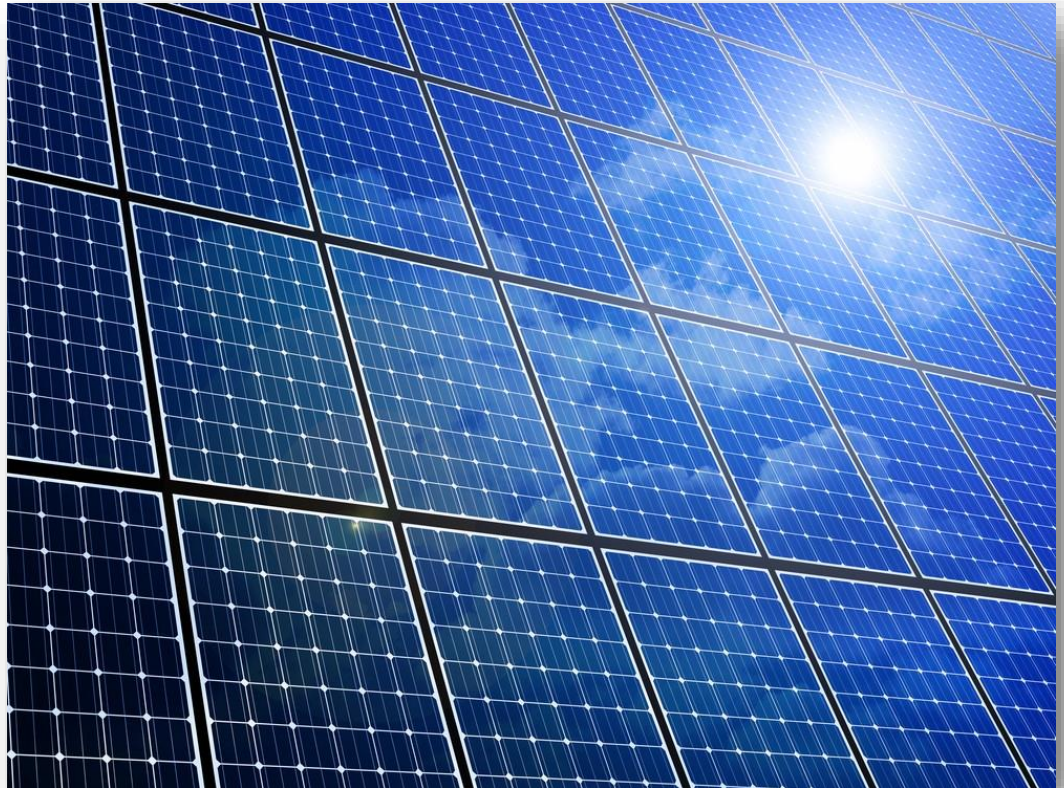


# ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA –CURSO 2024

## COMPONENTES Y CONCEPTOS parte 1

Ing. Diego Oroño  
Ing. Gonzalo Hermida



UNIVERSIDAD  
DE LA REPUBLICA  
URUGUAY



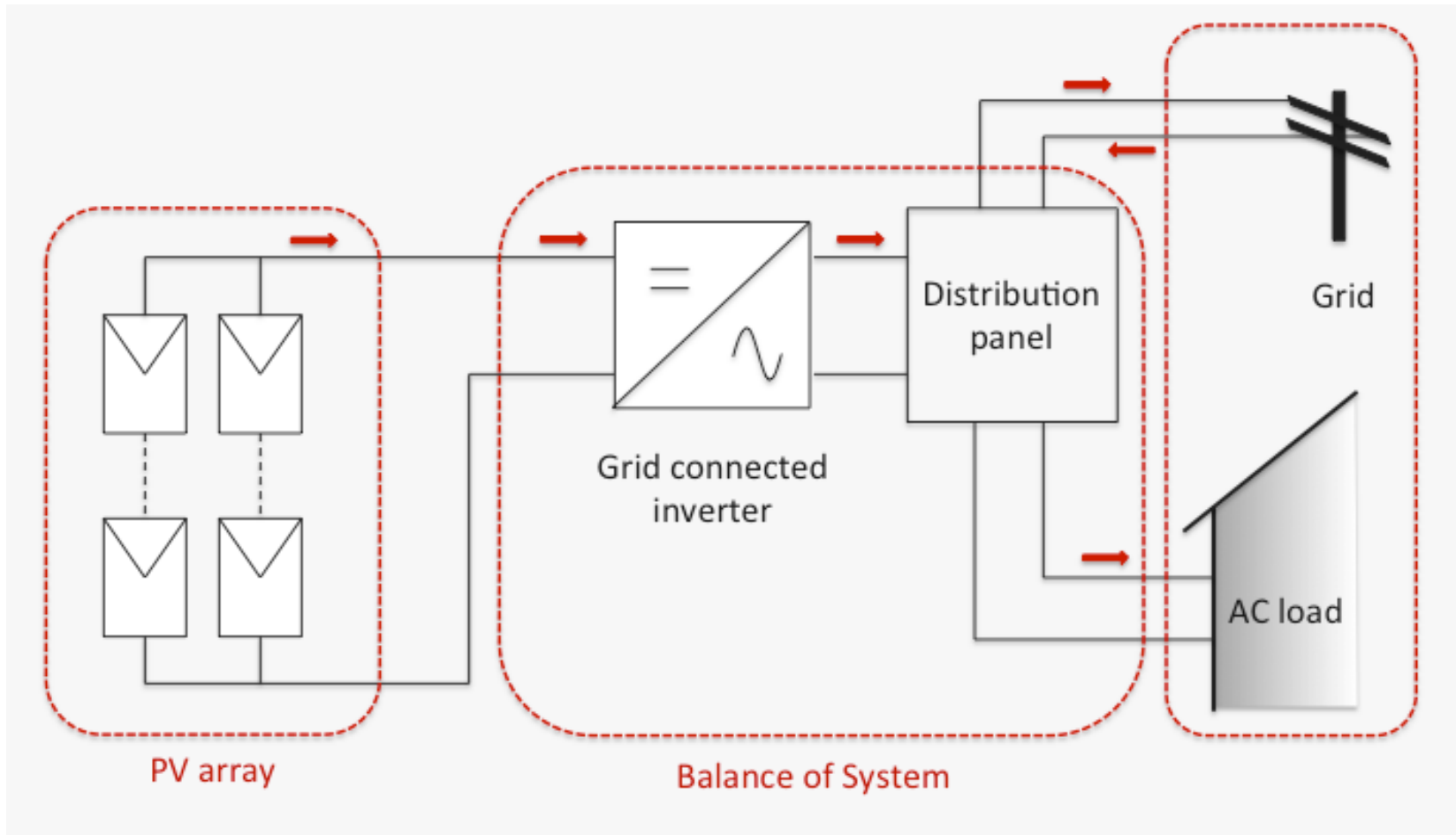
# Temario de este capítulo

- Introducción sistemas fotovoltaicos
- Paneles fotovoltaicos
- Estructura soporte
- Cableado
- Protecciones
- Punto de máxima potencia
- Inversores

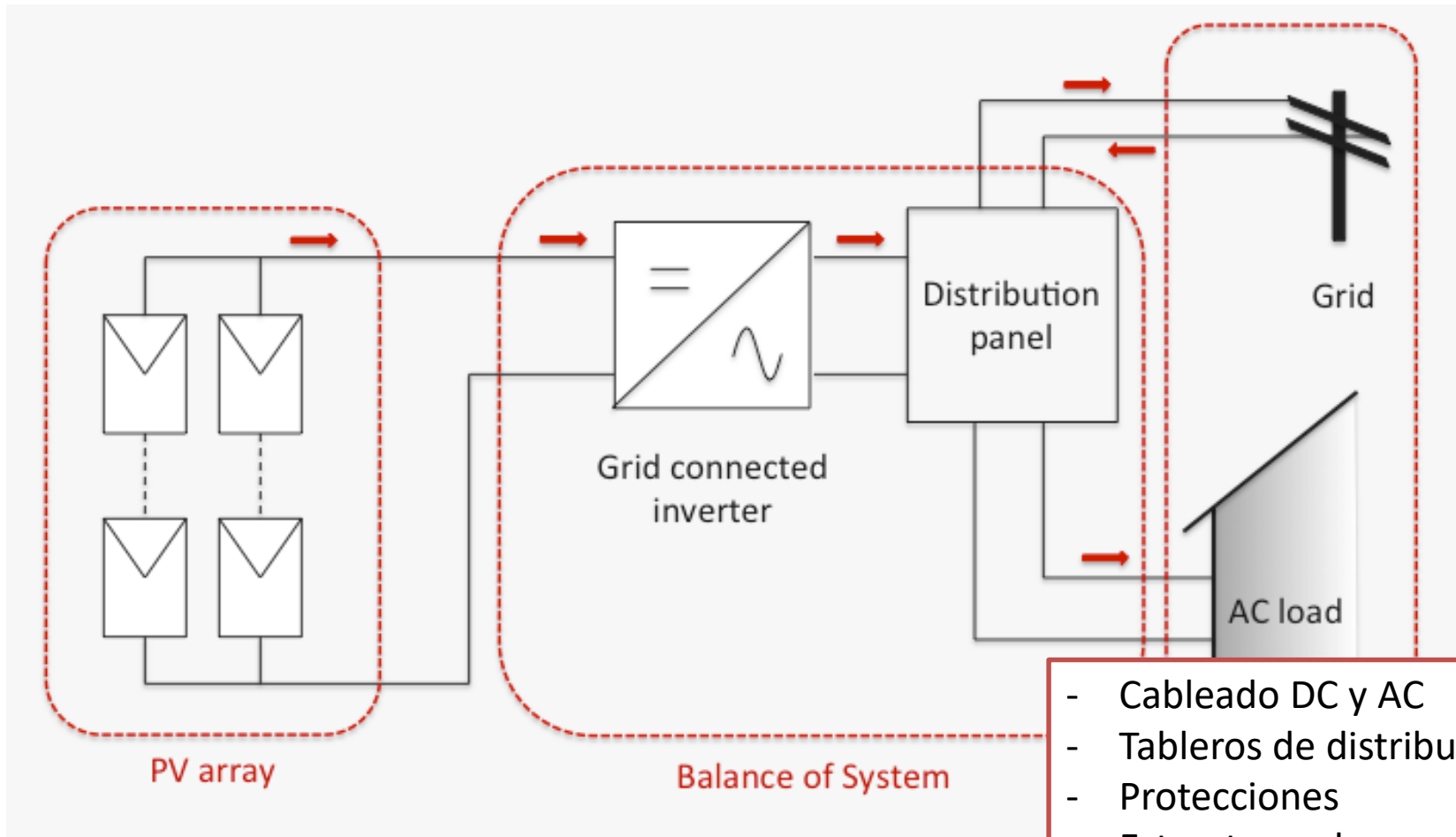
# Sistemas fotovoltaicos



# Sistema FV con conexión a red



# Sistema FV con conexión a red



- Cableado DC y AC
- Tableros de distribución
- Protecciones
- Estructuras de montaje
- Inversores
- Contadores de Energía

