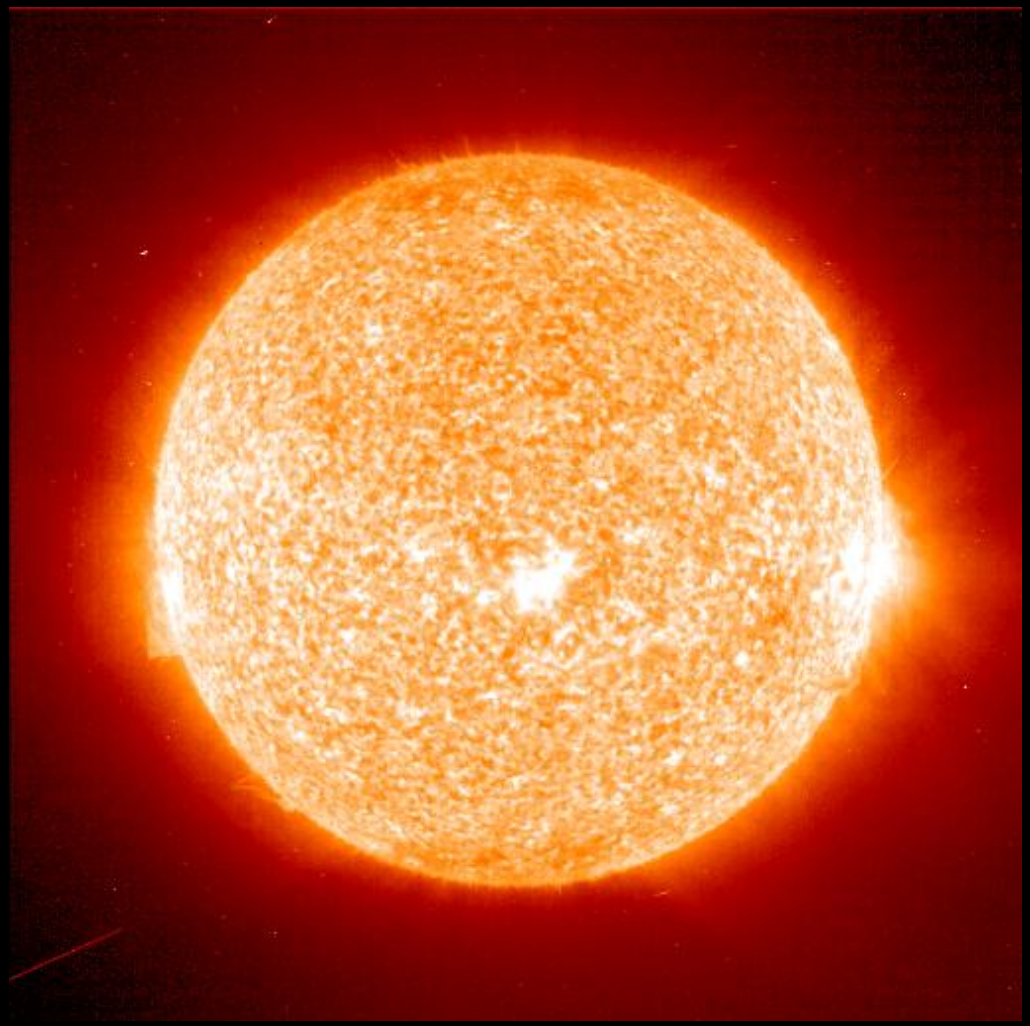
Fundamentos sobre energía solar fotovoltaica



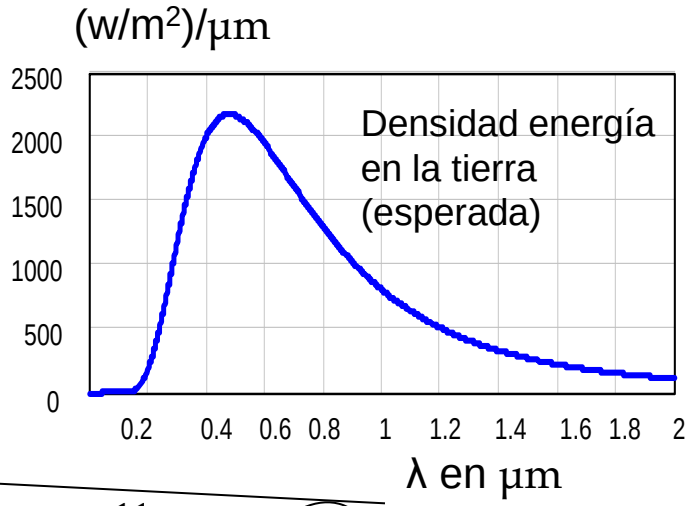
José Antonio Villarejo Mañas
Dpto. Tecnología Electrónica
Jose.Villarejo@upct.es

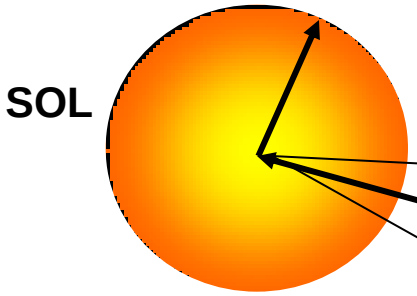
Contenido

1. Naturaleza de la luz solar
2. Efecto Fotoeléctrico
3. Fundamentos sobre semiconductores
4. La unión PN
5. Funcionamiento de las células solares
6. Circuito equivalente de una célula solar
7. Interconexión de células
8. Concentración Solar
9. El sol visto desde la tierra
10. El sistema fotovoltaico

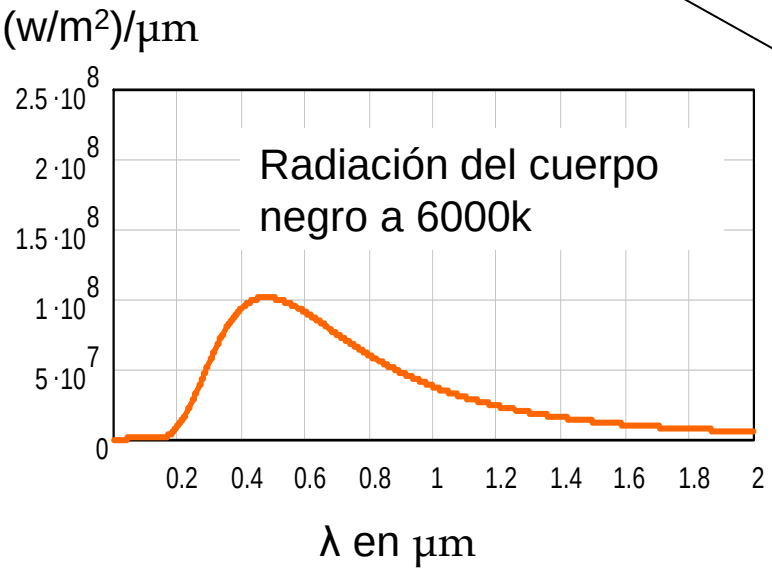
Naturaleza de la luz solar

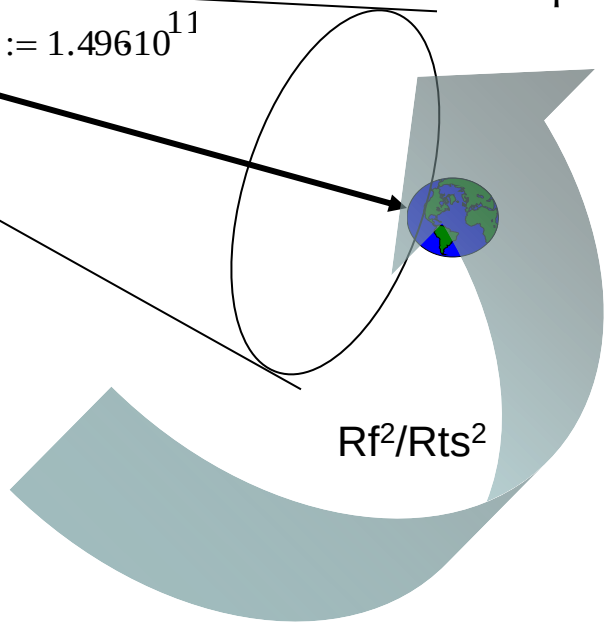
Radio del sol	$0{,}695 \cdot 10^{9}$ m
Temp. Fotosfera	6000 ºC
Distancia Tierra	$1{,}496 \cdot 10^{11}$ m





