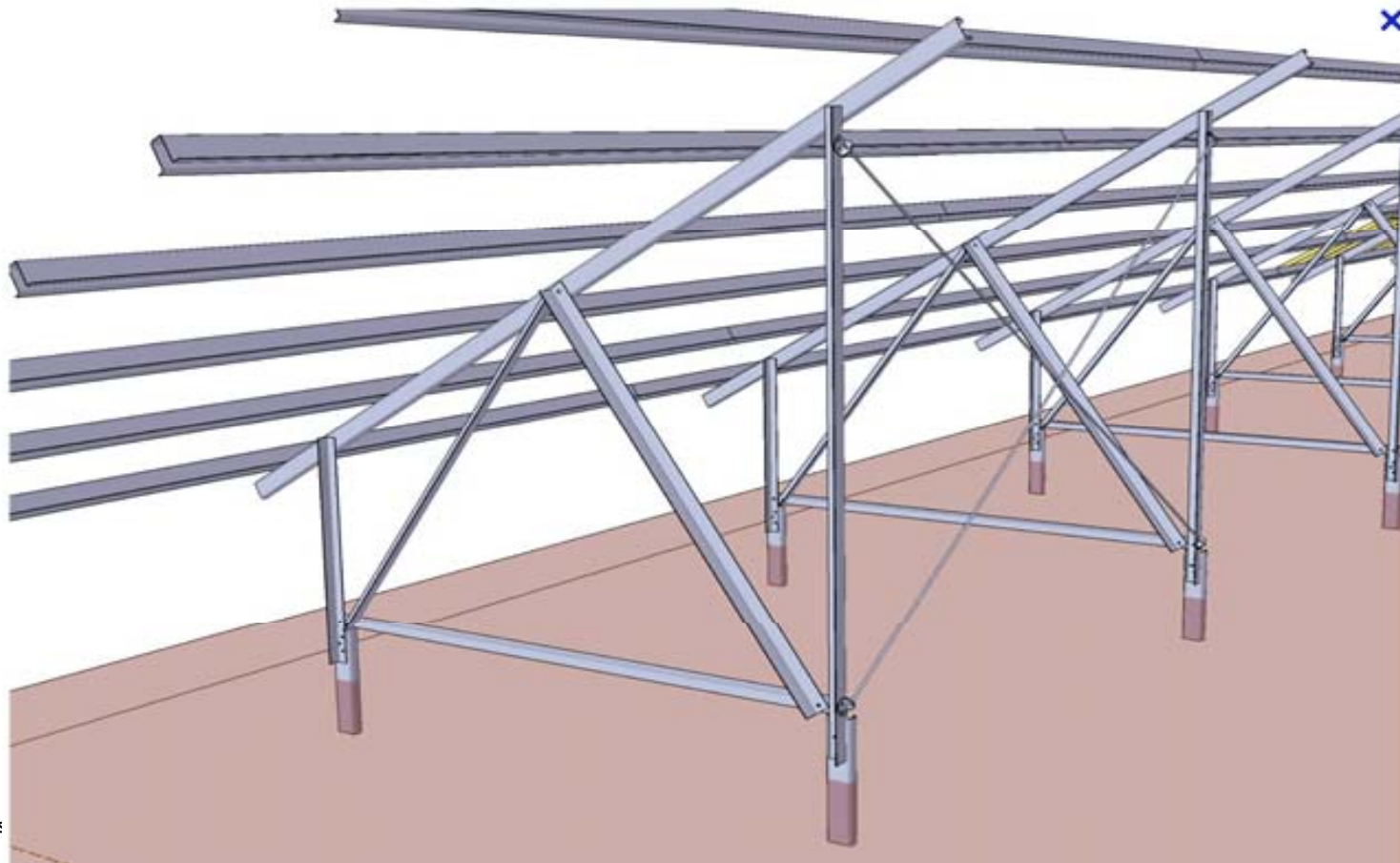


Posibilidades de instalación de los paneles solares fotovoltaicos



Estructuras sobre techos de edificios, centros comerciales

Se instala por hincado directo sobre el terreno.