# Algunos ejemplos



# Algunos ejemplos



# Algunos ejemplos

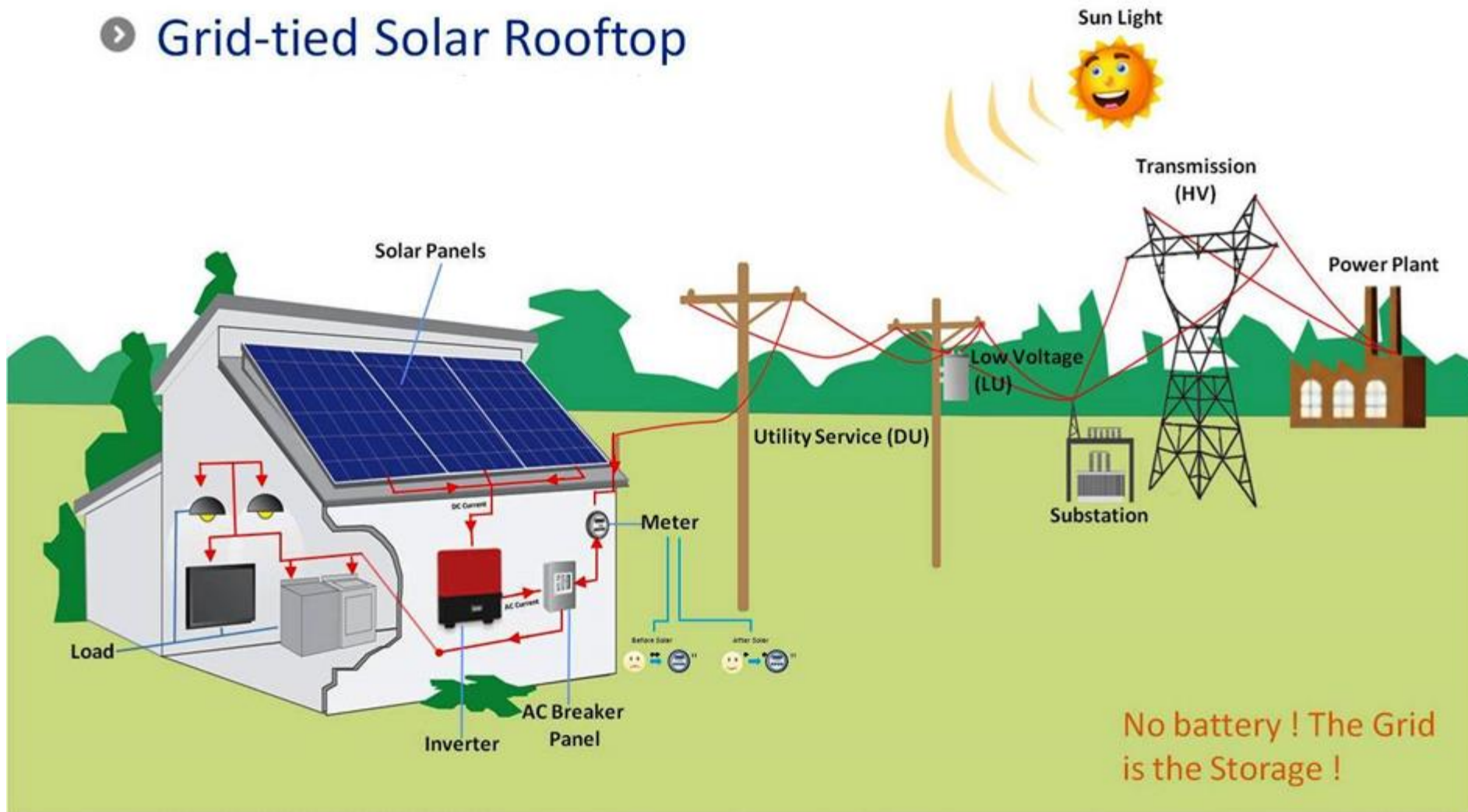




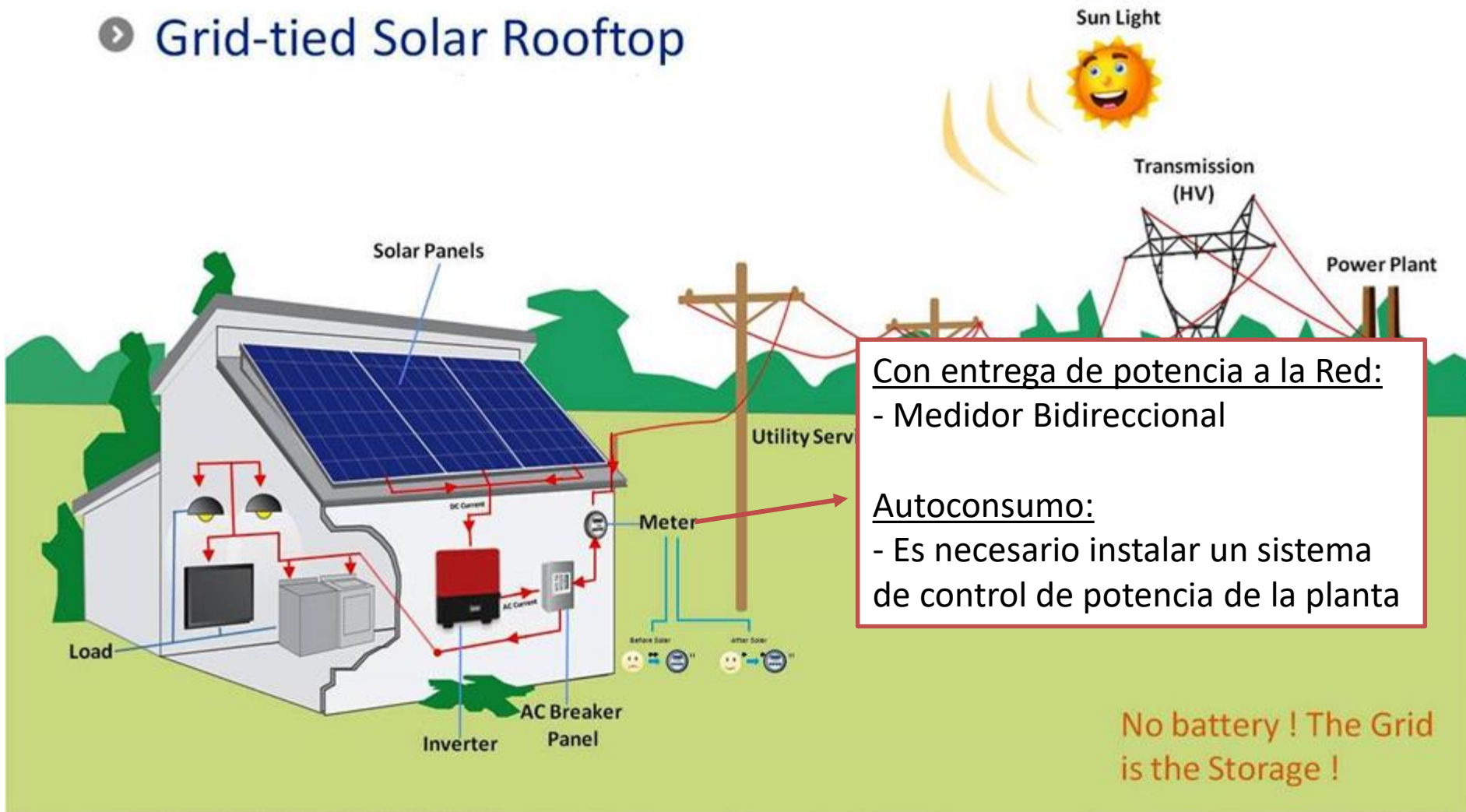
# Algunos ejemplos



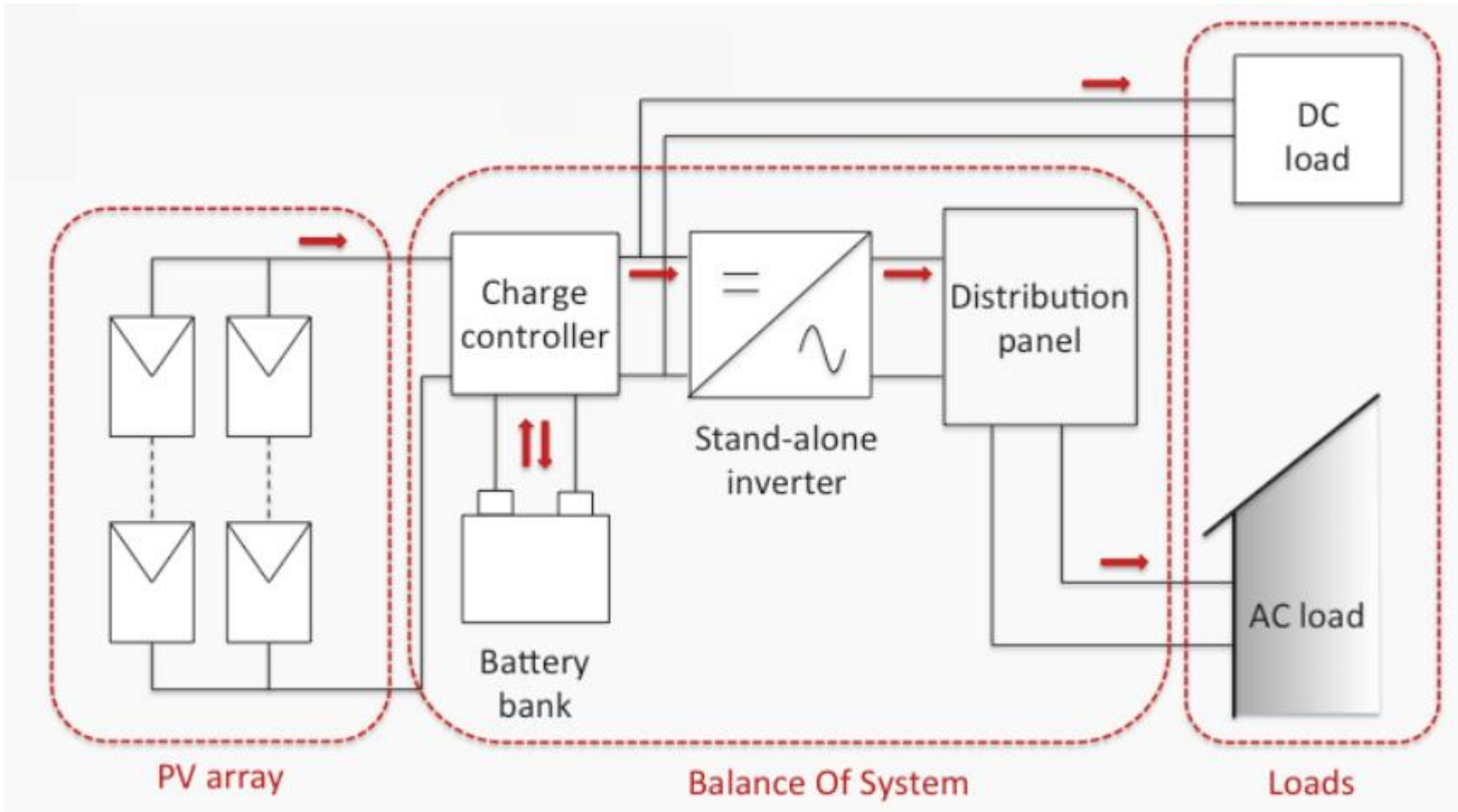
## ➤ Grid-tied Solar Rooftop



## ➤ Grid-tied Solar Rooftop



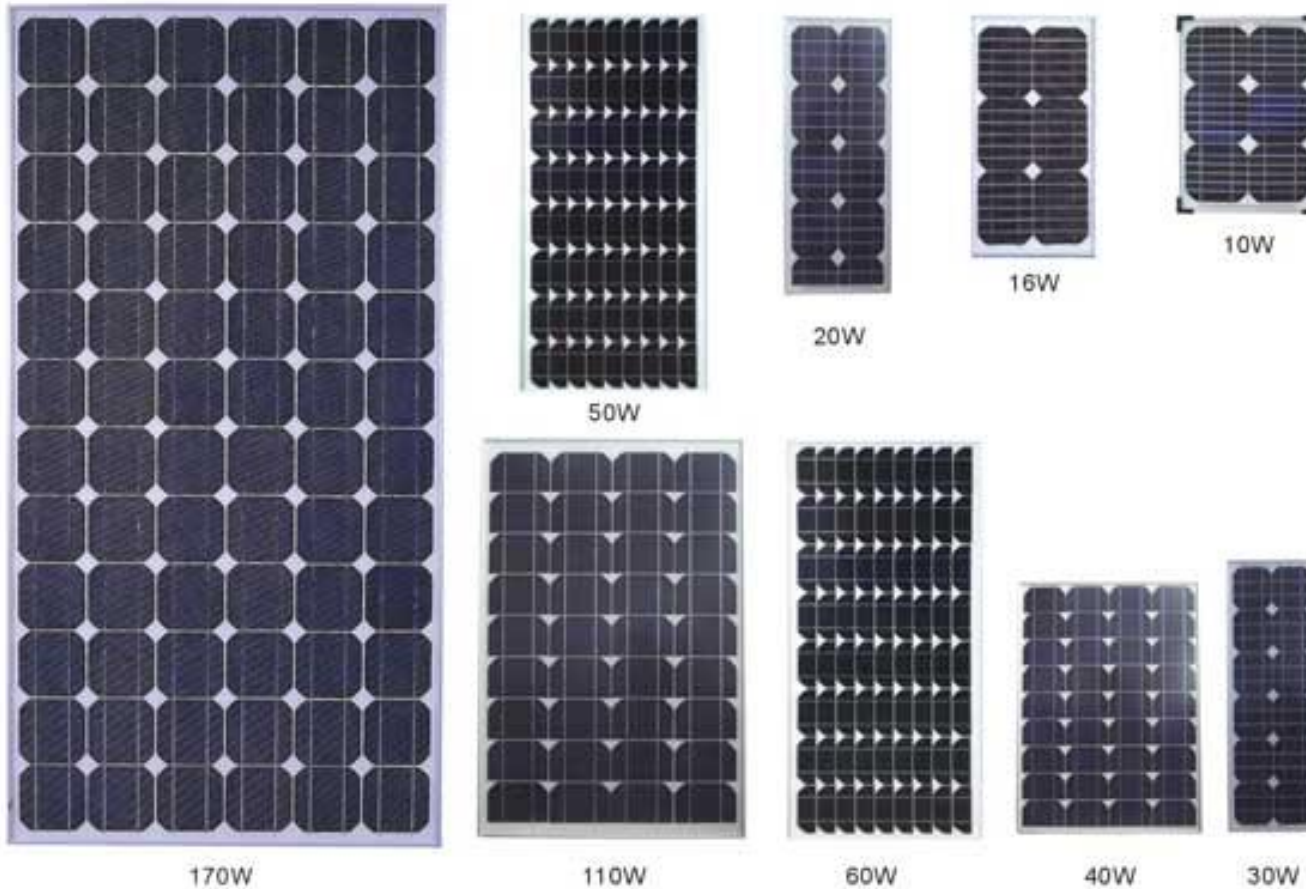
# Sistema FV autónomo



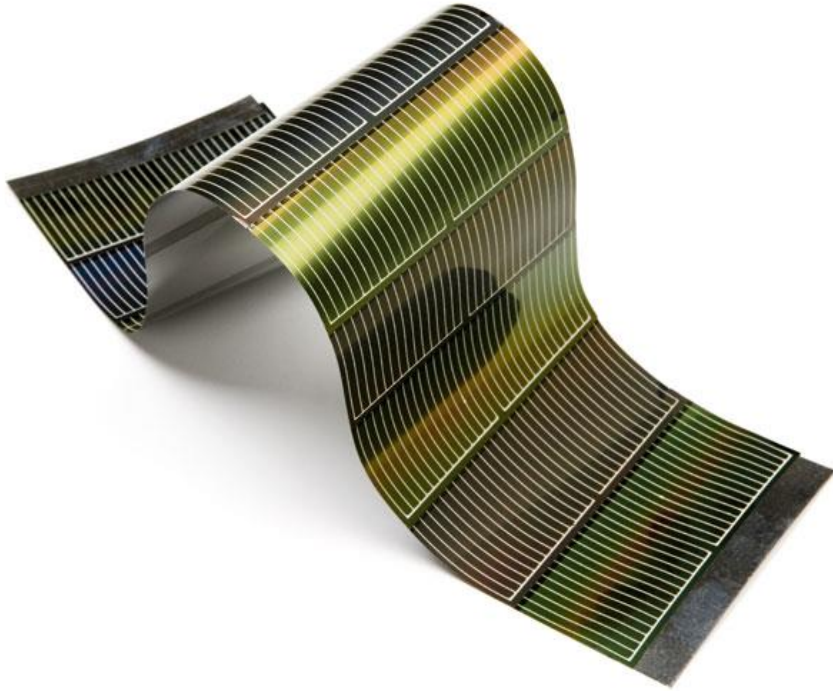
# Algunos ejemplos



# Paneles fotovoltaicos



# Módulo vs. Panel



# Conceptos importantes

Celda. Unidad mínima capaz de, mediante el efecto fotoeléctrico, transformar la radiación solar en energía eléctrica.



Módulo. Conjunto de células unidos en serie y paralelo. Los paneles comerciales suelen estar compuestos de 60 o 72 células.





# Conceptos importantes

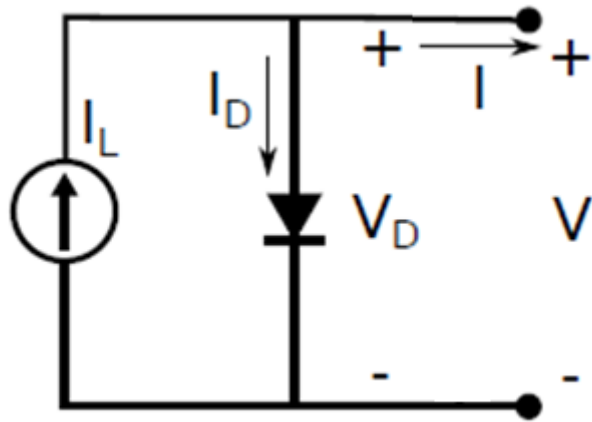
String FV. Compuesto por varios módulos FV dispuestos en serie.



Array FV. Compuesto por varios strings FV dispuestos en paralelo.

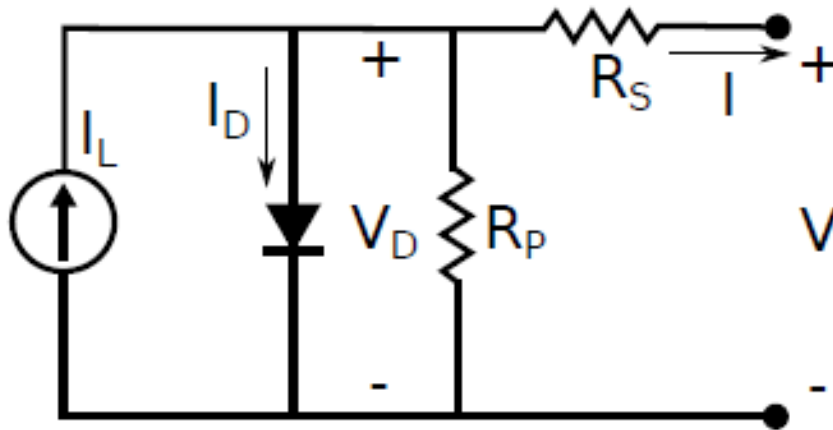


# Modelo eléctrico ideal – celda solar



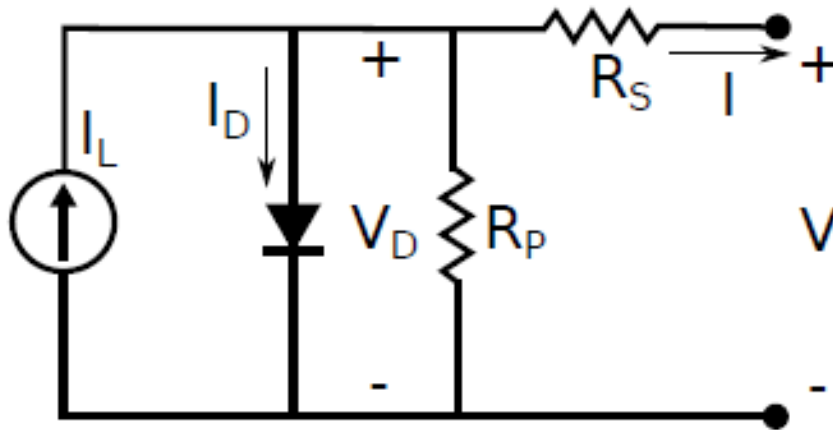
- **Juntura P-N:** Modelada como una fuente de corriente en paralelo con un diodo. El valor de la fuente de corriente depende de la irradiancia que incide en la celda fotovoltaica.

# Modelo eléctrico – celda solar



- **$R_s$ :** Resistencia debida a los contactos metálicos con el semiconductor, a las capas semiconductoras y a la malla de metalización.
- **$R_p$ :** representa las fugas de corriente en los bordes de la célula, los posibles cortocircuitos metálicos y la recombinación favorecida en las fronteras de grano del cristal.

# Modelo eléctrico – celda solar



$$I = I_L - I_D(V_D) - \frac{V_D}{R_P}$$

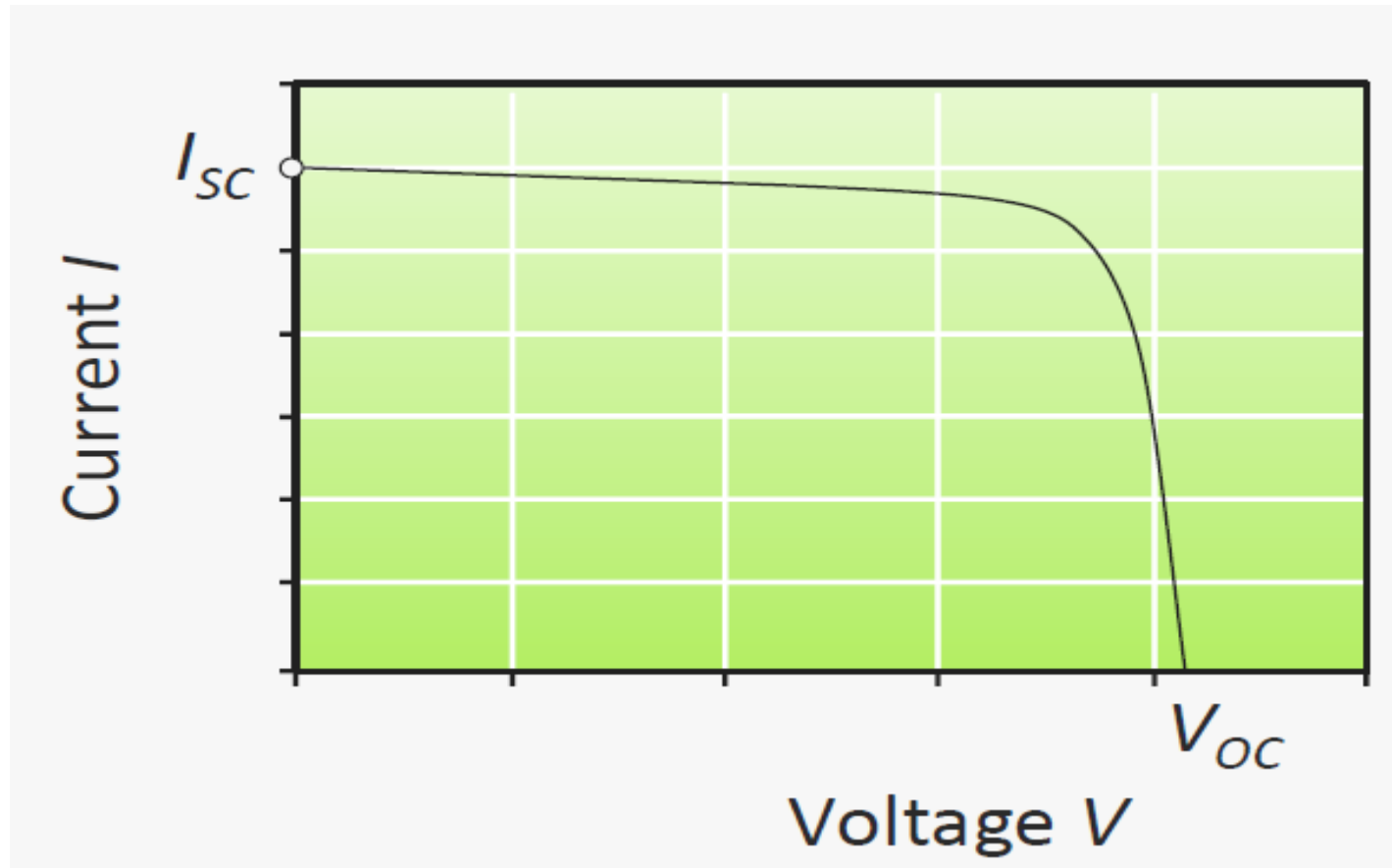
$$I_D(V_D) = I_S \cdot (e^{(V_D/V_{th})} - 1)$$

$$V_{th} = \frac{\bar{m} \cdot k \cdot T}{q}$$

$$I = I_L - I_S \left( e^{(V + I \cdot R_S)/V_{th}} - 1 \right) - \frac{(V + I \cdot R_S)}{R_P}$$

**Ecuación característica – celda solar**

# Curva característica celda PV



# Parámetros fundamentales

- **Isc**: Corriente de corto-circuito
- **Voc**: Voltaje de circuito abierto
- **Impp**: Corriente en el punto de máxima potencia
- **Vmpp**: Voltaje en el punto de máxima potencia

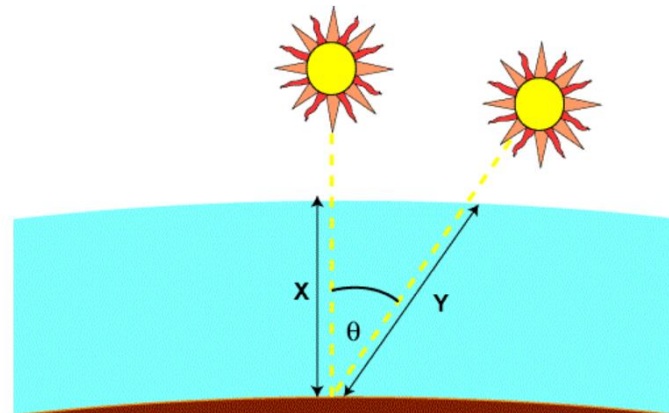


# Parámetros fundamentales

## Condiciones Estándar de Prueba (STC):

- Temperatura de celda de 25 °C
- Irradiancia de 1000 W/m<sup>2</sup>
- Masa de aire espectral de 1,5 (AM 1,5). Es una medida de la distancia que recorre la radiación al atravesar la atmósfera.

$$AM = 1/\cos(\theta)$$



# Parámetros fundamentales

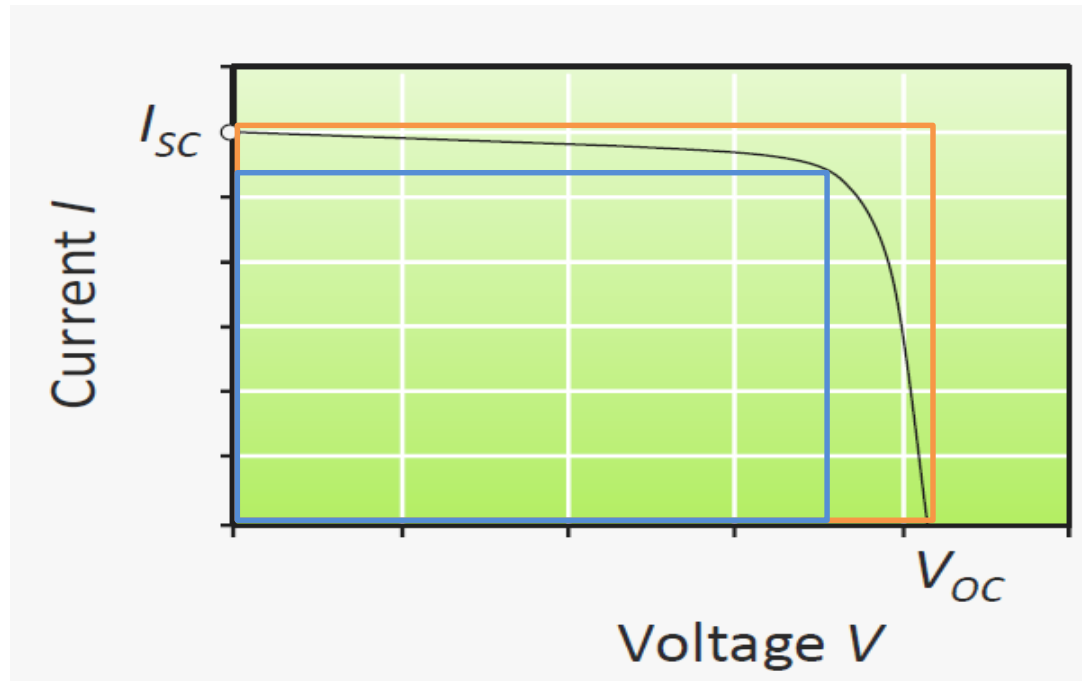
**Eficiencia:**  $\eta = \frac{P_m}{E \times A_c}$

- $P_m$  (en  $W/m^2$ ) – Potencia máxima bajo condiciones (STC)
- $E$  densidad de energía incidente ( $W/m^2$ )
- $A_c$  (en  $m^2$ ) - área superficial de la celda
- STC:  $25\text{ }^\circ\text{C}$  ,  $1000\text{ }W/m^2$  y AM 1,5

## Factor de llenado:

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{\eta \times A_c \times E}{V_{oc} \times I_{sc}}$$



