

4 Módulos fotovoltaicos



1. El efecto fotovoltaico
2. La célula fotovoltaica
3. Tipos de células fotovoltaicas
4. Parámetros de un módulo solar
5. Diodos de protección
6. Conectores y caja de conexiones
7. Asociación de módulos fotovoltaicos
8. Criterios para la elección de los módulos
9. Comprobaciones en un módulo solar
10. Dimensionado del generador fotovoltaico

Práctica profesional resuelta: Cálculo de los parámetros de un módulo a una temperatura dada

Actividades finales

Práctica profesional propuesta:

- Obtención de la curva I-V de un módulo FV En resumen

4

Módulos fotovoltaicos

1. El efecto fotovoltaico

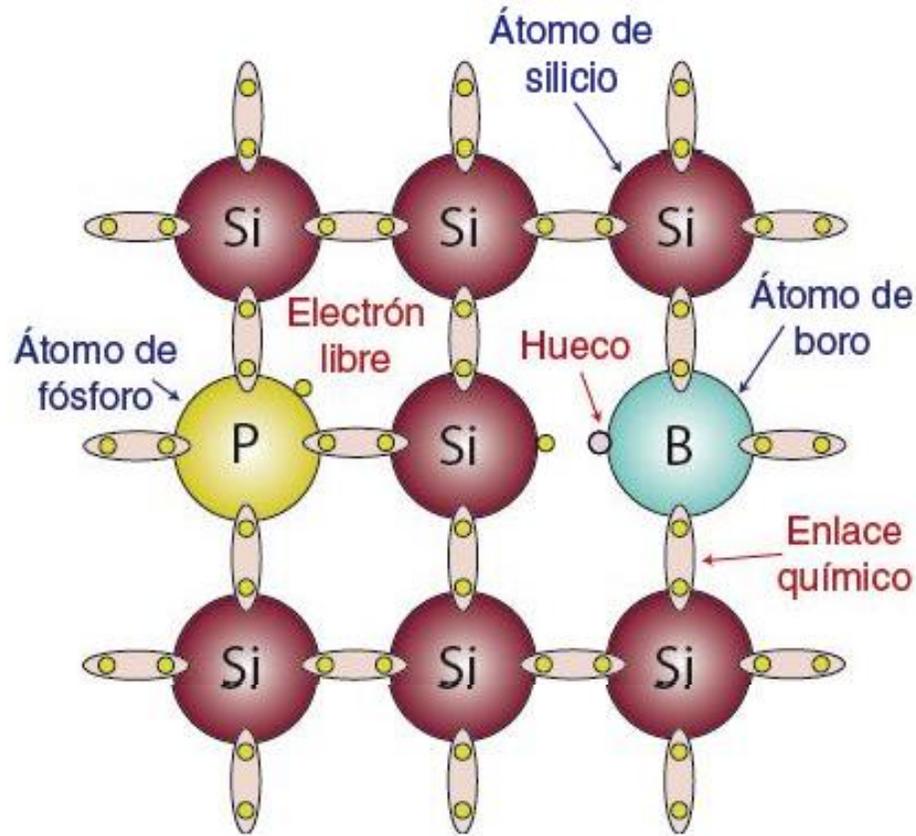


Figura 4.1. Cristal de silicio dopado con P y B para formar las zonas P y N.

4

Módulos fotovoltaicos

1. El efecto fotovoltaico

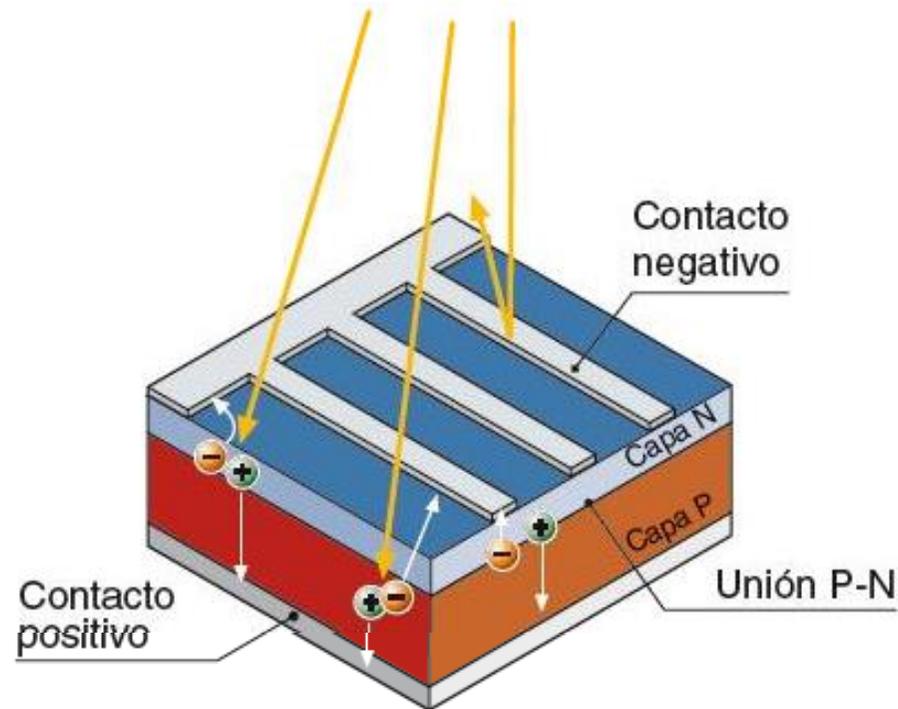


Figura 4.2. Generación de pares de cargas al incidir la radiación solar sobre la célula.

4

Módulos fotovoltaicos 2. La célula fotovoltaica

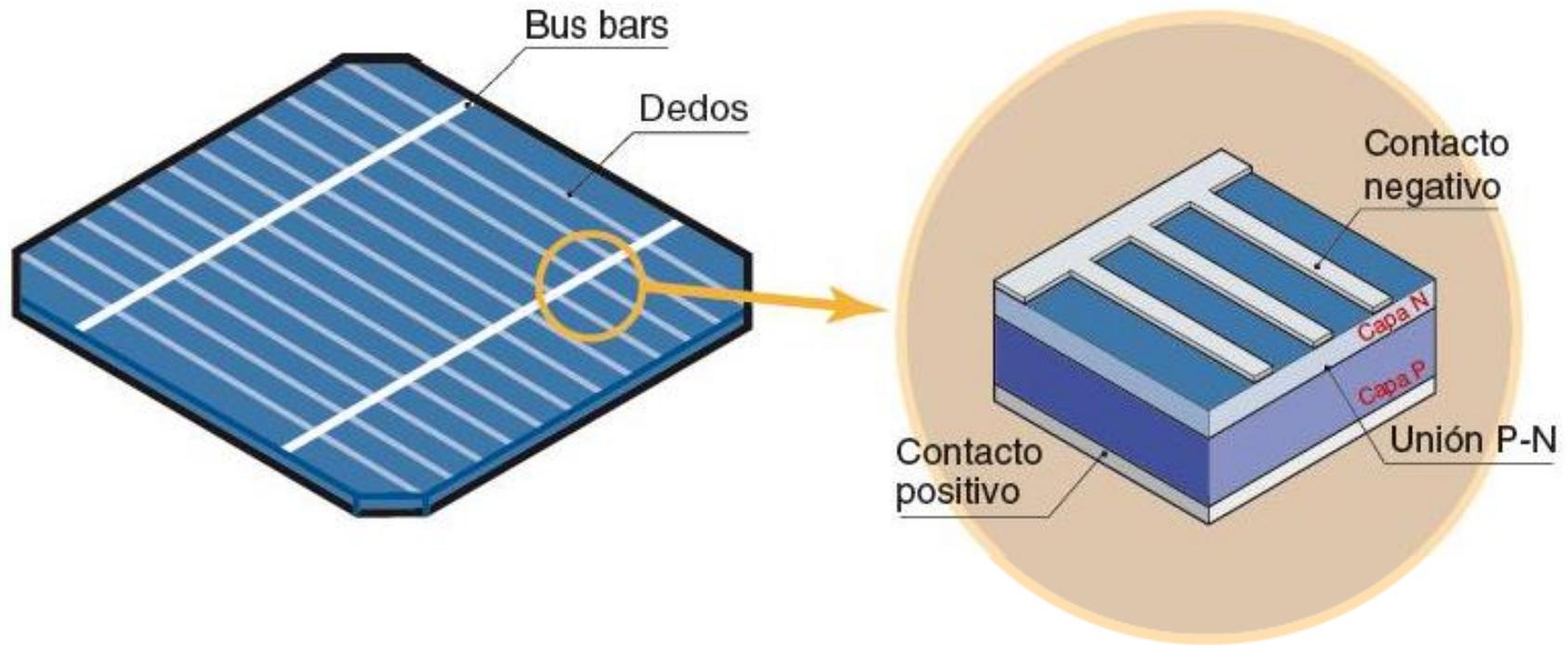


Figura 4.3. Célula fotovoltaica.

4

Módulos fotovoltaicos 2. La célula fotovoltaica

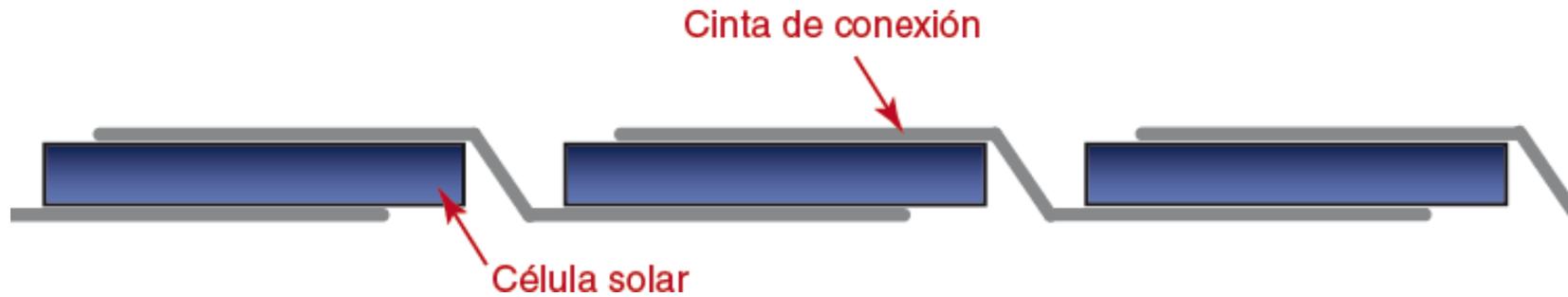


Figura 4.4. Forma de conexión de las células fotovoltaicas.