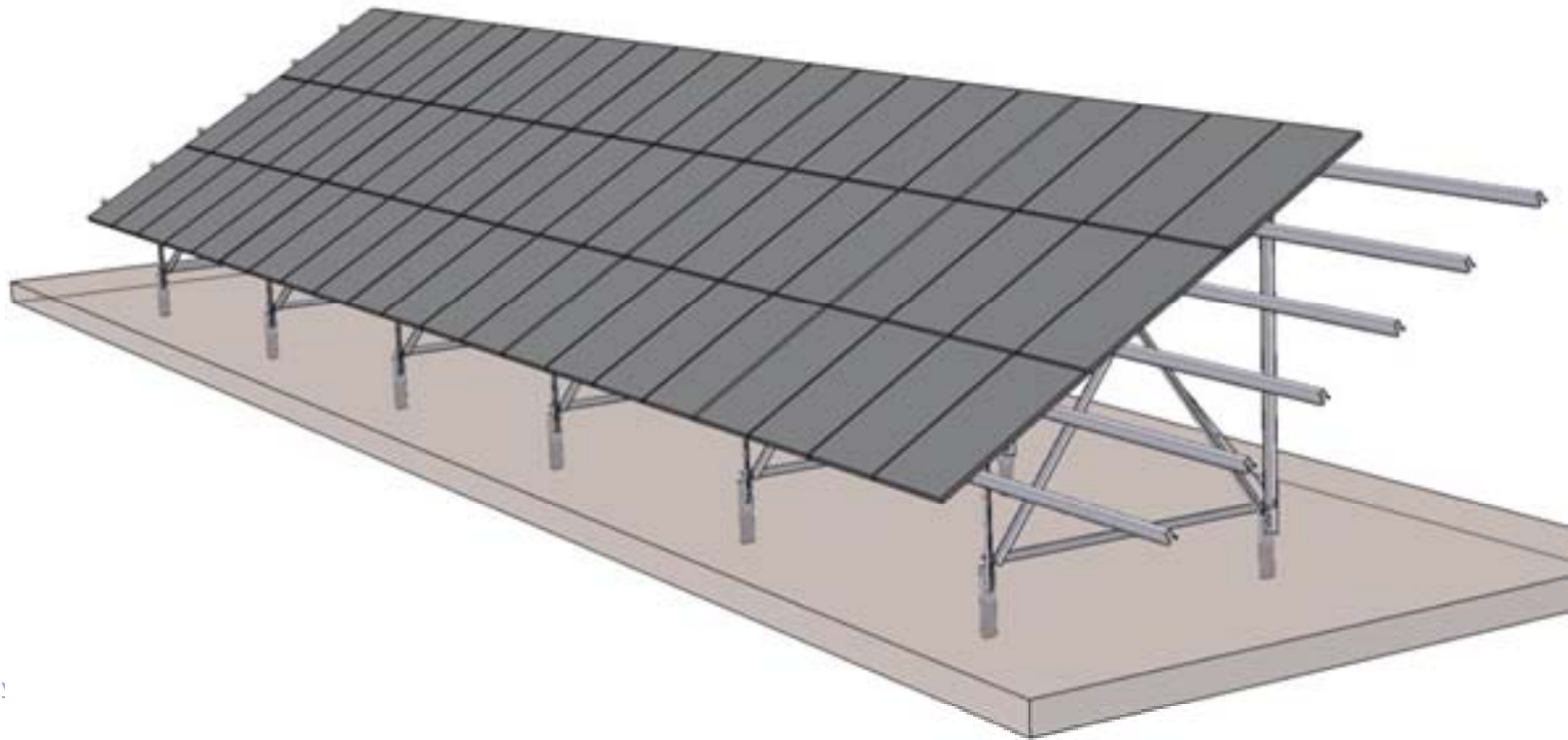


www.as



Estructuras sobre techos de edificios

- ▶ Estructura metálica de acero galvanizado en caliente para instalaciones fotovoltaicas fijas.