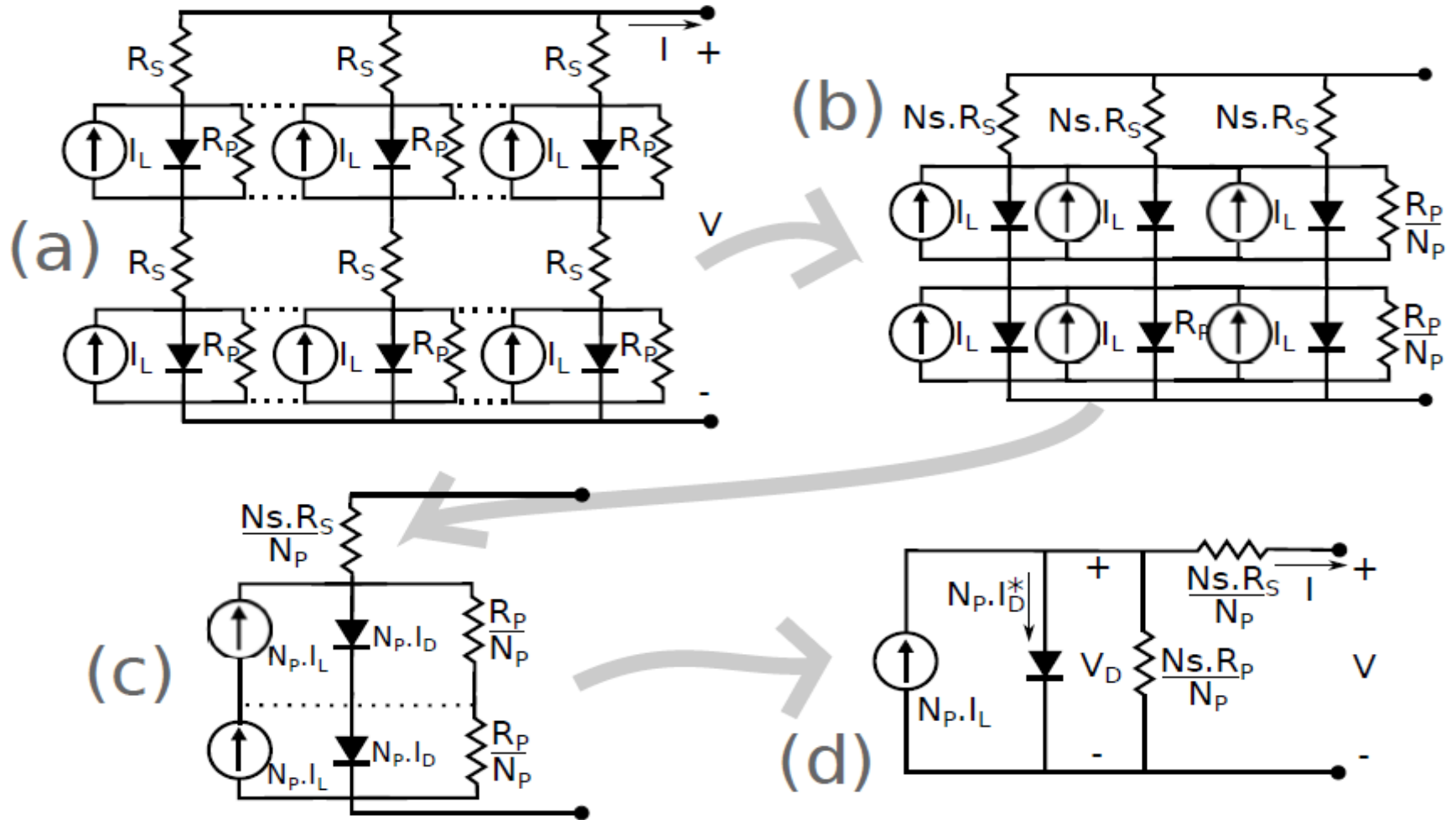


## Factor de llenado:

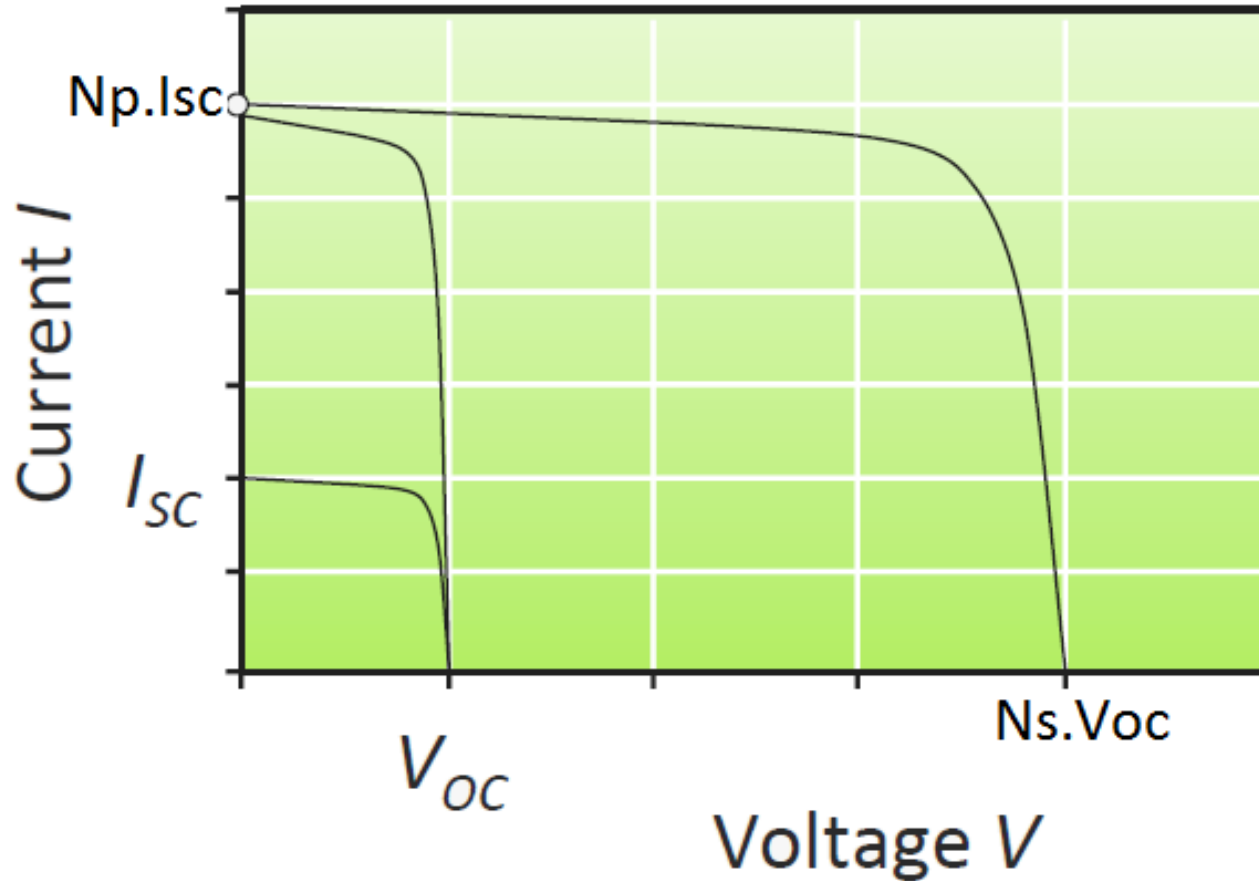
$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{\eta \times A_c \times E}{V_{oc} \times I_{sc}}$$



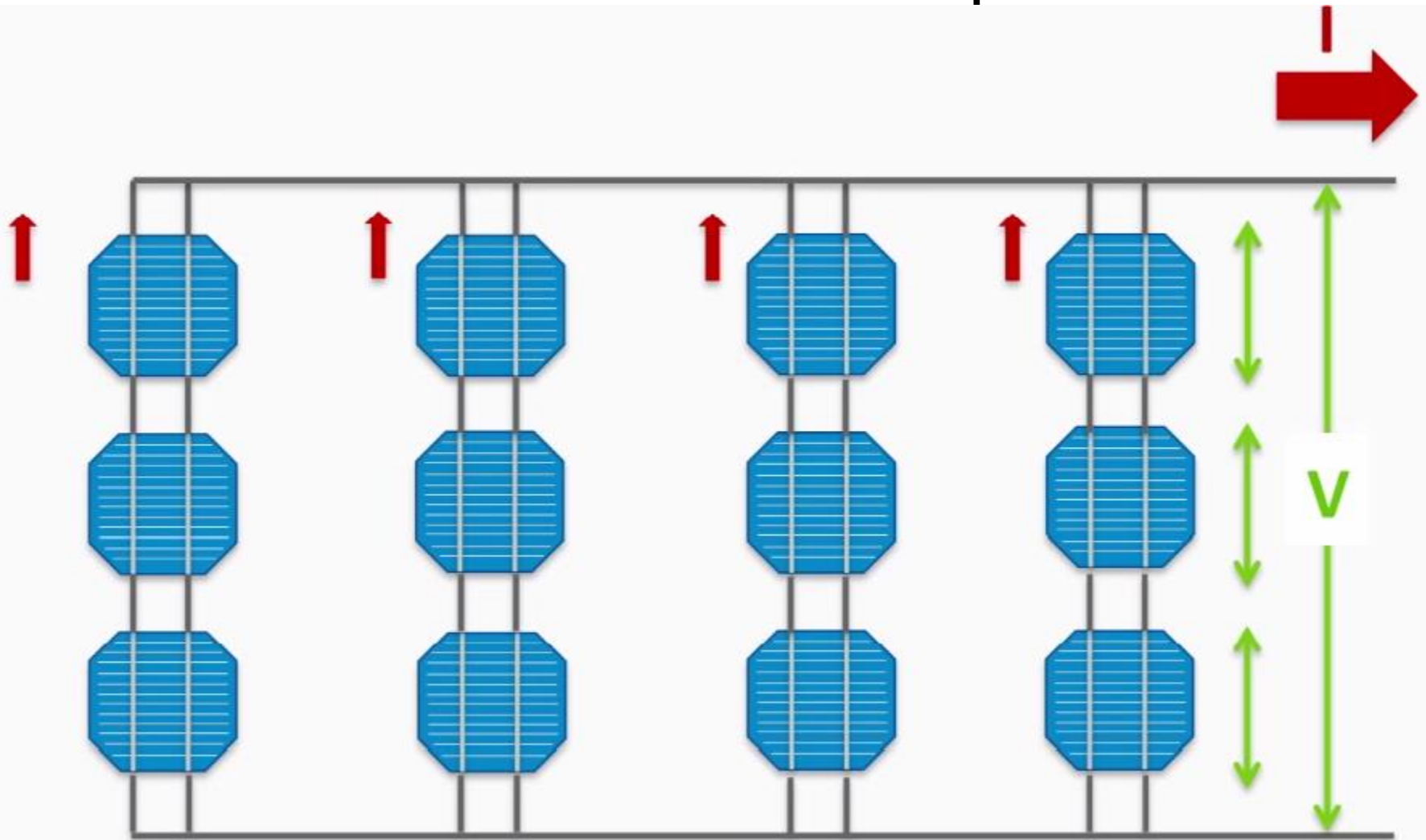
# Modelo eléctrico – panel fotovoltaico



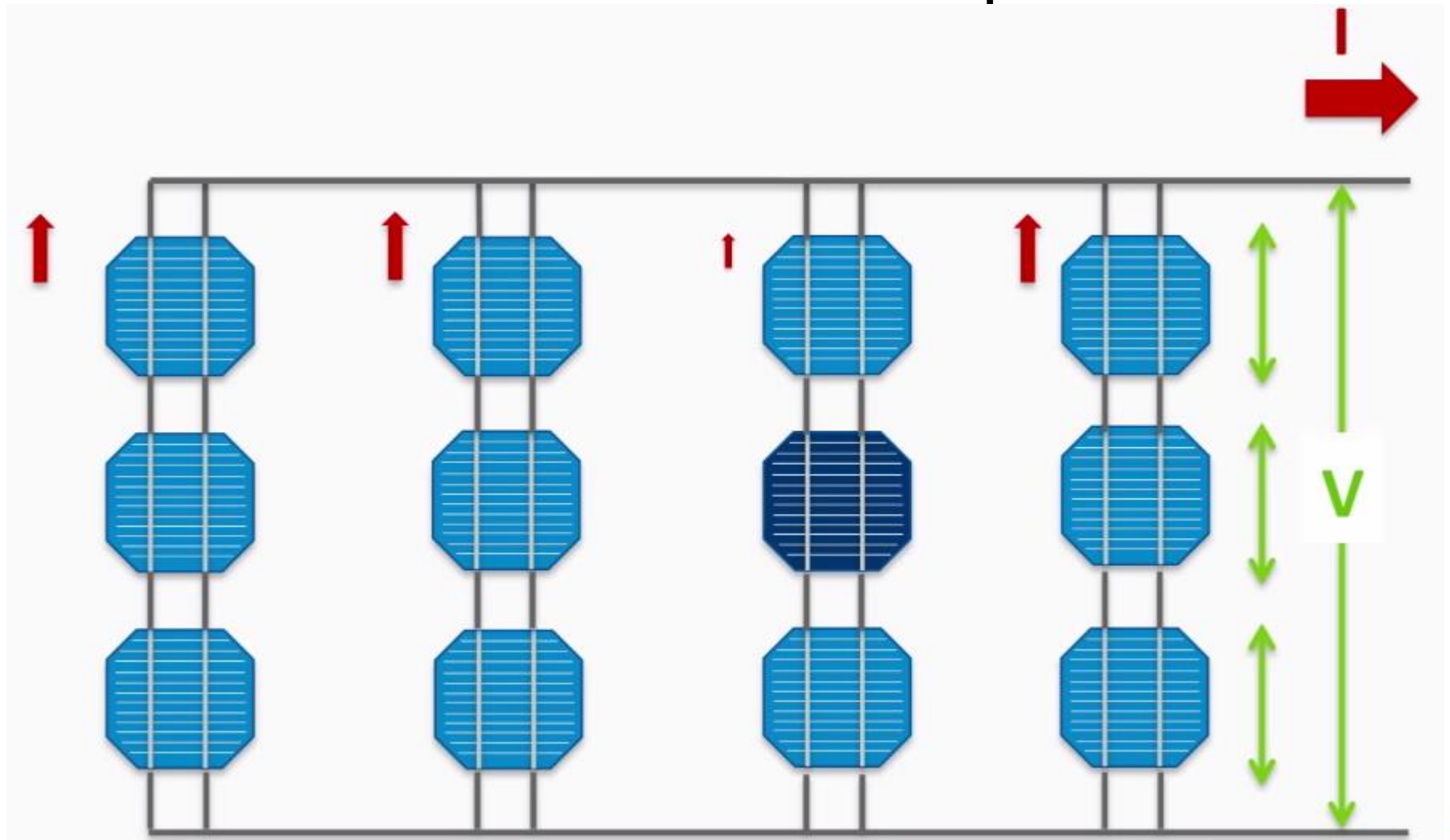
# Cómo cambia la curva característica?



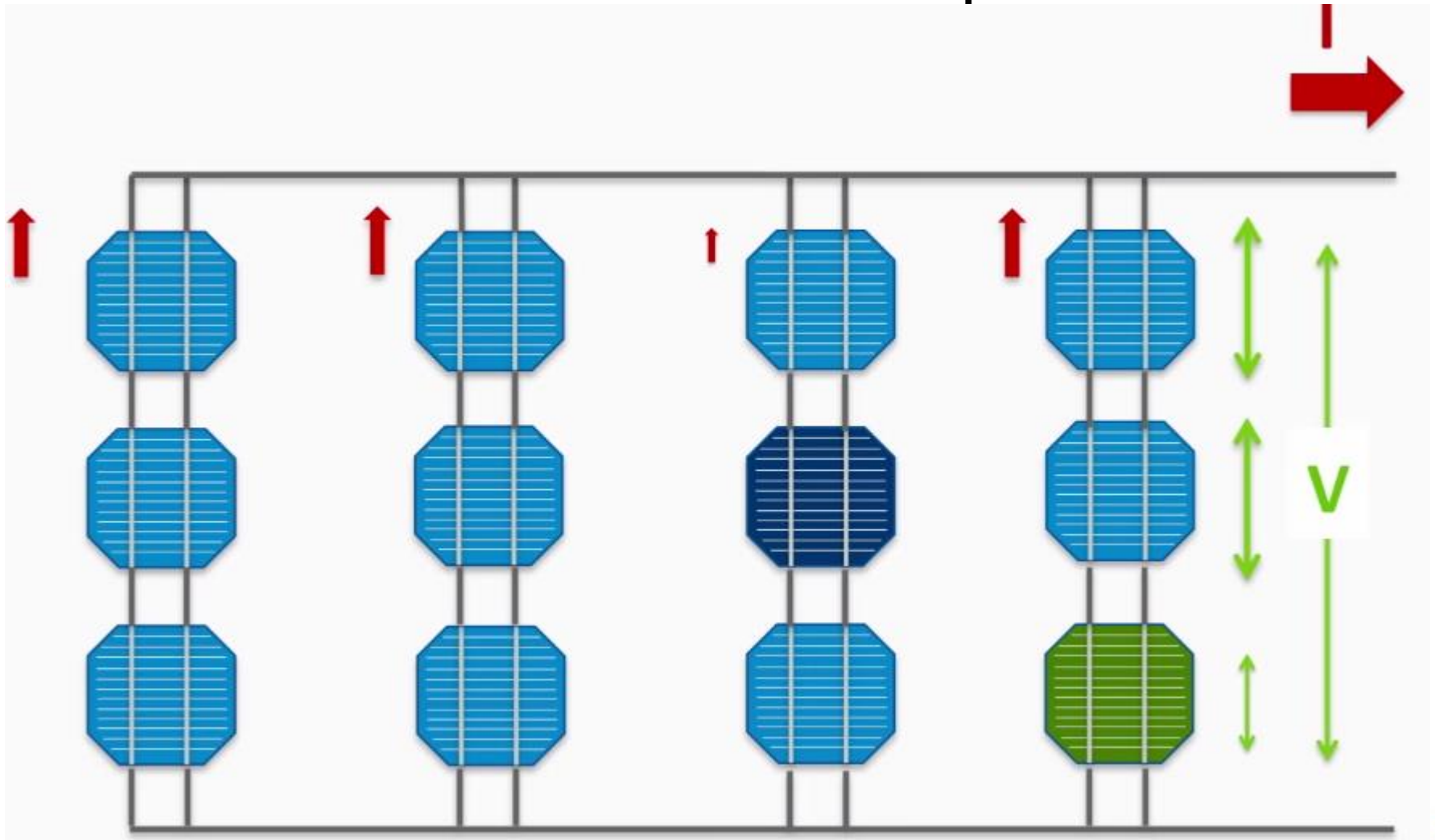
# Cómo se afectan los demás parámetros?



# Cómo se afectan los demás parámetros?



# Cómo se afectan los demás parámetros?



# Cómo se afectan los demás parámetros?

- En conclusión:
  - $FF_{\text{módulo}} < FF_{\text{celda}}$
  - $\eta_{\text{módulo}} < \eta_{\text{celda}}$
- A su vez efectos como sombreado, temperatura o suciedad parcial también van en la misma dirección.



# Tecnologías de celdas fotovoltaicas

- Según sus materiales y método de fabricación
  - **Monocristalinos:** Silicio de alta pureza (método Czochralski)
  - **Policristalinos:** Silicio de menor pureza, muchos cristales
  - **Película delgada:** se fabrica mediante el depósito de una o más capas delgadas de un material fotovoltaico
    - Silicio amorfo (a-Si) y otros silicios de película delgada (TF-Si)
    - Teluro de cadmio (CdTe)
    - Cobre indio galio y selenio (CIS o CIGS)
    - Celdas solares orgánicas.





# Tecnologías de fabricación

## Celdas monocristalinas:

- Mayor eficiencia en condiciones STC. Sirve para reducir el espacio necesario.

## Celdas policristalinas:

- Más baratos, se puede conseguir más energía por el mismo precio.
- A temperaturas elevadas, la pérdida de eficiencia en módulos policristalinos en general es menor que en paneles de celdas monocristalinas.