4

Módulos fotovoltaicos

2. La célula fotovoltaica

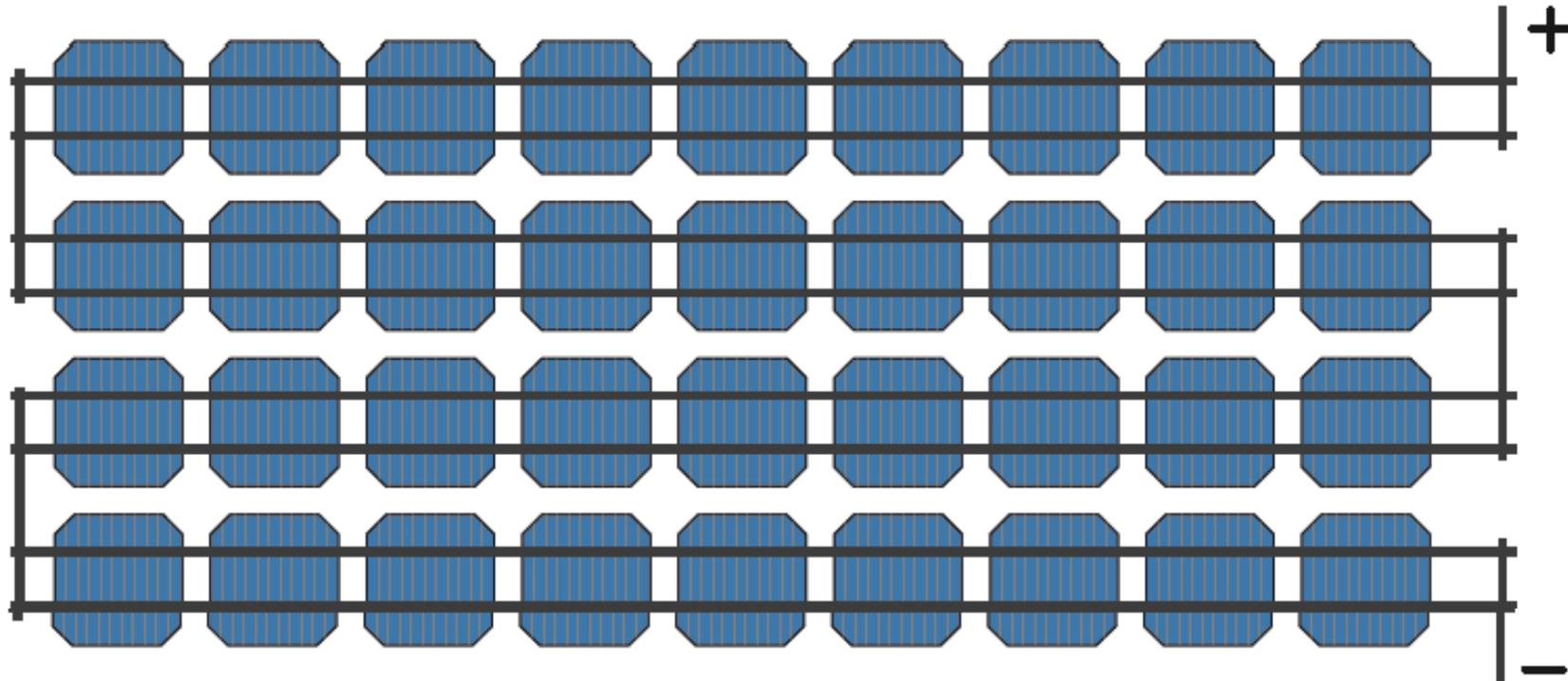


Figura 4.5. Unión de células fotovoltaicas en un módulo de 36 celdas para 12 V.

4

Módulos fotovoltaicos

2. La célula fotovoltaica

1. Módulos fotovoltaicos

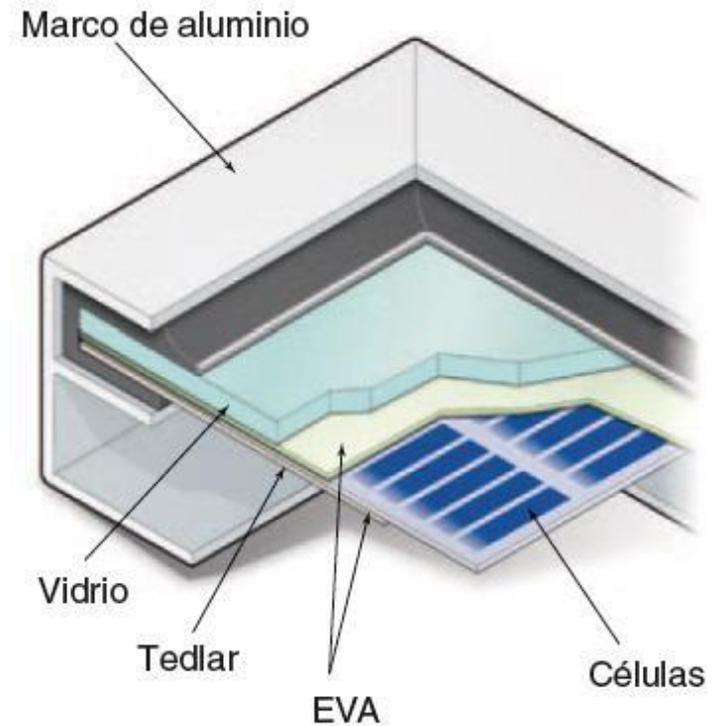
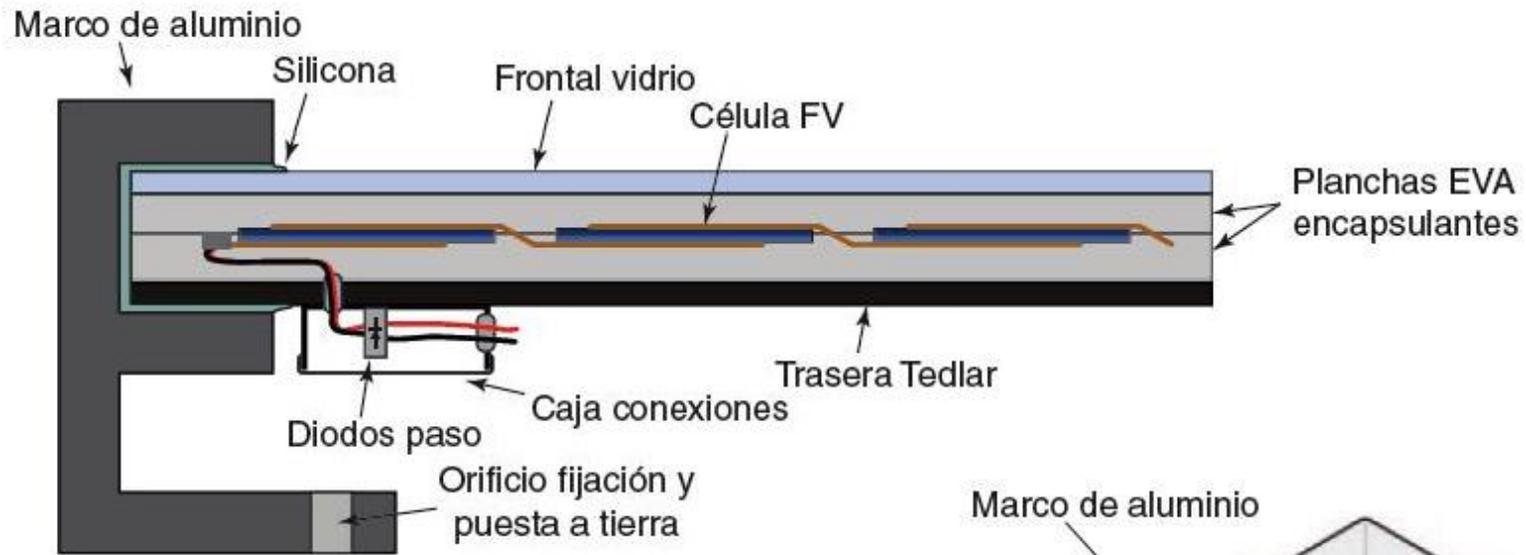


Figura 4.6. Estructura de un módulo fotovoltaico.

4

Módulos fotovoltaicos

2. La célula fotovoltaica

1. Módulos fotovoltaicos

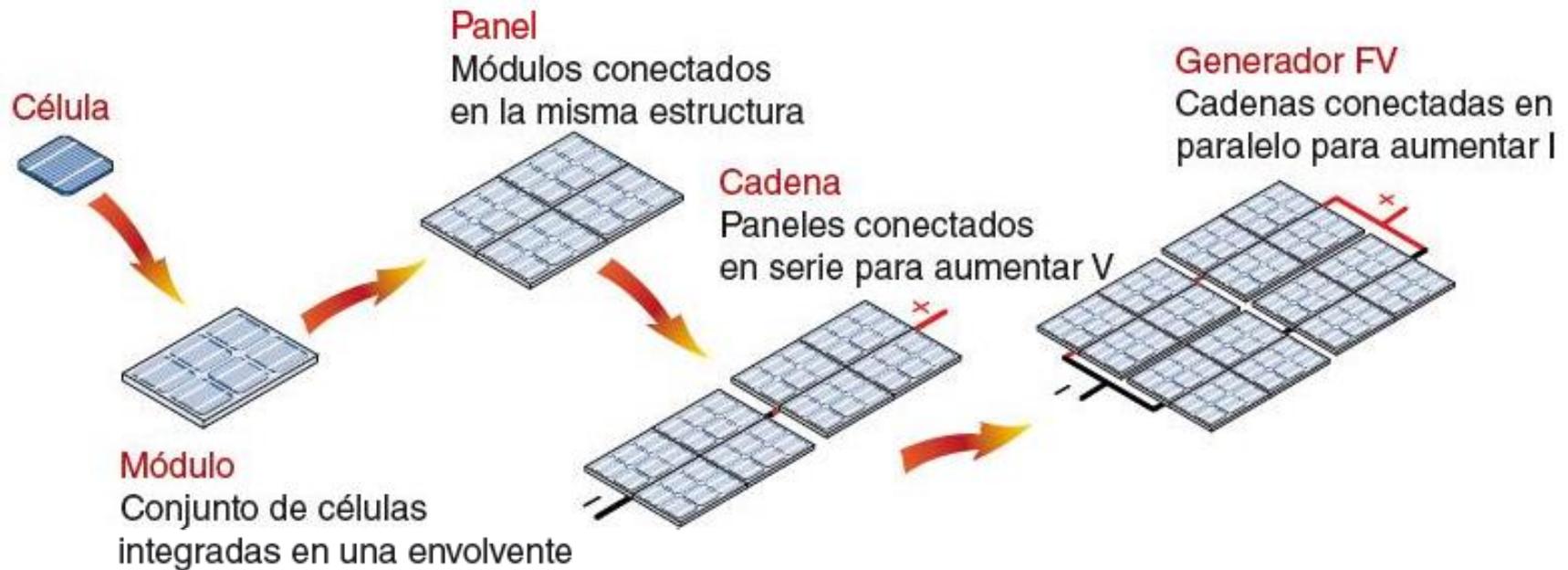


Figura 4.7. Diferencias entre módulos y sus diferentes conexiones.

4

Módulos fotovoltaicos

2. La célula fotovoltaica

1. Módulos fotovoltaicos



Figura 4.8. Paneles formando una cadena de un generador fotovoltaico.

4

Módulos fotovoltaicos

3. Tipos de células fotovoltaicas



Figura 4.9. Clasificación de las distintas tecnologías comerciales de células FV.