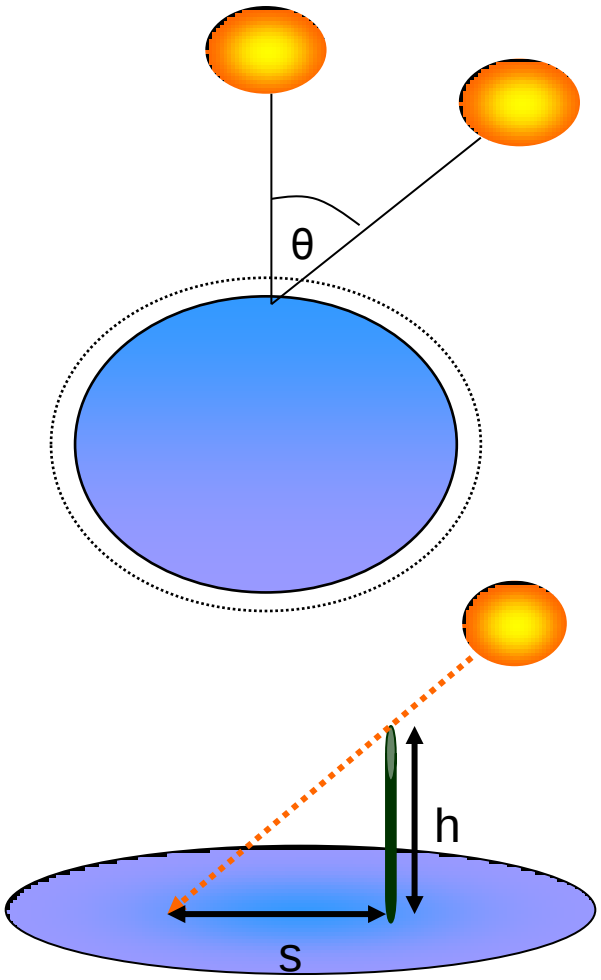
$Rts := 1.496 \cdot 10^{11}$





Naturaleza de la luz solar

AM: Air Mass



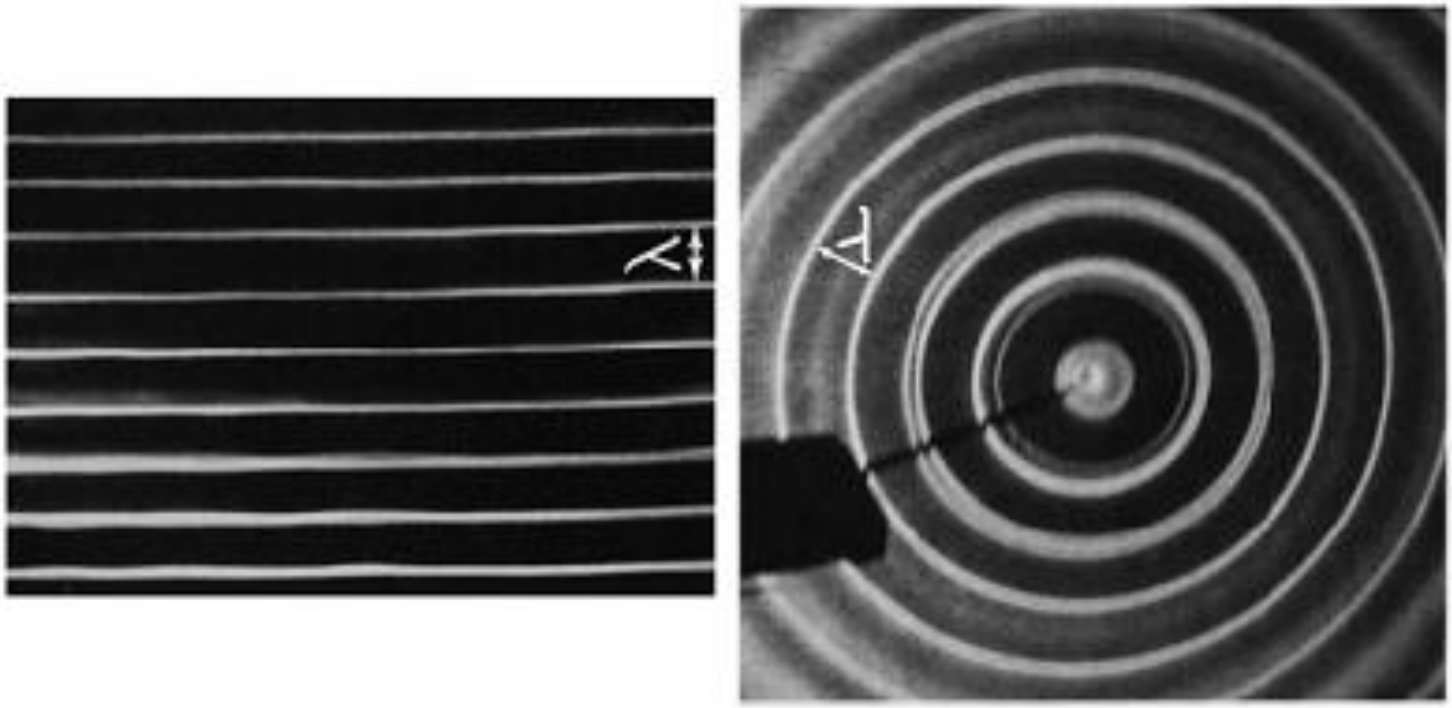
$$AM = \frac{1}{\cos(\theta)}$$

AM 1.5 corresponde a θ=48.2º

$$AM = \sqrt{1 + (s/h)^2}$$

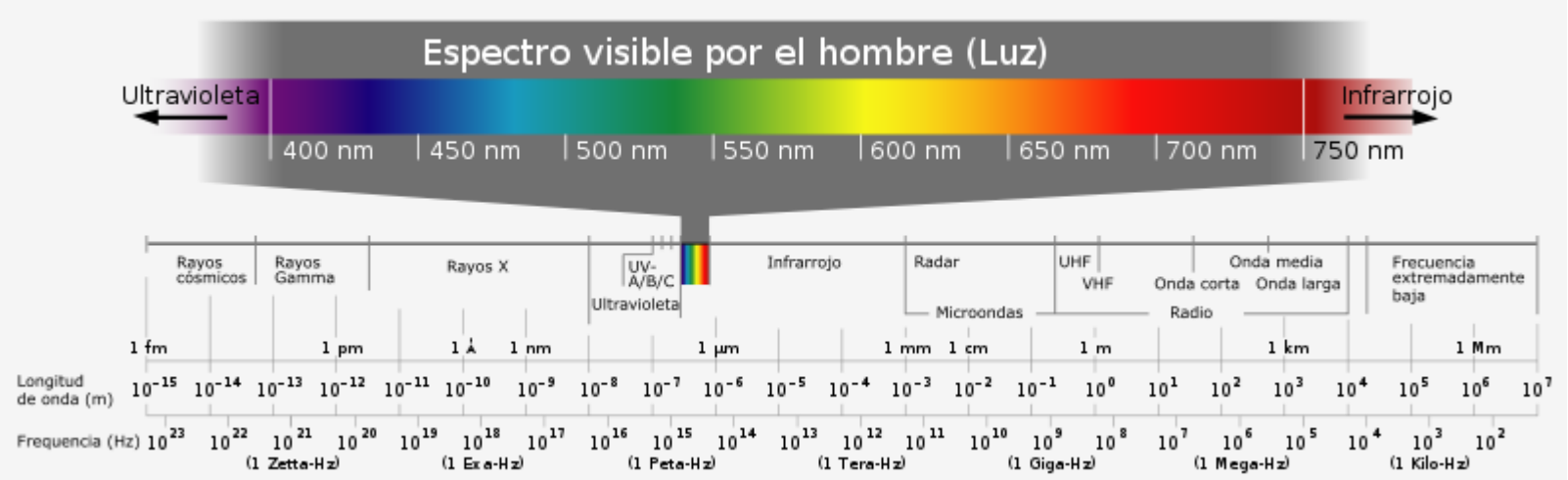
Naturaleza de la luz solar

Longitud de onda de la luz



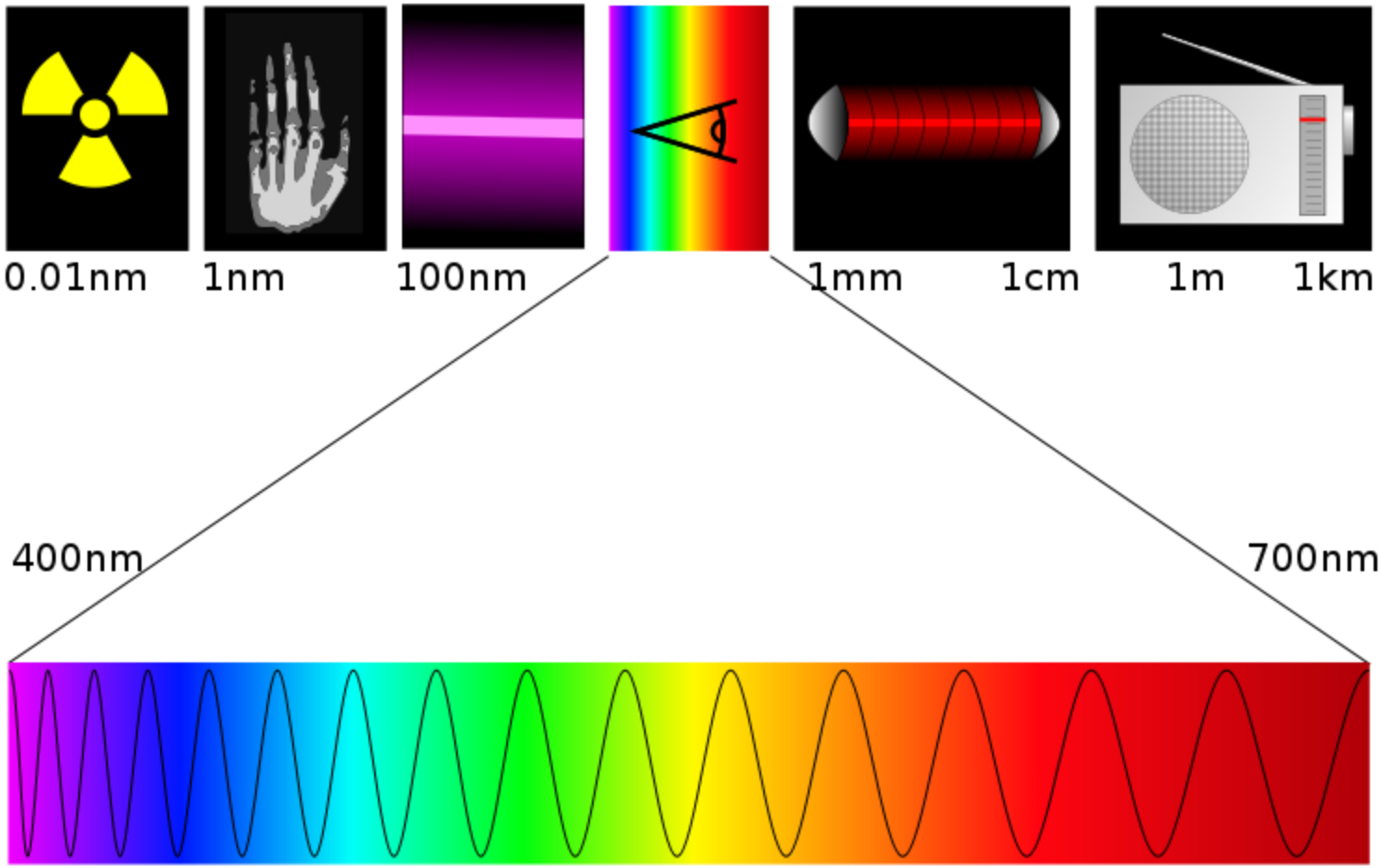
Naturaleza de la luz solar

Longitud de onda de la luz



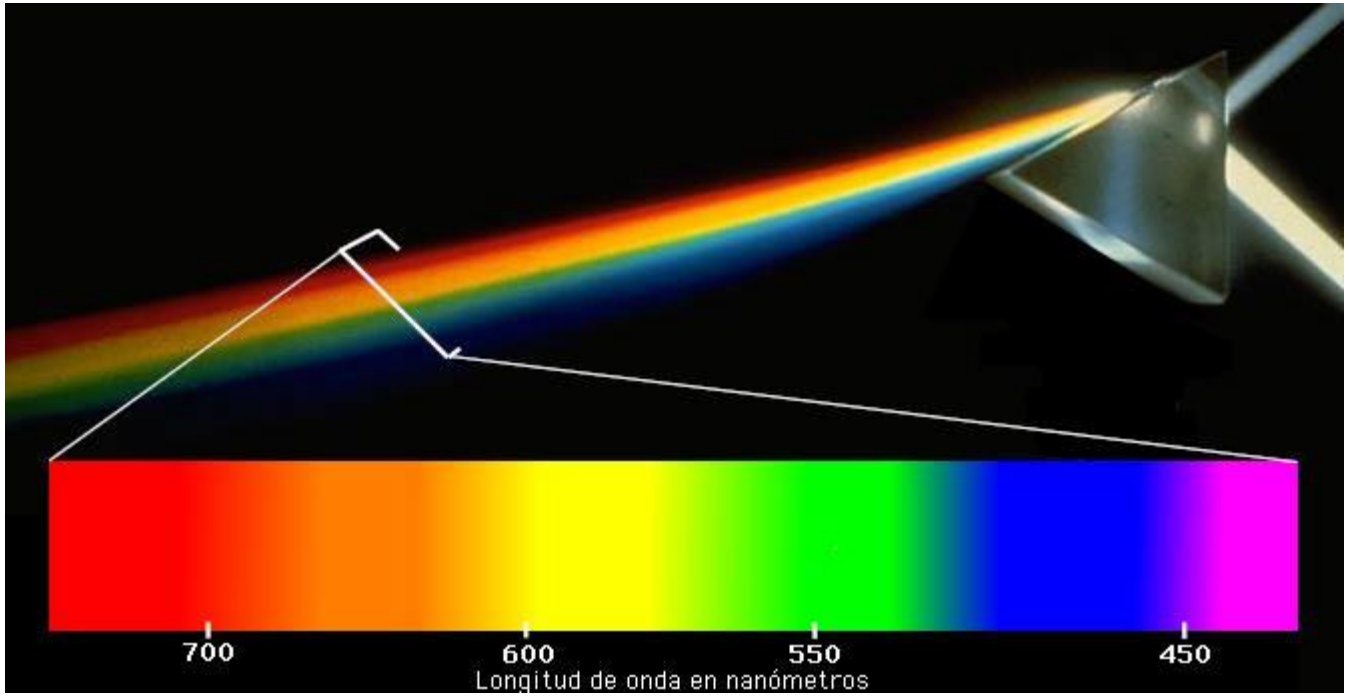
Naturaleza de la luz solar

Longitud de onda de la luz



Naturaleza de la luz solar

Longitud de onda de la luz



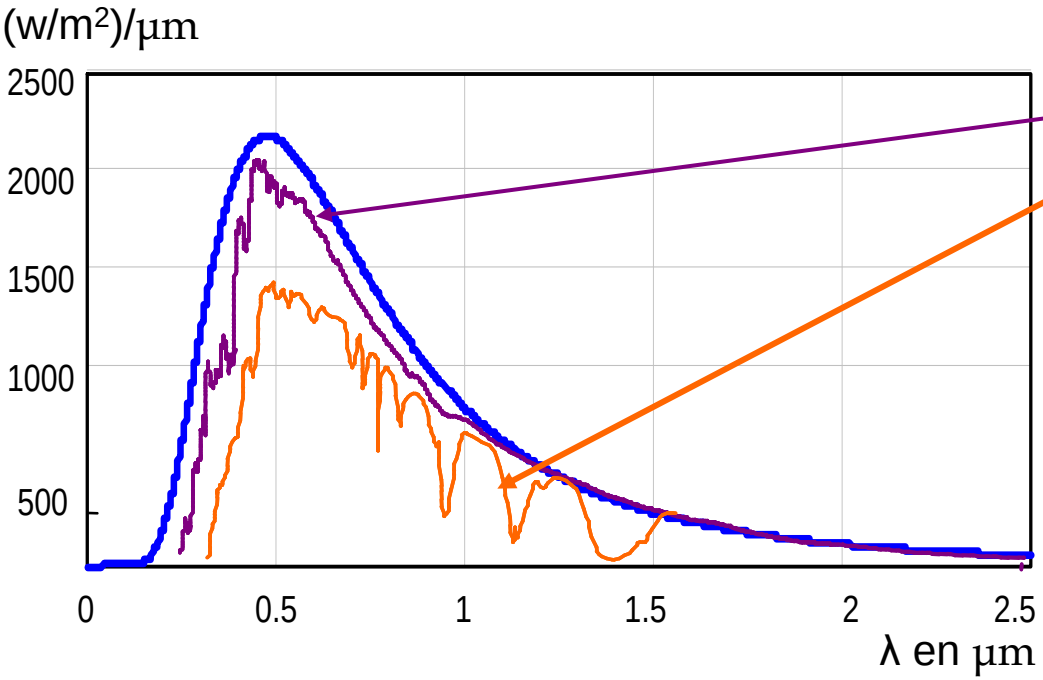
Naturaleza de la luz solar

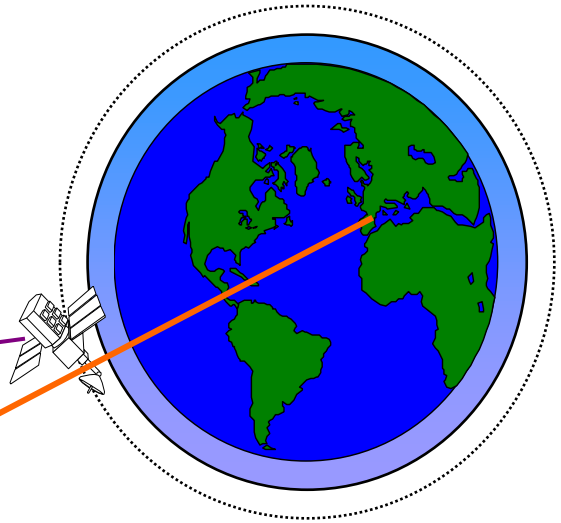
Radiación sobre la superficie de la tierra

Densidad energía esperada (cuerpo negro 6000K)