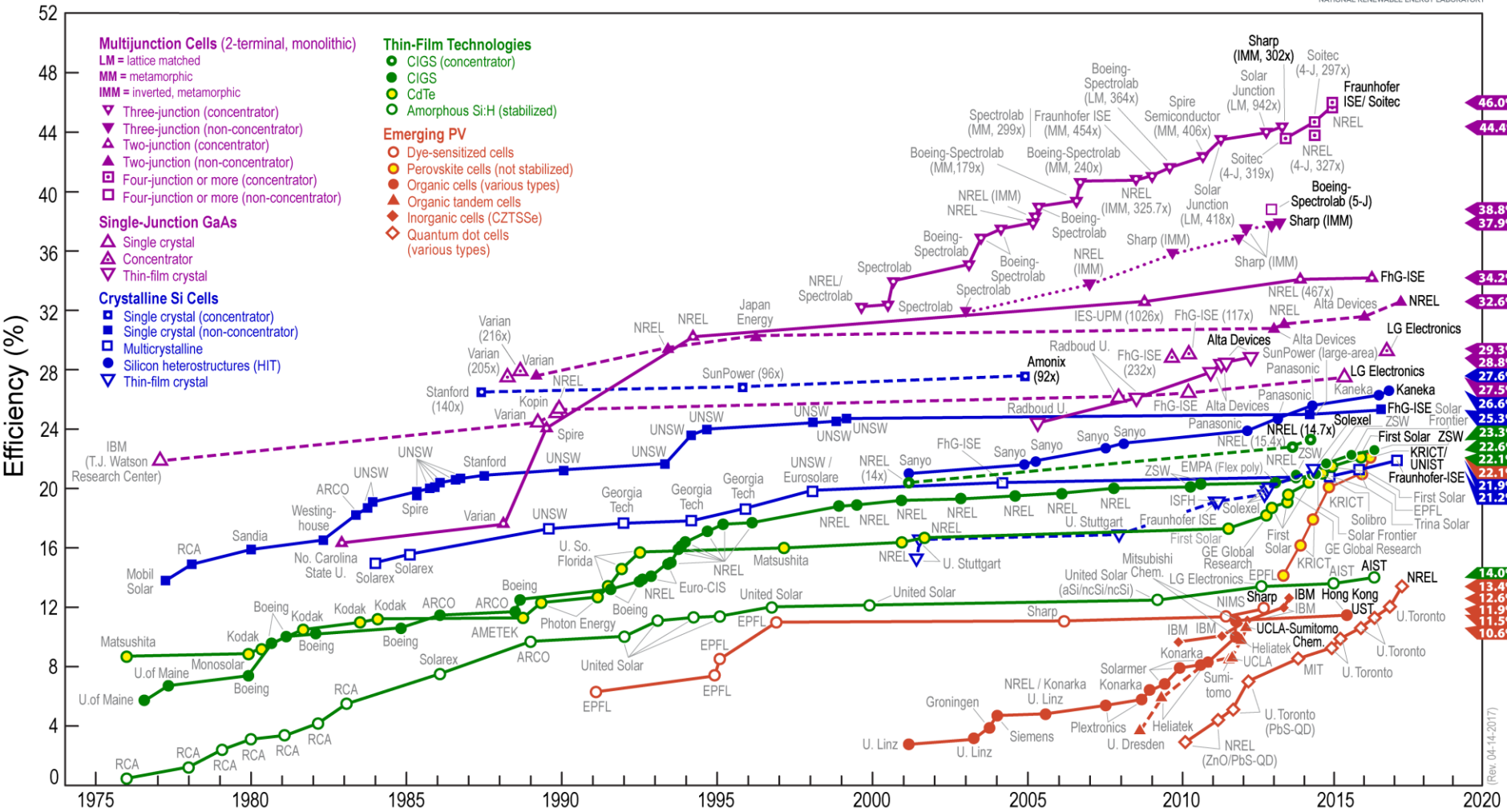
## Silicon Solar Cell Manufacturing Process

[www.cleanenergyreviews.info](http://www.cleanenergyreviews.info)



# Eficiencia de Celdas Fotovoltaicas

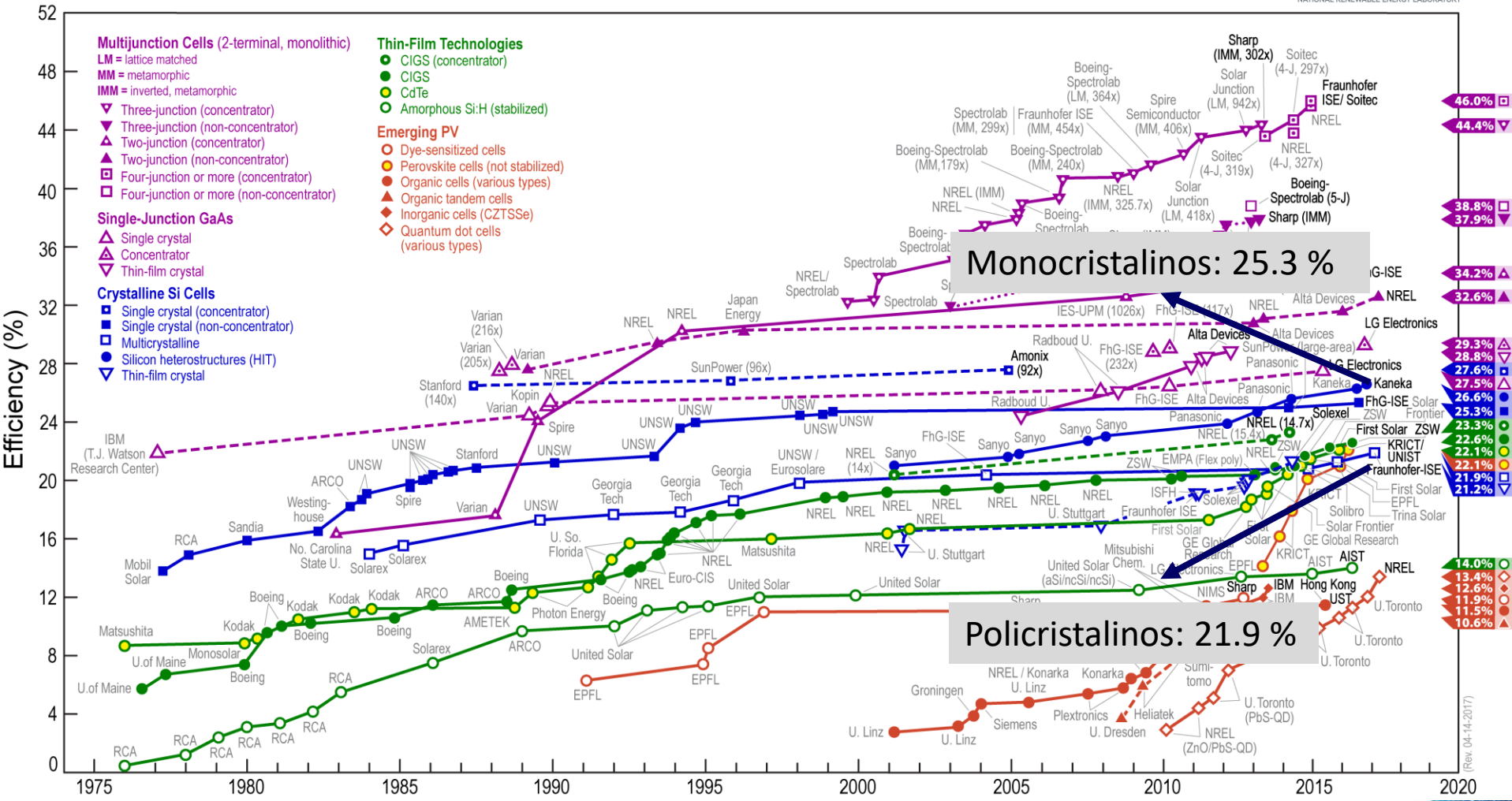
## Best Research-Cell Efficiencies



(Rev. 04-14-2017)

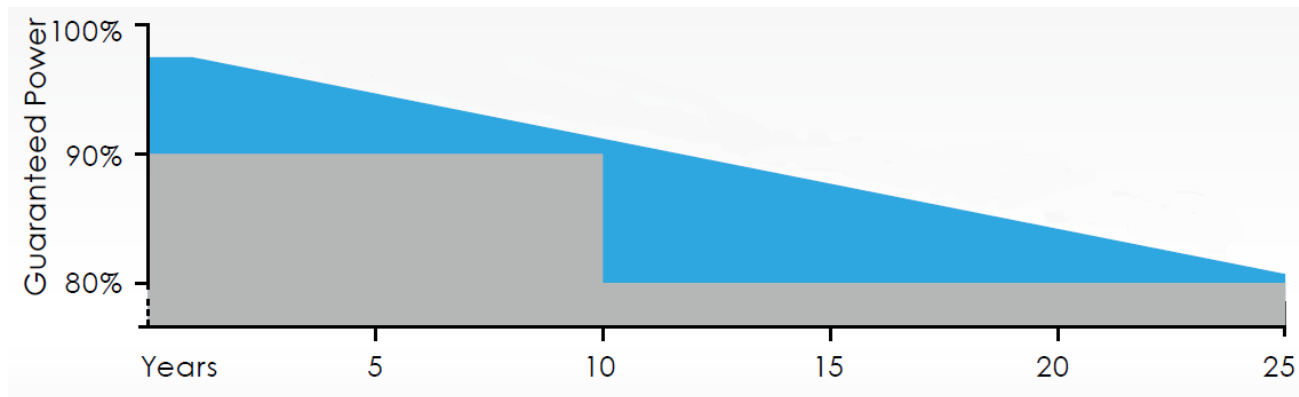
# Eficiencia de Celdas Fotovoltaicas

## Best Research-Cell Efficiencies

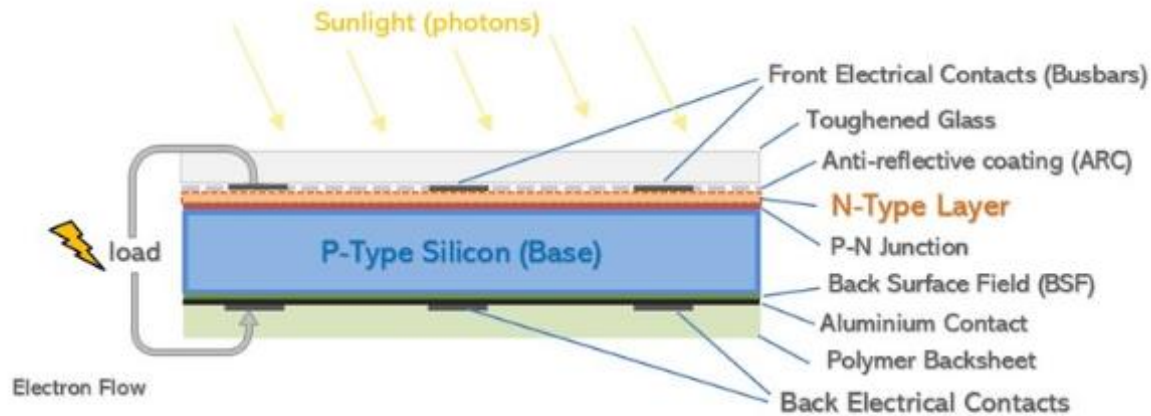


# Vida útil de los Paneles Fotovoltaicos

- Según la experiencia, vida útil mayor a los 30 años sin mantenimiento
- Fabricantes de paneles fotovoltaicos garantizan rendimiento de 80% en 25 años.



# P-Type Solar Cells



Basic construction diagram of a common P-type silicon cell

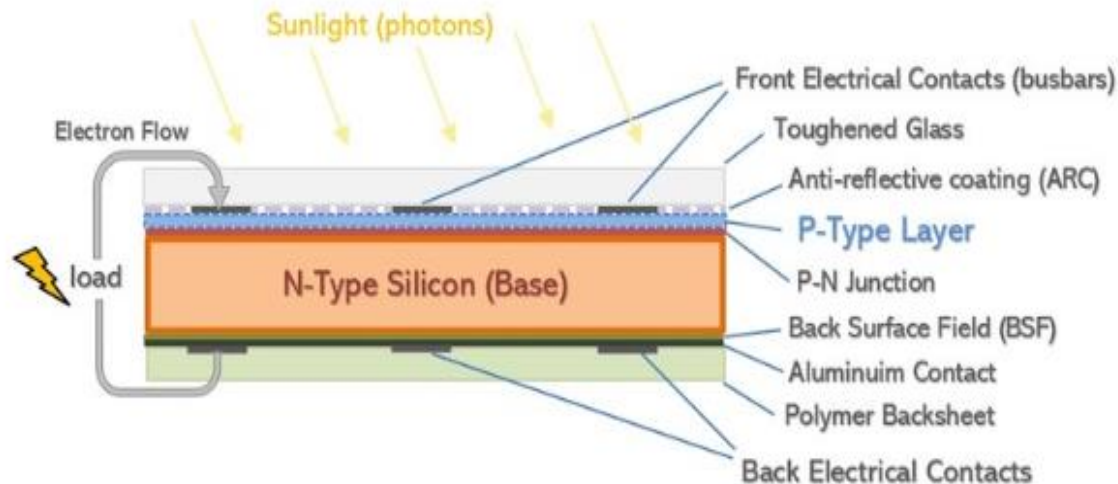
## Ventajas:

1. Menor coste
2. Ampliamente disponibles
3. Alta inmunidad a la radiación

## Desventajas:

1. Sufren el defecto de degradación inducida por la luz (LID)
2. No son tan duraderas como las células solares de tipo N

# N-Type Solar Cells



Basic construction diagram of a more efficient N-type silicon cell

## Ventajas:

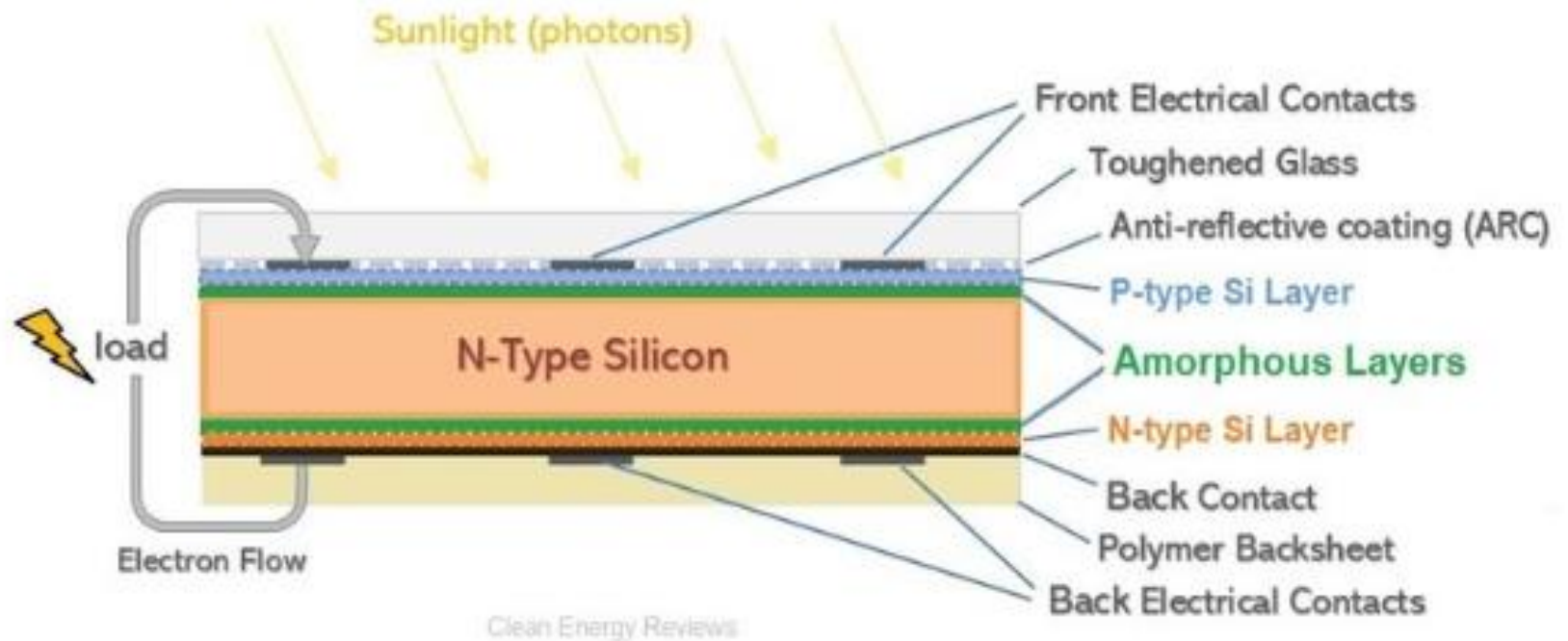
- 1.No están sujetas a la degradación inducida por la luz
- 2.Larga esperanza de vida
- 3.Mayor eficiencia de conversión que las células de tipo P

## Desventajas:

- 1.Más costosas
- 2.Cuota de mercado reducida



# CELDAS HJT (heterojunction)



Basic construction diagram of a N-type Heterojunction or HJT solar cell

# CELDAS PERC

- **PERC = Passivated Emitter Rear Cell**

O lo que es lo mismo, colocar una capa reflectante (Dielectric Layer) para aprovechar al máximo la radiación.

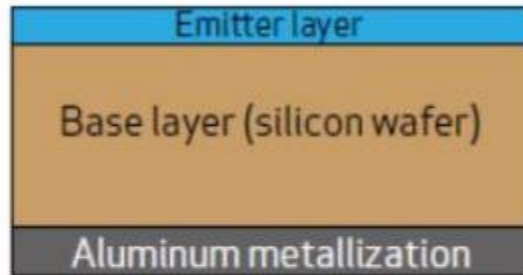
- **Célula fotovoltaica convencional**

- Capa Emisora: Capa de Silicio ubicada en la superficie superior de la célula (zona más expuesta a radiación).
- Capa Base: Capa intermedia de Silicio en contacto con la capa emisora y capa de aluminio.
- Capa trasera: Superficie inferior de aluminio





## CONVENTIONAL CELL



## PERC CELL

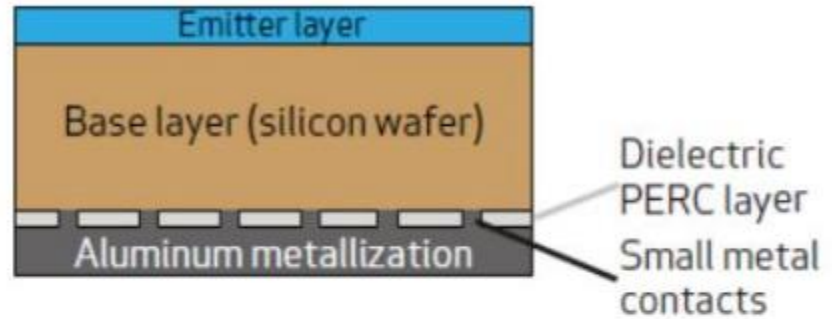
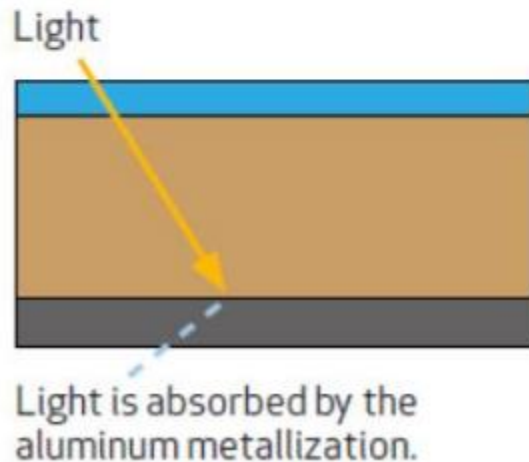
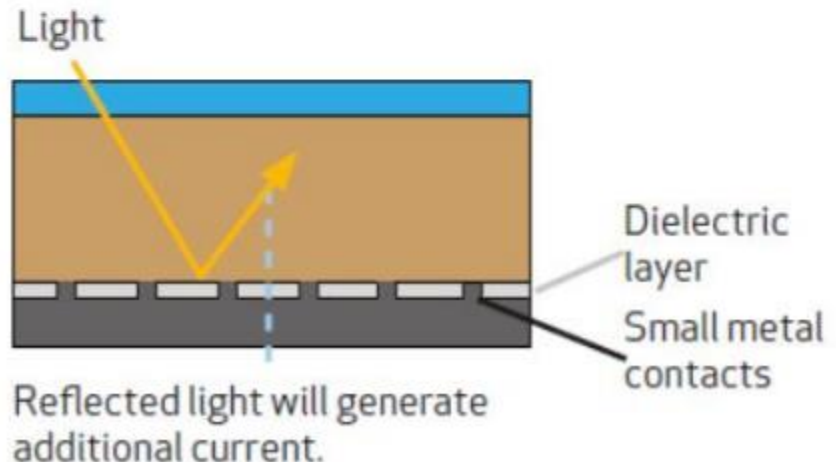


Figura 2: Representación de las distintas capas de una célula convencional y PERC (Fuente: REC)

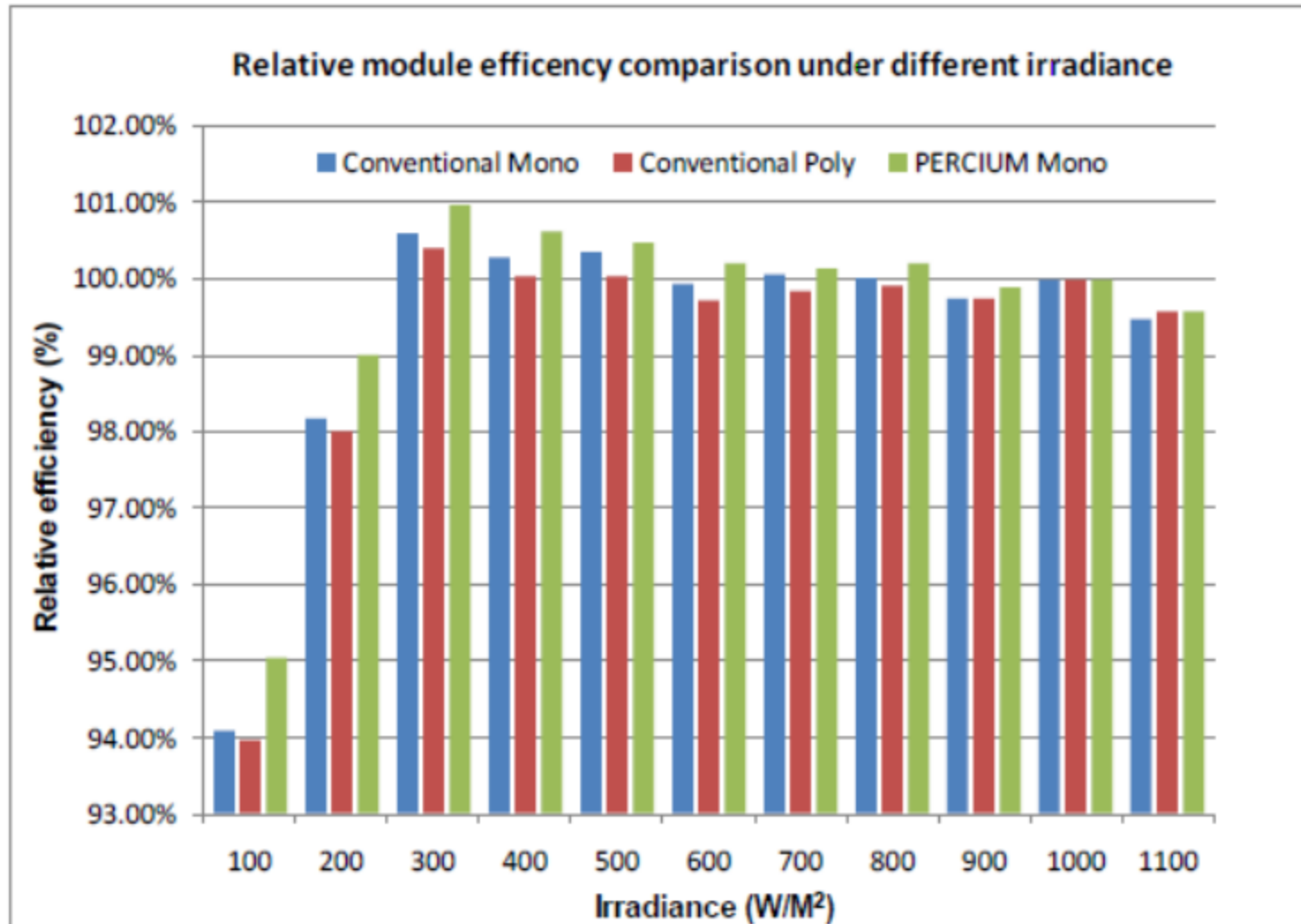
## CONVENTIONAL CELL



## PERC CELL



# Ventajas de los módulos PERC



# Ventajas de los módulos PERC

- Reflejo de longitudes de onda superiores a la infrarroja que no producen energía enviándolas fuera del panel y evitando aumento de temperatura.
- Material dieléctrico evita que los electrones puedan “escaparse” hacia la capa de aluminio, permitiendo mayor circulación entre capa base y emisora de Si.
- **MAYOR PRODUCCIÓN CON IRRADIANCIA BAJA**
- **MENOR COEFICIENTE DE TEMPERATURA**



# Paneles Bifaciales



# Paneles Bifaciales

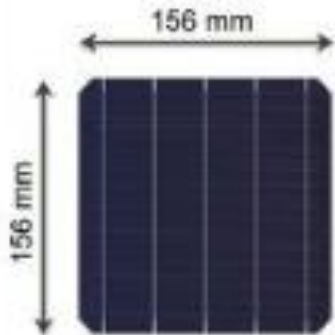
- Los módulos bifaciales producen energía solar desde ambos lados del panel.
- Mientras que los paneles tradicionales opacos de lámina posterior son monofaciales, los módulos bifaciales exponen tanto la parte frontal como la parte posterior de las celdas solares.
- Cuando los módulos bifaciales se instalan en una superficie altamente reflectante (como un techo blanco o en el suelo con piedras de colores claros), algunos fabricantes de módulos bifaciales reclaman un aumento del 30% en la producción solo por la potencia adicional generada desde la parte posterior.