4

Módulos fotovoltaicos

3. Tipos de células fotovoltaicas



	Película delgada				Estructura cristalina	
Tecnología	Silicio amorfo	Diseleniuro de indio y cobre (CIS)	Telururo de cadmio (CdTe)	Arseniuro de galio (GaAs)	Policristalina	Monocristalina
Eficiencia	6-10%	12%	11%	32,5%	12-14%	14-17%
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ■ Coste ■ Baja influencia T° ■ Mayor producción con radiación difusa 	Rendimiento constante en el tiempo	Bajo coste	Resistentes a altas T°	<ul style="list-style-type: none"> ■ Menor coste ■ Menor coeficiente temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mayor rendimiento ■ Rendimiento constante
Desventajas		Toxicidad	<ul style="list-style-type: none"> ■ Toxicidad ■ Escasez de materias primas 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Toxicidad ■ Escasez de materias primas 	Más posibilidades de entrada de impurezas en fabricación	Necesaria más energía para fabricarlas

Figura 4.9. Tabla comparativa tipo de células fotovoltaicas



PARÁMETROS DE UN MÓDULO SOLAR

- **Condiciones estándar de medida (CEM):**
 - $1000W/m^2$
 - $25^{\circ}C$ en la célula ($-7^{\circ}C$ ambiente)
 - $AM=1,5$
- **Condiciones de temperatura de operación Nominal de la Célula**
 - $800W/m^2$
 - Viento de $1m/s$
 - $AM=1,5$

4

Módulos fotovoltaicos

4. Parámetros de un módulo solar

1. Curva característica del módulo

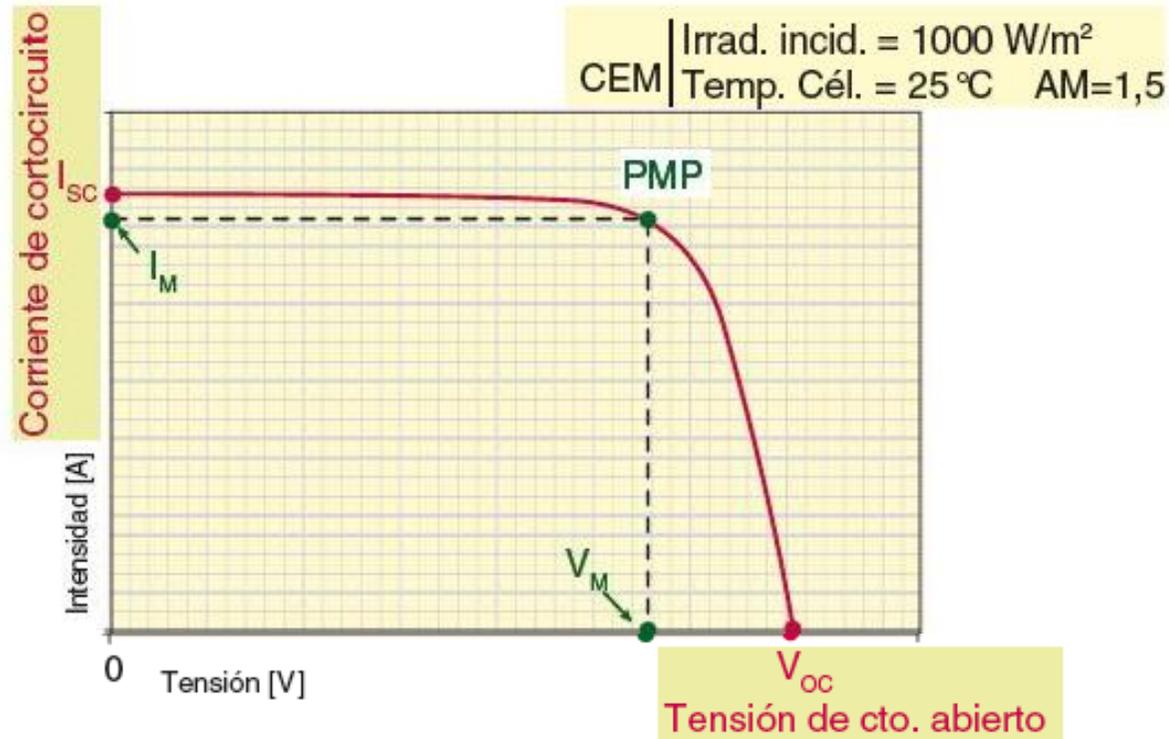


Figura 4.10. Curva de I-V de un módulo en condiciones estándar de medida (CEM).

4

Módulos fotovoltaicos

4. Parámetros de un módulo solar

1. Curva característica del módulo

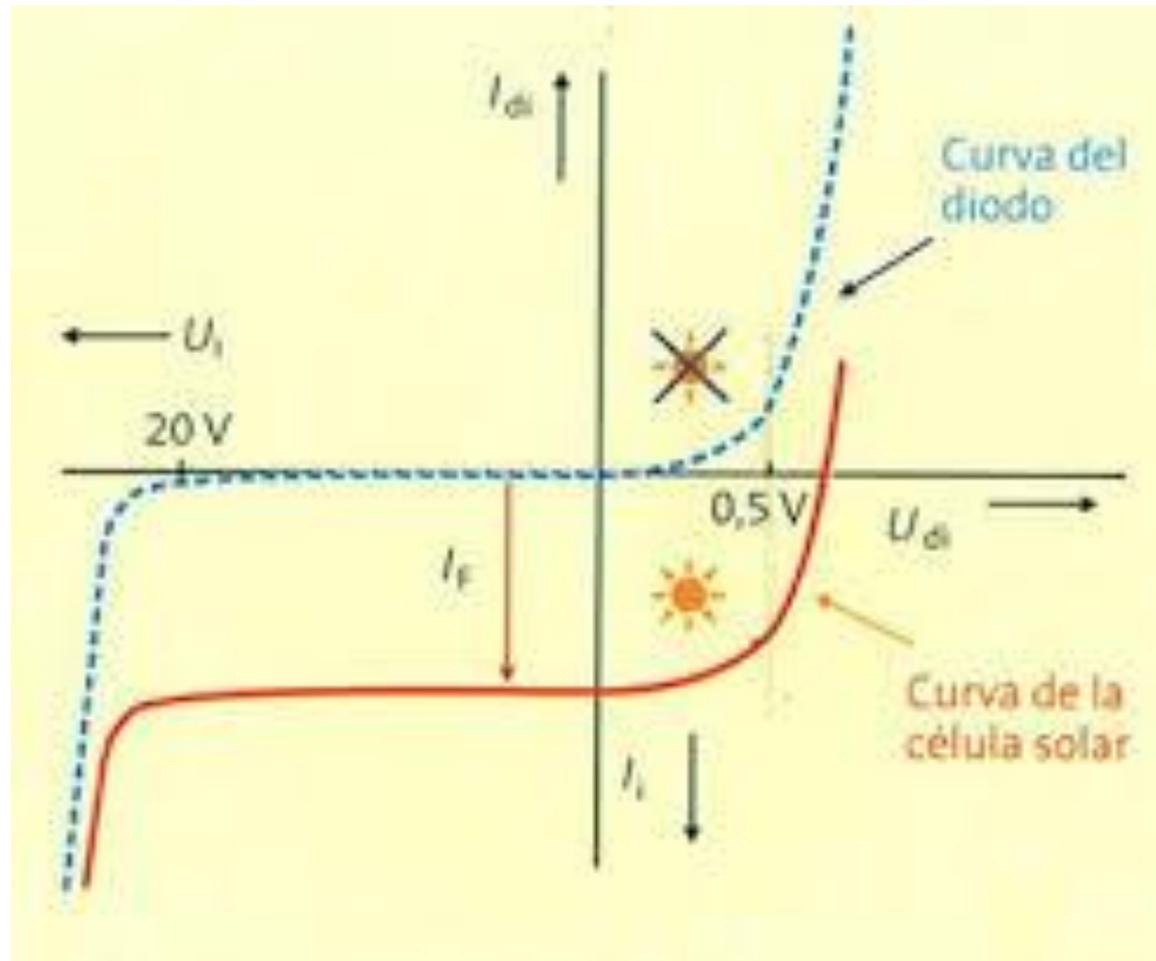


Figura 4.10. Origen de la curva de la célula solar

4

Módulos fotovoltaicos

4. Parámetros de un módulo solar

1. Curva característica del módulo

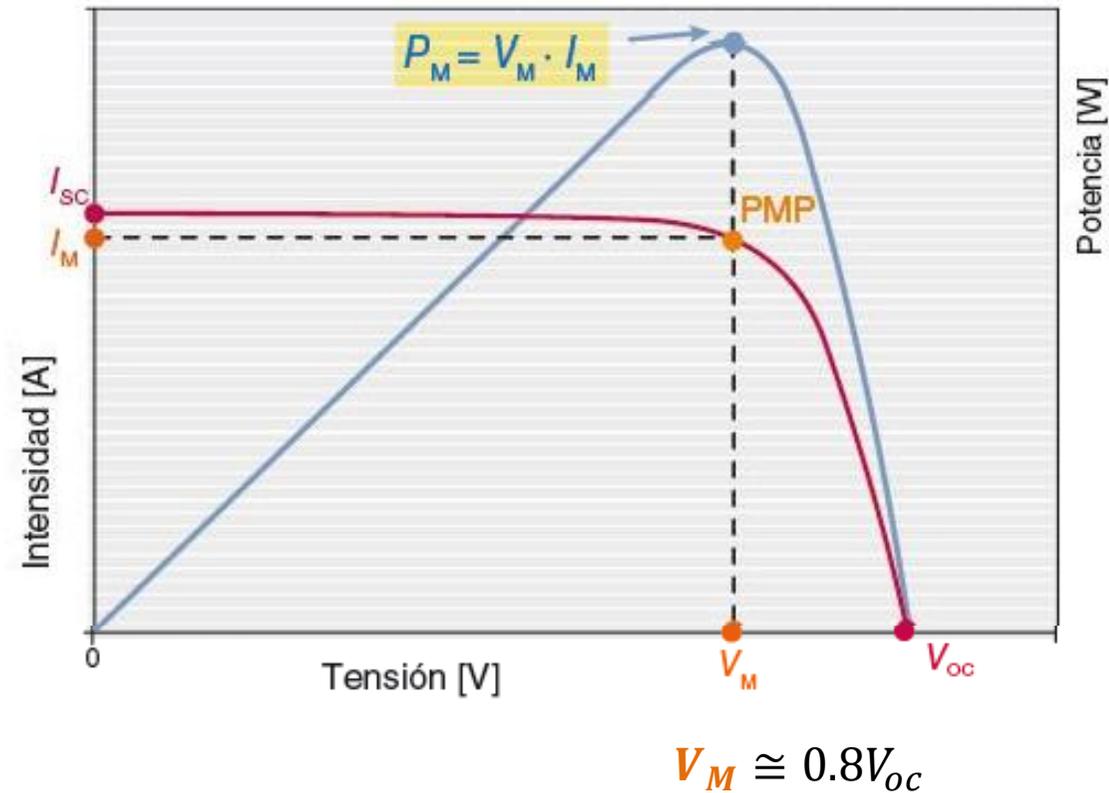


Figura 4.11. Curva de potencias y punto de máxima potencia.

4

Módulos fotovoltaicos

4. Parámetros de un módulo solar

1. Curva característica del módulo

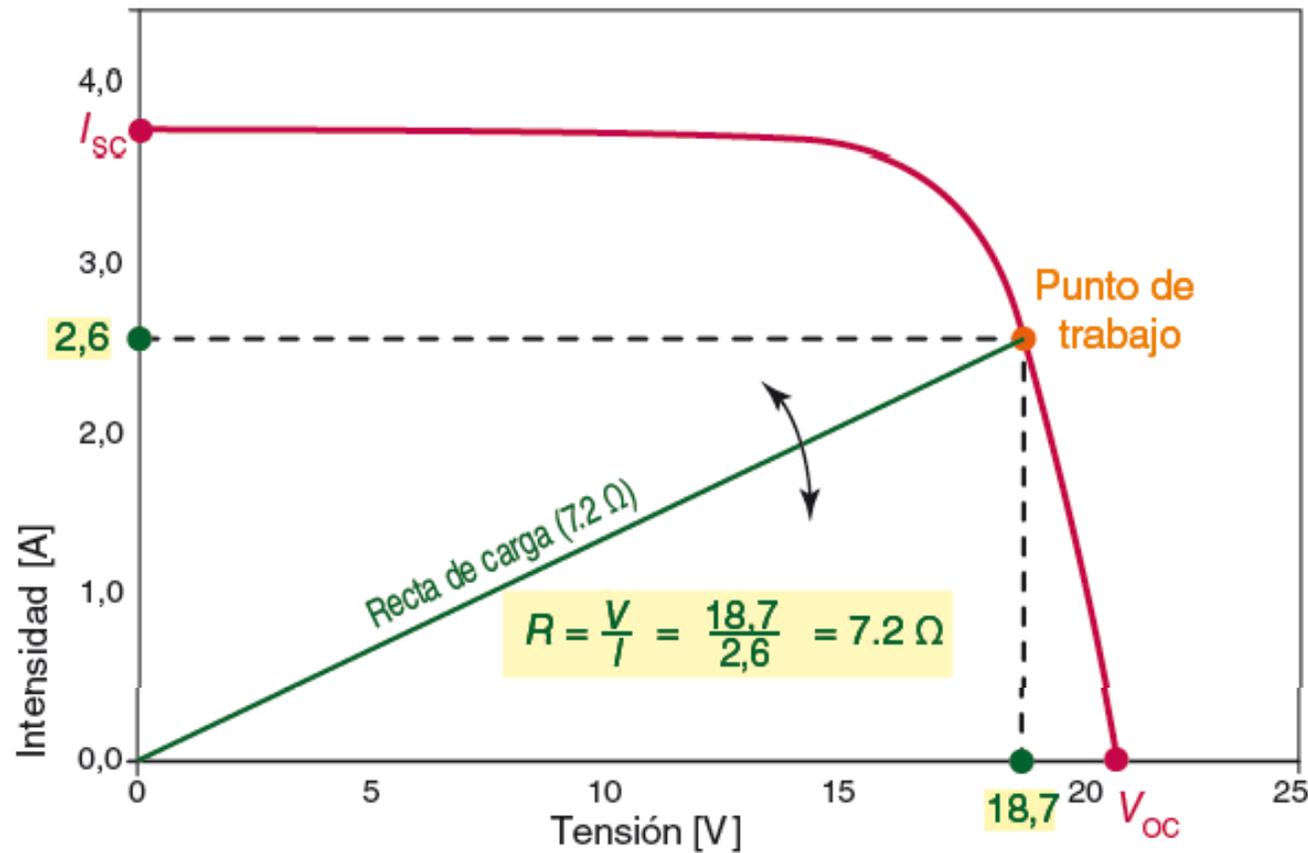


Figura 4.12. Recta de carga y punto de trabajo de un modulo FV.