Densidad energía fuera de la atmósfera AM0

Densidad energía fuera de AM1.5*



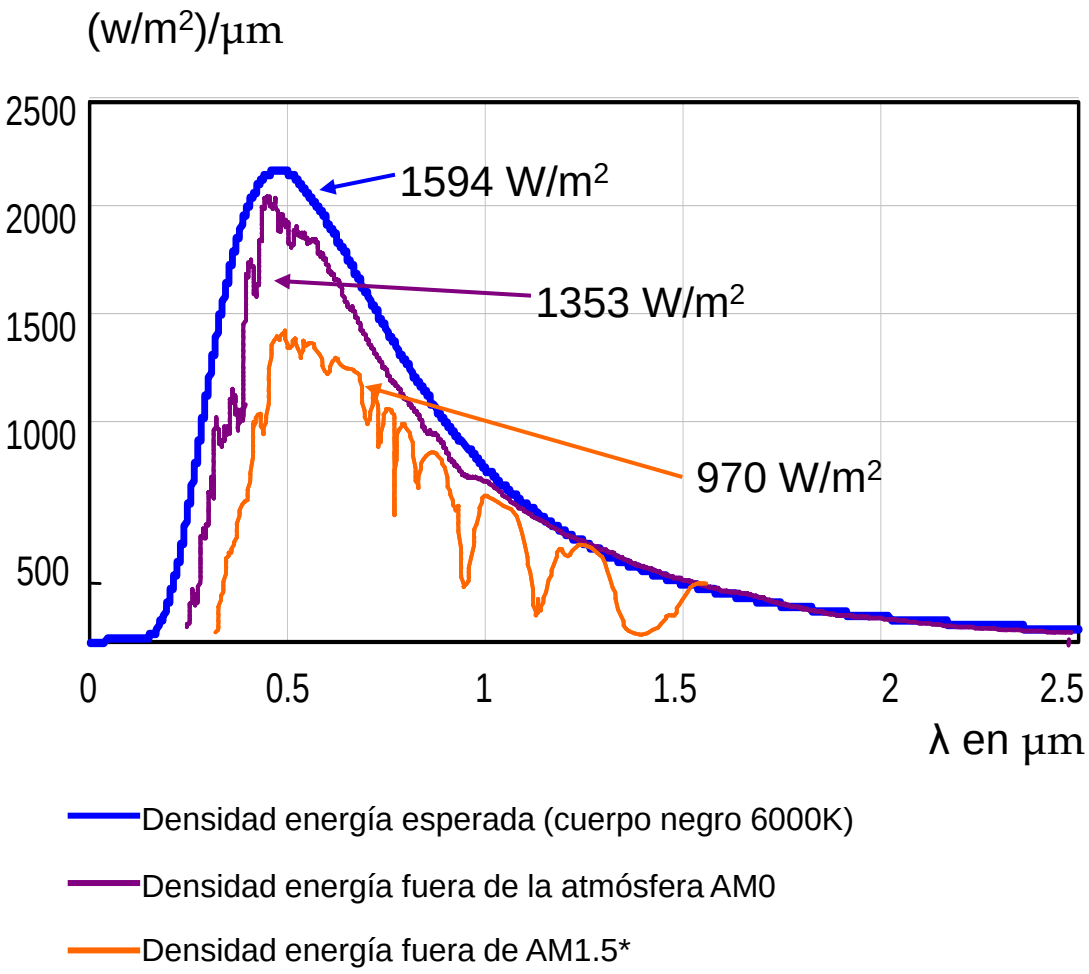


AM "Air mass"

*Radiación solar al nivel del mar a 40º latitud norte a medio día (AM 1.5)

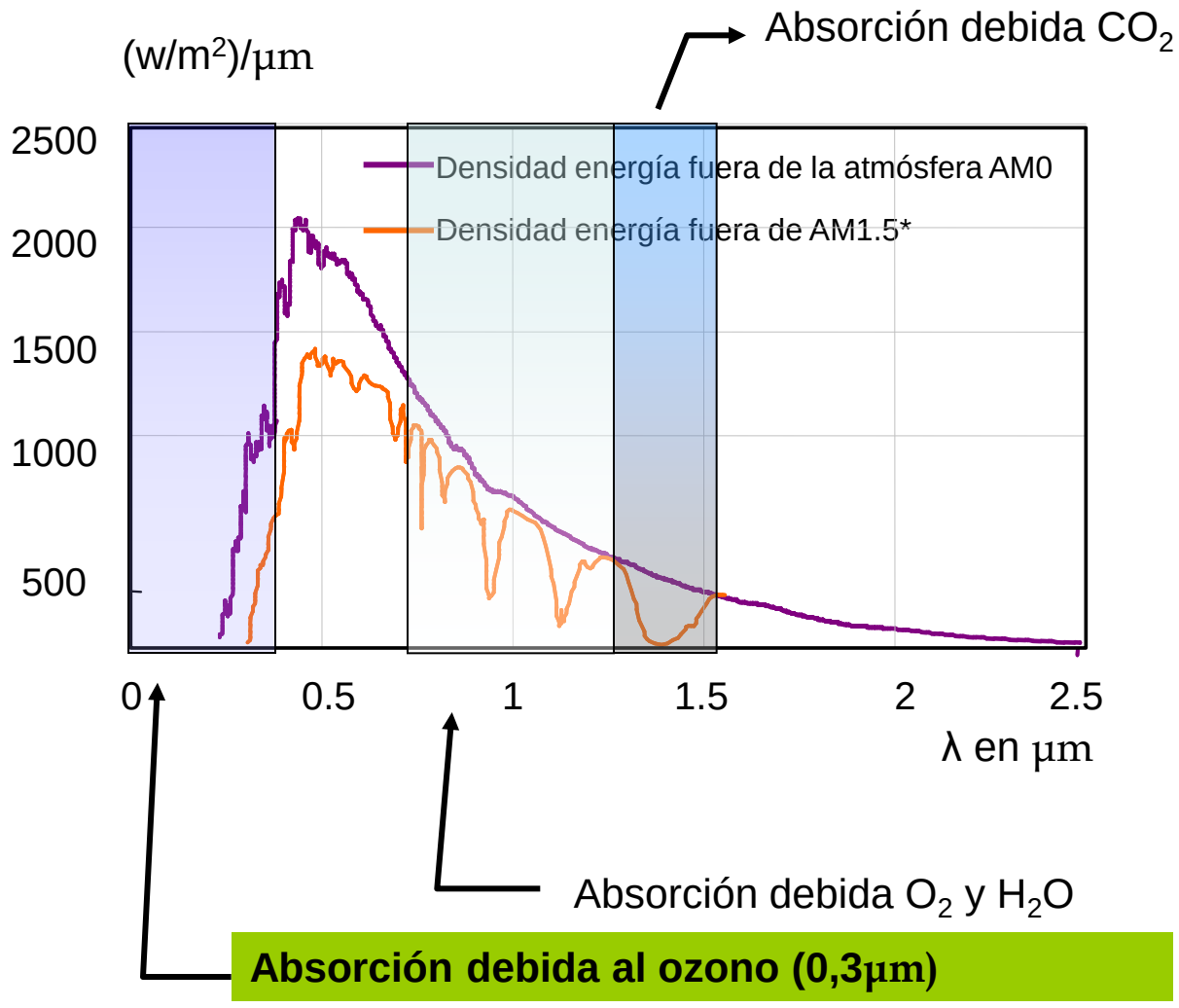
Naturaleza de la luz solar

Radiación sobre la superficie de la tierra



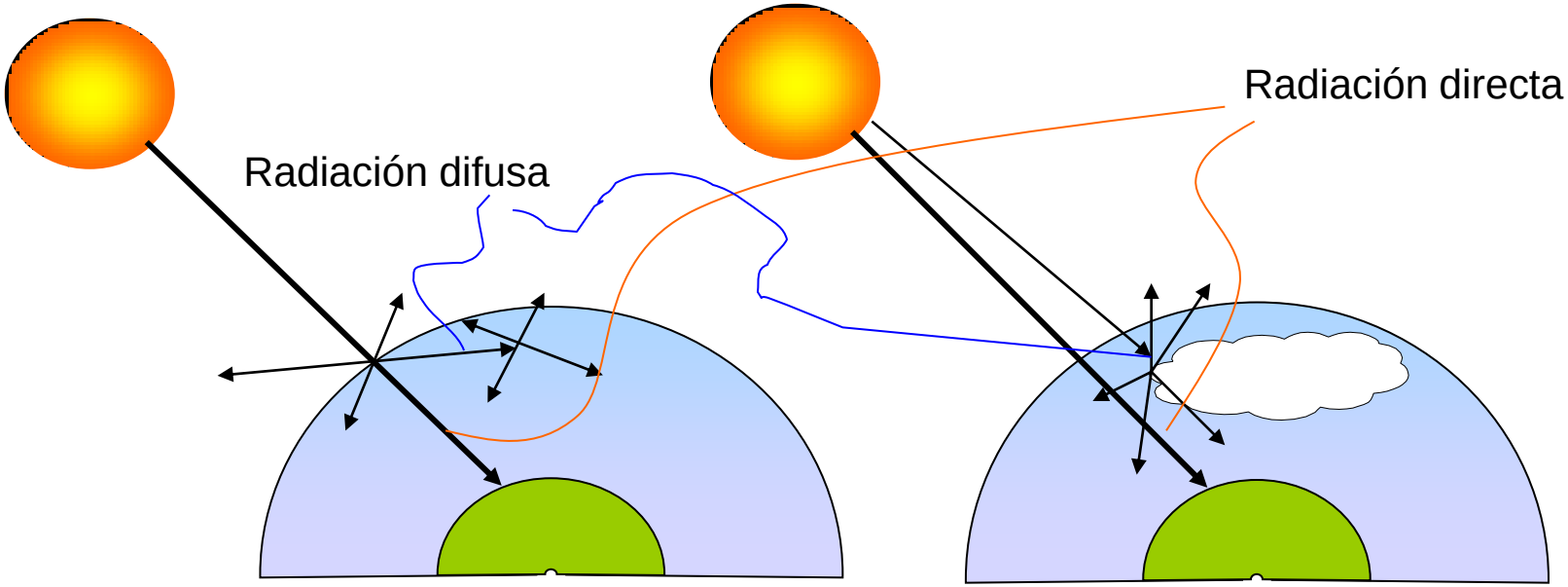
Naturaleza de la luz solar

Absorción de la radiación por la atmósfera



Naturaleza de la luz solar

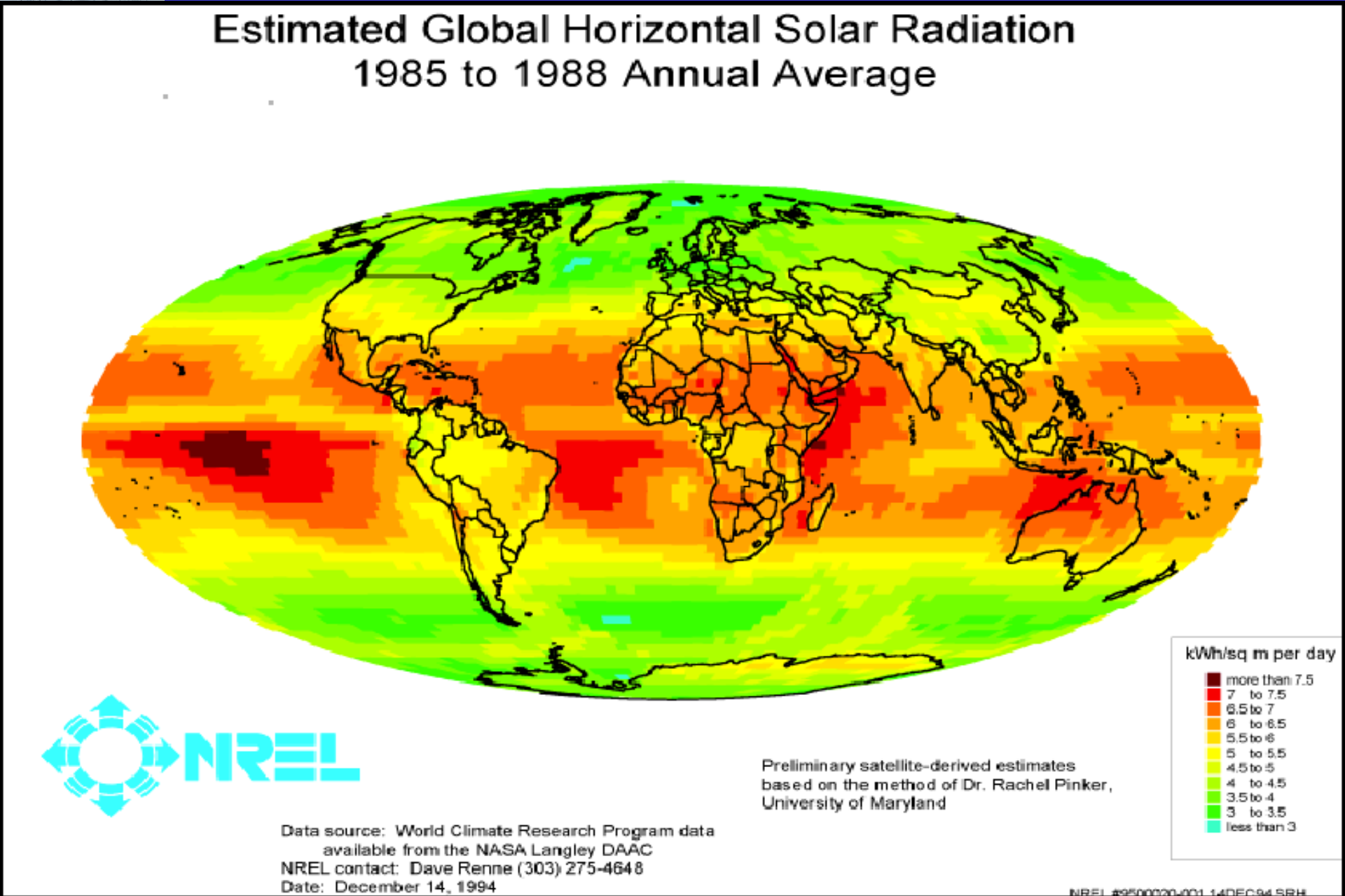
Radiación Global= Directa + Difusa



Radiación difusa como consecuencia de la dispersión generada por las partículas de la atmósfera ~ 10% día claro

Radiación difusa como consecuencia de la existencia de nubes

Naturaleza de la luz solar

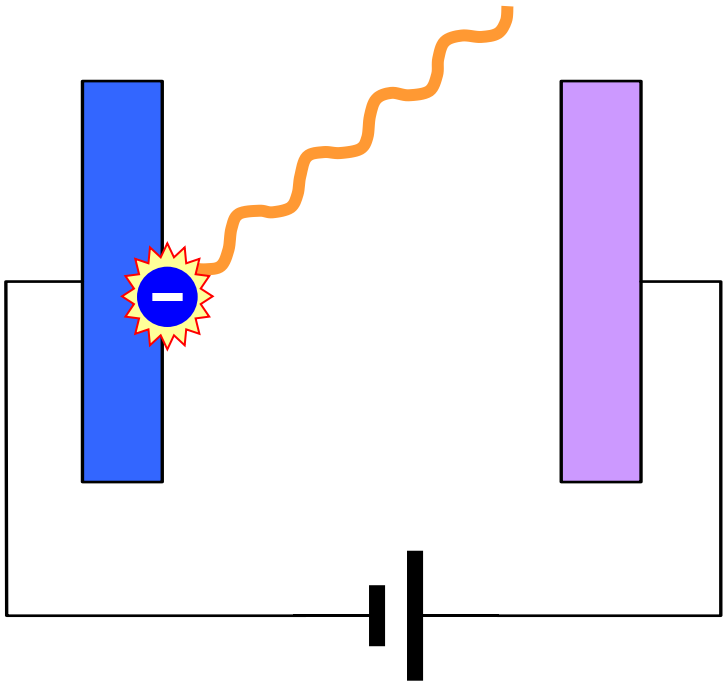


Contenido

1. Naturaleza de la luz solar
2. Efecto Fotoeléctrico
3. Fundamentos sobre semiconductores
4. La unión PN
5. Funcionamiento de las células solares
6. Circuito equivalente de una célula solar
7. Interconexión de células
8. Concentración Solar
9. El sol visto desde la tierra
10. El sistema fotovoltaico

Efecto Fotoeléctrico

Efecto fotoeléctrico



Fundamentos sobre Semiconductores

Introducción

La mayor parte de las **células fotovoltaicas** están construidas a base de **semiconductores.**

Un **semiconductor** es un material cuyas **propiedades eléctricas dependen de la temperatura** o de la energía que incida sobre él.