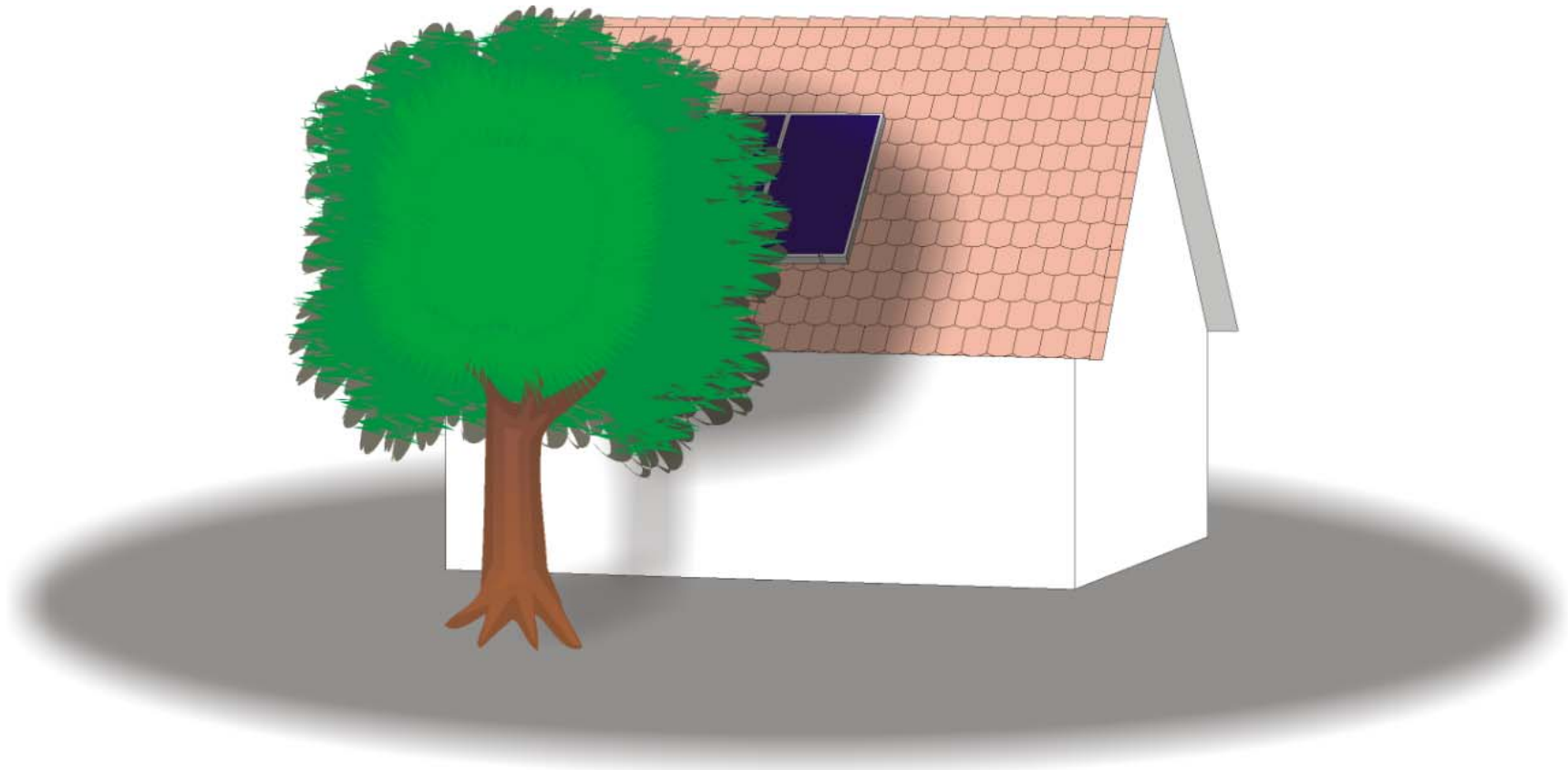


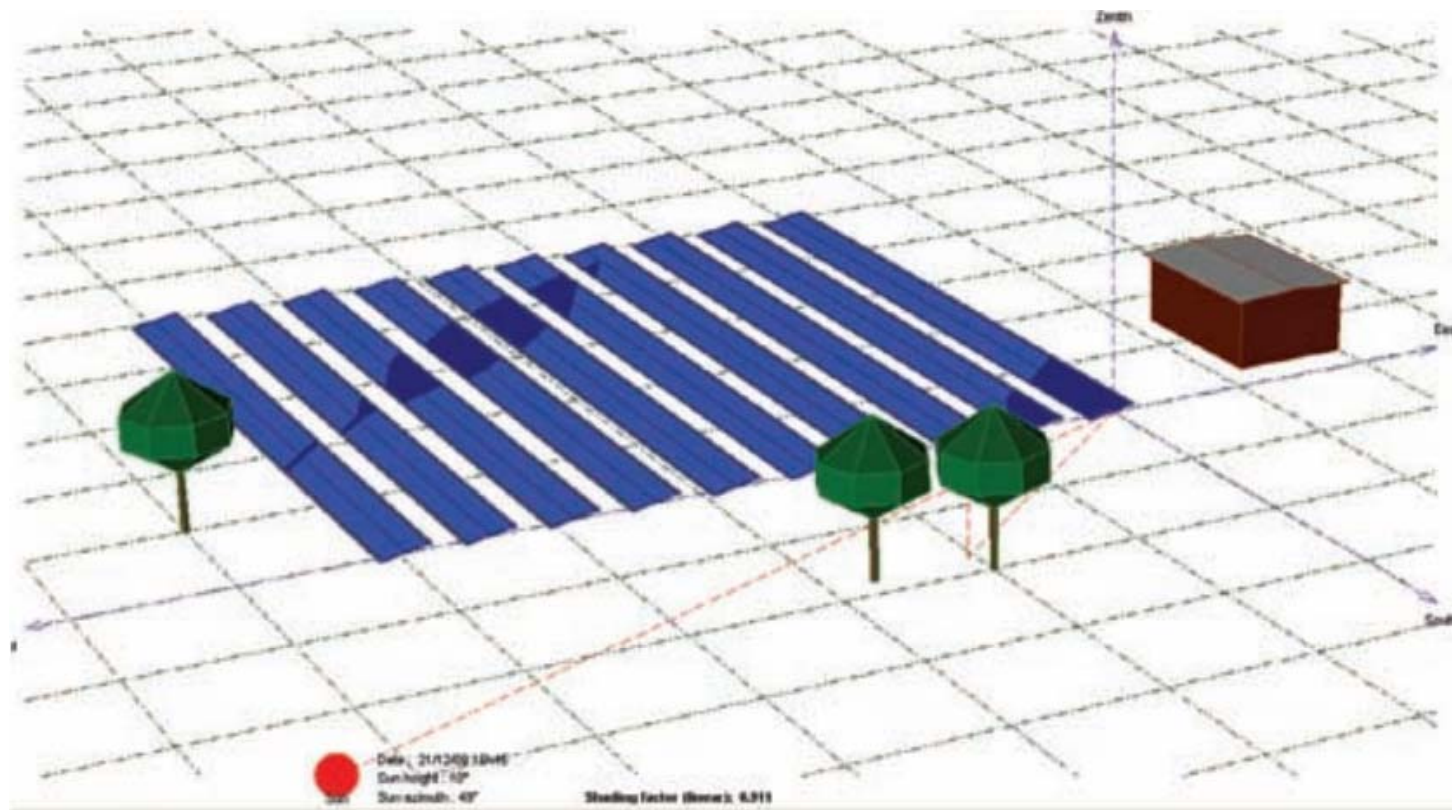
▶ 1





Las sombras limitan la producción de energía eléctrica



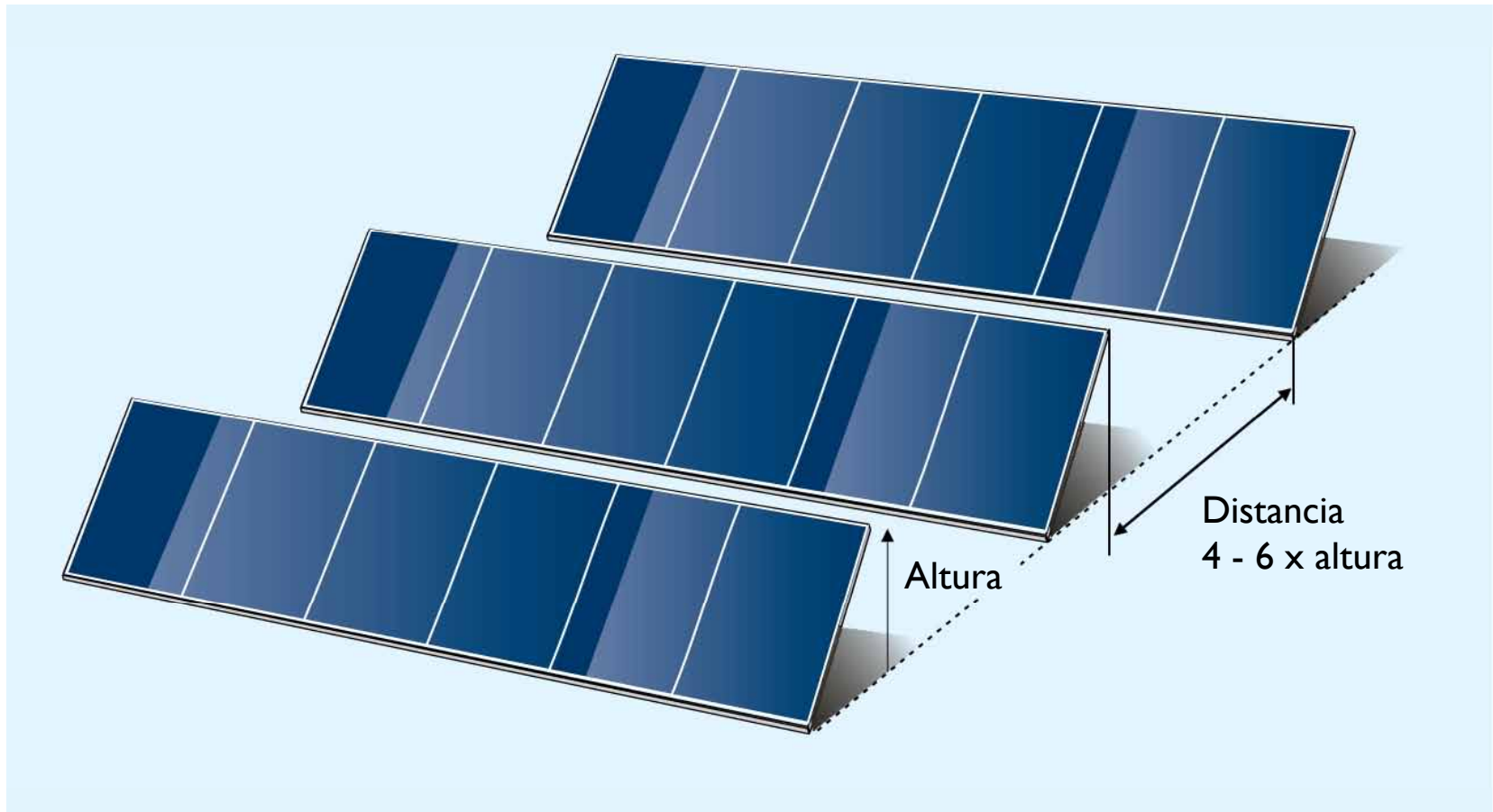


Courtesy pvsyst.com

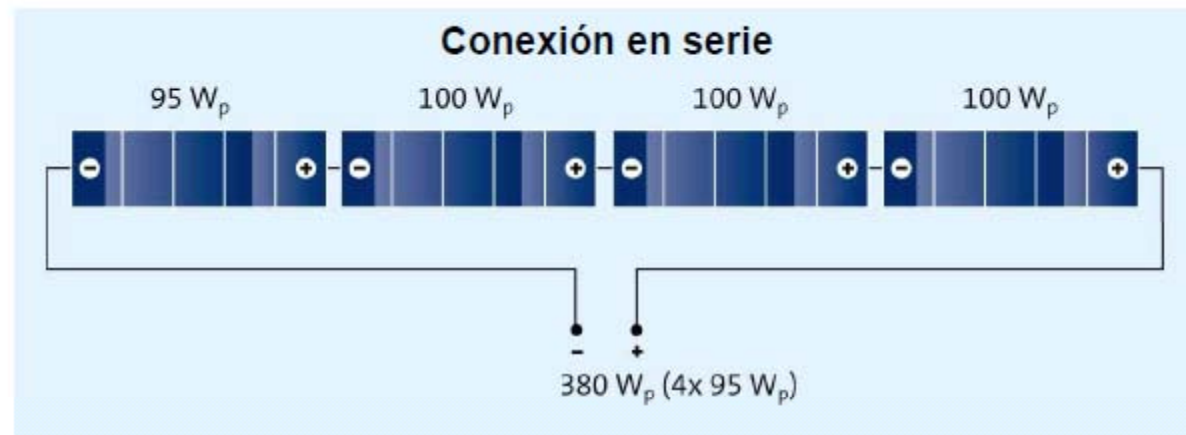
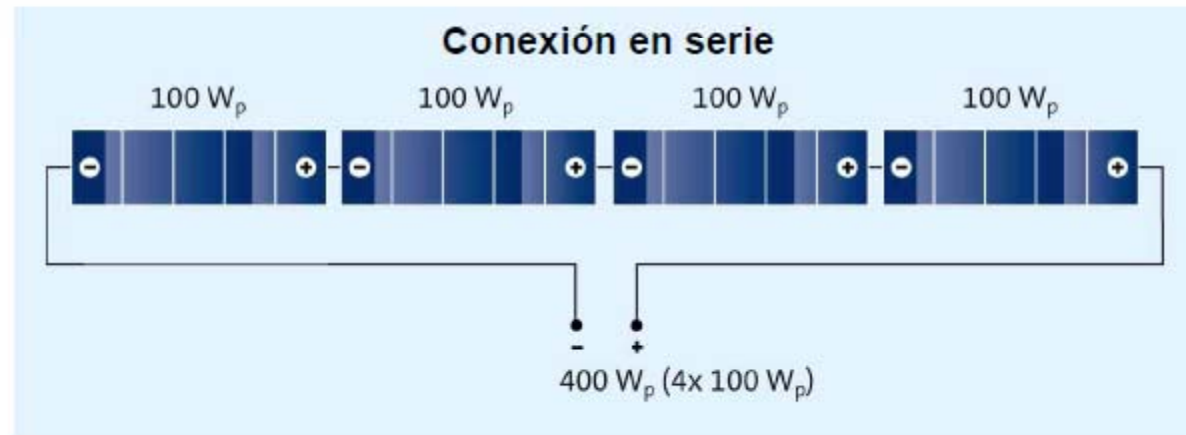