4

Módulos fotovoltaicos

4. Parámetros de un módulo solar

1. Curva característica del módulo

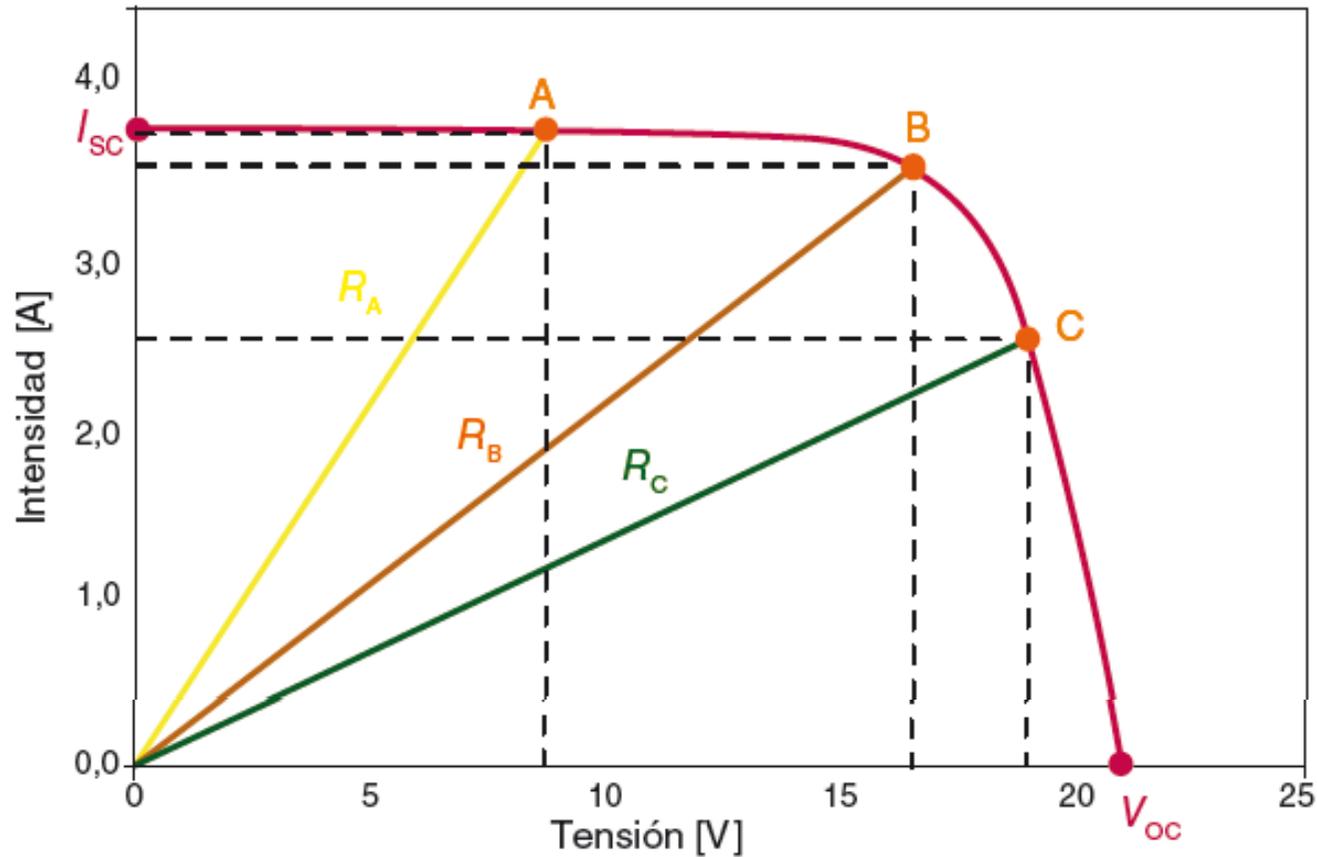


Figura 4.13. Distintos puntos de trabajo fijados por distintas resistencias de carga.

4. Parámetros de un módulo solar

1. Curva característica del módulo

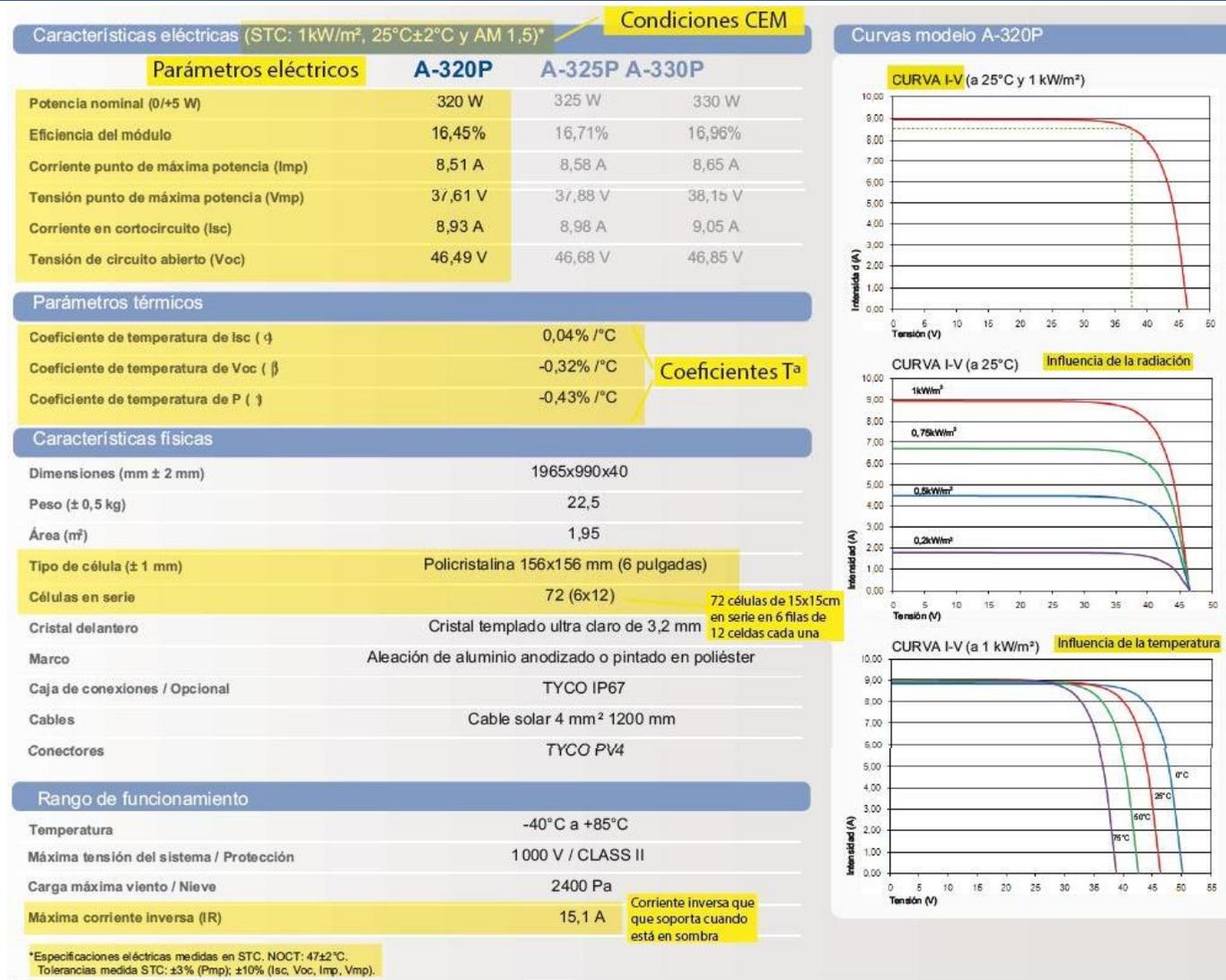


Figura 4.14. Interpretación de la hoja de datos técnicos de módulo (fuente: Atersa).



CARACTERÍSTICAS DE UN MÓDULO

- Corriente de cortocircuito (**I_{sc}**)
- Tensión de circuito abierto (**V_{oc}**)
- Potencia máxima o de pico en el punto de máxima potencia (**P_m**)
- Rendimiento o eficiencia(**η**)
- Factor de forma (**FF**): $FF = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$
- Tolerancia

4

Módulos fotovoltaicos

4. Parámetros de un módulo solar

4.2. Factores que afectan al funcionamiento de los módulos

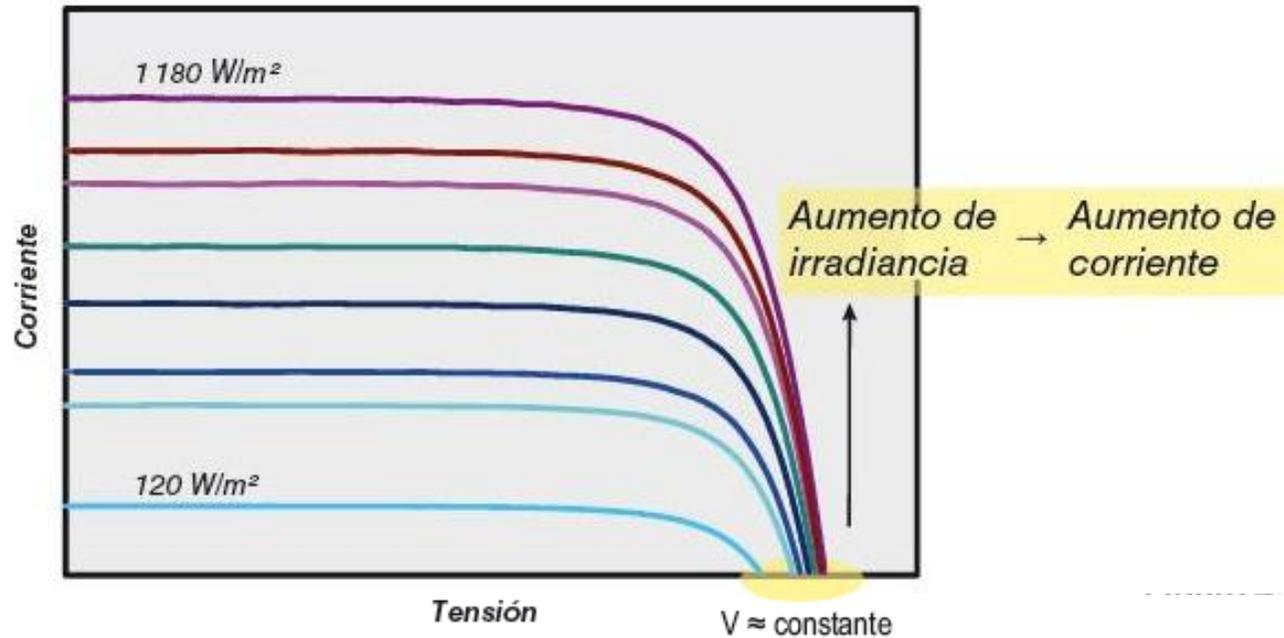


Figura 4.15. Influencia de la irradiancia.