El comportamiento de los semiconductores se puede explicar mediante dos teorías:

- **Enlaces**
- **Teoría de Bandas**

Fundamentos sobre Semiconductores

Materiales

Semiconductores elementales: Germanio (Ge) y Silicio (Si)

Compuestos IV: SiC y SiGe

Compuestos III-V:

Binarios: GaAs, GaP, GaSb, AlAs, AlP, AlSb, InAs, InP y InSb

Ternarios: GaAsP, AlGaAs

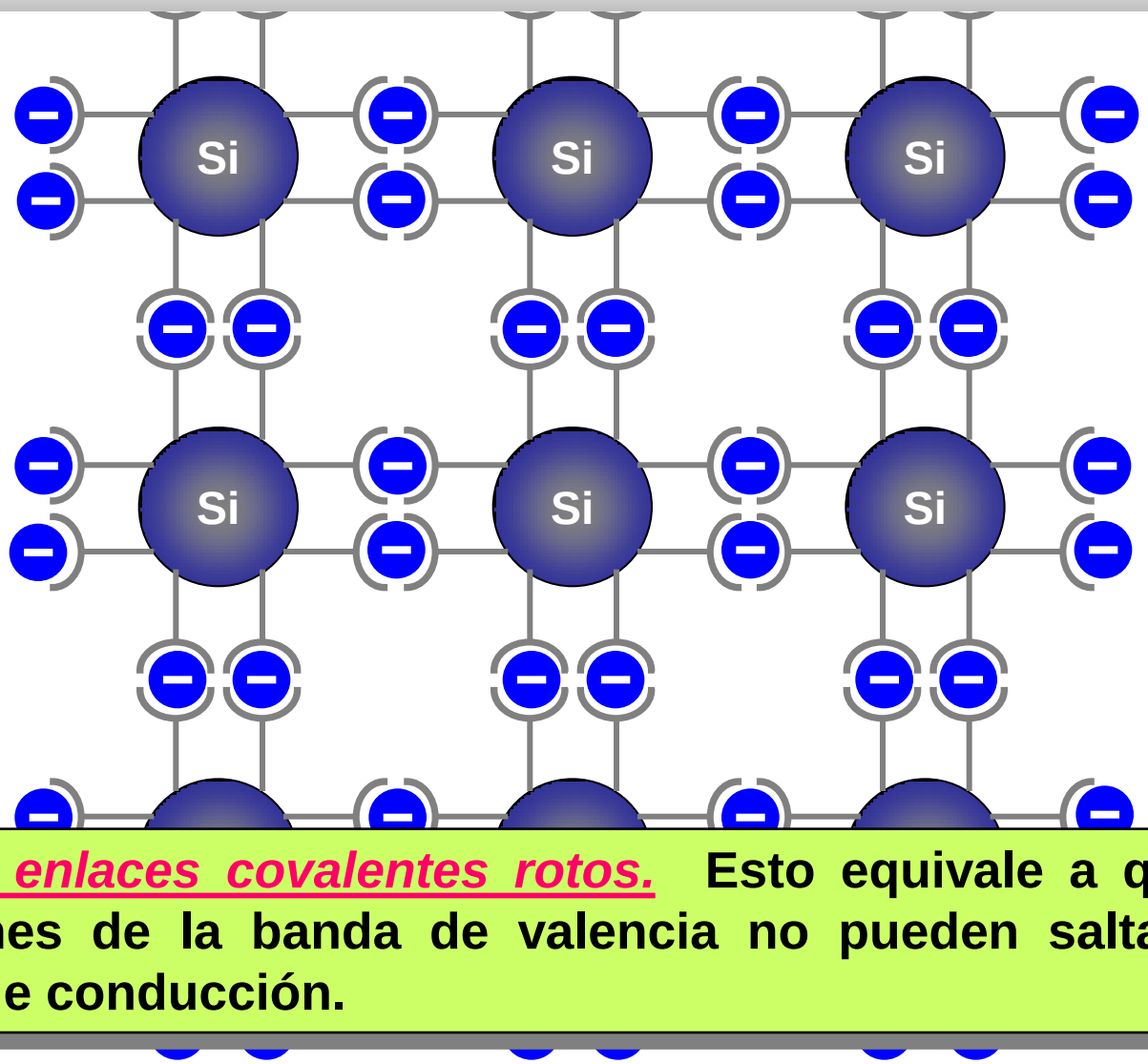
Cuaternarios: InGaAsP

Compuestos II-VI: ZnS, ZnSe, ZnTe, CdS, CdSe y CdTe

Son materiales de conductividad intermedia entre la de los metales y la de los aislantes, que se modifica en gran medida por la temperatura, la excitación óptica y las impurezas.

Fundamentos sobre Semiconductores

Semiconductores intrínsecos

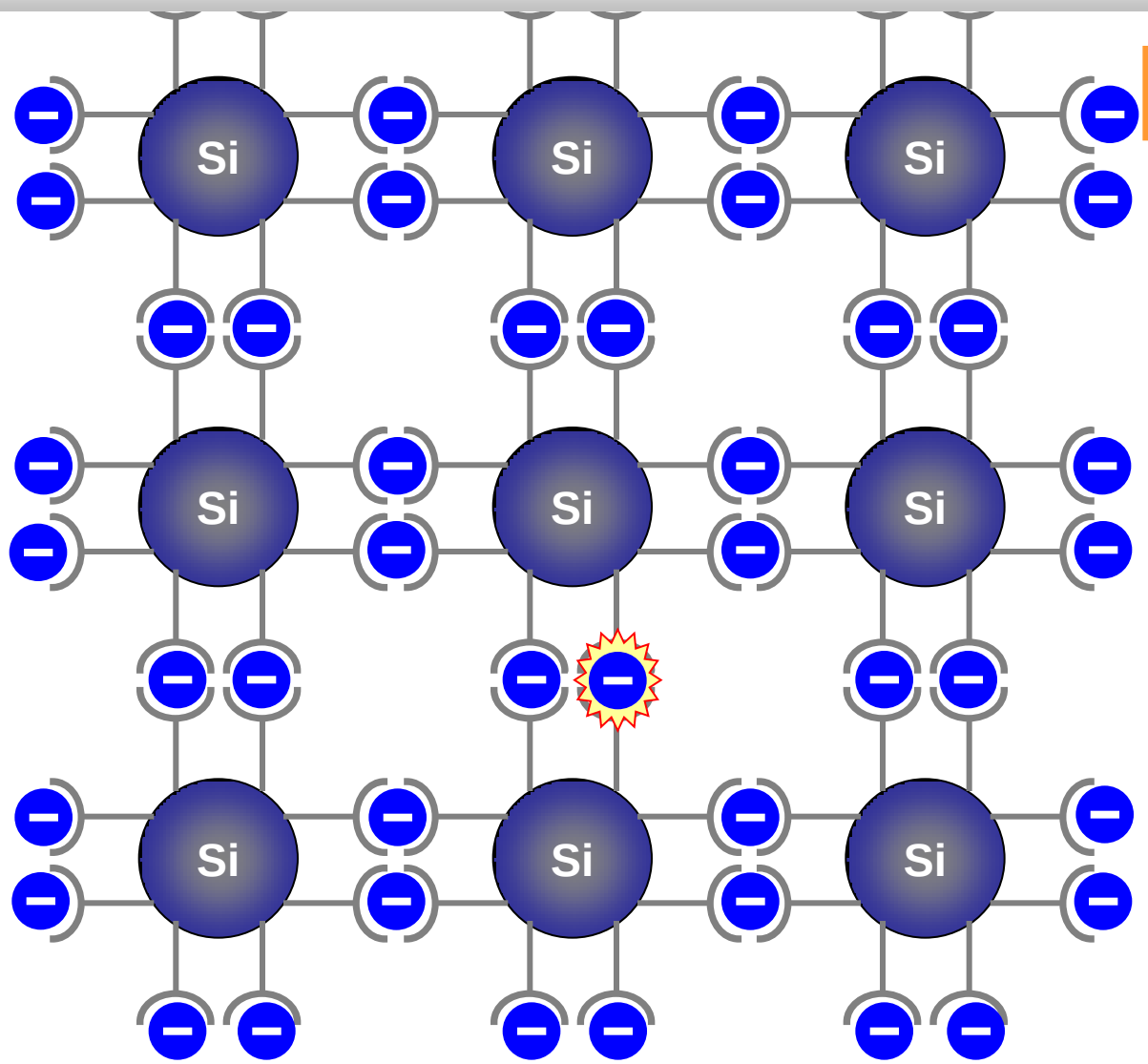


0 ºK

No hay enlaces covalentes rotos. **Esto equivale a que los electrones de la banda de valencia no pueden saltar a la banda de conducción.**

Fundamentos sobre Semiconductores

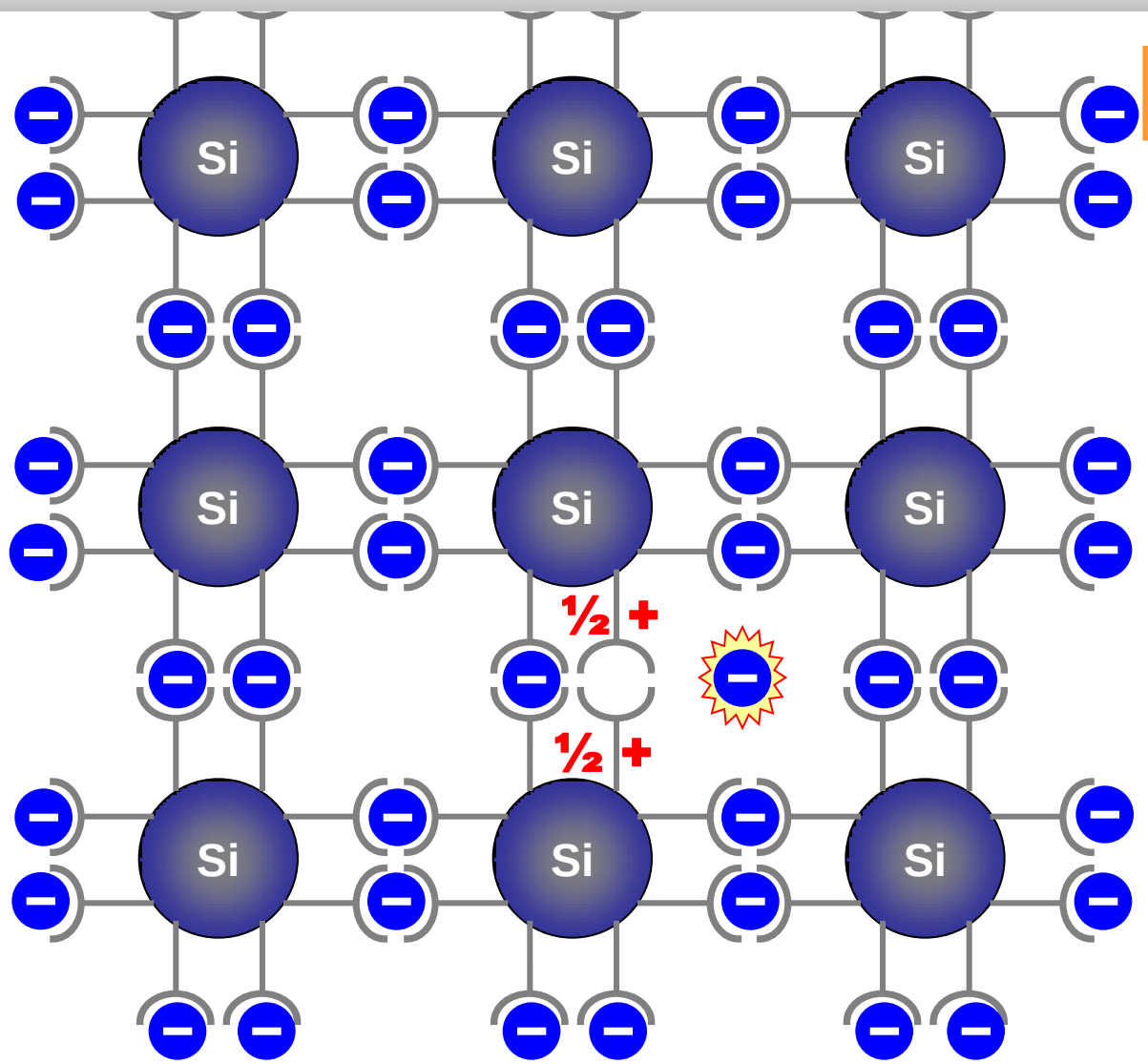
Al aumentar la temperatura se pueden romper enlaces