Evitar sombras entre filas en el caso de montaje sobre tejado plano



Los módulos se conectan en serie para formar un “string”, suma de voltajes



Los strings deben conectarse en paralelo para producir la corriente y voltaje deseados

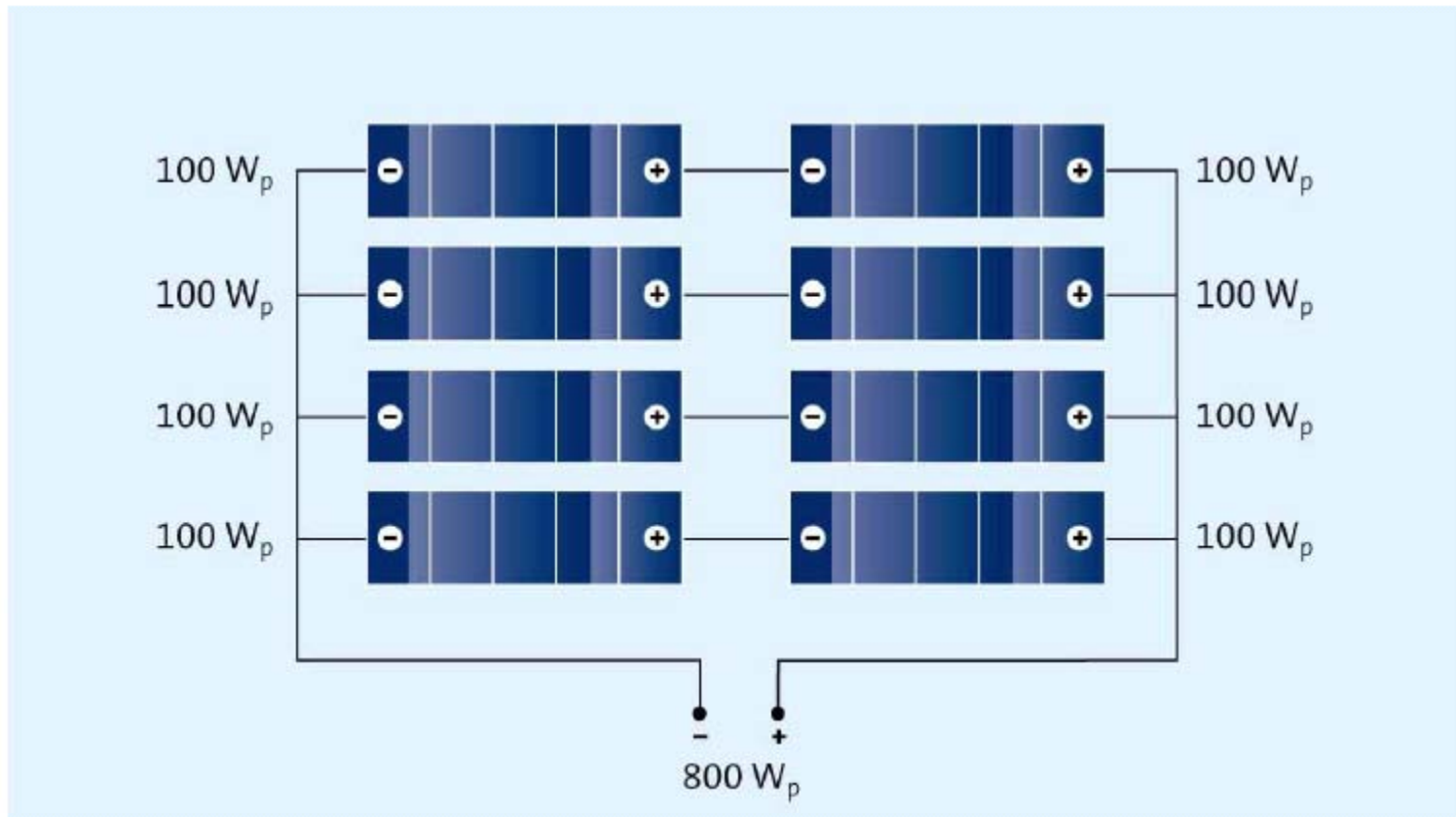




Fig. 3. Curved clay looking solar tiles [55].