# Half Cut Cells

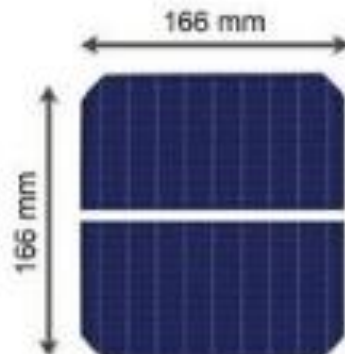


## New Solar PV Cell Formats



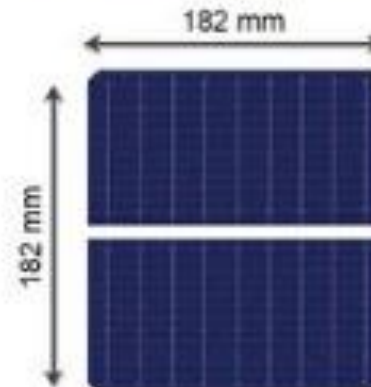
156 mm

Introduced 2012



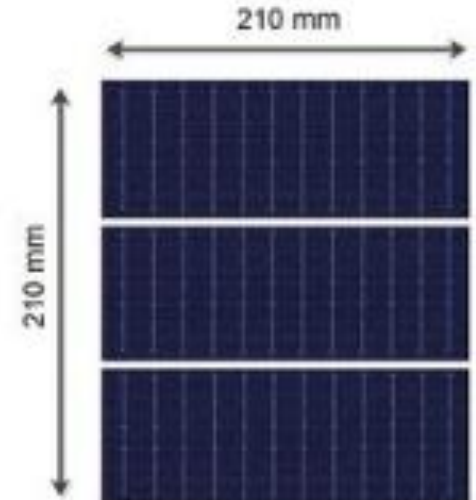
166 mm  
Half-cut

New cell size 2019



180 - 182 mm  
Half-cut

New cell sizes in 2020



210 mm  
Third-cut

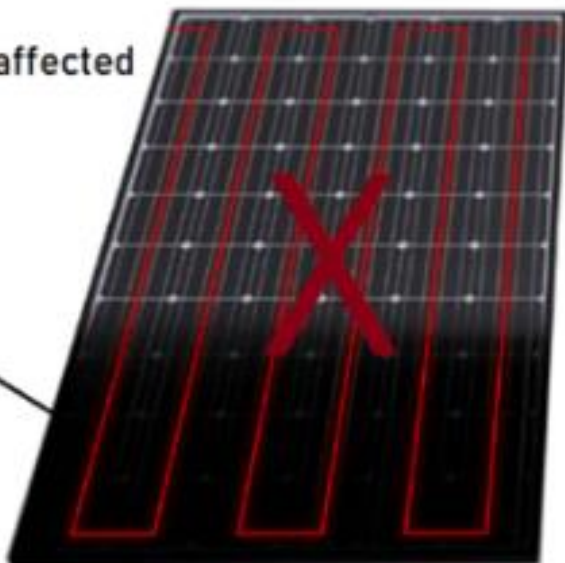
# Tolerancia al sombreado



Split-cell Panels improve performance when partially shaded

Whole panel affected by shading

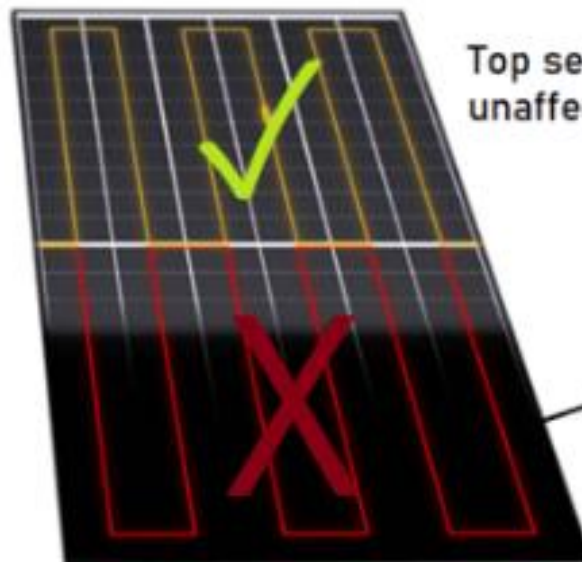
Partial shading



Standard 60-cell panel

Top section of panel unaffected by shading

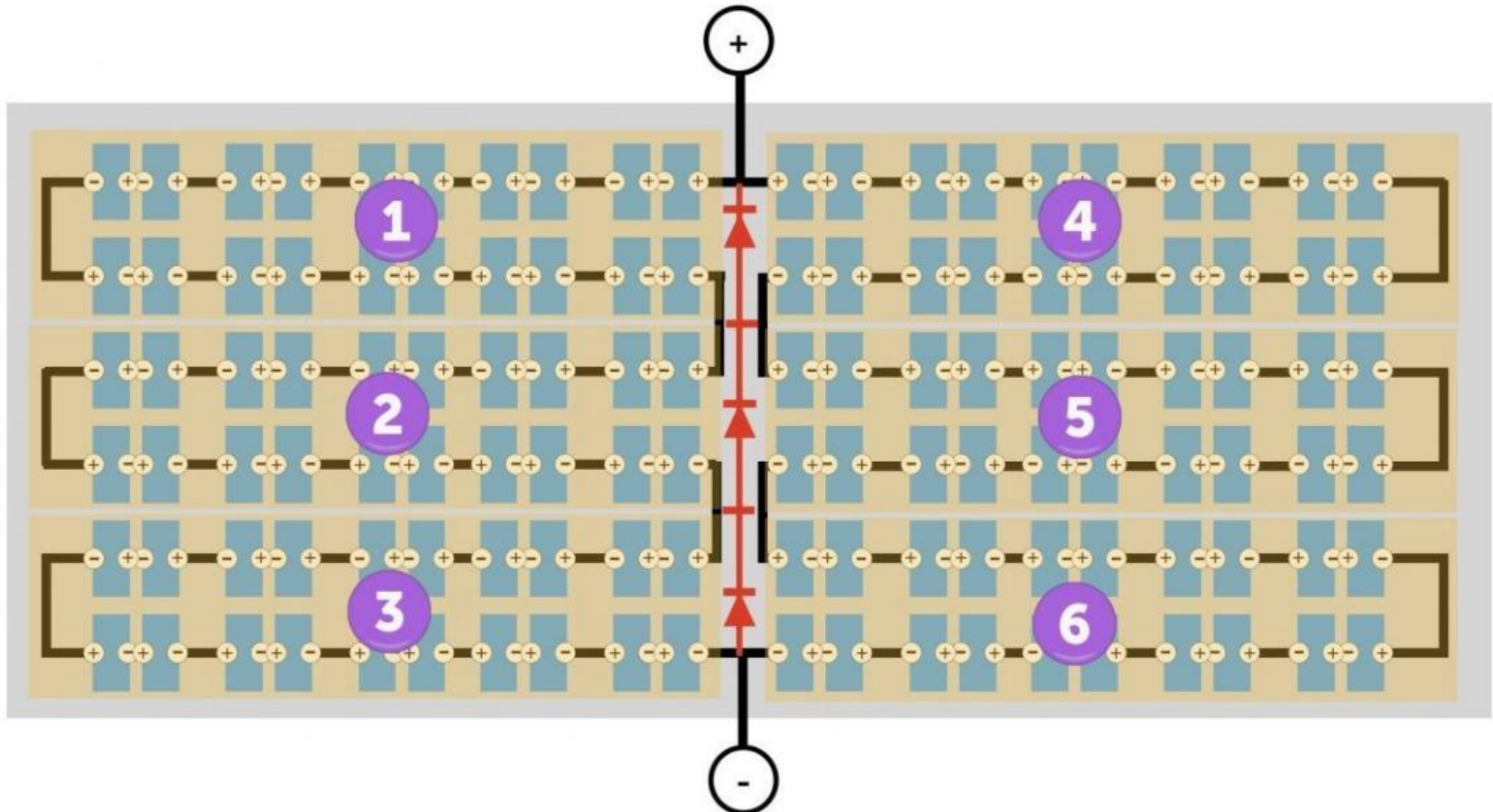
Partial shading



Half-cut 120-cell panel



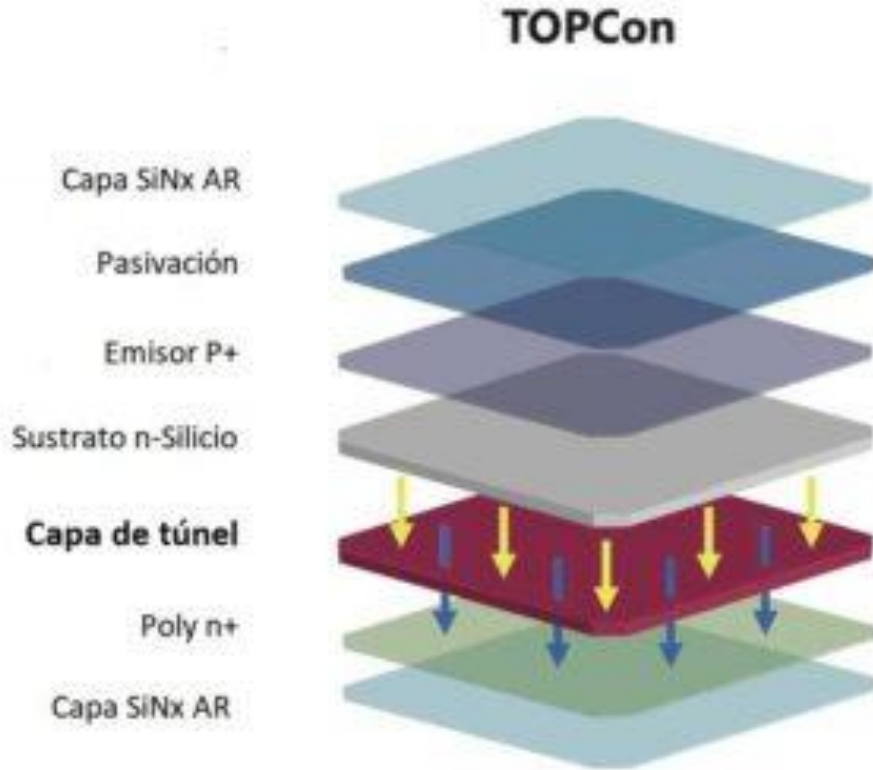
# Esquema conexión Half-cut cells



Esquema cableado interior Placa Solar con tecnología Half Cell.  
Hay 6 filas separadas de celdas conectadas en paralelo



# Celdas TOPCon



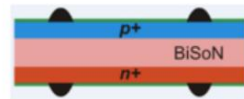
Las TOPCon (abreviatura de 'Tunnel Oxide Passivated Contact') son [células solares tipo-n](#) que constan de una oblea de silicio de tipo-n, con una difusión de boro en la parte delantera y un TOPCon de área completa en la parte trasera.

Esa capa que introduce en la célula solar la tecnología TOPCon le reporta una serie de ventajas. Una mayor eficiencia, una tasa de degradación más baja y un mejor comportamiento en climas cálidos, son algunas de ellas.

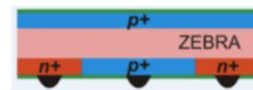
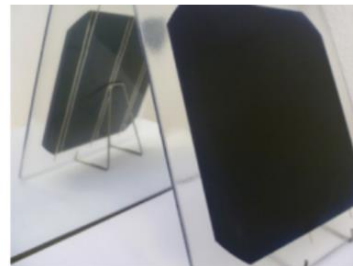


# Celdas IBC

- Las células IBC son una tecnología de alta eficiencia que reubica los contactos metálicos de la parte frontal y los traslada a la parte trasera de la célula. Esta tecnología soluciona el problema de sombreado de los contactos metálicos de la superficie activa de las células solares convencionales y mejoran la cantidad de luz solar aprovechable para la generación de electricidad.



21.5%  
(a)



23.0%  
(b)

- Sin embargo el complejo proceso de fabricación de las células IBC conlleva unos costes de producción más elevados y en consecuencia en un precio más elevado de estos paneles en comparación con otras tecnologías como PERC, HJT o TOPCon.



## Solar Cell Type And Efficiency \*



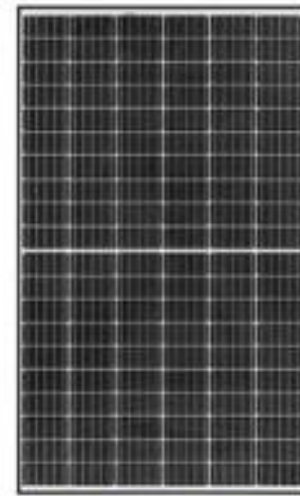
Poly PERC  
16 - 17%



Mono PERC  
17 - 19%



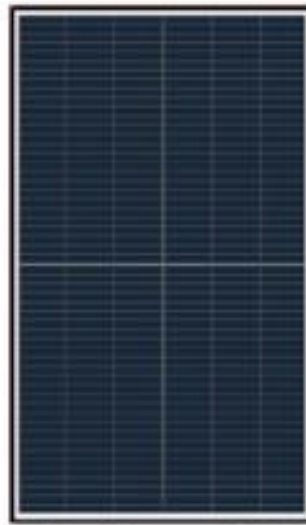
Shingled mono cells  
18 - 20%



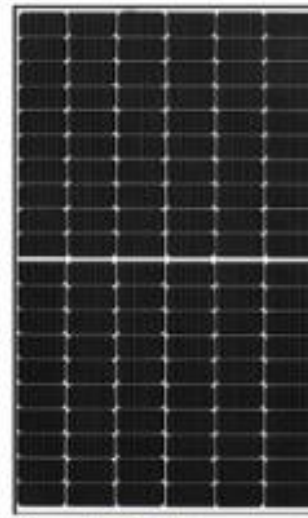
Half-cut mono PERC  
18 - 20%



Half-cut mono PERC MBB  
19 - 20.5%














Shingled mono PERC  
19 - 20.5%













Half-cut MBB heterojunction  
20 - 22%



N-type IBC  
20 - 23%

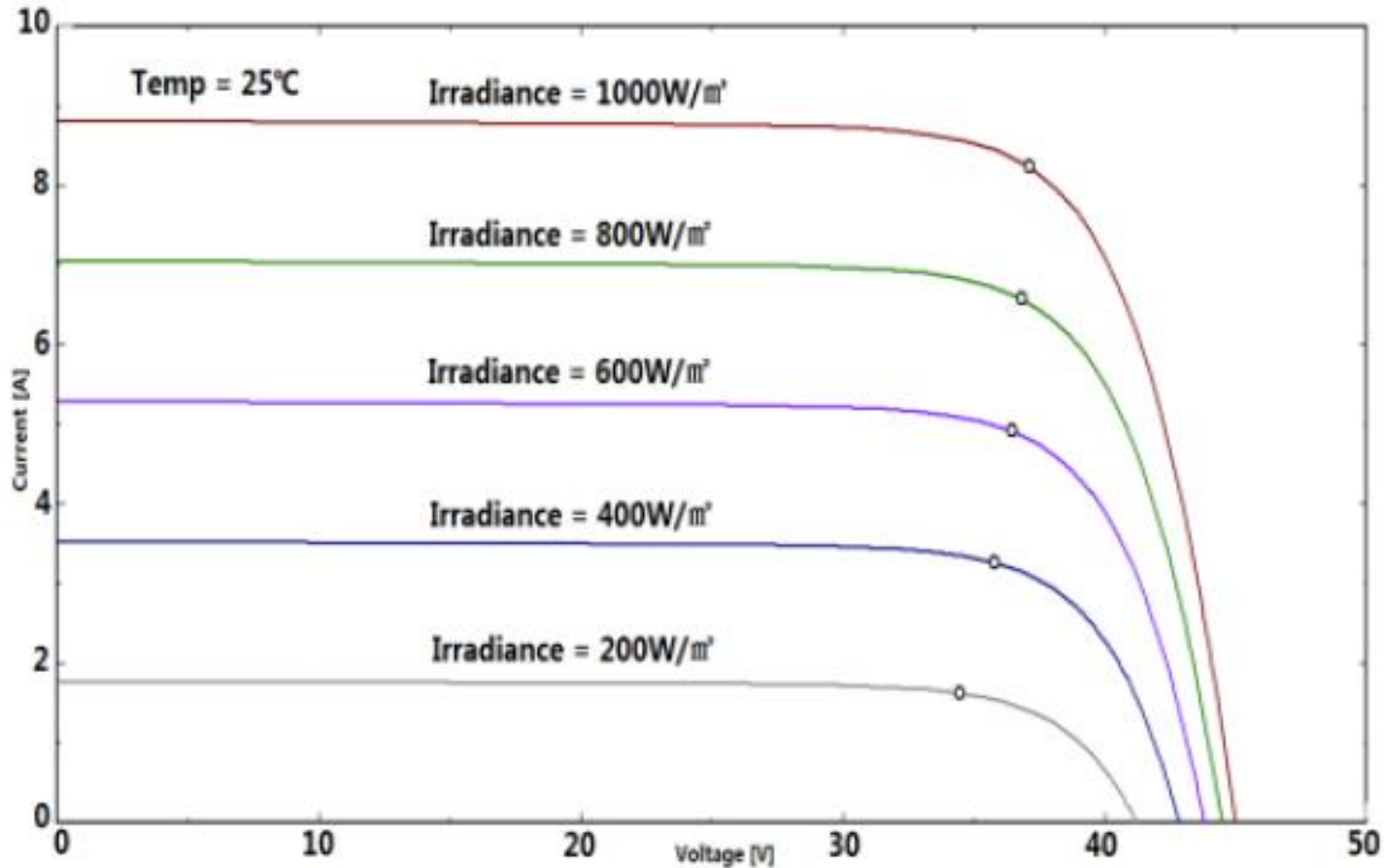
Manufacturer	Model	Power Rating	Cell Technology	Efficiency
 <b>AIKO</b>	Neostar 3N54	485W	N-Type <b>ABC</b> (Back Contact)	<b>24.3 %</b>
 <b>maxeon</b>	Maxeon 7	445W	N-Type <b>IBC</b> (Back-contact)	<b>24.1 %</b>
 <b>AIKO</b>	Neostar 2P	475W	N-Type <b>ABC</b> (Back Contact)	<b>23.8 %</b>
 <b>RECOM</b> TECHNOLOGIES	Black Tiger Series	460W	N-Type <b>TOPcon</b> (Back Contact)	<b>23.6 %</b>
 <b>AEG</b>	BC Premium	460W	N-Type <b>ABC</b> (Back Contact)	<b>23.6 %</b>
 <b>LONGI Solar</b>	Hi-MO 6 Scientist	455W	N-Type <b>HPBC</b> Hybrid Back Contact	<b>23.3 %</b>
 <b>HUASUN</b>	Himalaya G12R	450W	N-Type <b>HJT</b>	<b>23.0 %</b>
 <b>CanadianSolar</b>	TOPHiKu6	470W	N-Type <b>TOPcon</b>	<b>23.0 %</b>
 <b>Jinko</b> Solar	Tiger NEO 54HL4R	460W	N-Type <b>TOPcon</b>	<b>23.0 %</b>
 <b>WINAICO</b>	WST-NGX-D3	450W	N-Type <b>TOPcon</b>	<b>23.0 %</b>
<b>Philadelphia Solar</b>	Nexus Series	450W	N-Type <b>TOPcon</b>	<b>23.0 %</b>
 <b>TrinaSolar</b>	Vertex S+	455W	N-Type <b>TOPCon</b>	<b>22.8 %</b>