4

Módulos fotovoltaicos

4. Parámetros de un módulo solar

4.2. Factores que afectan al funcionamiento de los módulos

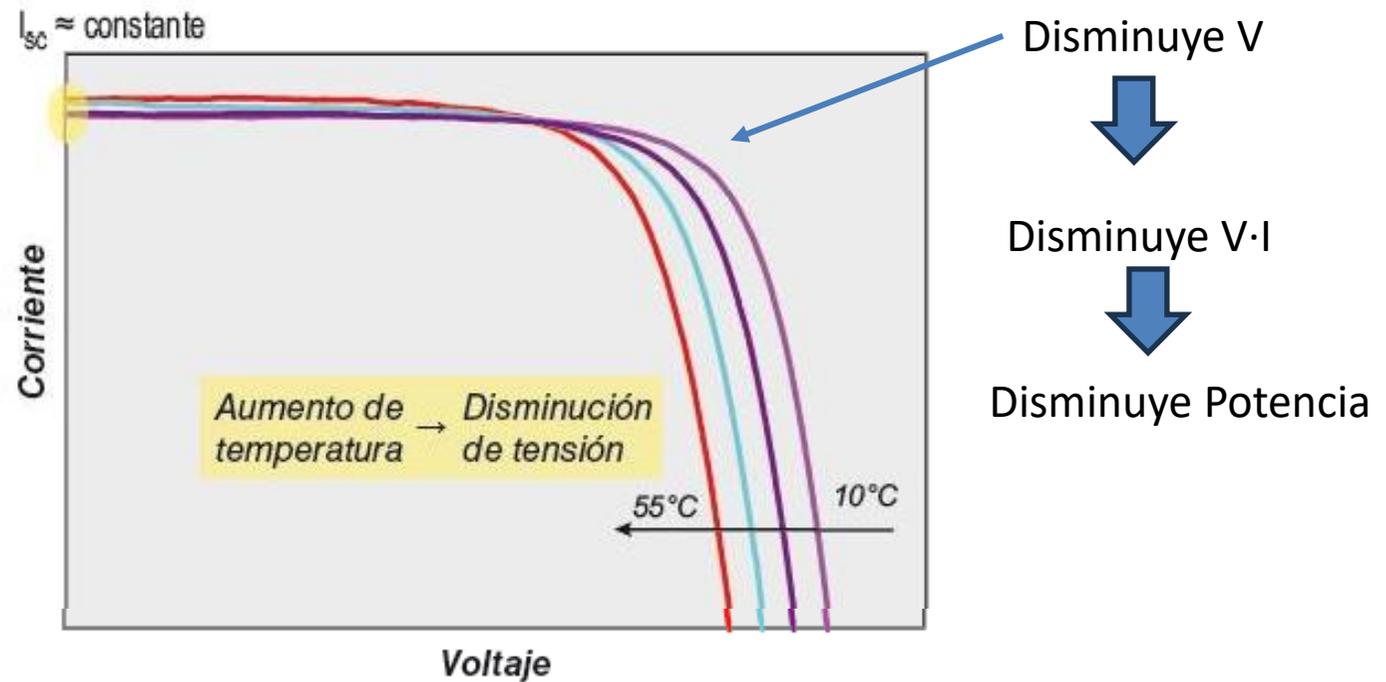


Figura 4.16. Influencia de la temperatura.



COEFICIENTES DE TEMPERATURA

- $\alpha (I_{sc})$: Coeficiente de variación de I_{sc} .
- $\beta (V_{oc})$: Coeficiente de variación de V_{oc} .
- $\gamma (P_M)$: Coeficiente de variación de P_M .

Parámetros térmicos

Coeficiente de temperatura de I_{sc} (α)	0,04% /°C
Coeficiente de temperatura de V_{oc} (β)	-0,32% /°C
Coeficiente de temperatura de P (γ)	-0,43% /°C

Coeficientes T^a

Ejemplos de cálculo de parámetro a determinada T^a de la célula:

- Coeficiente en $A/^{\circ}C$: $I_{sc}(T^a_1) = I_{sc}(25^{\circ}) + \alpha (T^a_1 - 25^{\circ})$ **OJO: De la célula, no de ambiente**
- Coeficiente en $\%/^{\circ}C$: $I_{sc}(T^a_1) = I_{sc}(25^{\circ}) \left(1 + \frac{\alpha(T^a_1 - 25^{\circ})}{100}\right)$



CÁLCULO DE TEMPERATURA DE TRABAJO

$$T_c = T_a + G \left(\frac{T_{ONC} - 20^\circ}{800} \right)$$

- T_c es la temperatura de trabajo de la célula
- T_a es la temperatura ambiente
- G es la irradiancia (W/m^2)
- TONC es la temperatura de operación nominal de la célula en condiciones TONC.



RESUMEN DE INFLUENCIA EN PARÁMETROS

- La **intensidad aumenta con la radiación**.
- La **tensión disminuye con la temperatura**. Por ello es conveniente montar los módulos bien **aireados**.
- **Número de células** por módulo afecta a la **tensión** (0,5V por célula).
- El **tamaño** de la célula aumenta a la intensidad.
- A menor **TONC**, mayor producción del módulo, ya que la temperatura que alcanza la célula es menor para la misma temperatura ambiente.
- Cuantomenor sea el coeficiente $\gamma(P_M)$ mejor.

4

Módulos fotovoltaicos

4. Parámetros de un módulo solar

4.2. Factores que afectan al funcionamiento de los módulos

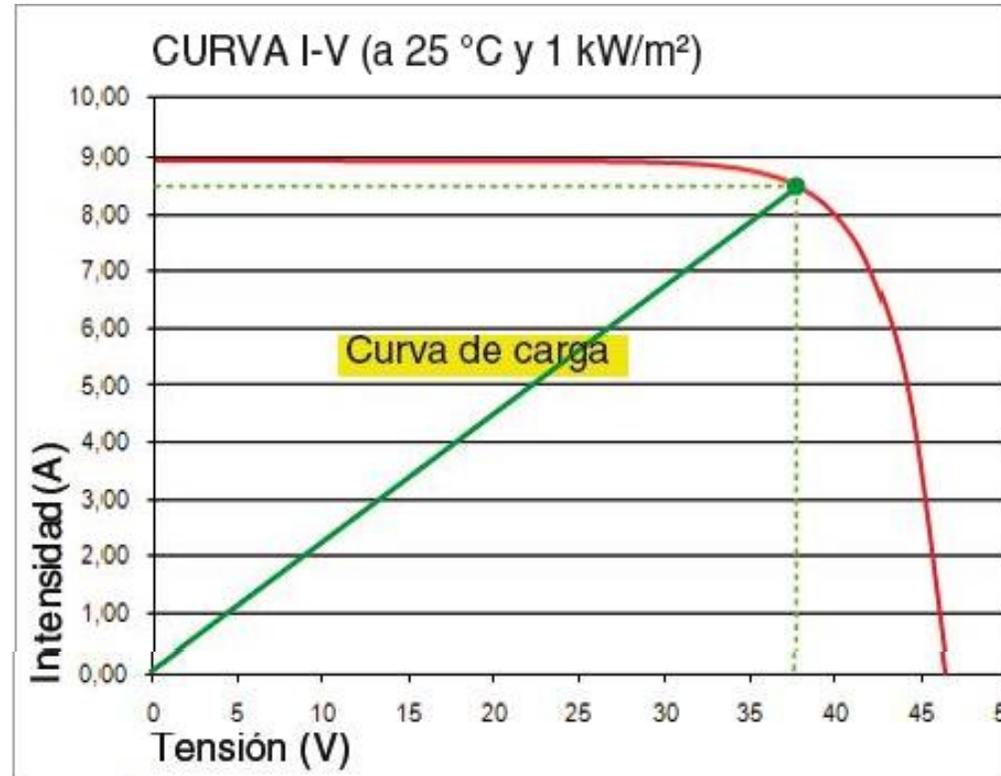


Figura 4.17. Curva característica con recta de carga.

DIODOS DE PASO O BYPASS

Evitan la aparición de **puntos calientes** al funcionar las celdas como **consumidor** en lugar de como **generador**

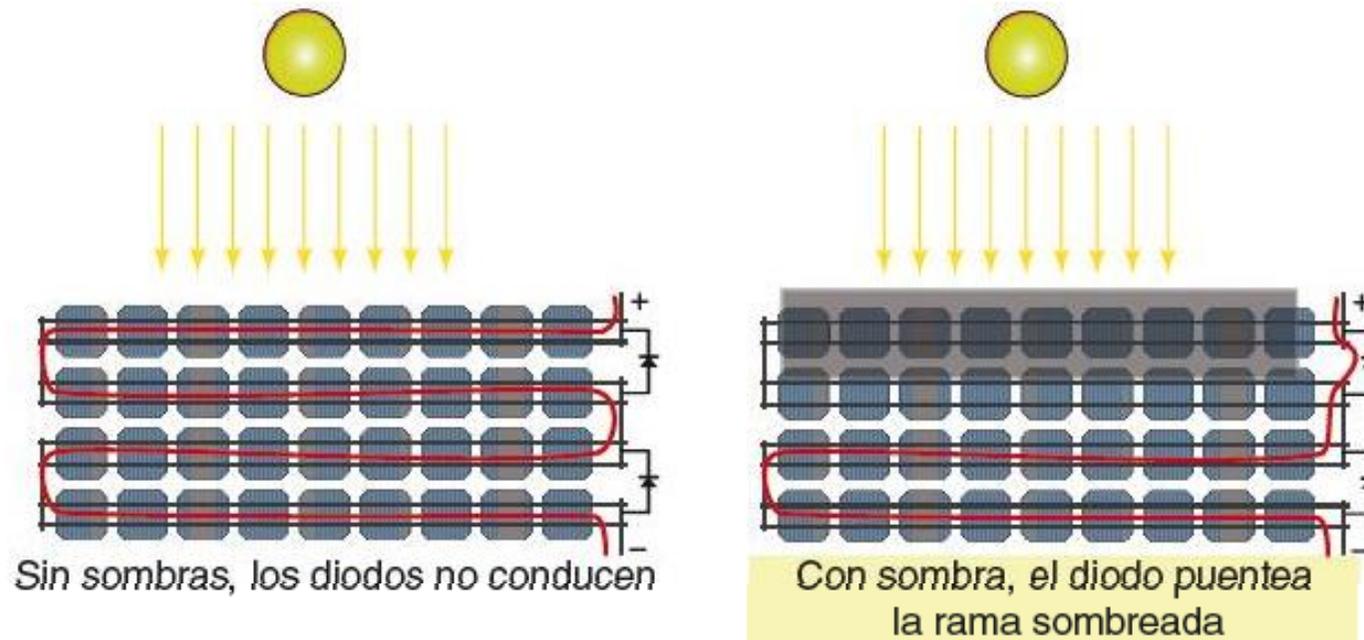


Figura 4.18. Funcionamiento de un diodo de paso ante sombreado parcial.