300 ºK

Fundamentos sobre Semiconductores

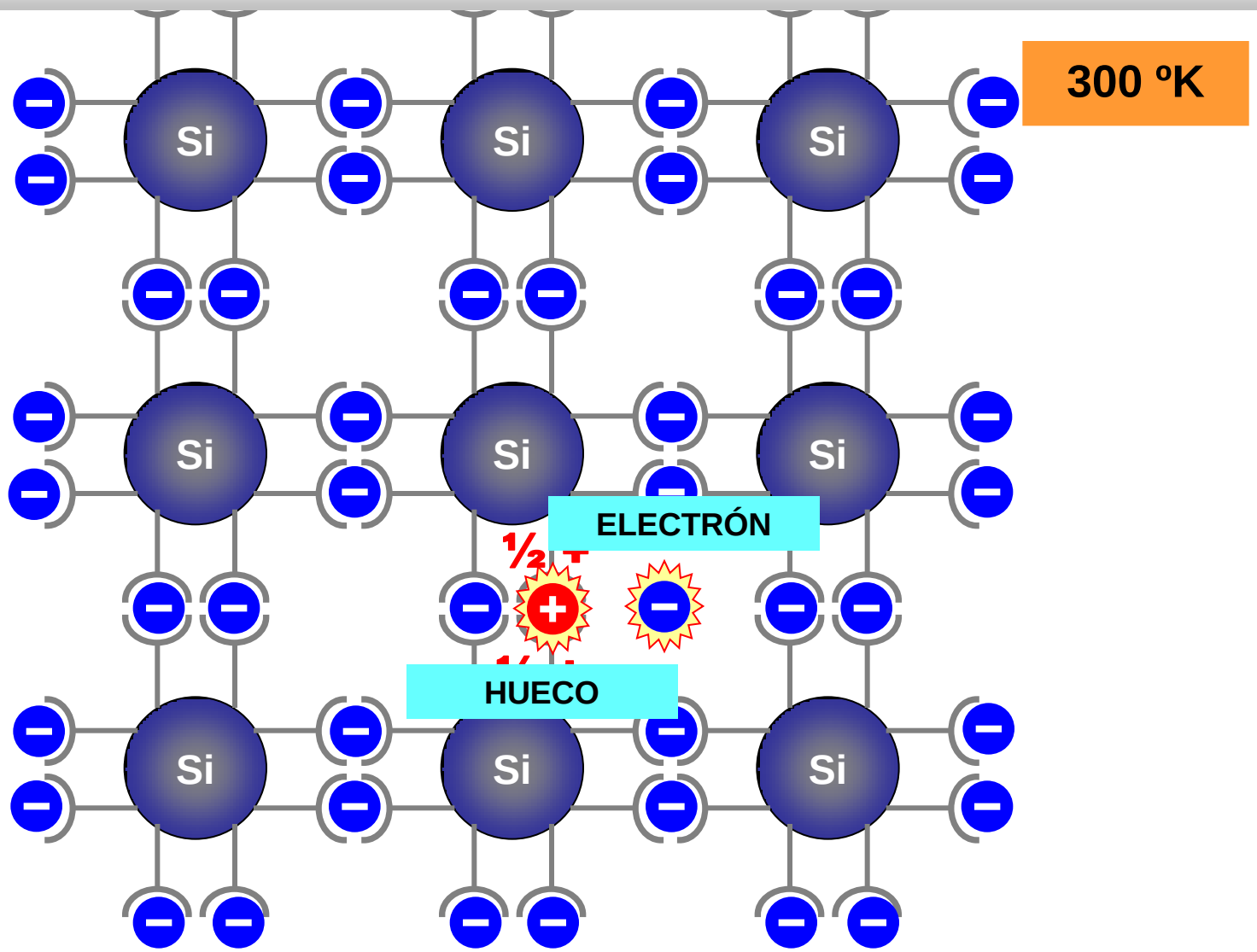
Al aumentar la temperatura se pueden romper enlaces



300 ºK

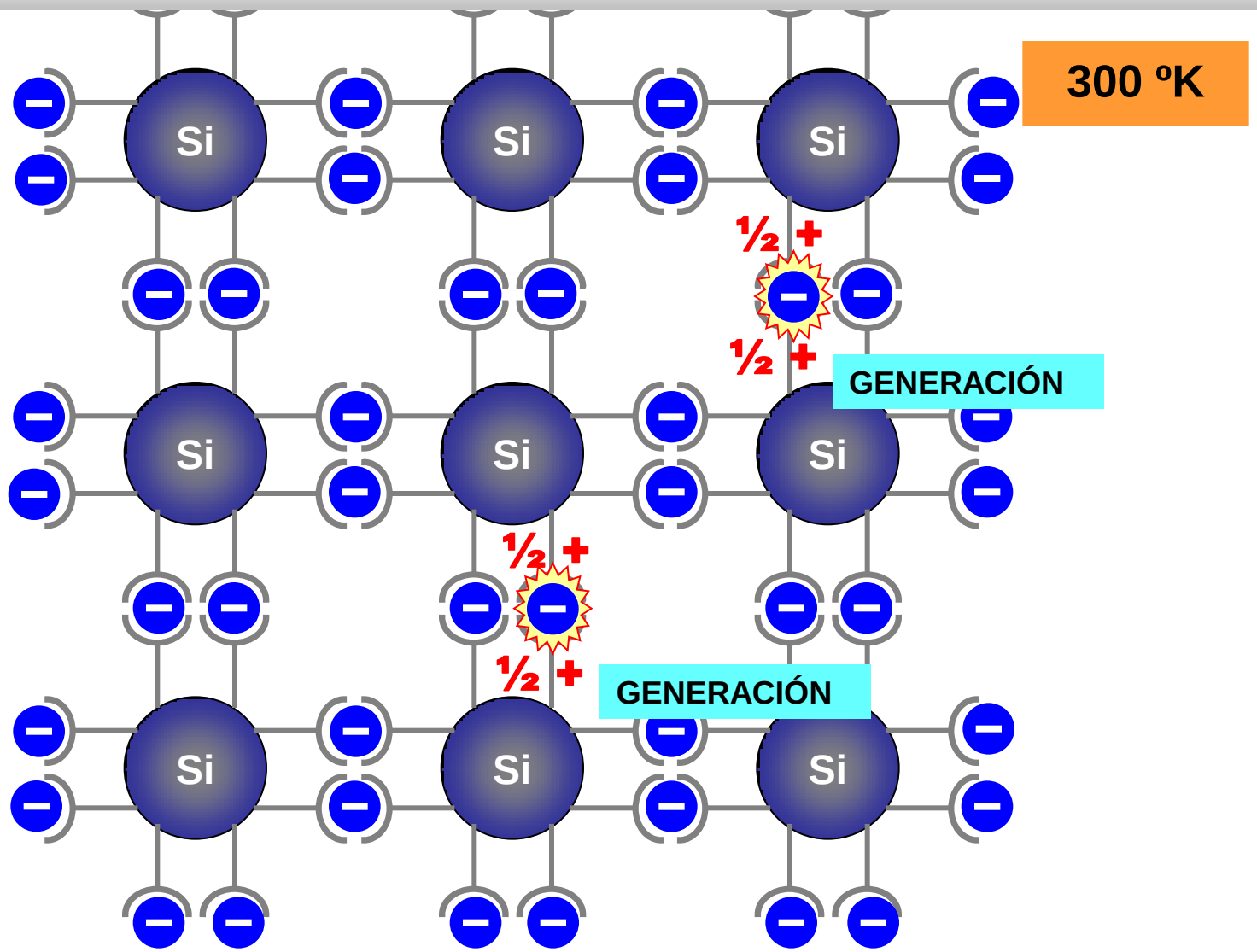
Fundamentos sobre Semiconductores

Al romperse el enlace se genera un par electrón-hueco



Fundamentos sobre Semiconductores

Continuamente se están generando pares E-H



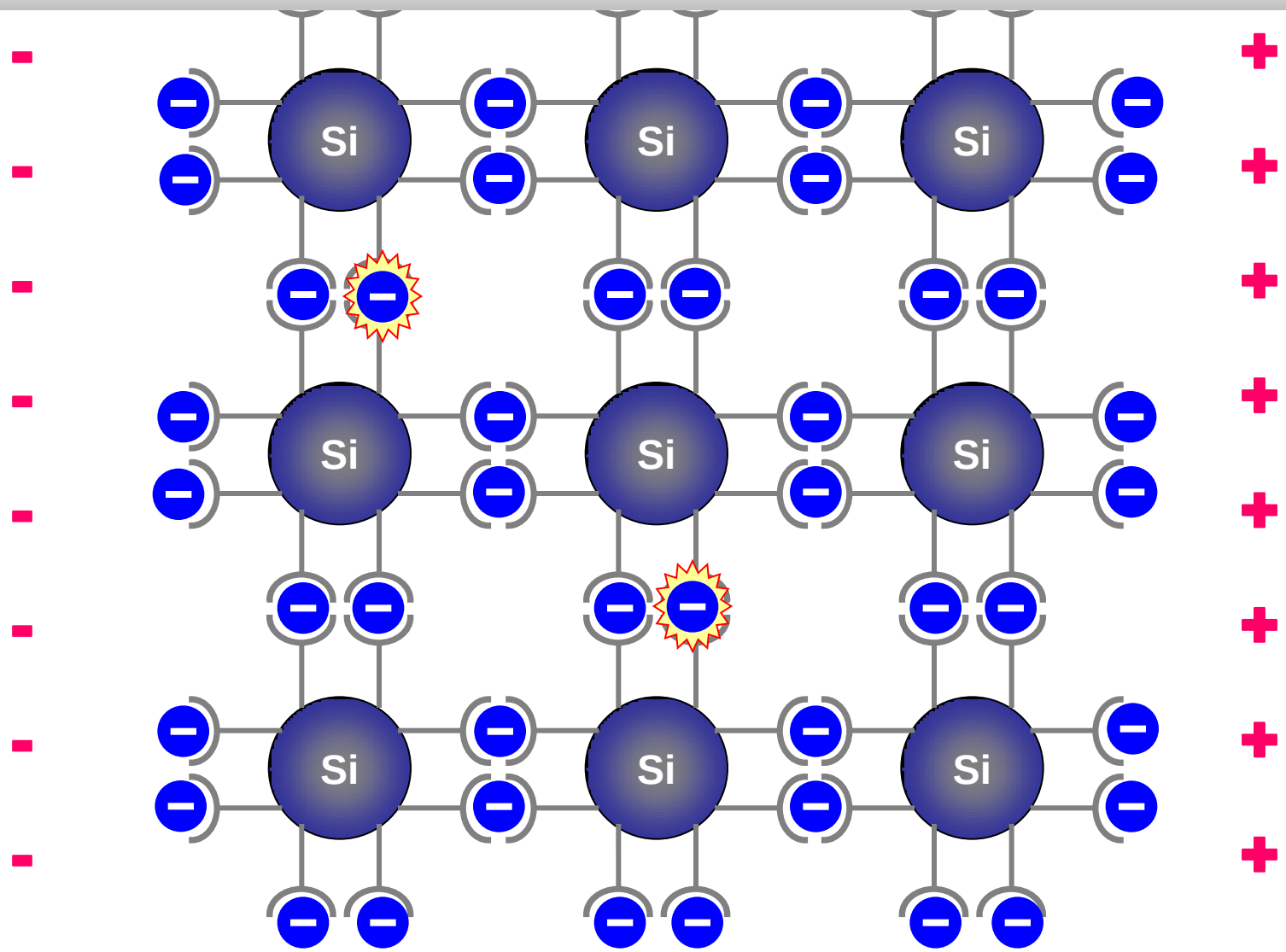
Fundamentos sobre Semiconductores

Continuamente se están recombinando pares E-H

Siempre se están rompiendo (generación) y reconstruyendo (recombinación) enlaces. La vida media de un electrón puede ser del orden de milisegundos o microsegundos.