Fig. 4. Glass ceiling with transparent BIPV modules [21].



5. Caso de estudio

COMISIÓN EJECUTIVA HIDROELÉCTRICA DEL RÍO LEMPA

**Cooperación: Convenio con la Universidad Centroamericana
“José Simeón Cañas” (UCA)**

**Contrato: “Suministro e instalación de un generador fotovoltaico
con conexión a la red”.**

Ejecución del proyecto : Febrero – junio de 2009.



DESCRIPCION DEL PROYECTO



Capacidad nominal de generador:
24.57 kWp

Ubicación:
ala poniente azotea edificio de CEL

Área utilizada del edificio:
287 m²

Tecnologías:
Monocristalina, policristalina y amorfo.

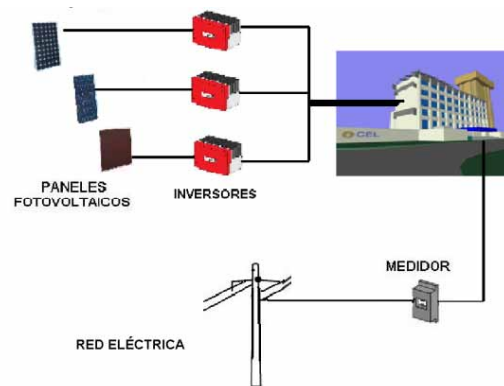
Generación estimada anual: 35.8 MW-h
Financiamiento del proyecto: Fondos propios



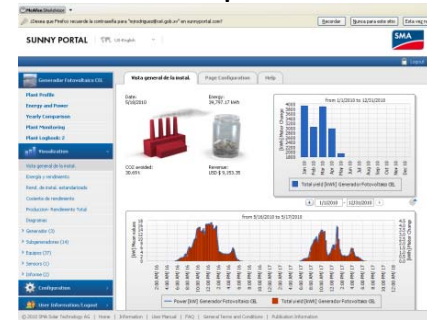
SISTEMA FOTOVOLTAICO



Monocrystalino
Policristalino
Amorfo



Información disponible en Internet



<http://www.cel.gob.sv/>

ETAPA DE ESTUDIO DE SOMBRAS

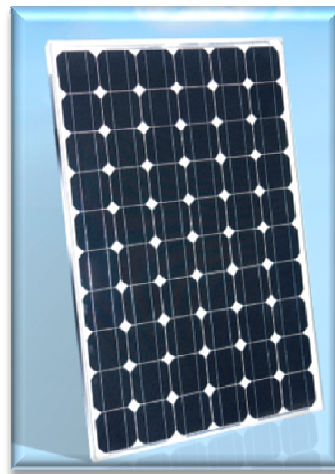
Declinación del sol:
10.7° hacia el norte



Declinación del sol:
37.1° hacia el sur

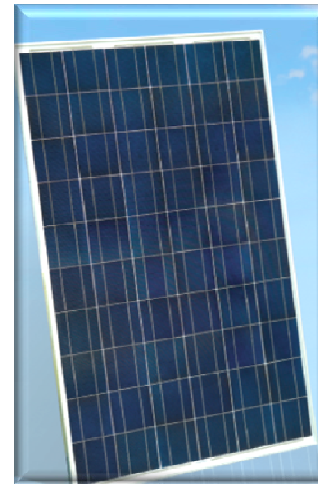


DESCRIPCIÓN PANELES FOTOVOLTAICOS



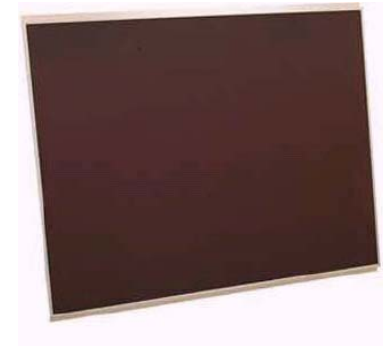
MONOCRISTALINO

Garantía 90% potencia:
25 años



POLICRISTALINO

Garantía 90% potencia:
25 años



AMORFO

Garantía 80% potencia:
25 años

Marca	Trina Solar	Trina Solar	Mitsubishi
Procedencia	China	China	Japón
Capacidad por unidad (Wp)	210	210	130
Cantidad de módulos	39	39	63
Eficiencia de celda	14.80%	14.40%	8.25%
Potencia máxima (kWp)	8.19	8.19	8.19
Área utilizada (m ²)	64 m ²	64 m ²	99 m ²



Montaje de generador fotovoltaico



Montaje de la paneles fotovoltaicos



Conexión de cableado de inversores



Inclinación de los paneles: 15°
orientados hacia el sur



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO CEL

Capacidad instalada de 24.57 kWp

Formado por tres subsistemas de idéntica potencia nominal de 8.19 kWp, pero de distinta tecnología: silicio monocristalino, policristalino y amorfo

Hacer una comparación directa del desempeño de cada tecnología

Además, se instaló una estación meteorológica para el monitoreo de la radiación solar, temperatura ambiente, temperatura de los paneles y la dirección y velocidad del viento.