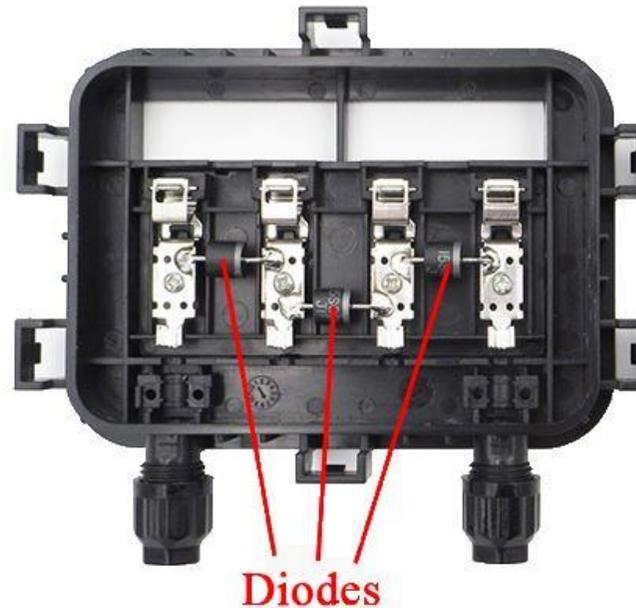
4

Módulos fotovoltaicos

5. Diodos de protección

DIODOS DE PASO O BYPASS

- Vienen instalados en el interior de las **cajas de conexiones** de los módulos
- Generalmente se conectan por **12 o 18 células**.
- Se usan cuando las **conexiones de las celdas** son en **serie** y la **tensión** del subsistema generador es al menos **24V**



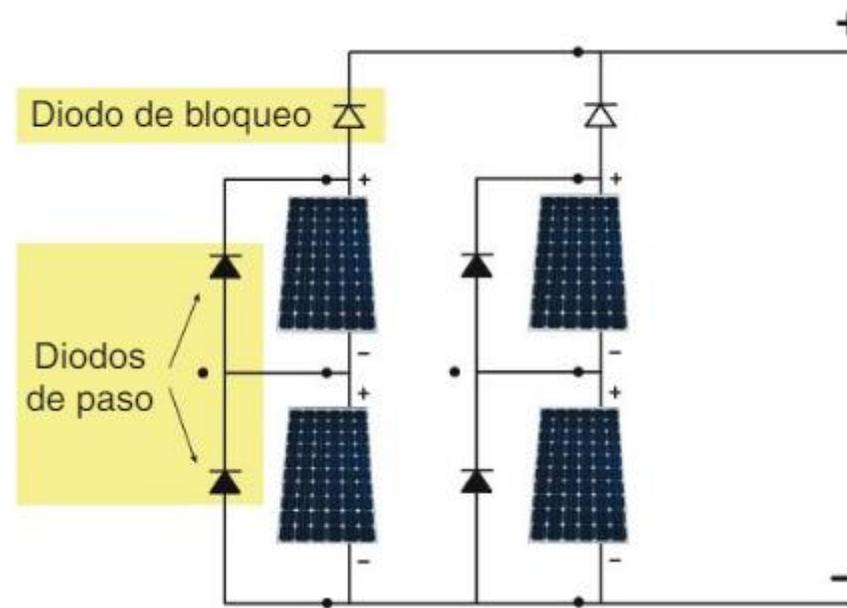
4

Módulos fotovoltaicos

5. Diodos de protección

DIODOS DE BLOQUEO

- Se montan cuando tenemos **ramas en paralelo** de módulos para impedir que una rama defectuosa pueda derivar corriente generada en otras ramas
- También se usan cuando tenemos **inversores que no bloquean** el paso de la **corriente** de las **baterías hacia los paneles** por la noche



4

Módulos fotovoltaicos

6. Conectores y caja de conexiones

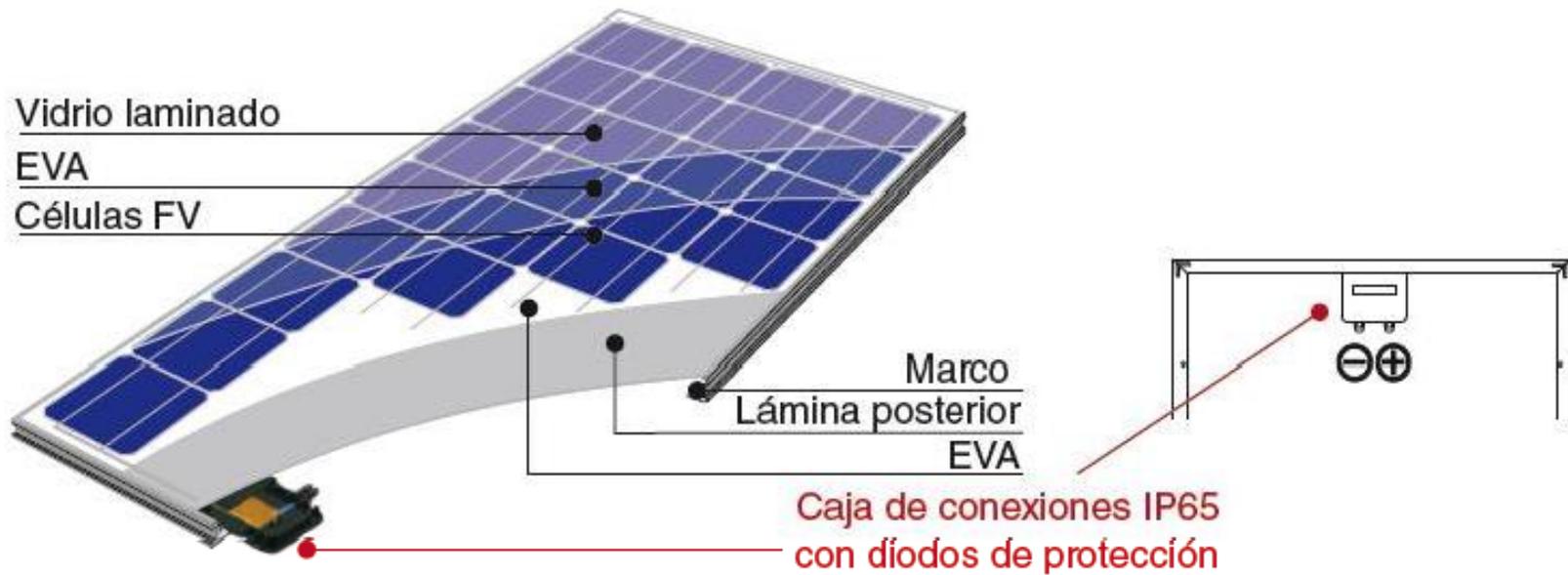


Figura 4.20. Situación de la caja de conexiones de un módulo (fuente: Atersa).

4

Módulos fotovoltaicos

6. Conectores y caja de conexiones



Figura 4.21. Caja de conexión de un módulo con diodos de paso (fuente: Sunfields).

4

Módulos fotovoltaicos

6. Conectores y caja de conexiones



OJO: No conectar y desconectar en carga. Peligro de arco eléctrico

- Instalar **interruptores** que permitan **dejar el string sin carga** para desconectar el MC4
- Diseñados para **4 y 6mm²**
- Soportan **30A**

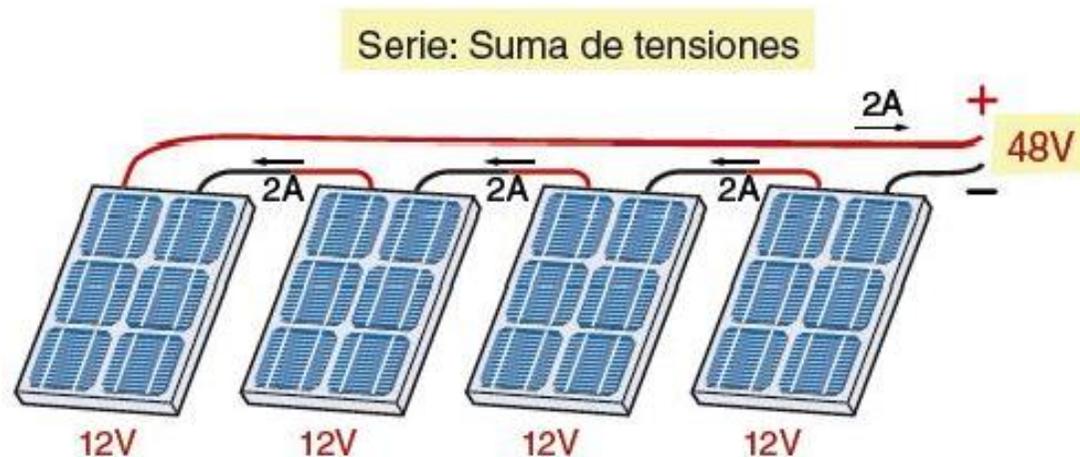


Figura 4.24. Conexión en serie de módulos.

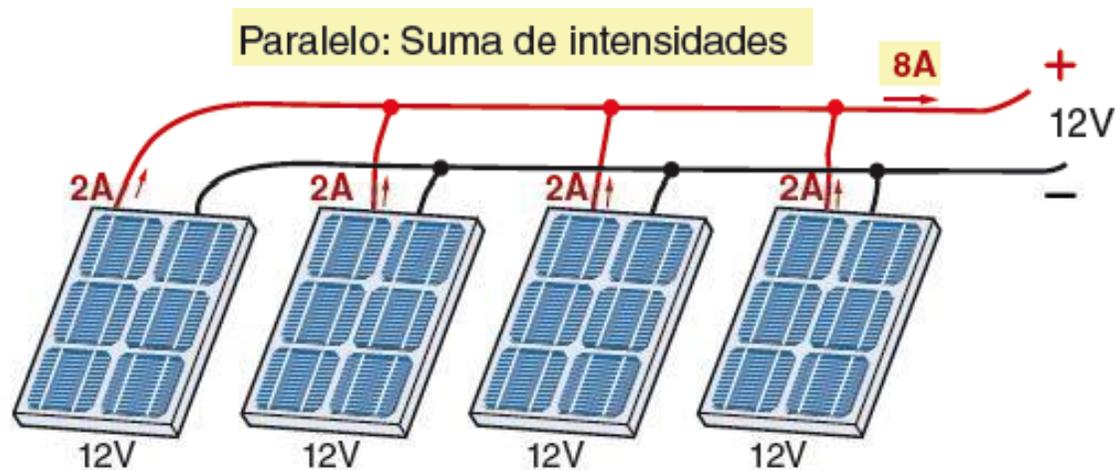


Figura 4.25. Conexión en paralelo de módulos.

4

Módulos fotovoltaicos

7. Asociación de módulos fotovoltaicos



Figura 4.26. Conexión mixta de módulos.



PRECAUCIONES EN LA CONEXIÓN

- **Conexión en serie:** Los módulos deben de tener la misma I_{SC} . En caso contrario, la del menor panel limitará esta.
- **Conexión en paralelo:** Los módulos deben de tener la misma V_{OC} . En caso contrario, la del menor panel limitará esta.