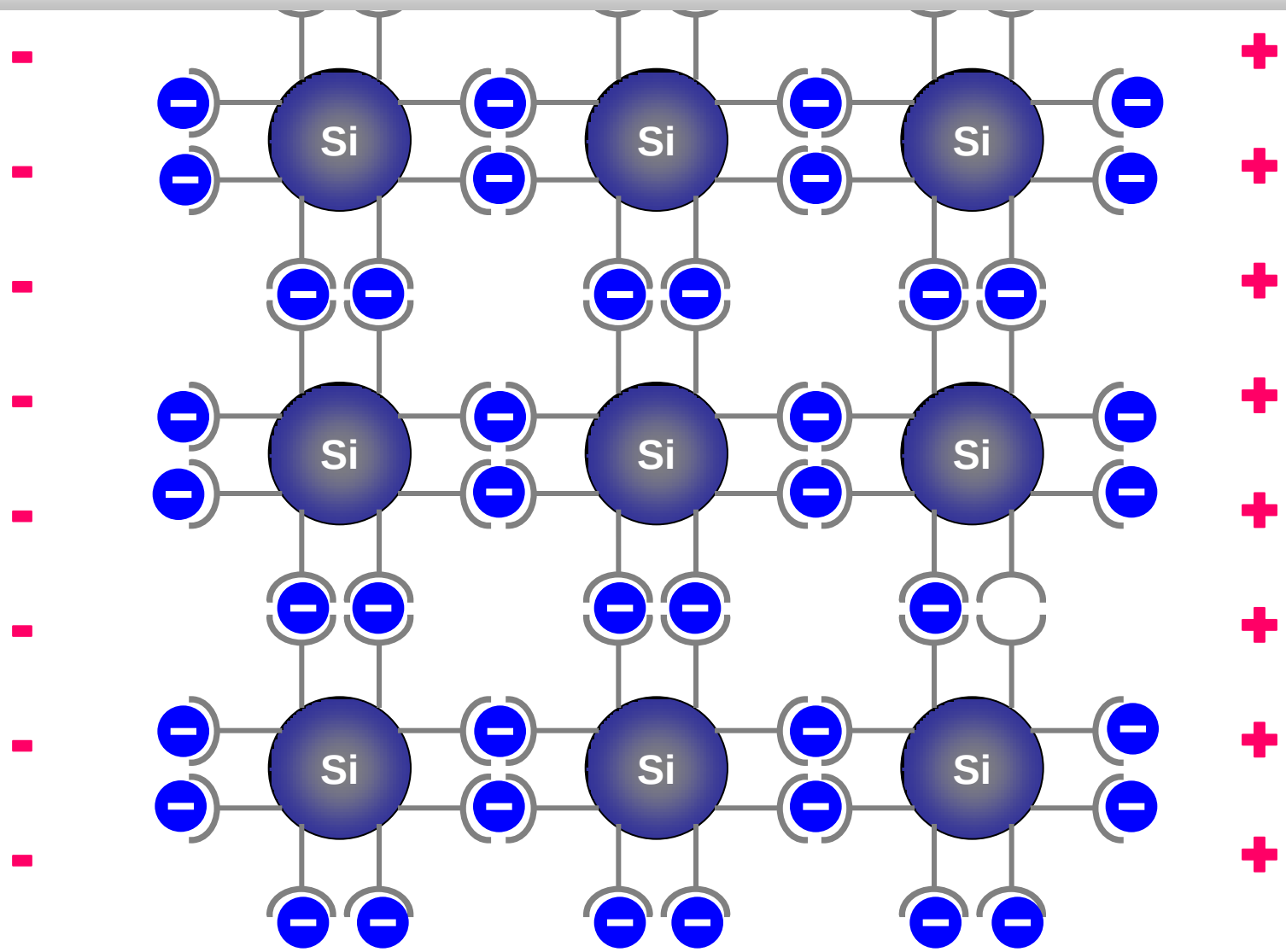
Fundamentos sobre Semiconductores

Movimiento de electrones dentro de un campo eléctrico



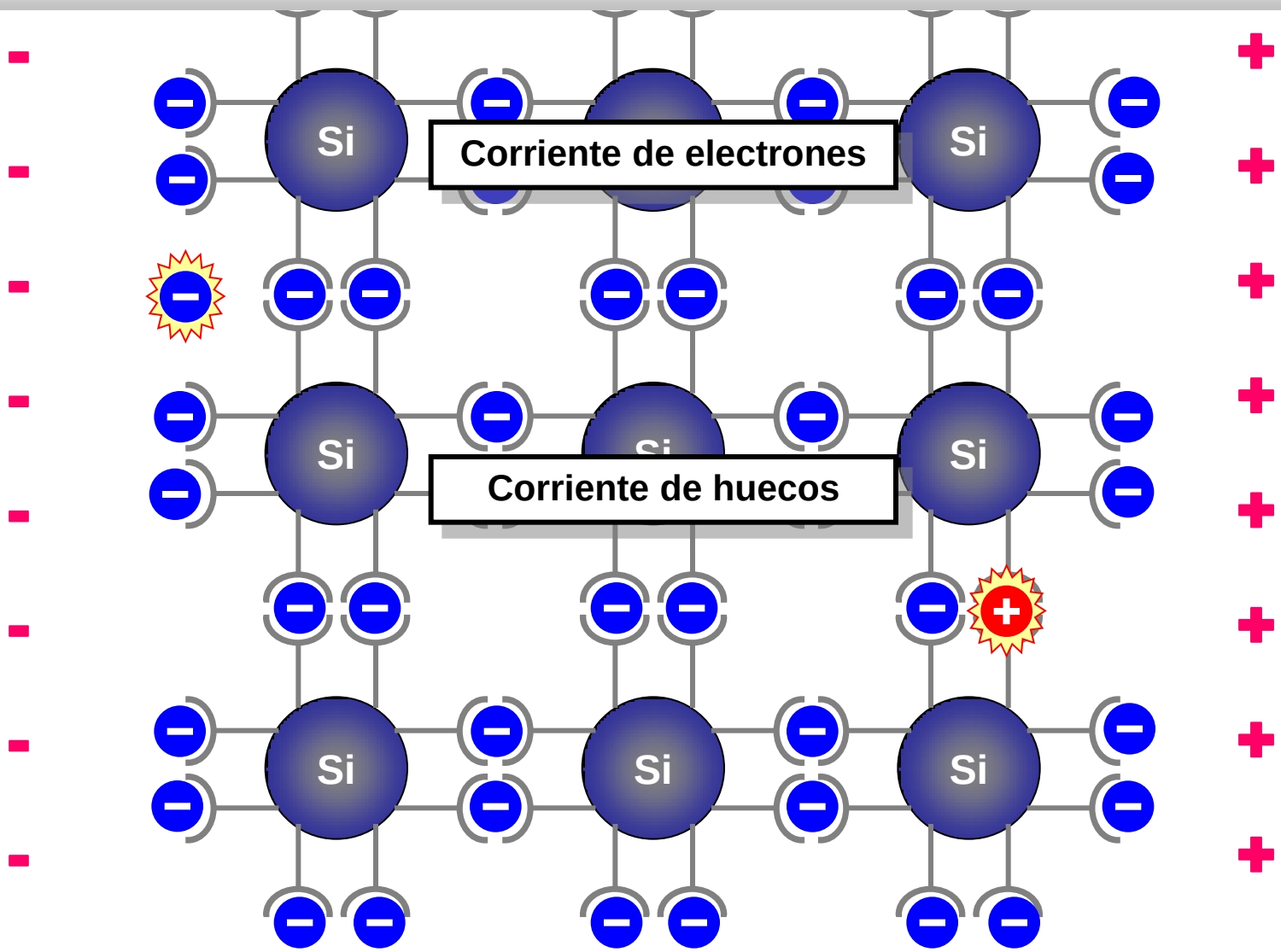
Fundamentos sobre Semiconductores

Movimiento de huecos dentro de un campo eléctrico



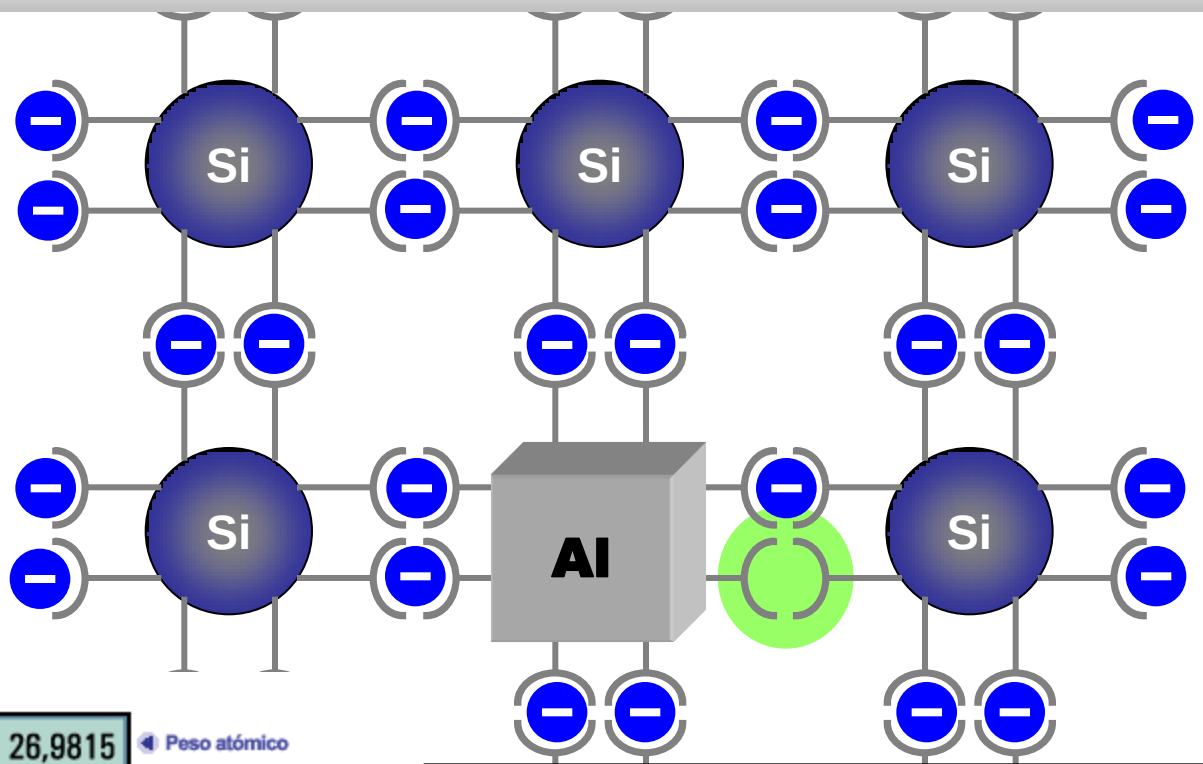
Fundamentos sobre Semiconductores

Movimiento de cargas dentro de un campo eléctrico

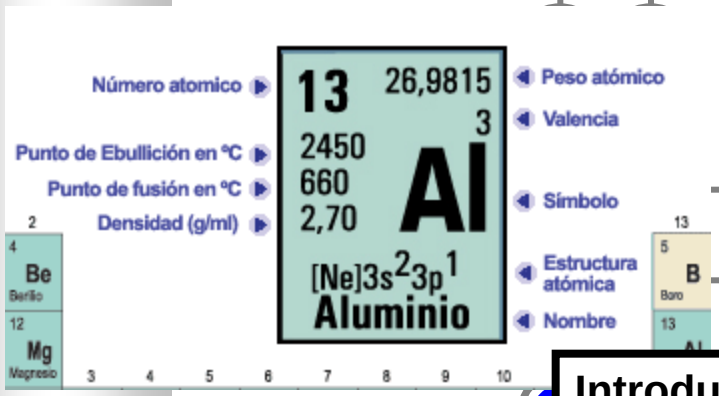


Fundamentos sobre Semiconductores

Semiconductores extrínsecos



0º K

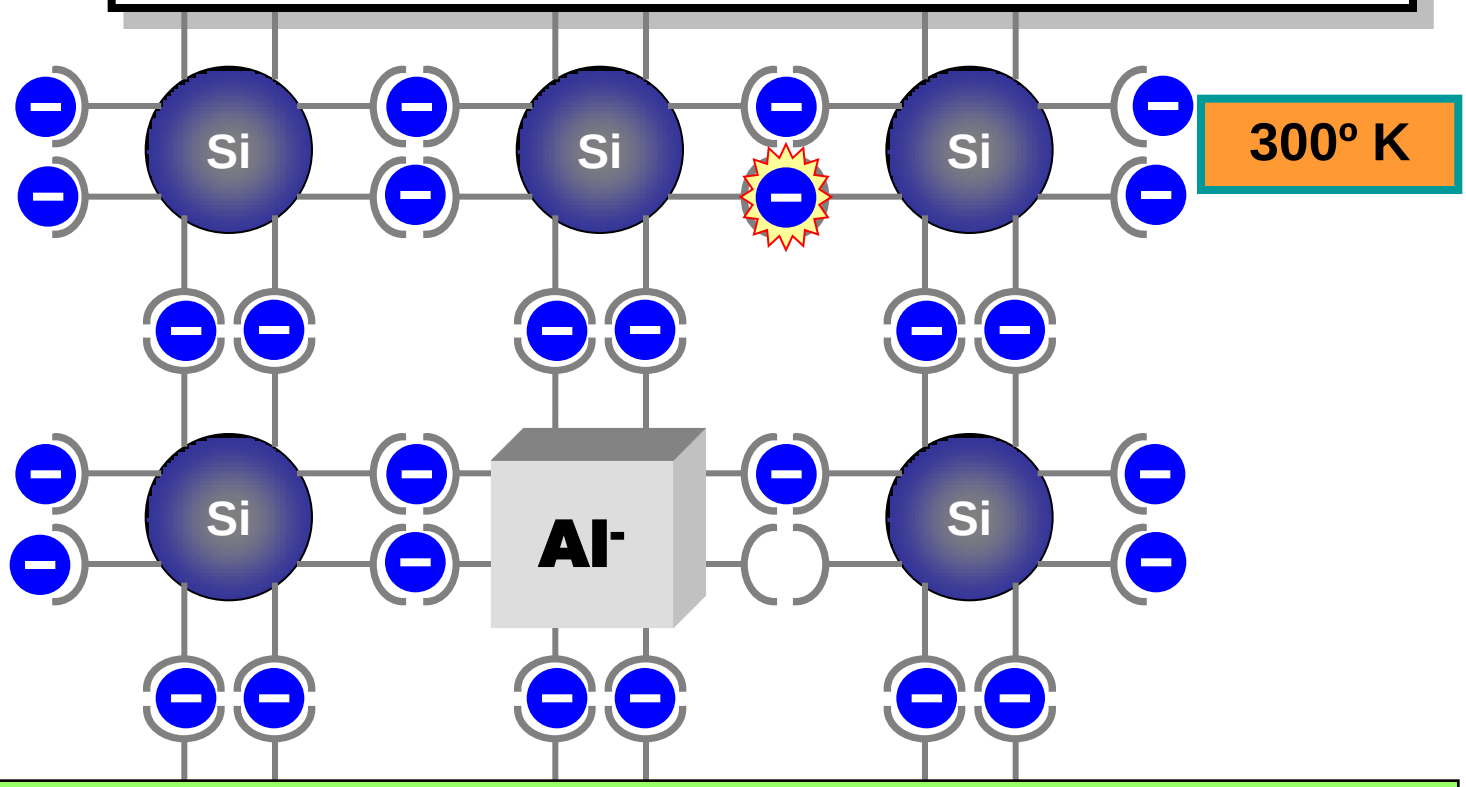


A 0ºK, habría una "falta de electrón" adicional ligado al átomo de Al

Introducimos pequeñas cantidades de impurezas del grupo III

Fundamentos sobre Semiconductores

Introducimos pequeñas cantidades de impurezas del grupo III

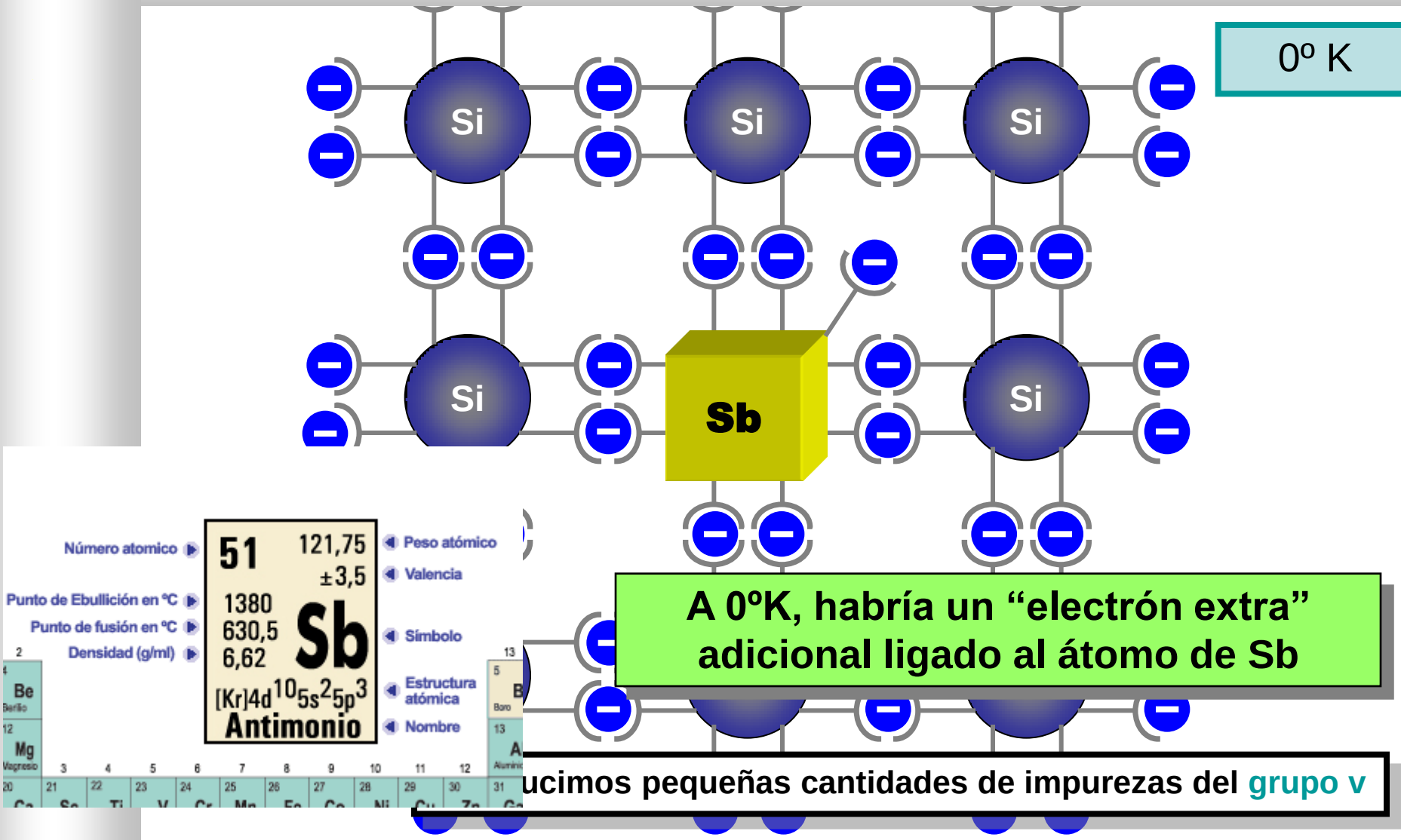


A 300ºK, todas las "faltas" de electrón de los átomos de Al están cubiertas con un electrón procedente de un átomo de Si, en el que se genera un hueco. El Al es un aceptador y en el Si hay más huecos que electrones. Es un semiconductor tipo P.