DISTRIBUCIÓN DE PANELES



Paneles de Silicio
Amorfo

A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A57	A58
A08	A09	A10	A11	A12	A13	A14	A29	A30	A31	A32	A33	A34	A35	A60	A59
A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A36	A37	A38	A39	A40	A41	A42	A61	A62
A43	A44	A45	A46	A47	A48	A49	A50	A51	A52	A53	A54	A55	A56	A63	

Inversor Color

IA-01	
IA-02	
IA-03	
IP-01	
IP-02	
IP-03	
IM-01	
IM-02	
IM-03	

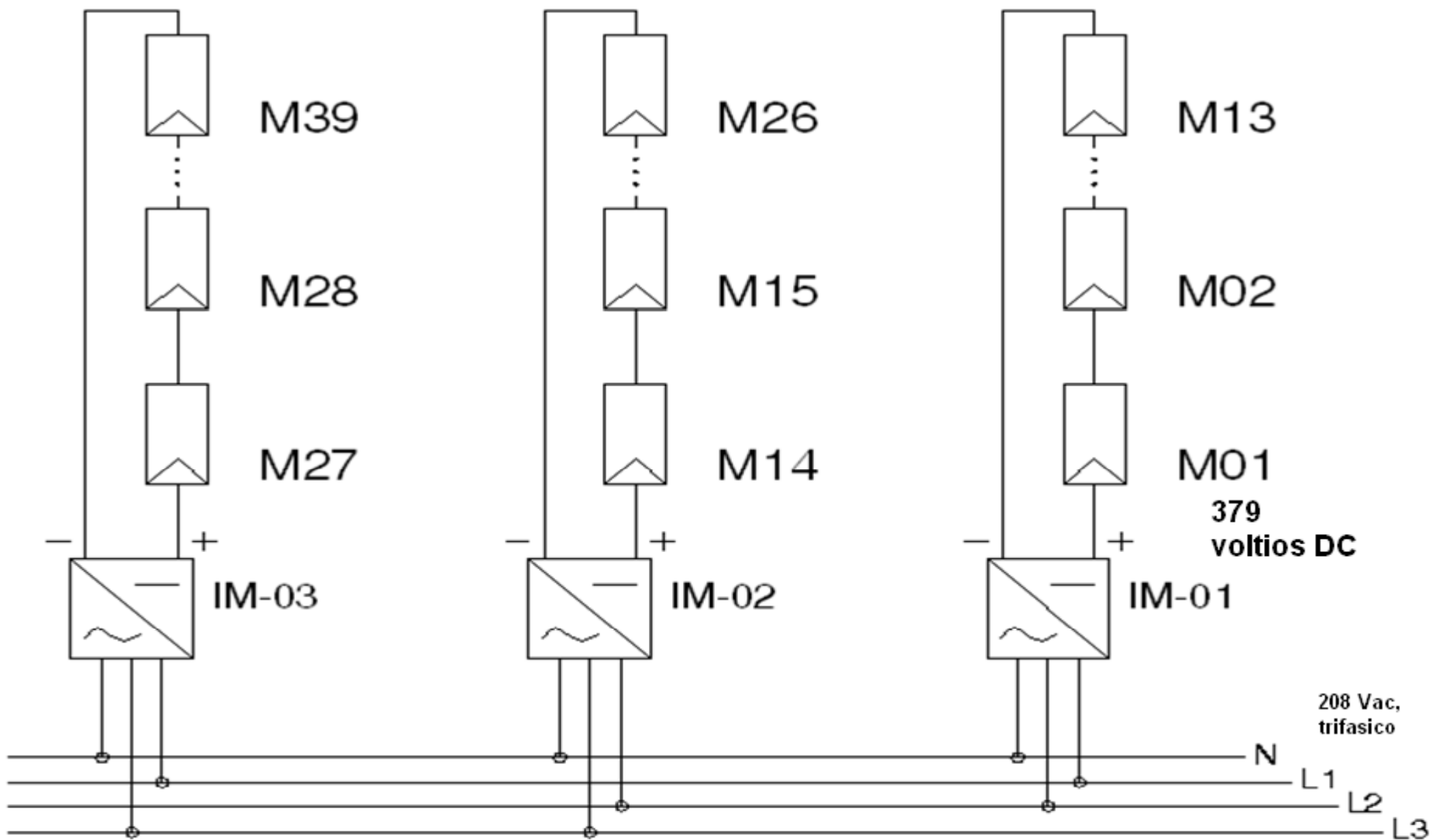
Paneles de Silicio
Policristalino

P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P27	P28	P29	P30	P31	P32	
P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P33	P34	P35	P36	P37	P38	P39