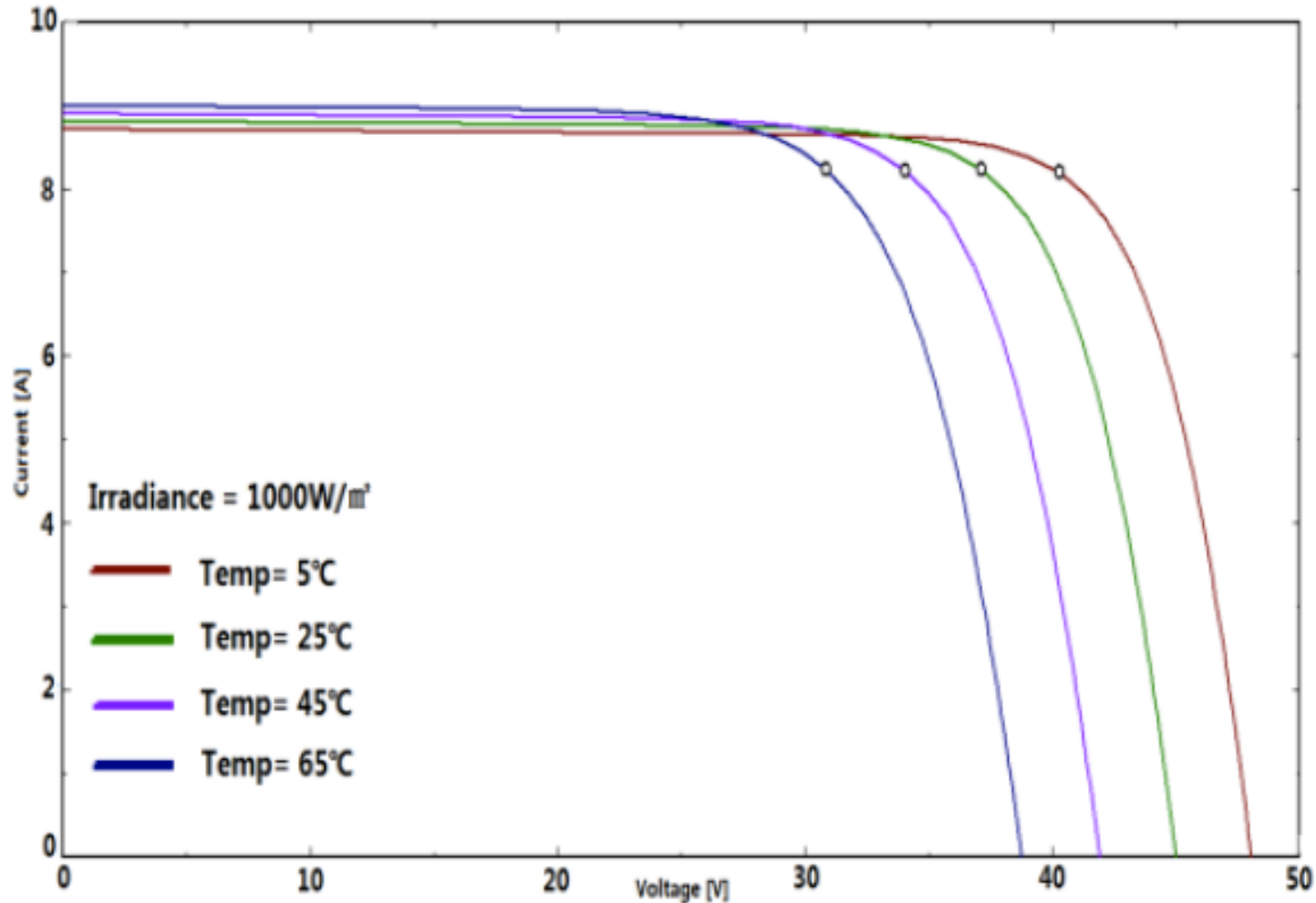
Manufacturer	Model	Power (W)	Wafer Type	Cell Technology	Efficiency %	Date Announced *
 <b>HUASUN</b>	Himalaya G12-132	750 W	N-Type	HJT, Bifacial	24.16%	Q4 2023 *
 <b>TW SOLAR</b>	210-66HJT	744 W	N-Type	HJT, Bifacial	23.94%	Q4 2023 *
 <b>Trinasolar</b>	Vertex N	740 W	N-Type	TOPCon, Bifacial	22.5%	Q2 2024 *
 <b>risen</b>	Hyper-Ion	740 W	N-Type	HJT, Bifacial	23.89%	Q4 2022 *
 <b>AKCOME</b>	iPower 7	720 W	N-Type	HJT, Bifacial	23.2%	Q2 2023 *
 <b>CanadianSolar</b>	TOPBiHiKu7	720 W	N-Type	TOPCon, Bifacial	23.2%	Q2 2024
 <b>RECOM TECHNOLOGIES</b>	Lynx Series	720 W	N-Type	TOPCon, Bifacial	23.2%	Q2 2024
 <b>中來股份 JOLYWOOD</b>	JW-HD132N	700 W	N-Type	TOPCon, Bifacial	22.5%	Q4 2022
 <b>SUNTECH</b>	Ultra X Plus	700 W	N-Type	TOPCon, Bifacial	22.5%	Q3 2023
 <b>EGING PV</b>	Aurora Pro	685 W	N-Type	TOPCon	22.0%	Q2 2023



# Efecto de la irradiación

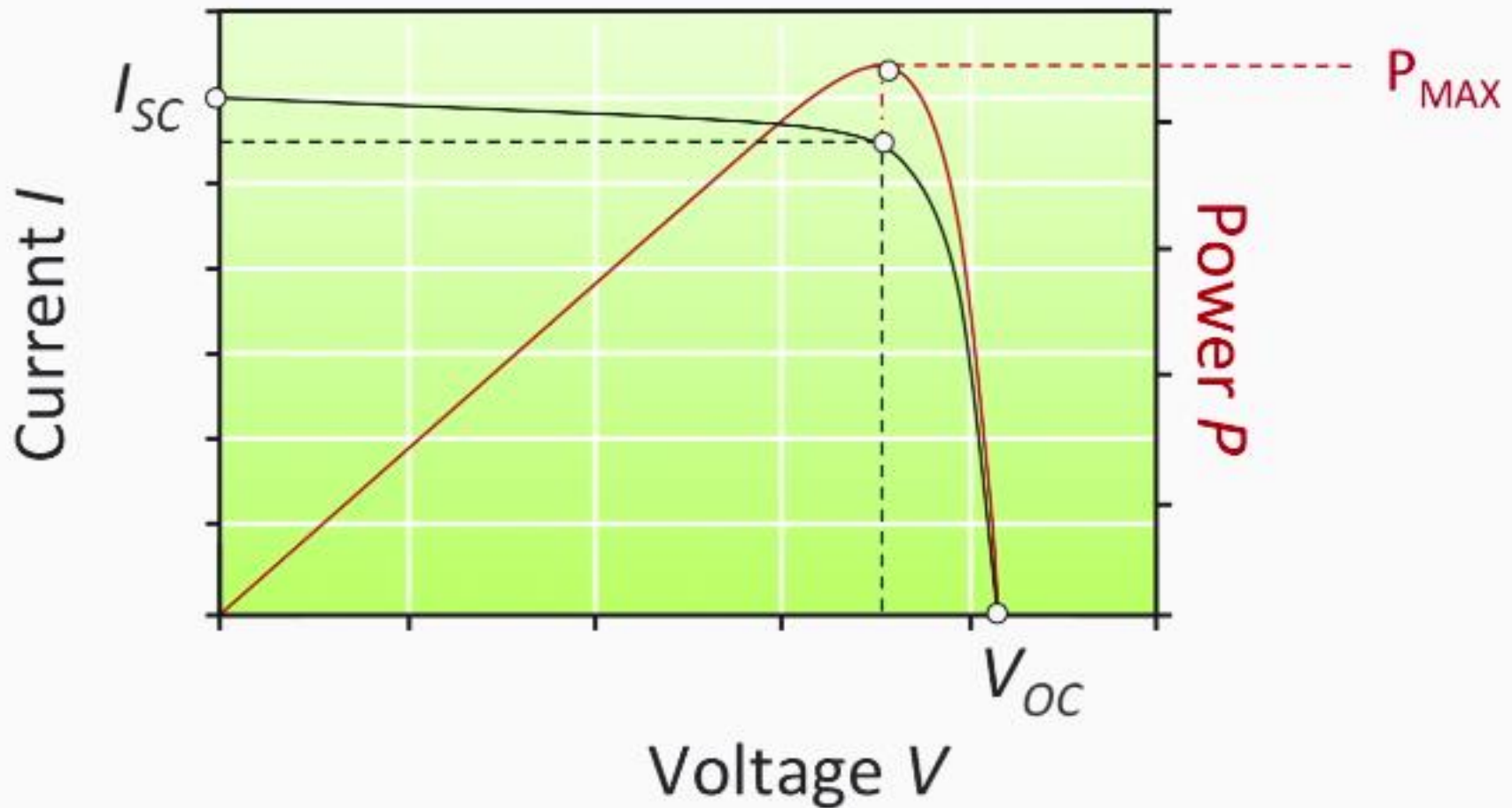


# Efecto de la temperatura



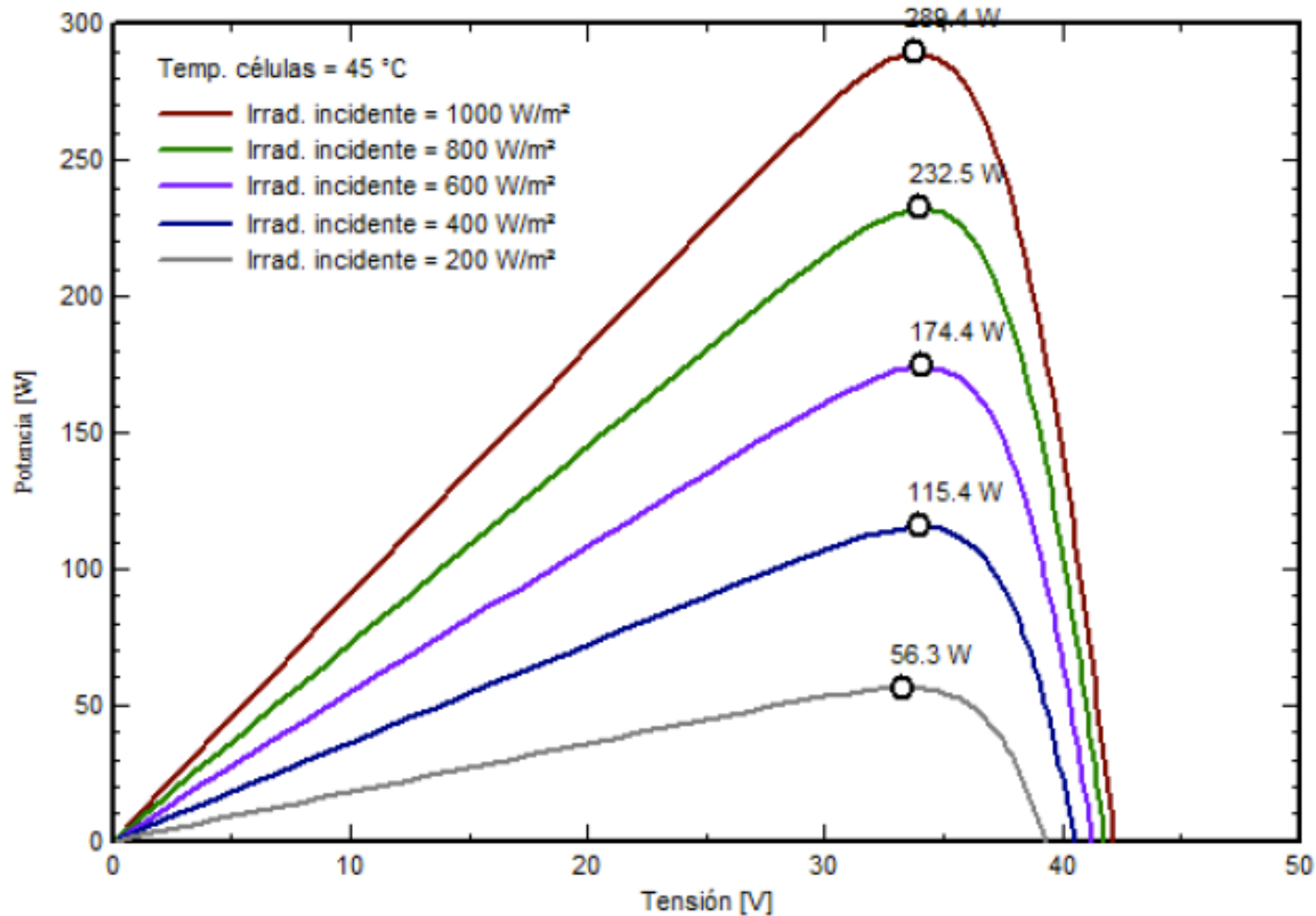
Se puede evaluar el movimiento de la curva a través de los coeficientes de temperatura

# Punto de máxima potencia

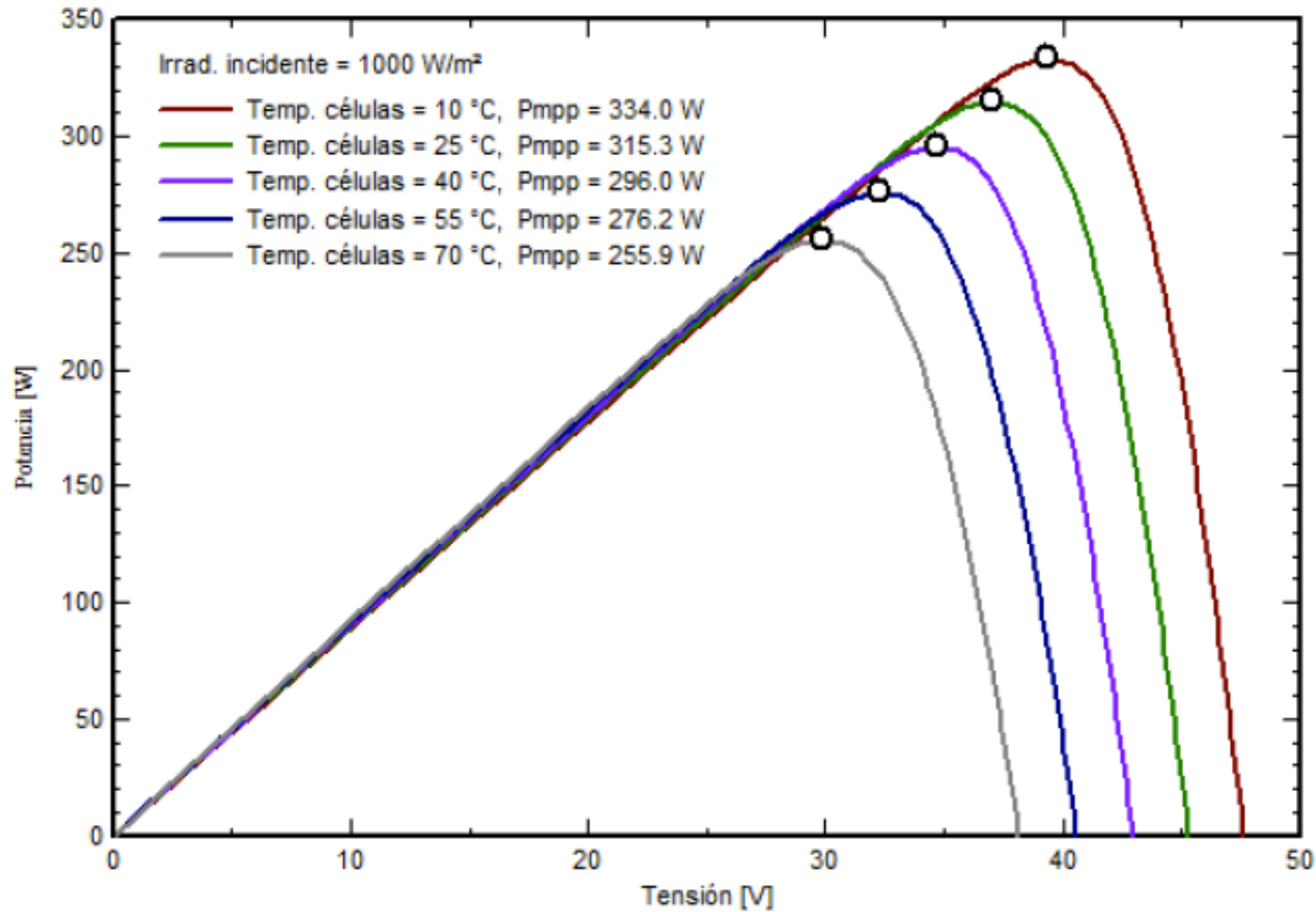




# Potencia según irradiancia



# Potencia según temperatura



# Modelo térmico de panel FV

$$T_c = T_{amb} + (NOCT - 20) \frac{G_{gi}}{800}$$

- $T_c$ : Temperatura de celda.
- $T_{amb}$ : Temperatura ambiente.
- $G_{gi}$ : Irradiación global en plano inclinado.

- **NOCT (Temperatura Nominal de Operación de la Celda):** Parámetro presente en las hojas de datos de los fabricantes. No contempla condiciones de carga ni de instalación.
- 800 W/m<sup>2</sup>,  $T_{amb} = 20$  °C, AM 1.5 y velocidad del viento 1 m/s

$$INOCT = NOCT - 3$$

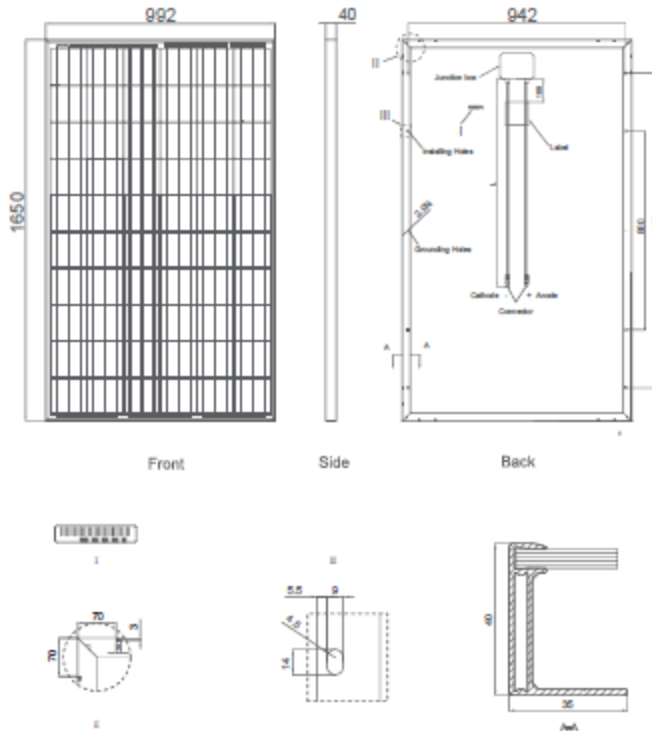
- **INOCT (NOCT de Instalación):** Es el NOCT corregido a las condiciones de instalación y montaje de los paneles, para estimar la temperatura de celda en forma más precisa.

$$T_c = T_{amb} + (INOCT - 23) \frac{G_{gi}}{800}$$



# Analizando la hoja de datos

## Engineering Drawings

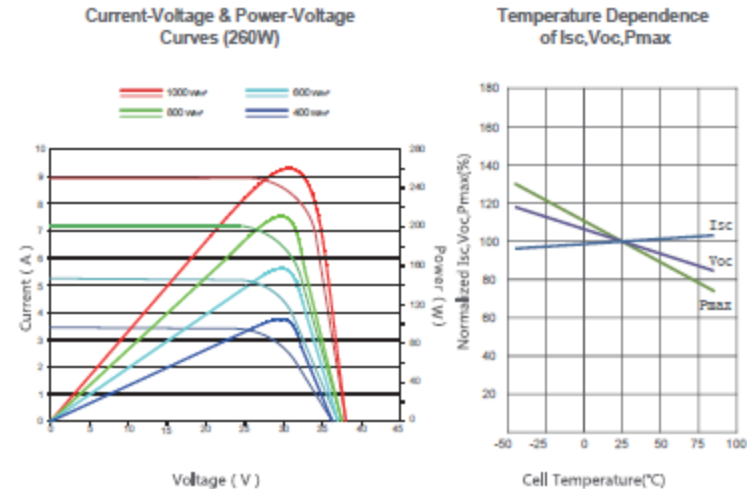


## Packaging Configuration

(Two boxes=One pallet)

25pcs/ box, 50pcs/pallet, 700 pcs/40'HQ Container

## Electrical Performance & Temperature Dependence










## Mechanical Characteristics

Cell Type	Poly-crystalline 156×156mm (6 inch)
No.of cells	60 (6×10)
Dimensions	1650×992×40mm (65.00×39.05×1.57 inch)
Weight	19.0 kg (41.9 lbs)
Front Glass	3.2mm, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TÜV 1×4.0mm <sup>2</sup> , Length:900mm