En caso de no cumplirse estas precauciones, la **potencia máxima** quedará **limitada**, a los parámetros establecidos por el módulo de menor I_{SC} o V_{OC} en cada caso

4

Módulos fotovoltaicos

8. Criterios para la elección de los módulos



Curva módulos en serie

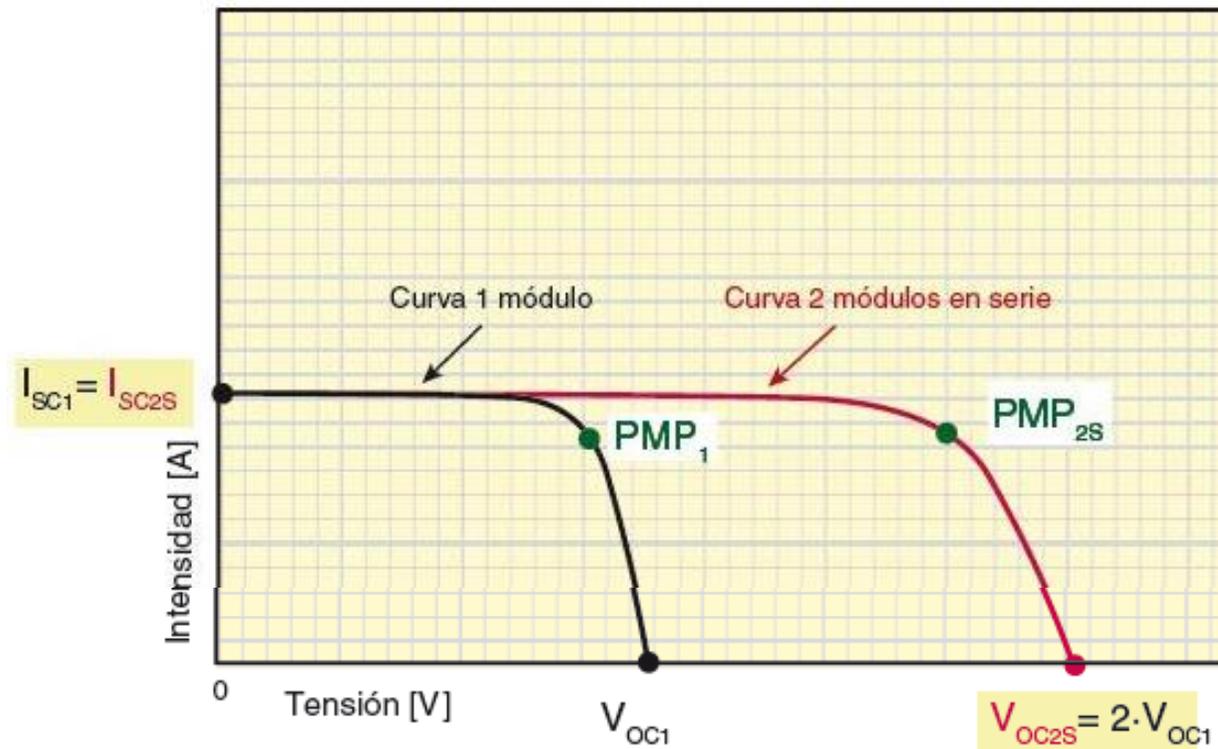


Figura 4.27. Curva I-V resultante de conexión en serie de módulos.



CONSIDERACIONES

- Tener en cuenta **TONC** (Temperatura de operación normal de la célula) y el **coeficiente de temperatura de potencia** a la hora de predecir potencia.
- Condiciones **CEM** muy raramente se producen.
- Paneles de **36 células** para **12V**, de **72** para **24V**.
- Paneles de **60** células o valores diferentes a 36 o 72 son para **conexión a red** y requieren regulador o inversor MPPT.
- Buscar paneles con **tolerancia lo menor posible** para reducir **pérdidas** por **dispersión** de parámetros.

4

Módulos fotovoltaicos

8. Criterios para la elección de los módulos



Curva módulos en paralelo

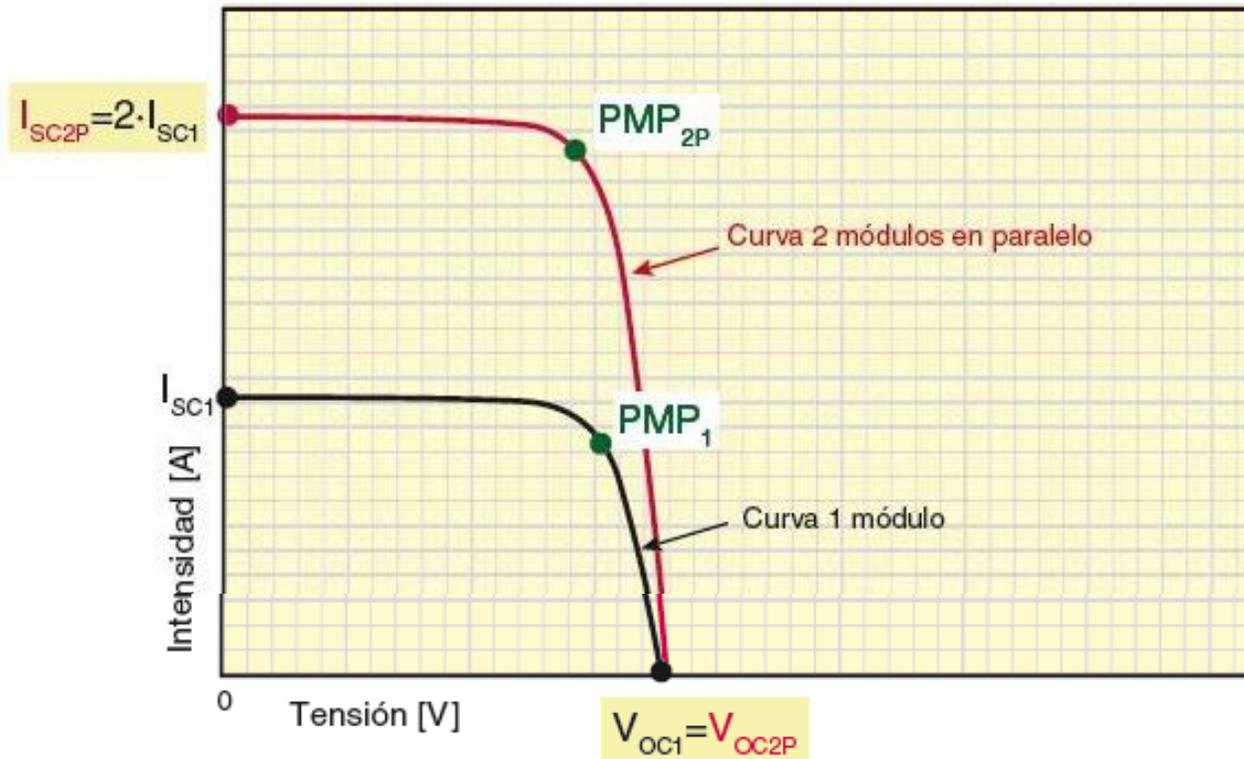


Figura 4.28. Curva I-V resultante de conexión en paralelo de módulos.

4

Módulos fotovoltaicos

9. Comprobaciones en un módulo solar

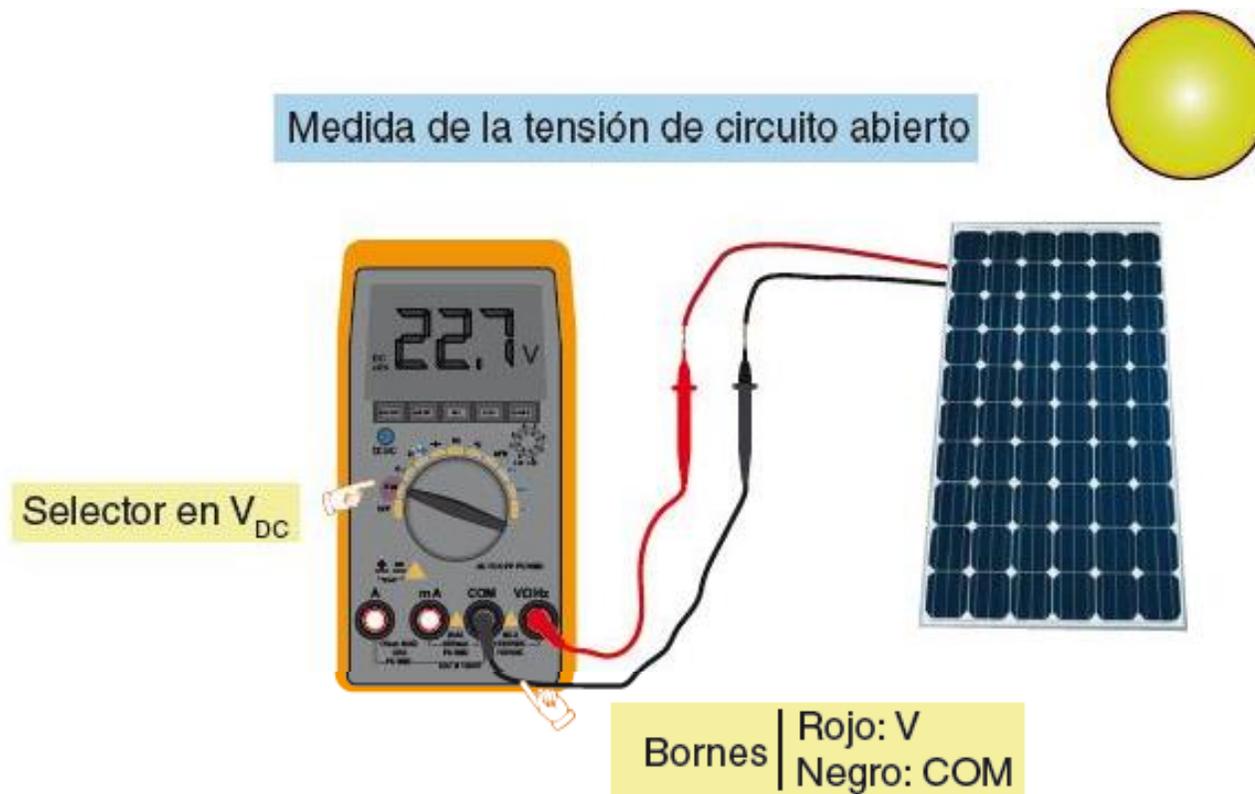


Figura 4.29. Medida de la tensión de circuito abierto.

4

Módulos fotovoltaicos

9. Comprobaciones en un módulo solar



Figura 4.30. Medida de la corriente de cortocircuito con pinza amperimétrica.

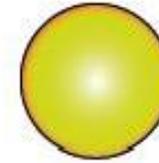
4

Módulos fotovoltaicos

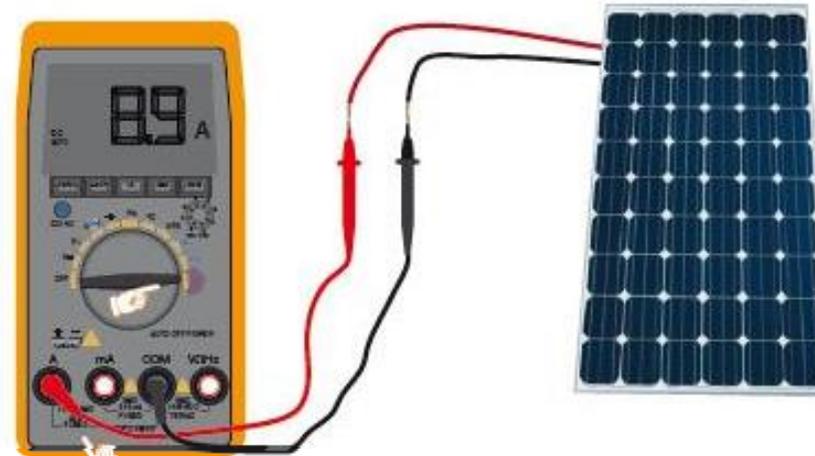
9. Comprobaciones en un módulo solar



Medida de la intensidad de cortocircuito



Selector en A_{DC}



Bornes | Rojo: A
 | Negro: COM

Figura 4.31. Medida de la corriente de cortocircuito.



¿CÓMO CALCULO LA POTENCIA DE PANELES INSTALADOS QUE NECESITO?

$$P_{Gmin} = \frac{W_d \cdot 1000}{H_d(\alpha, \beta) \cdot PR} \quad ; \quad P_{Gmax} = 1,2 \cdot P_{Gmin}$$

- W_d es la energía media diaria consumida en $W \cdot h$. Se calcula sumando todas las estimación del tiempo de uso de cada aparato instalado.
- **1000** es la irradiancia CEM ($1000W/m^2$)
- $H_d(\alpha, \beta)$ es el valor medio mensual de la irradiación diaria en $W \cdot h/m^2$ para un acimut y una inclinación dadas.
- **PR** es el performance ratio o rendimiento de la instalación

NOTA: Se limita P_{Gmax} a un 20% para evitar sobredimensionar el generador.