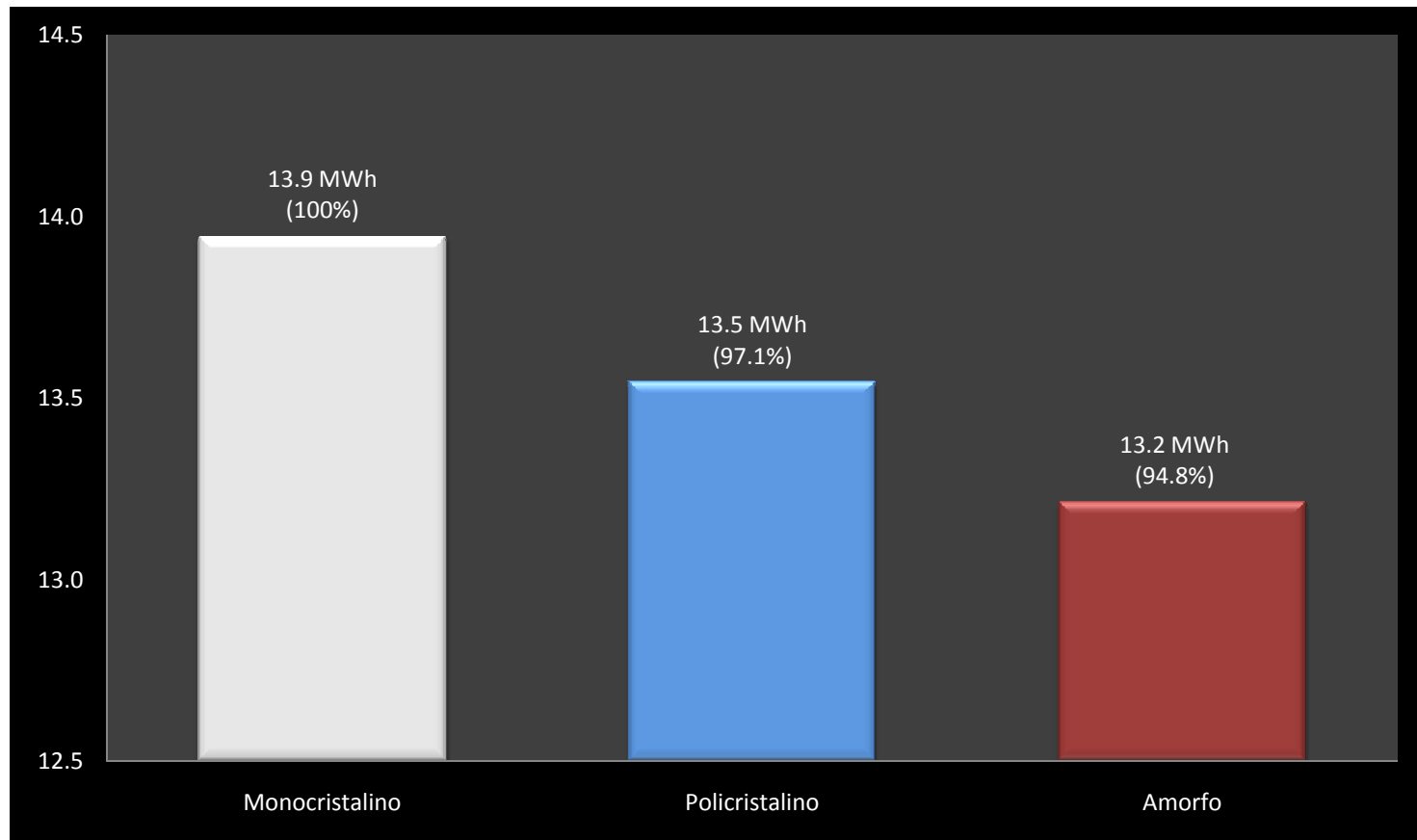
Paneles de Silicio
Monocristalino

M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13	M27	M28	M29	M30	M31	M32	
M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M33	M34	M35	M36	M37	M38	M39

ESQUEMA DE CONEXIÓN



Producción anual (Junio 2009 a mayo 2010)



Generación anual en (kWh/año)/(kWp)

Tecnología	(kWh/ año) / kWp			Promedio (kWh) / kWp		Energía total (kWh / año)
	Inversor 1	Inversor 2	Inversor 3	Diario	Anual	
Monocristalino	1,710	1,703	1,696	4.67	1,703	13,946
Policristalino	1,697	1,620	1,644	4.53	1,654	13,544
Amorfo	1,618	1,631	1,591	4.42	1,613	13,214

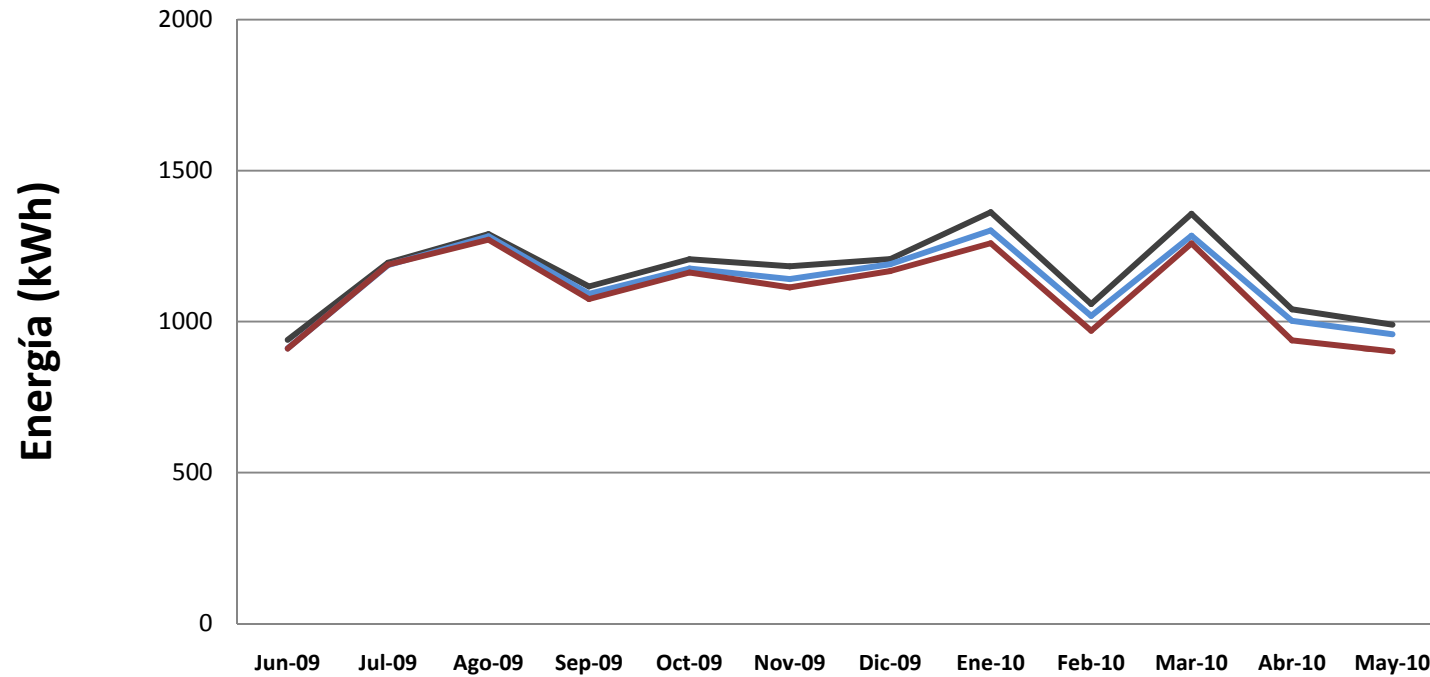


Energía anual por área (kWh/m² /año)

Tecnología	Area paneles m²	Potencia Instalada kWp	kWh/m²/año
Amorfo	99.23	8.19	127.74
Monocristalino	63.84	8.19	212.32
Policristalino	63.84	8.19	205.62