# SPECIFICATIONS

Module Type	JKM245P		JKM250P		JKM255P		JKM260P		JKM265P	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	245Wp	181Wp	250Wp	184Wp	255Wp	189 Wp	260Wp	193Wp	265Wp	197Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	30.1V	27.8V	30.5V	28.0V	30.8V	28.5V	31.1V	28.7V	31.4V	29.0V
Maximum Power Current (Imp)	8.14A	6.50A	8.20A	6.56A	8.28A	6.63A	8.37A	6.71A	8.44A	6.78A
Open-circuit Voltage (Voc)	37.5V	34.8V	37.7V	34.9V	38.0V	35.2V	38.1V	35.2V	38.6V	35.3V
Short-circuit Current (Isc)	8.76A	7.16A	8.85A	7.21A	8.92A	7.26A	8.98A	7.31A	9.03A	7.36A
Module Efficiency STC (%)	14.97%		15.27%		15.58%		15.89%		16.19%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	15A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.41%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.31%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.06%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

STC:  Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>  Cell Temperature 25°C  AM=1.5

NOCT:  Irradiance 800W/m<sup>2</sup>  Ambient Temperature 20°C  AM=1.5  Wind Speed 1m/s



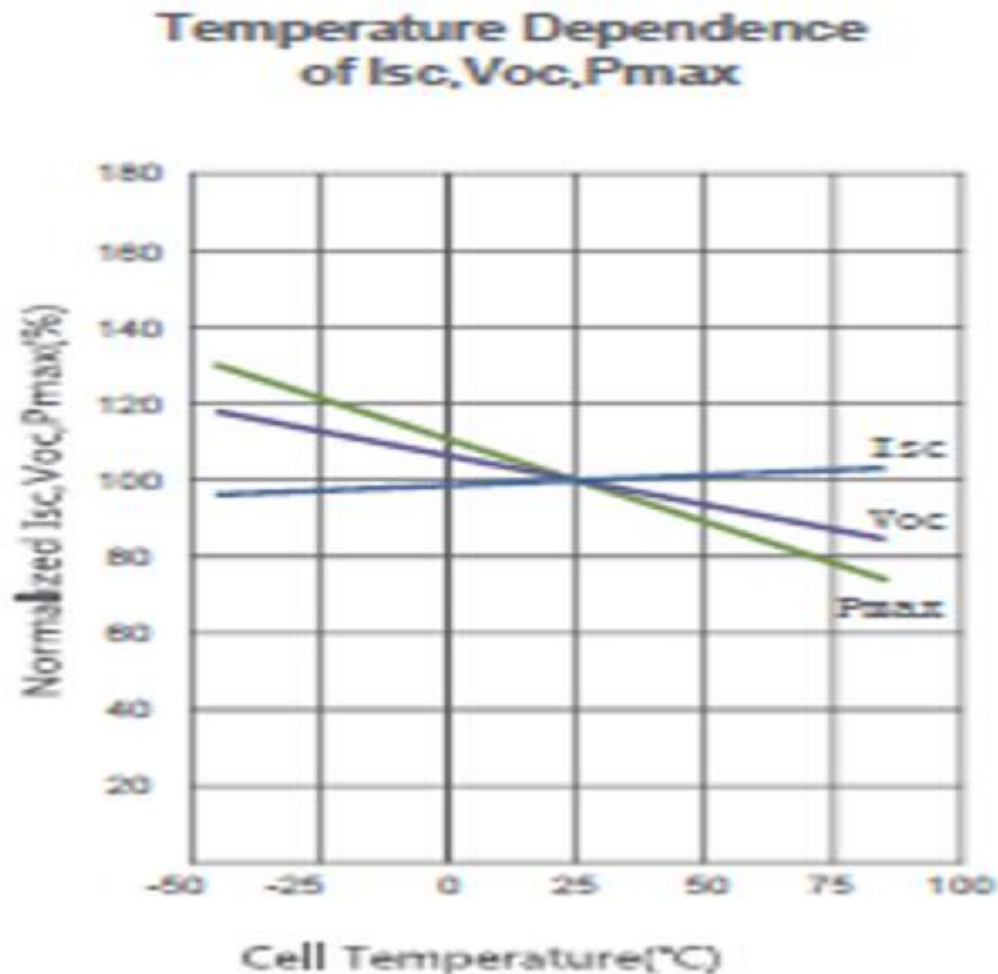
# PREGUNTA CLASE 24/09

- Considerando el panel de 245 W:
  - CUANTO ES LA Voc EN EL CASO DE QUE LA TEMPERATURA DE CELDA SEA 40° C?

## SPECIFICATIONS

Module Type	JKM245P		JKM250P		JKM255P		JKM260P		JKM265P	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	245Wp	181Wp	250Wp	184Wp	255Wp	189 Wp	260Wp	193Wp	265Wp	197Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	30.1V	27.8V	30.5V	28.0V	30.8V	28.5V	31.1V	28.7V	31.4V	29.0V
Maximum Power Current (Imp)	8.14A	6.50A	8.20A	6.56A	8.28A	6.63A	8.37A	6.71A	8.44A	6.78A
Open-circuit Voltage (Voc)	37.5V	34.8V	37.7V	34.9V	38.0V	35.2V	38.1V	35.2V	38.6V	35.3V
Short-circuit Current (Isc)	8.76A	7.16A	8.85A	7.21A	8.92A	7.26A	8.98A	7.31A	9.03A	7.36A
Module Efficiency STC (%)	14.97%		15.27%		15.58%		15.89%		16.19%	
Operating Temperature(°C)					-40°C~+85°C					
Maximum system voltage					1000VDC (IEC)					
Maximum series fuse rating					15A					
Power tolerance					0~+3%					
Temperature coefficients of Pmax					-0.41%/°C					
Temperature coefficients of Voc					-0.31%/°C					
Temperature coefficients of Isc					0.06%/°C					
Nominal operating cell temperature (NOCT)					45±2°C					

- $V_{oc}(@T_c = 25^{\circ}\text{C}) = 37,5 \text{ V}$
- Coeficiente de temperatura (BETA) =  $-0,31\%/^{\circ}\text{C}$



$$V_{OC}(T_C = 40^\circ\text{C}) = V_{OC}(T_C = 25^\circ\text{C}) + \frac{\beta_{V_{OC}}}{100} \times \Delta T \times V_{OC}(T_C = 25^\circ\text{C})$$

$$V_{OC}(T_C = 40^\circ\text{C}) = V_{OC}(T_C = 25^\circ\text{C}) \times \left(1 + \frac{\beta_{V_{OC}}}{100} \times \Delta T\right)$$

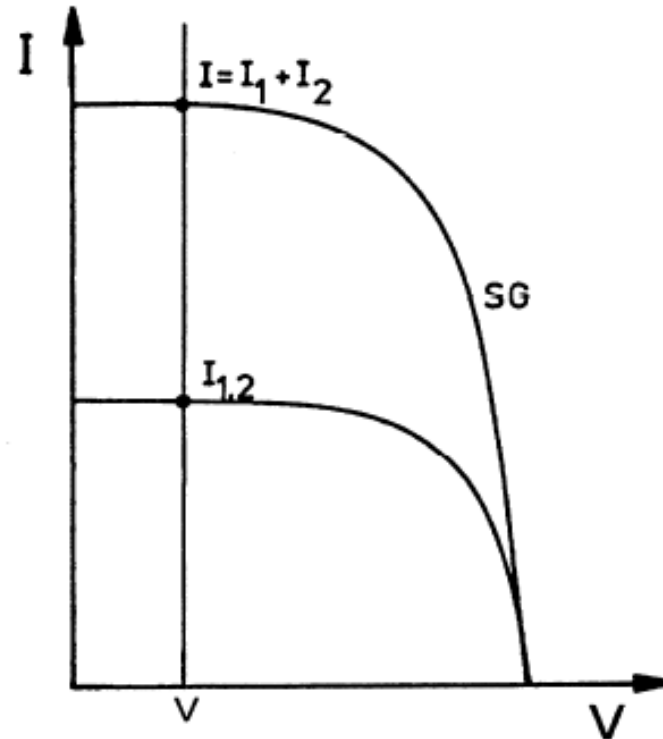
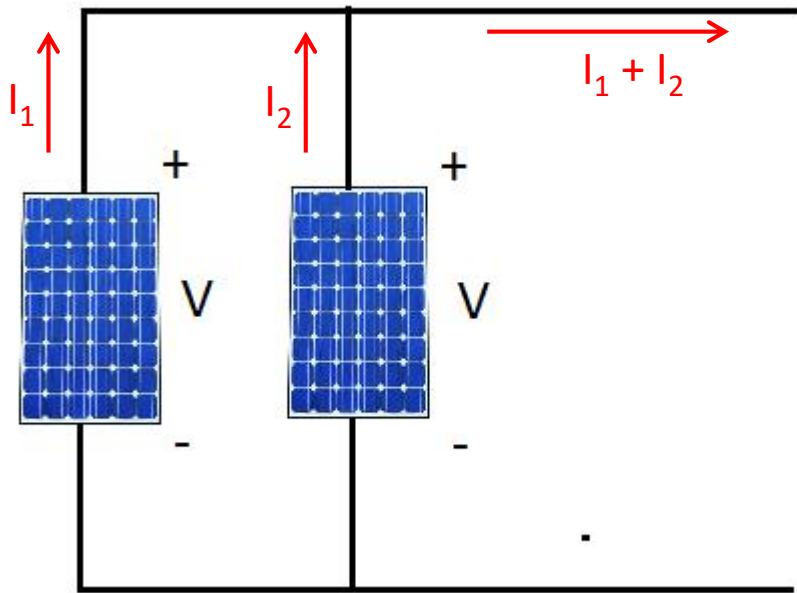
$$V_{OC}(T_C = 40^\circ\text{C}) = 37,5 \times \left(1 + \frac{-0,31}{100} \times (40 - 25)\right)$$

$$V_{OC}(T_C = 40^\circ\text{C}) = 35,75 \text{ V}$$

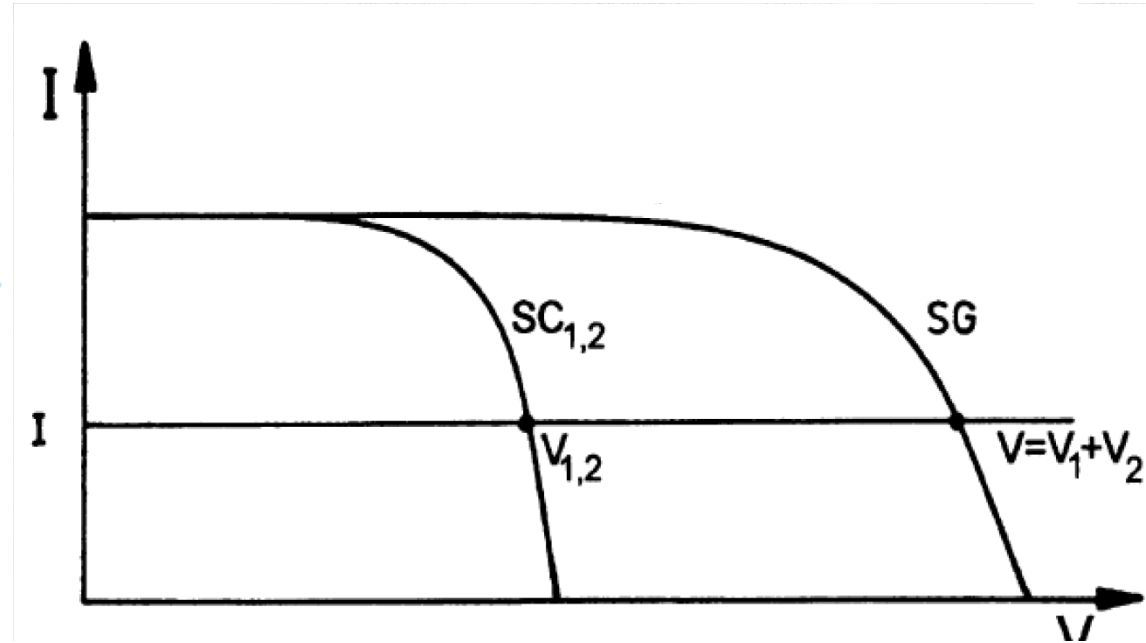
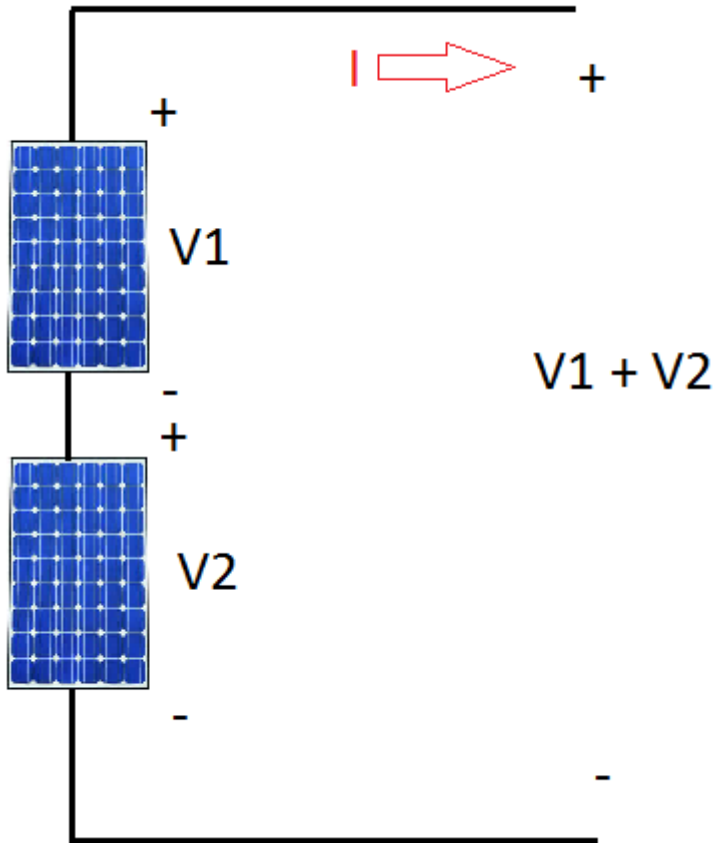


# Conexión de paneles

- Conexión paralelo



- Conexión en serie

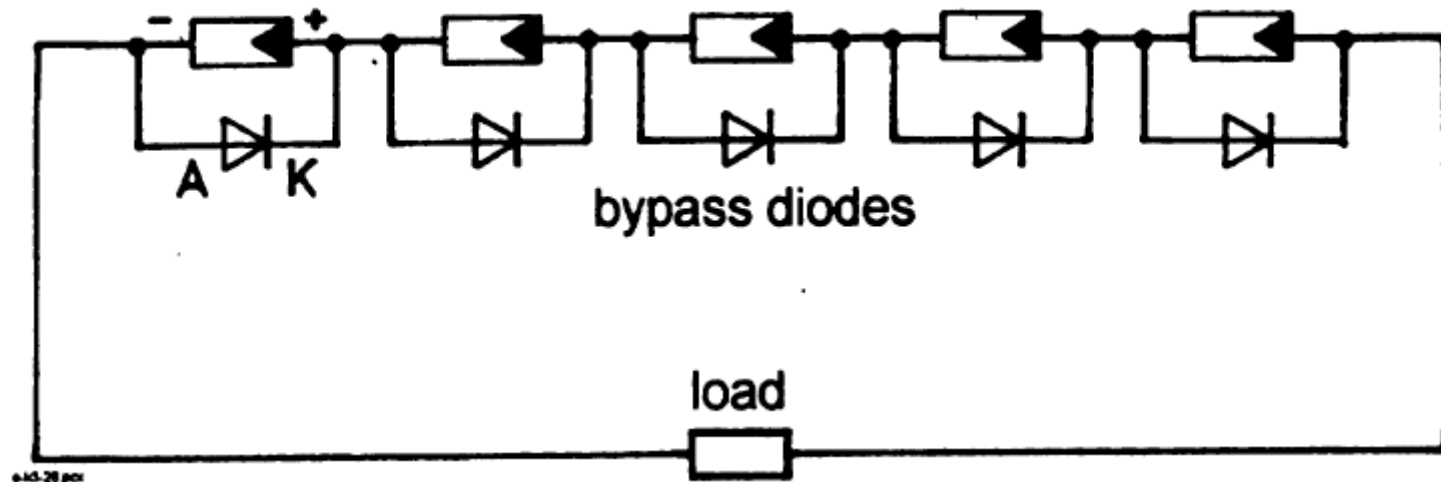


# ¿Qué pasa si uno de los paneles está sombreado?

- Si no tome ninguna medida adicional

➡  $I = 0$

- Es necesario el uso de **diodos by-pass**



© 2010 PVE

# 3 módulos en serie con diodo bypass

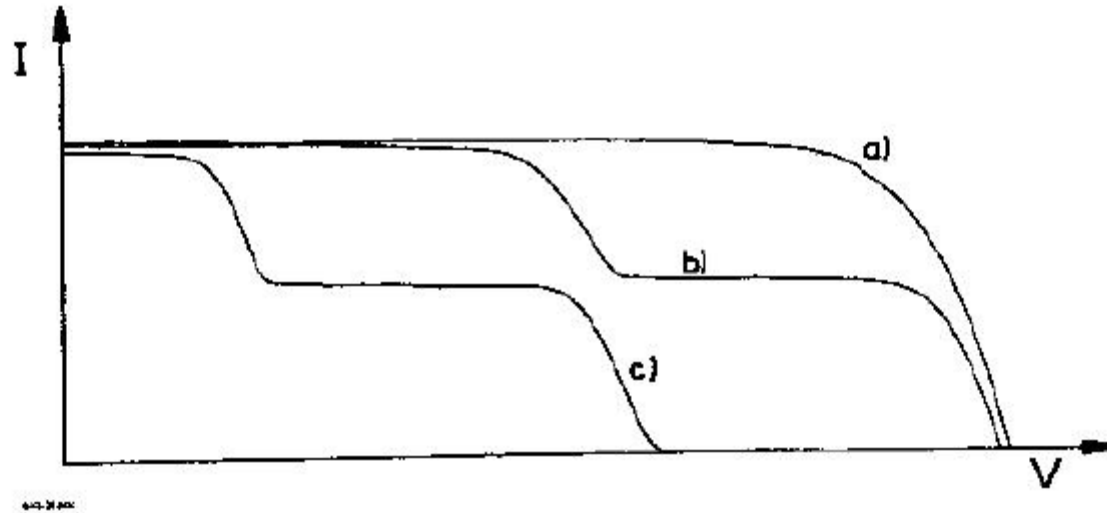


Fig. 29: As for fig. 28, but with one bypass diode per module

- a) sin sombra
- b) sombra parcial en un modulo
- c) sombra parcial en un modulo y sombra total en otro módulo



# Importancia del conexionado interno del panel y su orientación

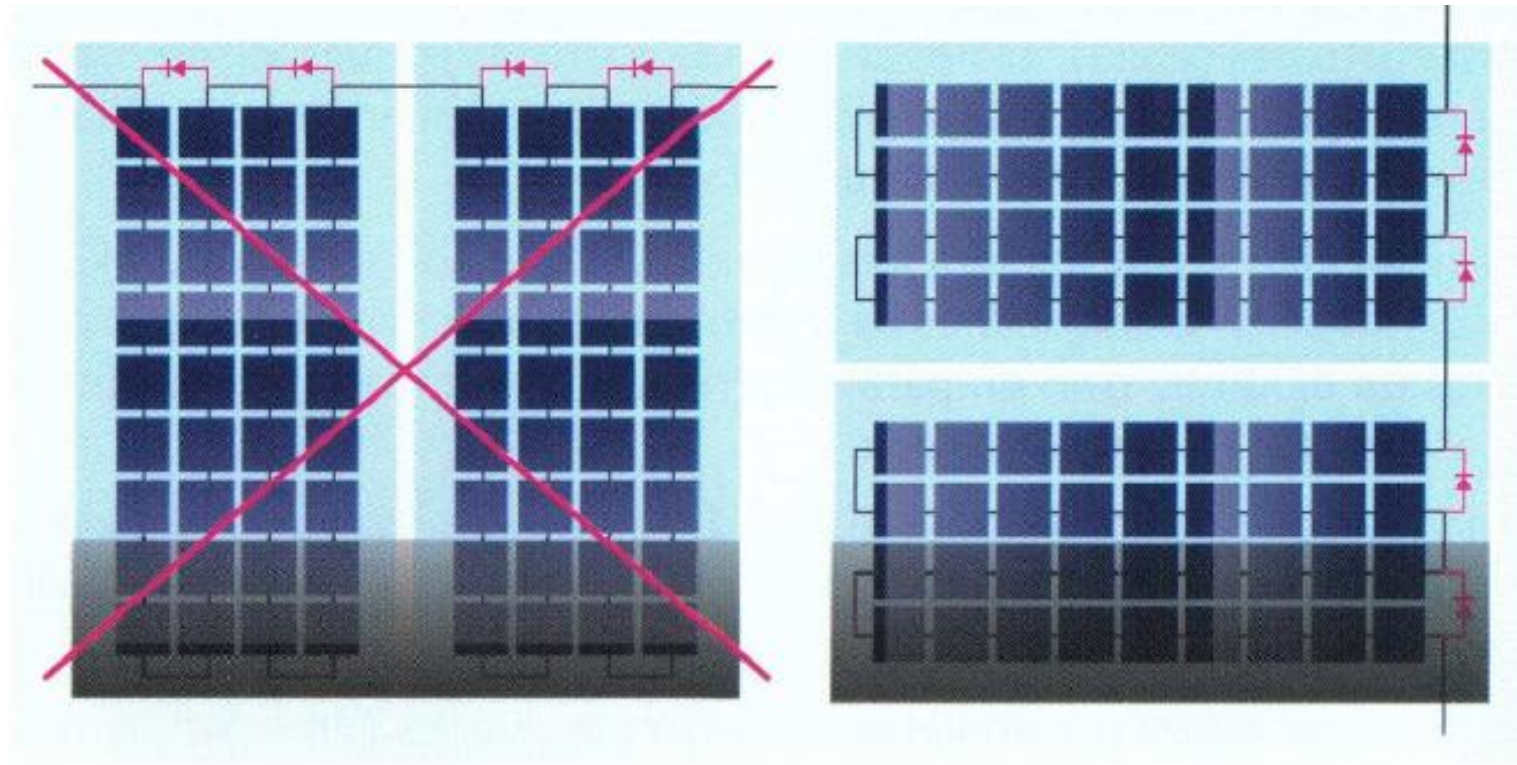
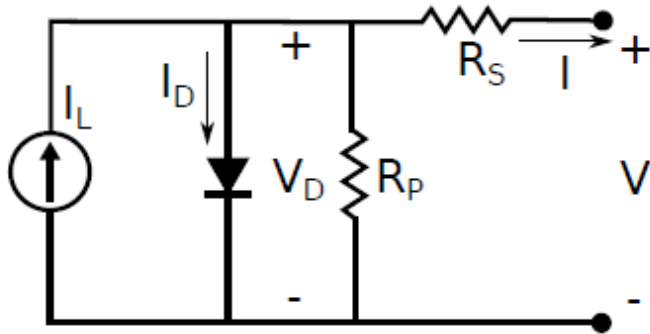


Figura 2.54: En la imagen de la derecha, el sombreado afecta sólo a la mitad inferior del módulo: - 25 % de rendimiento. En la imagen de la izquierda, por el contrario, todas las cadenas de módulos están afectadas: - 100 %.