RENDIMIENTO GLOBAL DE INSTALACIÓN

$$PR = \eta_{temp} \cdot \eta_{to} \cdot \eta_{cab} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{reg}$$

- η_{temp} es el rendimiento debido a las pérdidas por temperatura.
- η_{to} es el rendimiento debido a las pérdidas por polvo y reflectancia.
- η_{cab} es el rendimiento debido a las pérdidas en los cables.
- η_{inv} es el rendimiento del inversor.
- η_{reg} es el rendimiento del regulador.



RENDIMIENTO ESTIMADO DE INSTALACIÓN

- Instalación con inversor: $PR=0,7$
- Instalación con inversor, regulador y batería: $PR=0,6$
- Instalación con batería y regulador sin inversor: $PR=0,7$

4

Módulos fotovoltaicos Actividades finales



	
Model Number	STP190-18/U b
Rated Maximum Power	(P_{max}) 190W
Output Tolerance	$\pm 3\%$
Current at Pmax	(I_{mp}) 7.31A
Voltage at Pmax	(V_{mp}) 26V
Short-Circuit Current	(I_{sc}) 7.89A
Open-Circuit Voltage	(V_{oc}) 33V
Nominal Operating Cell Temp.	(T_{soct}) 50°C
Weight	16.8kg
Dimension	1482 × 992 × 35(mm)
Maximum System Voltage	1000V
Maximum Series Fuse Rating	13A
Cell Technology	Multi-Si
All technical data at standard test condition AM=1.5 E=1000W/m ² T _c =25°C	
   	
Add:17-6 ChangJiang South Road New DistrictWuxi, China Tel:(+86)0510-85318888 Fax:(+86)0510-85343049 Made in China	

Figura 4.32. Placa de características de un módulo.

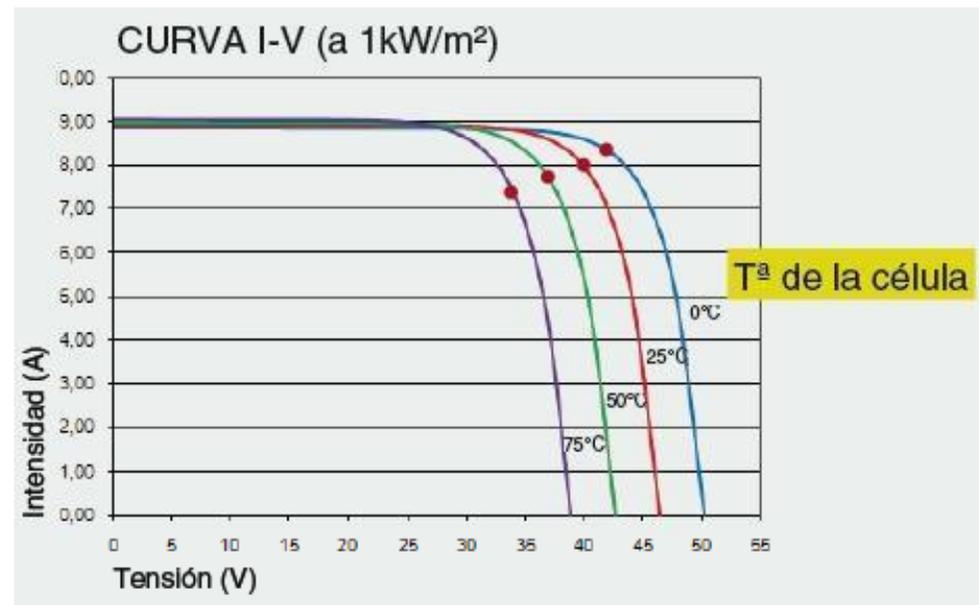


Figura 4.33. Curva del ejercicio 7.

4

Módulos fotovoltaicos

Práctica profesional propuesta

Obtención de la curva I-V de un módulo FV

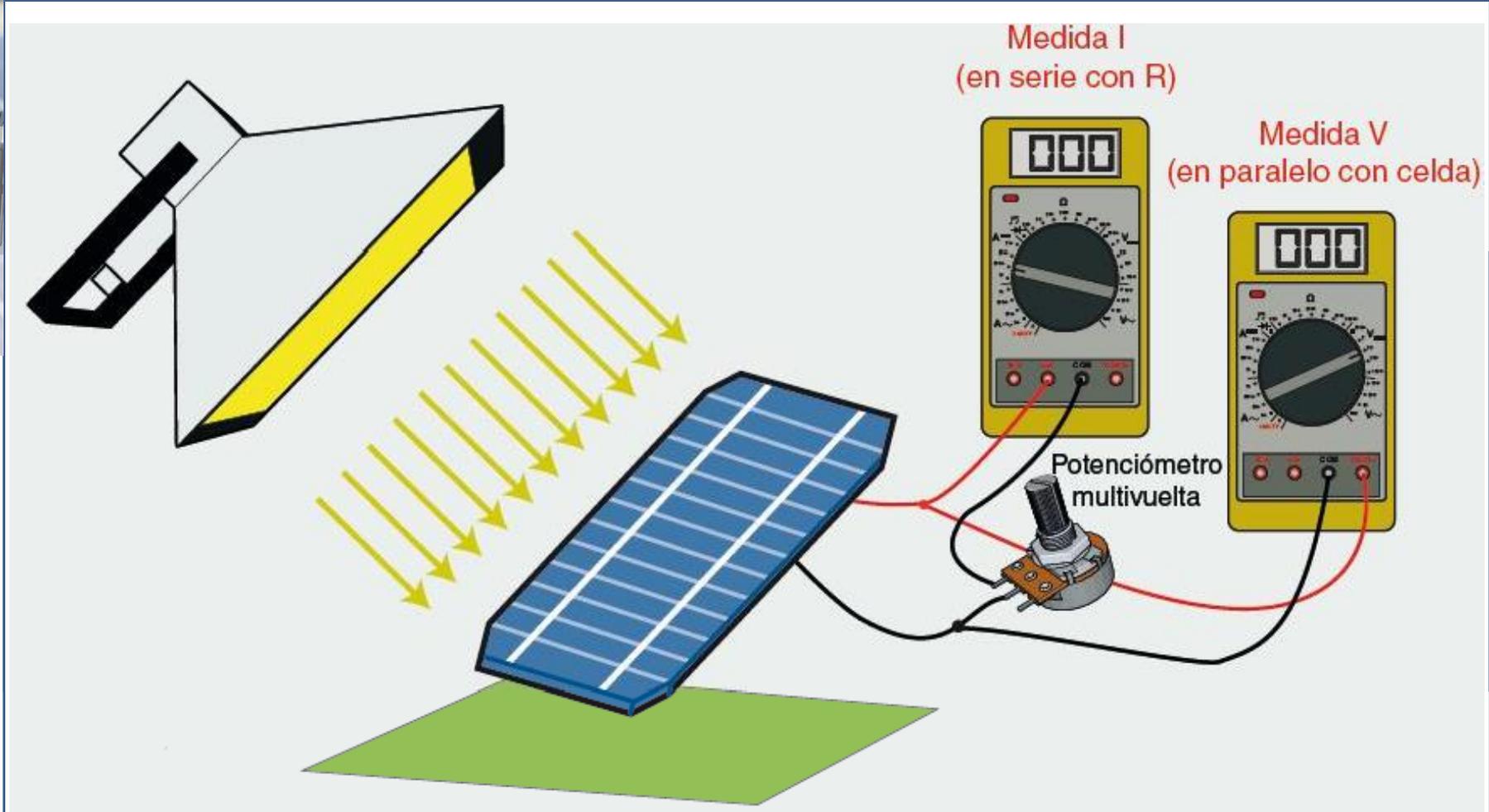


Figura 4.34. Montaje de la práctica propuesta.

4

Módulos fotovoltaicos

Práctica profesional propuesta

Obtención de la curva I-V de un módulo FV

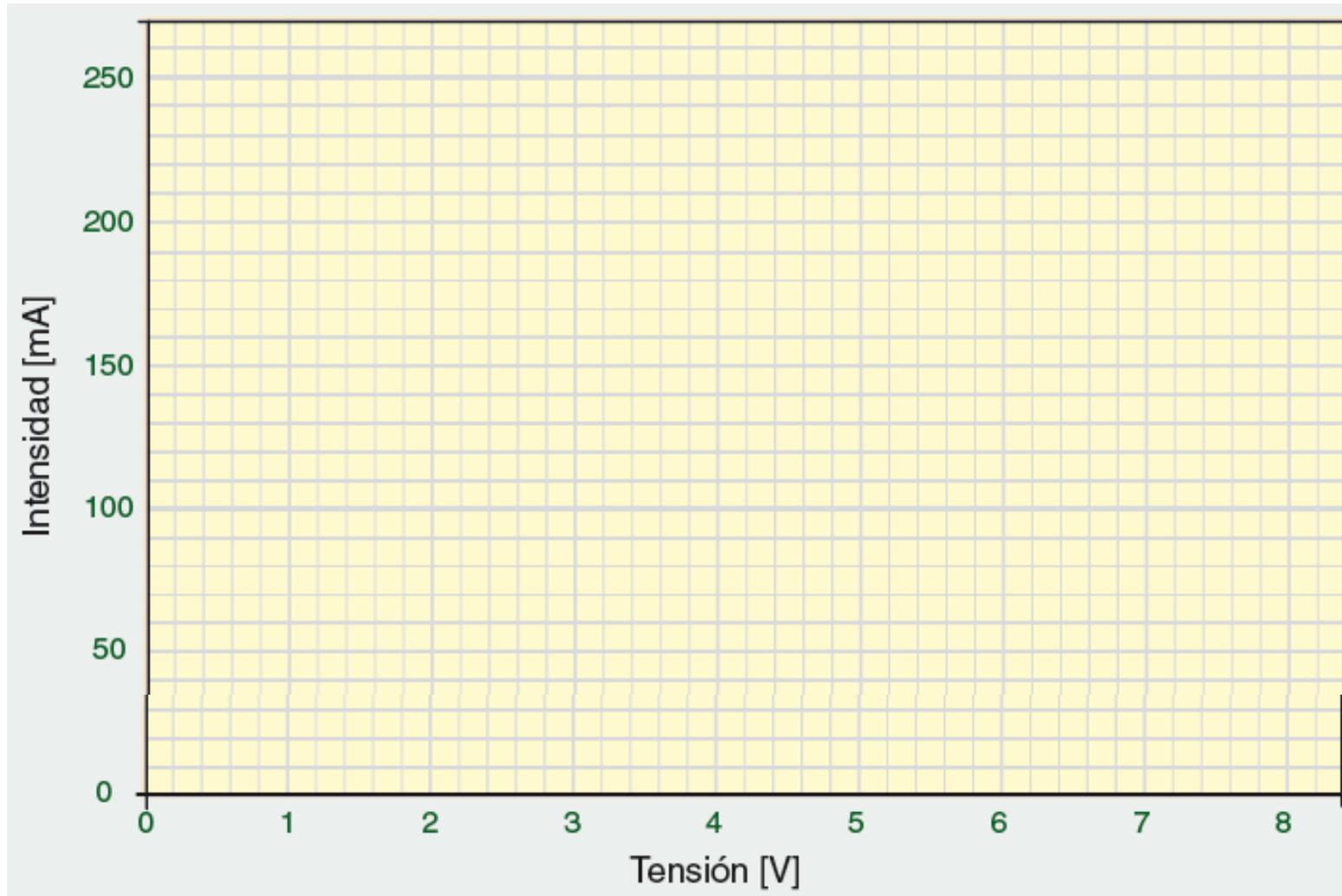


Figura 4.35. Cuadrícula para curva I-V.

4

Módulos fotovoltaicos En resumen