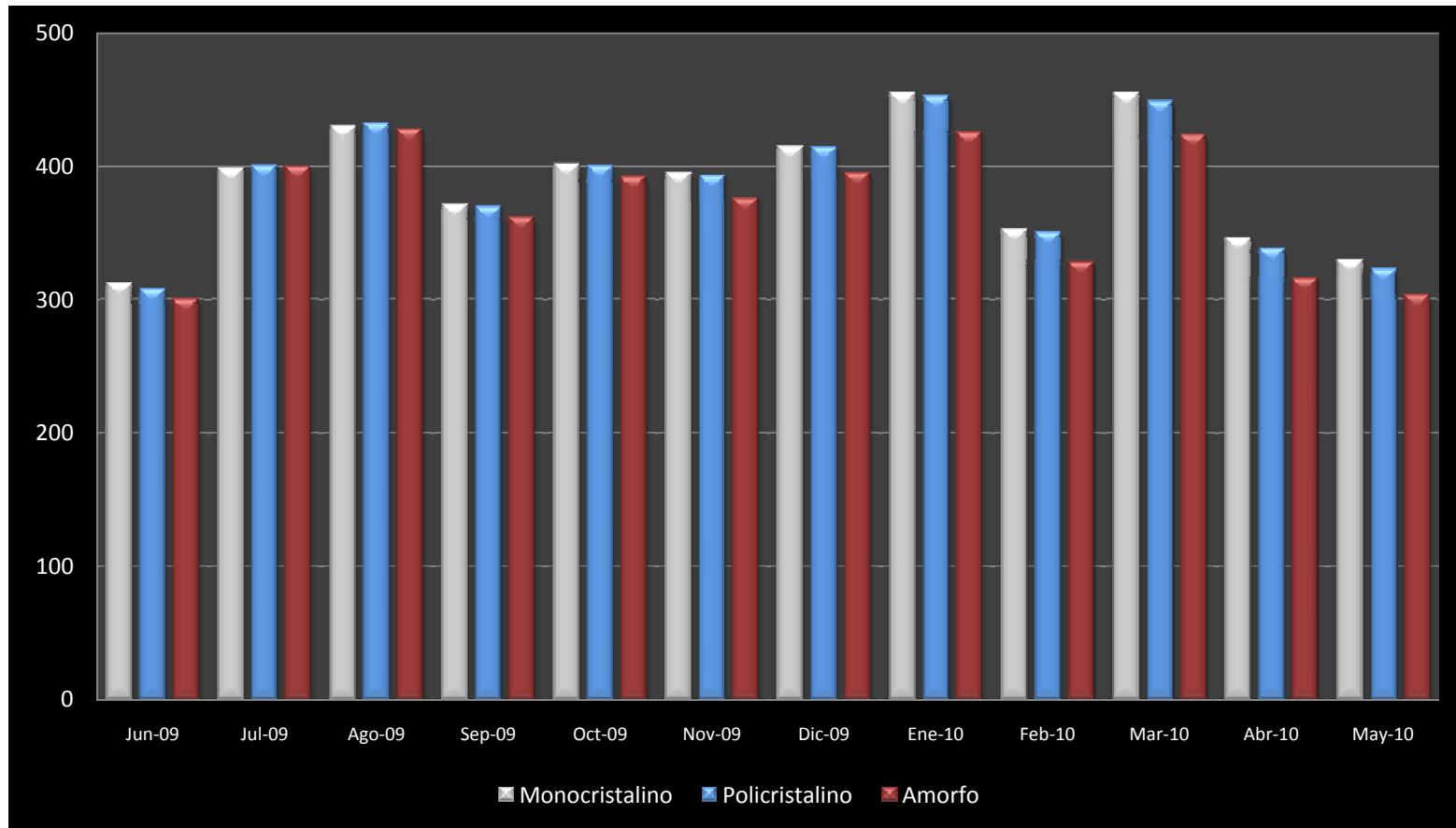
Energía producida por tecnología



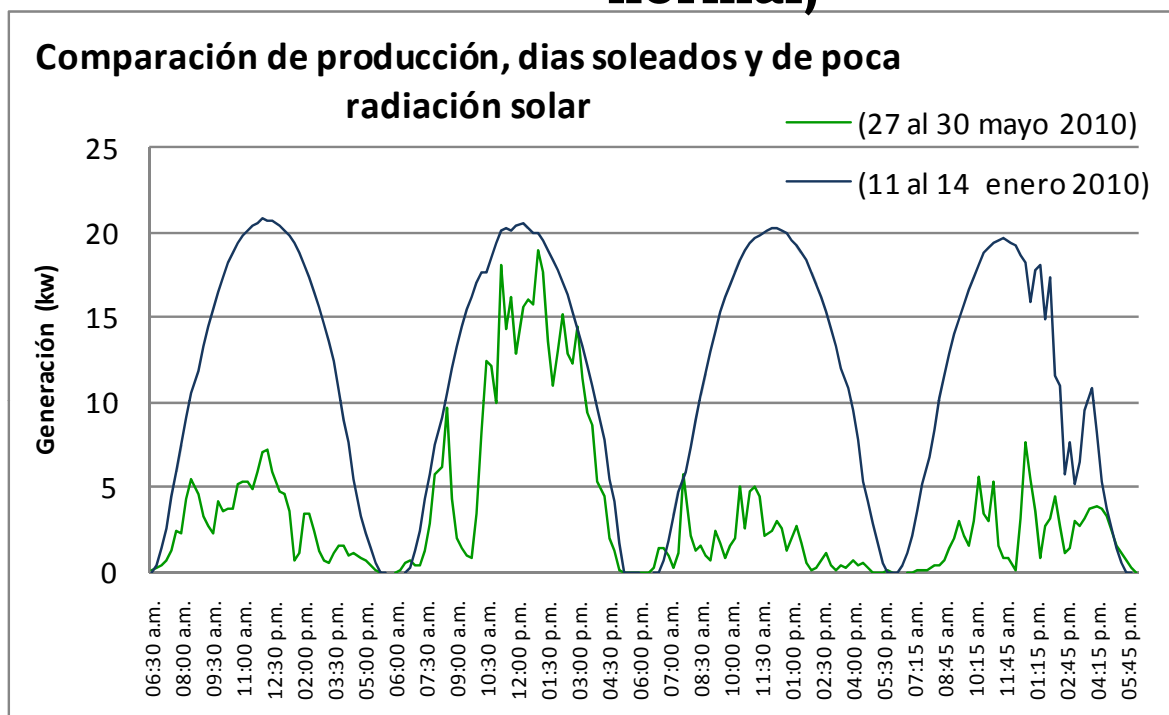
	Jun-09	Jul-09	Ago-09	Sep-09	Oct-09	Nov-09	Dic-09	Ene-10	Feb-10	Mar-10	Abr-10	May-10
— Monocrystalino	940	1195	1290	1117	1207	1183	1207	1362	1058	1357	1041	990
— Policristalino	911	1187	1282	1092	1176	1141	1190	1302	1019	1284	1002	958
— Amorfo	911	1189	1271	1074	1162	1113	1167	1259	970	1259	938	901



Energía generada subgenerador por tecnología (kWh)



Generación diaria (Días en la tormenta “Ágatha” vrs. de generación normal)



Descripción		Generación de energía (kwh)			
Días soleados	(11 al 14 enero 2010)	144	141	142	126
Días nublados	(27 al 30 mayo 2010)	32	91	18	26
Disminución de la producción		22%	64%	13%	20%

RESUMEN

- La producción del primer año fue de 40.7 MWh, con factor de planta de 19.1%, equivalentes a 4.6 horas/día. El estudio inicial indicaba 35.8 MWh (13.7% más).
- La tecnología de silicio monocristalino está resultando ser la de mayor producción.
- Existe un gran potencial energético solar en el país para los sistemas fotovoltaicos, en comparación a otras regiones del mundo (~ 1600 kWh/kWp)



Algunas barreras

- ▶ Costos.
- ▶ Falta de incentivos en la región para la instalación de sistemas solares fotovoltaicos.
- ▶ Falta de precios preferenciales para la inyección a la red mediante energías renovables.



GRACIAS!