Fundamentos sobre Semiconductores

Semiconductores extrínsecos

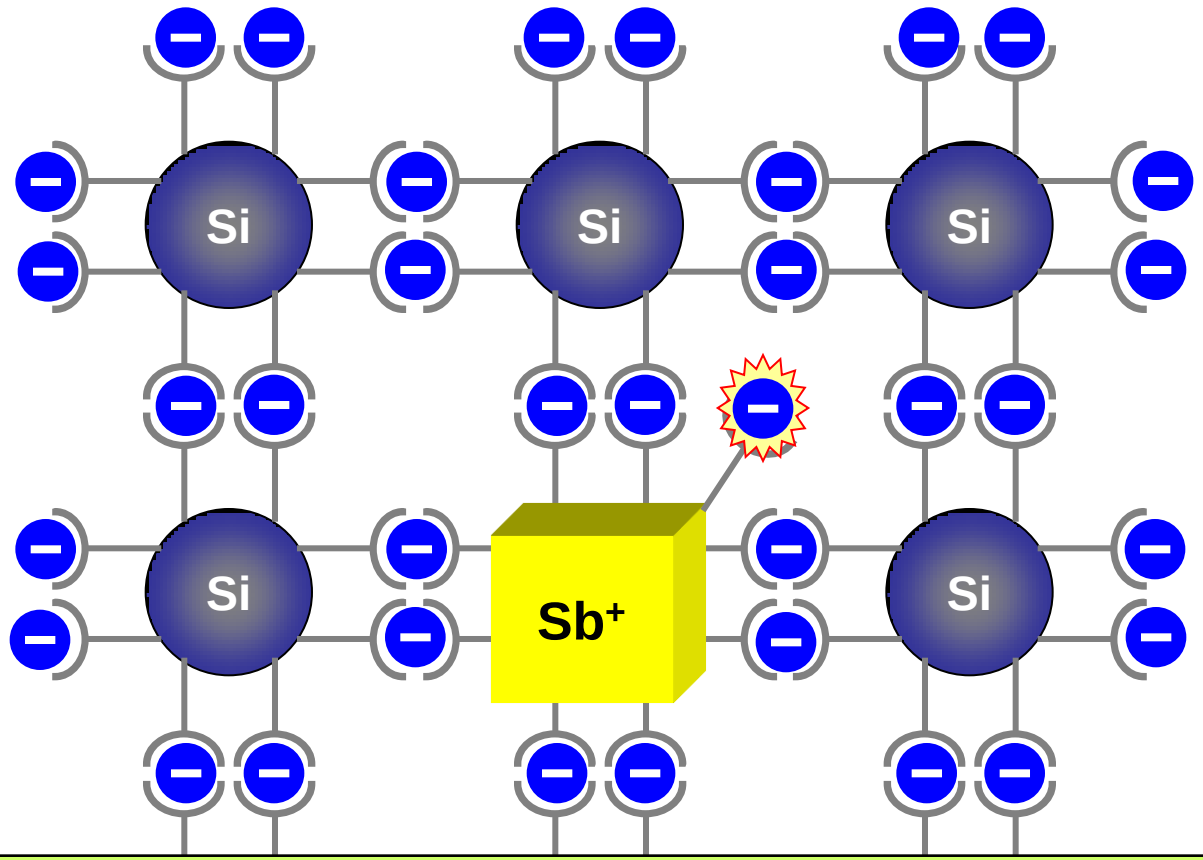
0º K



A 0ºK, habría un "electrón extra" adicional ligado al átomo de Sb

ucimos pequeñas cantidades de impurezas del grupo v

Fundamentos sobre Semiconductores



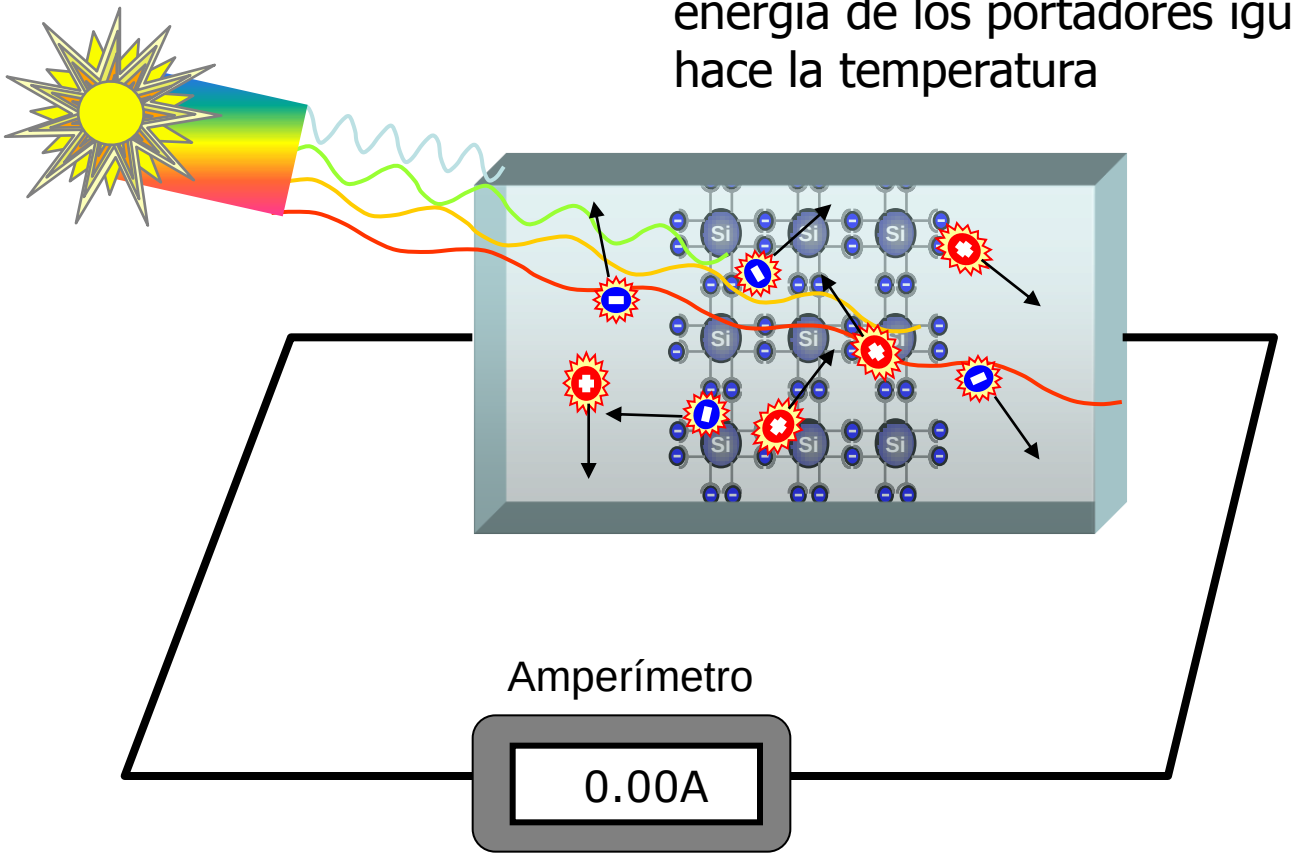
300º K

A 300ºK, todas los "excesos" de electrones de los átomos de Sb abandonan del átomo y generan un electrón "libre". El Sb es un donador y en el Si hay más electrones que huecos. Es un semiconductor tipo N.

Fundamentos sobre Semiconductores

Efecto de la luz sobre un semiconductor

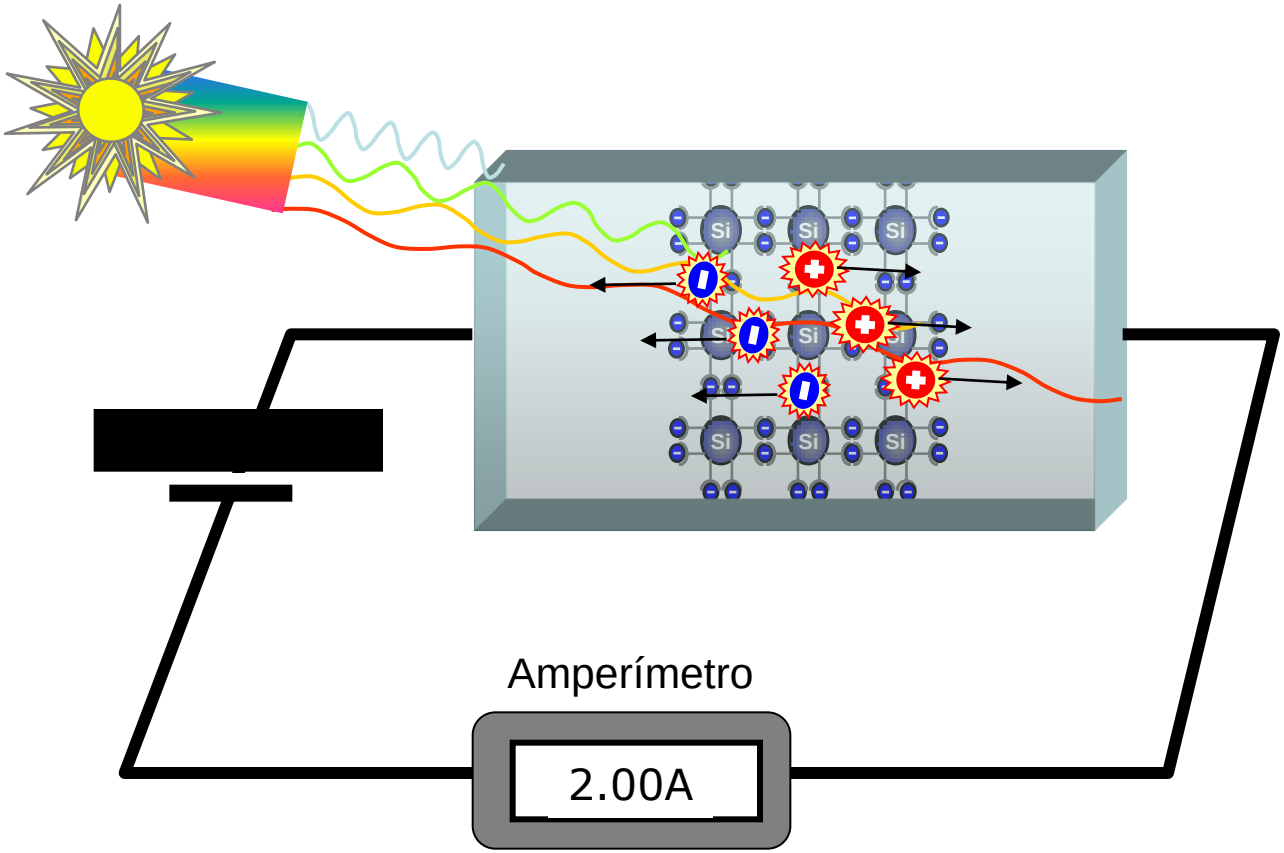
Los fotones pueden aumentar la energía de los portadores igual que lo hace la temperatura



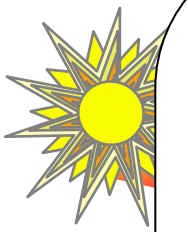
Fundamentos sobre Semiconductores

Efecto de la luz sobre un semiconductor

Varía la resistencia



Efecto de la luz sobre un semiconductor



¿Podría extraerse la energía de los fotones que inciden sobre el semiconductor?