# Modelo de Panel Fotovoltaico

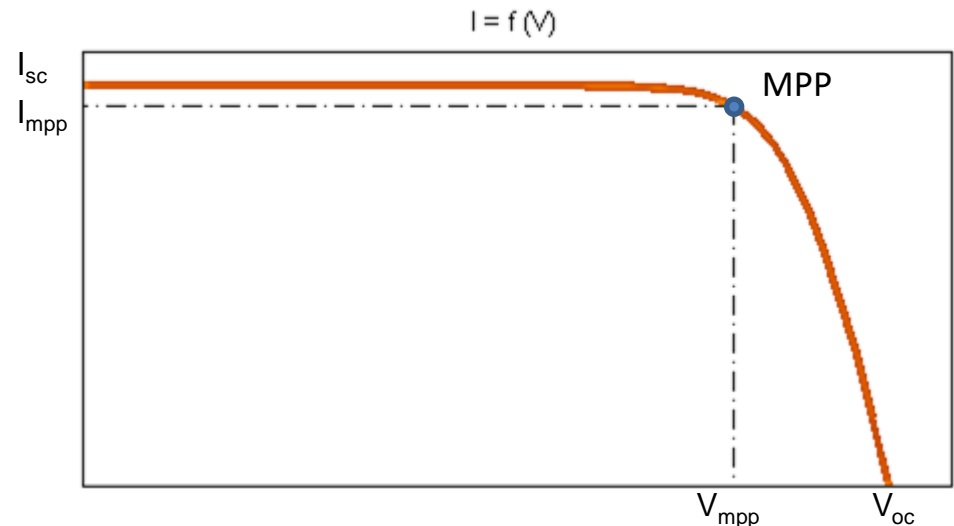


$$I = I_L - I_S(e^{(V+I.R_S)/V_{th}} - 1) - \frac{(V + I.R_S)}{R_P}$$

Ecuación característica

## Parámetros fundamentales:

- $I_L$  : corriente fotogenerada (dependiente de la irradiación)
- $I_S$  : corriente de saturación inversa del panel
- $R_s$  : resistencia serie del panel
- $R_p$  : resistencia shunt del panel
- $m$  : factor de idealidad del diodo del modelo

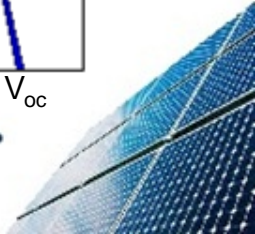
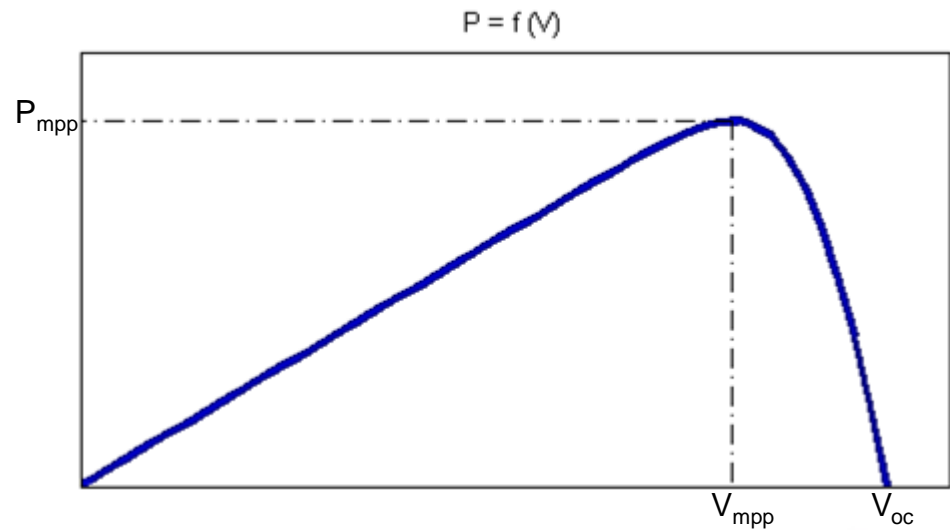
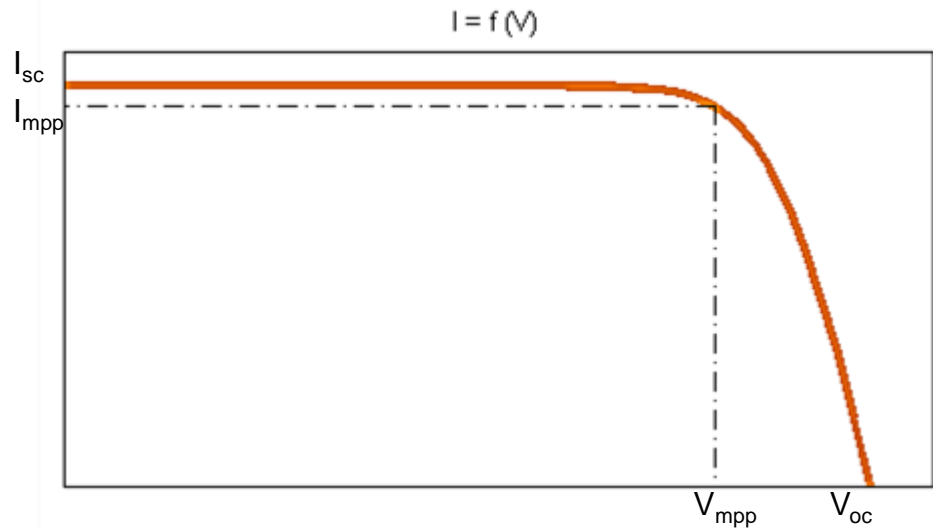


Curva característica I-V

Modelo basado en paper académico: “PV panel model based on datasheet values”

# Modelo en condiciones STC

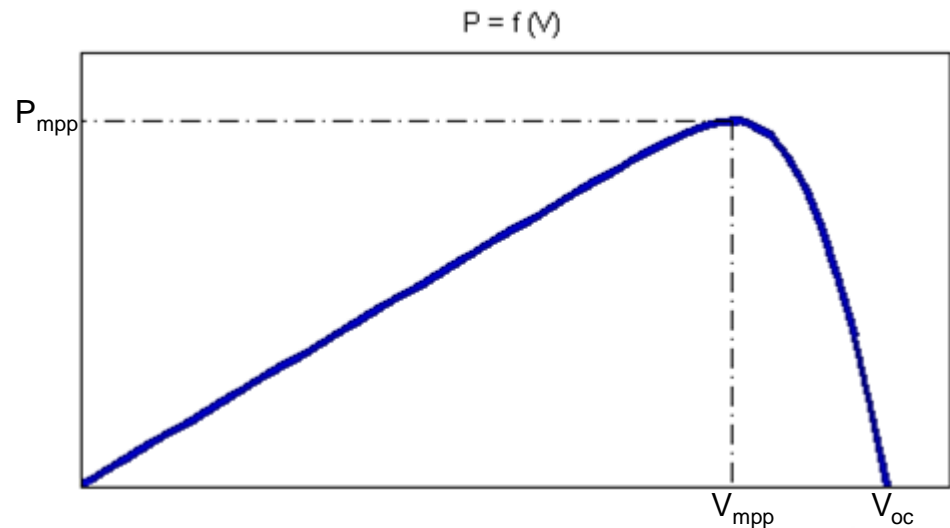
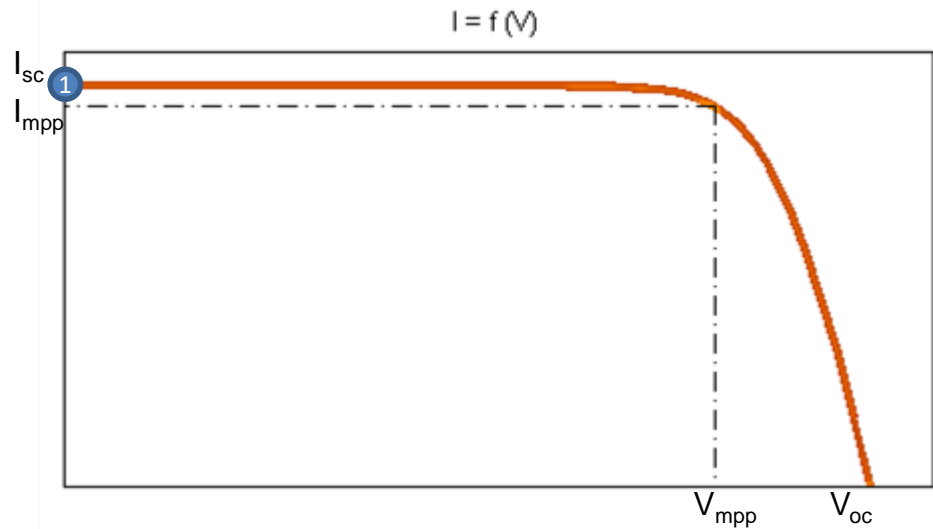
Sistema de ecuaciones 5x5



# Modelo en condiciones STC

Sistema de ecuaciones 5x5

1)  $I(0) = I_{sc}$



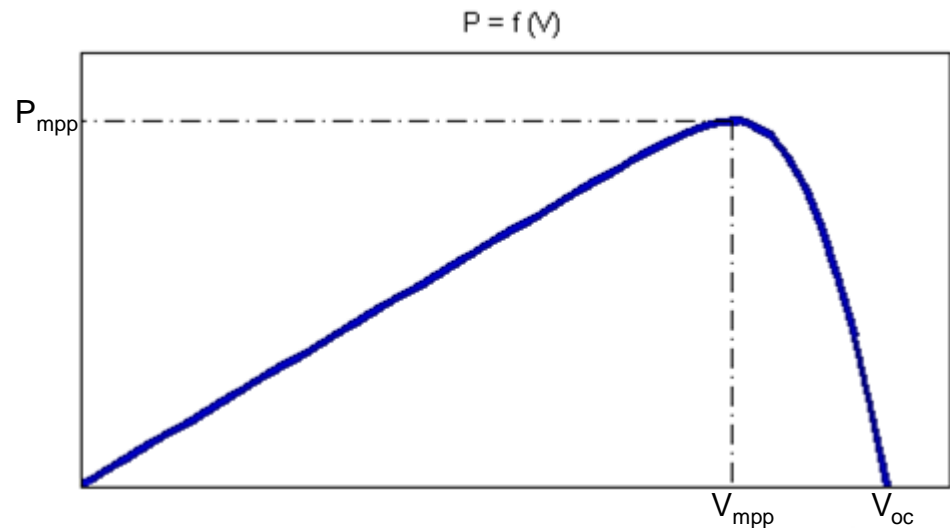
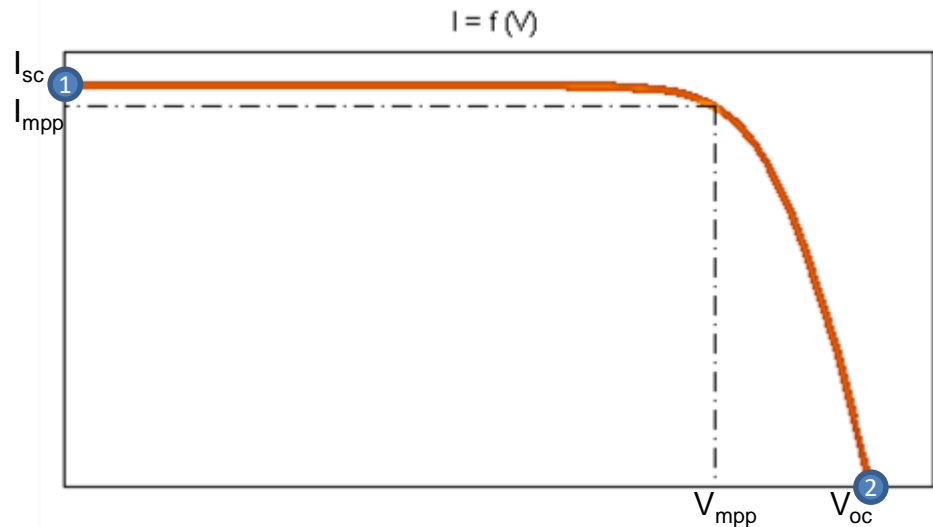


# Modelo en condiciones STC

Sistema de ecuaciones 5x5

1)  $I(0) = I_{sc}$

2)  $I(V_{oc}) = 0$



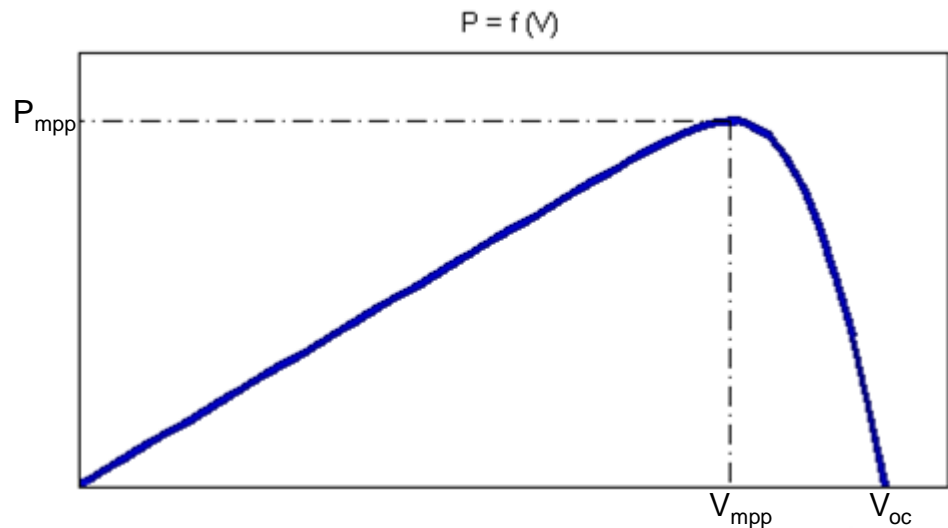
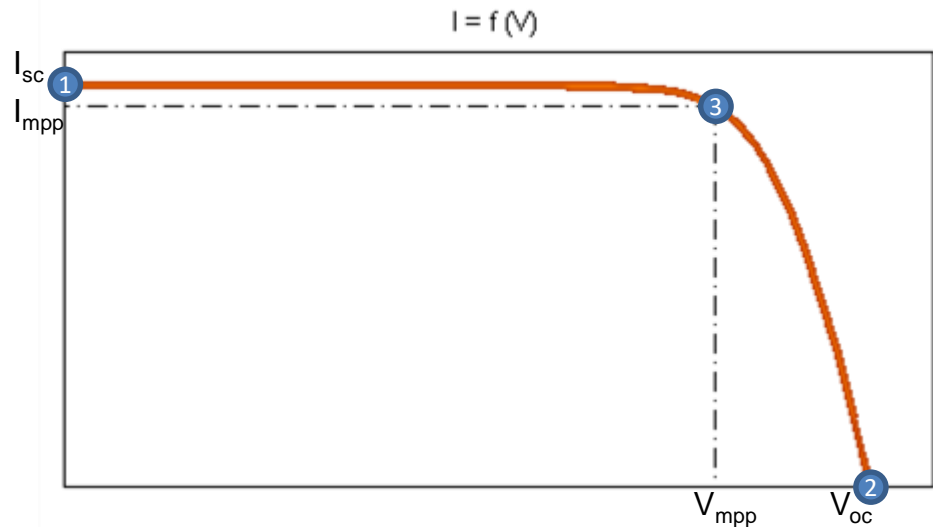
# Modelo en condiciones STC

Sistema de ecuaciones 5x5

1)  $I(0) = I_{sc}$

2)  $I(V_{oc}) = 0$

3)  $I(V_{mpp}) = I_{mpp}$



# Modelo en condiciones STC

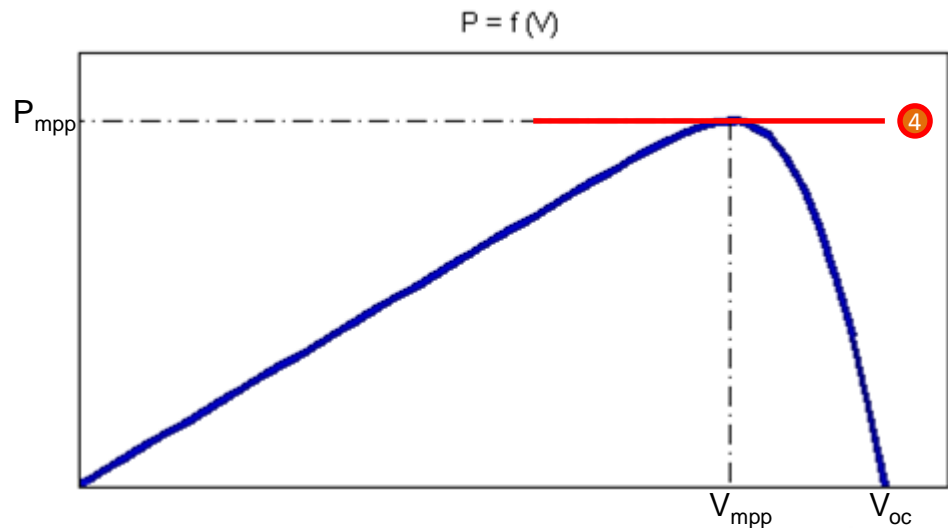
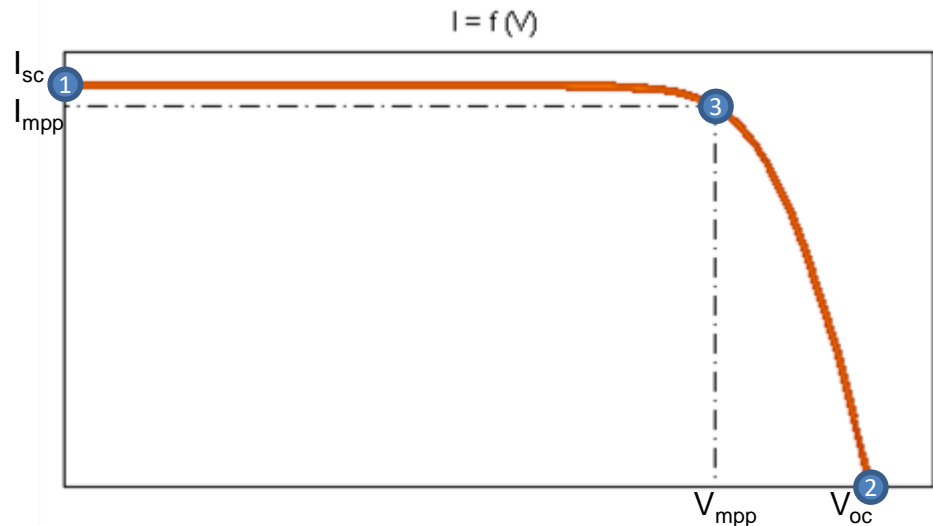
Sistema de ecuaciones 5x5

1)  $I(0) = I_{sc}$

2)  $I(V_{oc}) = 0$

3)  $I(V_{mpp}) = I_{mpp}$

4)  $\left. \frac{dP}{dV} \right|_{\substack{V=V_{mpp} \\ I=I_{mpp}}} = 0$



# Modelo en condiciones STC

Sistema de ecuaciones 5x5

1)  $I(0) = I_{sc}$

2)  $I(V_{oc}) = 0$

3)  $I(V_{mpp}) = I_{mpp}$

4)  $\left. \frac{dP}{dV} \right|_{\substack{V=V_{mpp} \\ I=I_{mpp}}} = 0$

5)  $\left. \frac{dI}{dV} \right|_{V=0, I_{sc}} = -1/R_p.$