Se necesitaría un campo eléctrico interno que "empujara" los portadores en la dirección adecuada

Contenido

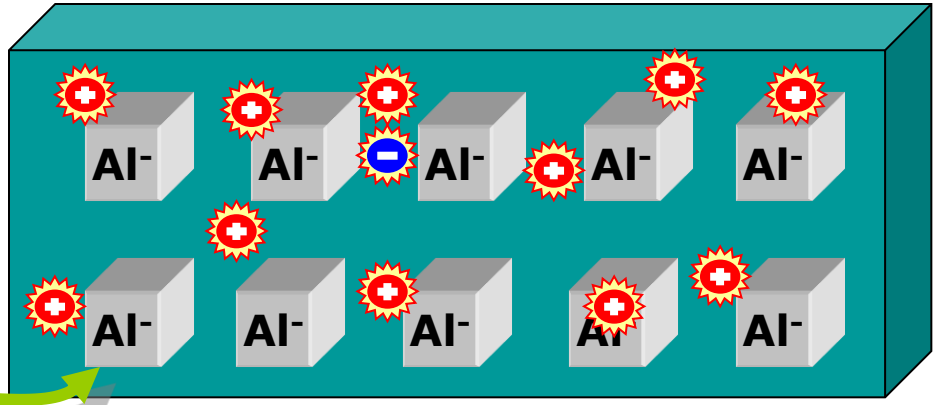
1. Naturaleza de la luz solar
2. Efecto Fotoeléctrico
3. Fundamentos sobre semiconductores
4. La unión PN
5. Funcionamiento de las células solares
6. Circuito equivalente de una célula solar
7. Interconexión de células
8. Concentración Solar
9. El sol visto desde la tierra
10. El sistema fotovoltaico

La unión PN

Silicio tipo P

300ºK

Generación térmica



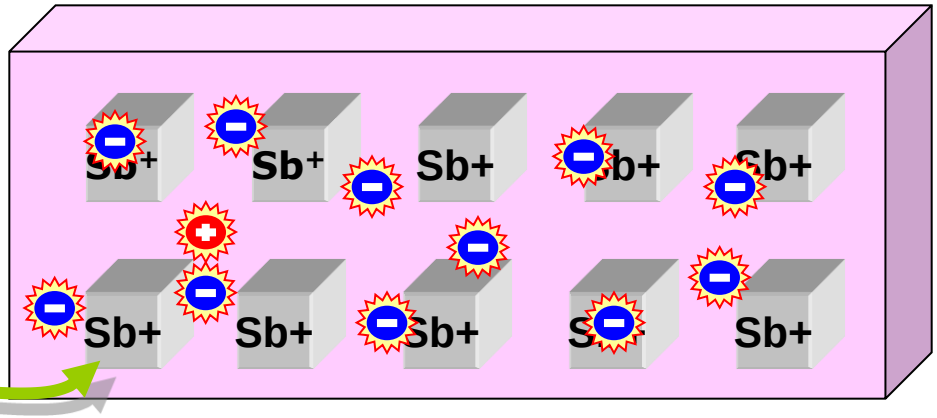
zado

- **Ambos son neutros**
- **Compensación de cargas e iones**

Silicio tipo N

300ºK

Generación térmica

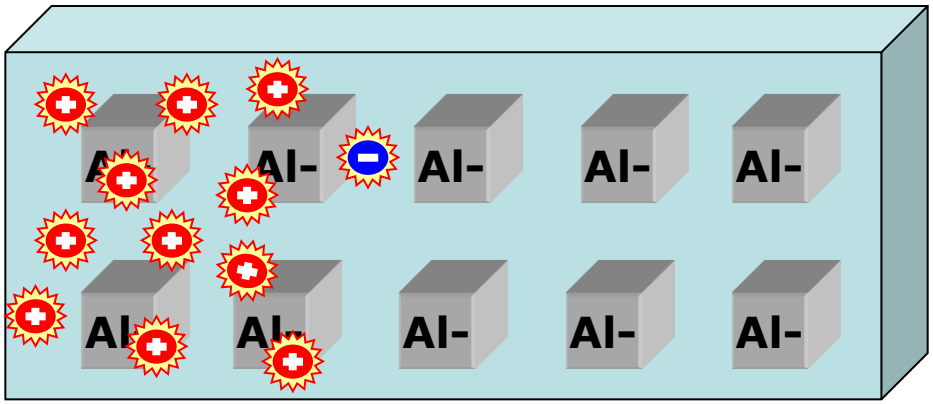


Donador Ionizado

La unión PN

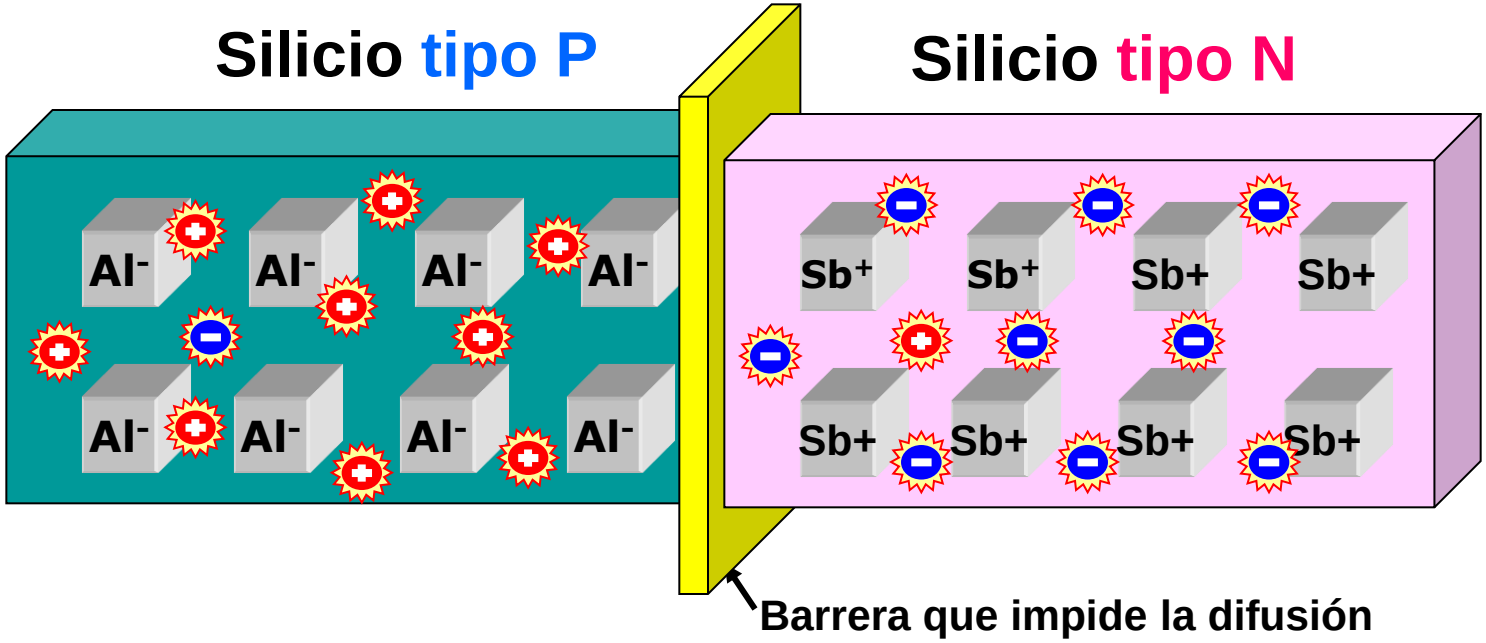
Corrientes de difusión

Silicio tipo P



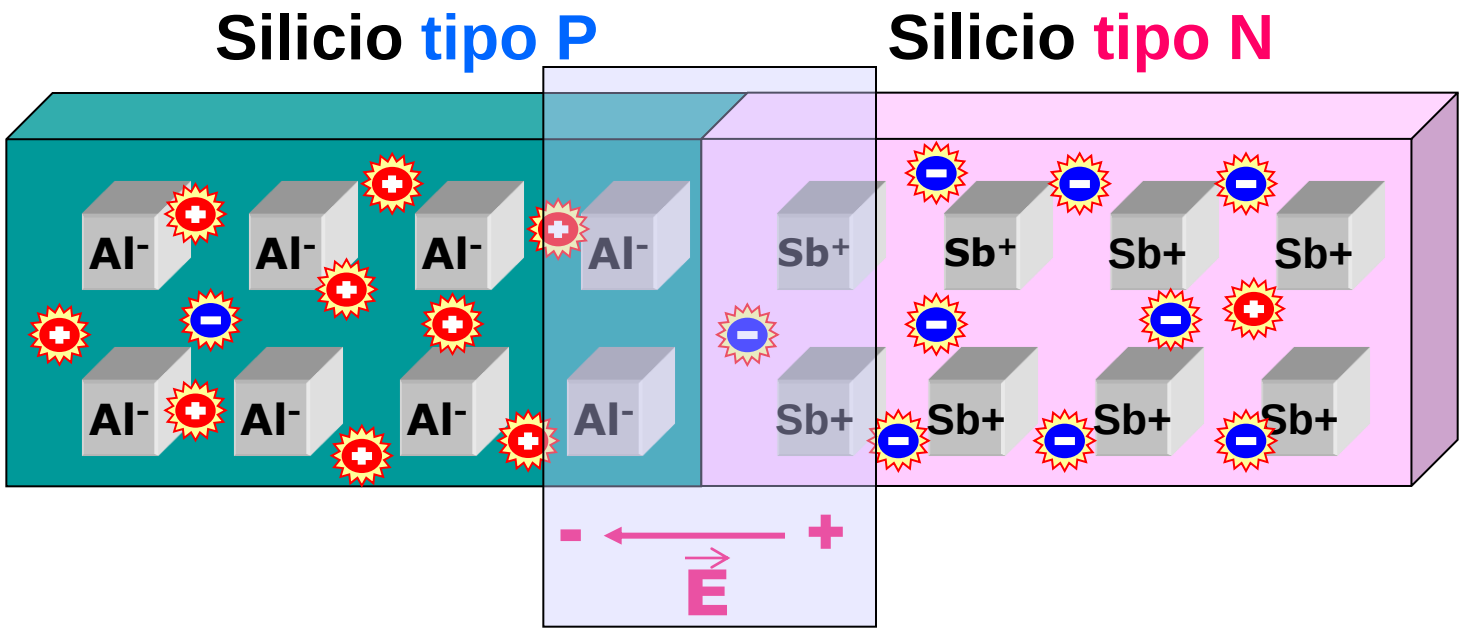
Al igual que un gas en una habituación tiendo a ocupar todo el volumen de la misma, los portadores en el cristal tienden a ocupar todo el volumen del cristal, por tanto se **moverán hacia el lugar donde su "concentración" sea menor**

La unión PN



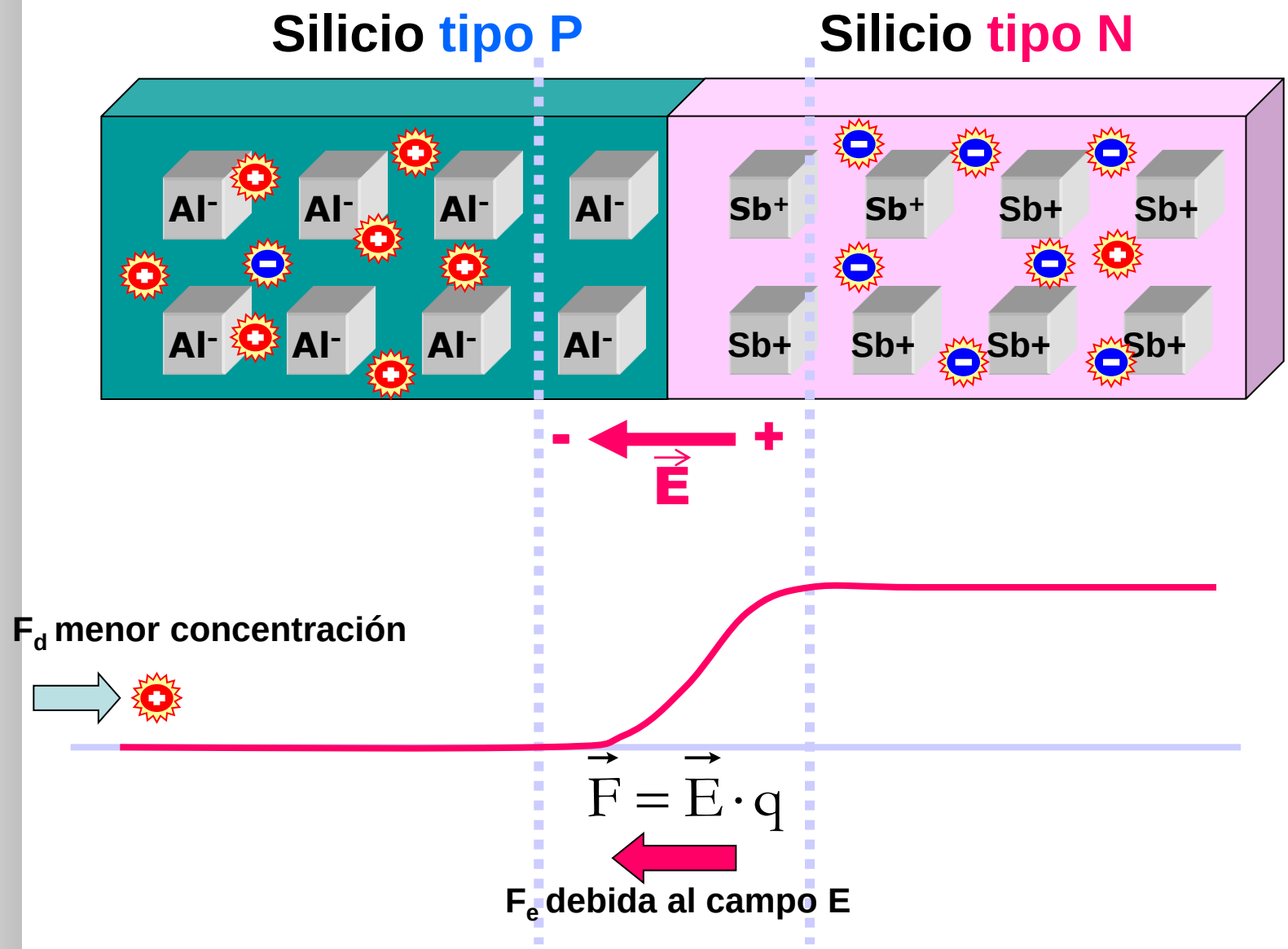
¿Qué pasaría si no existiera la barrera que impide la difusión?

La unión PN

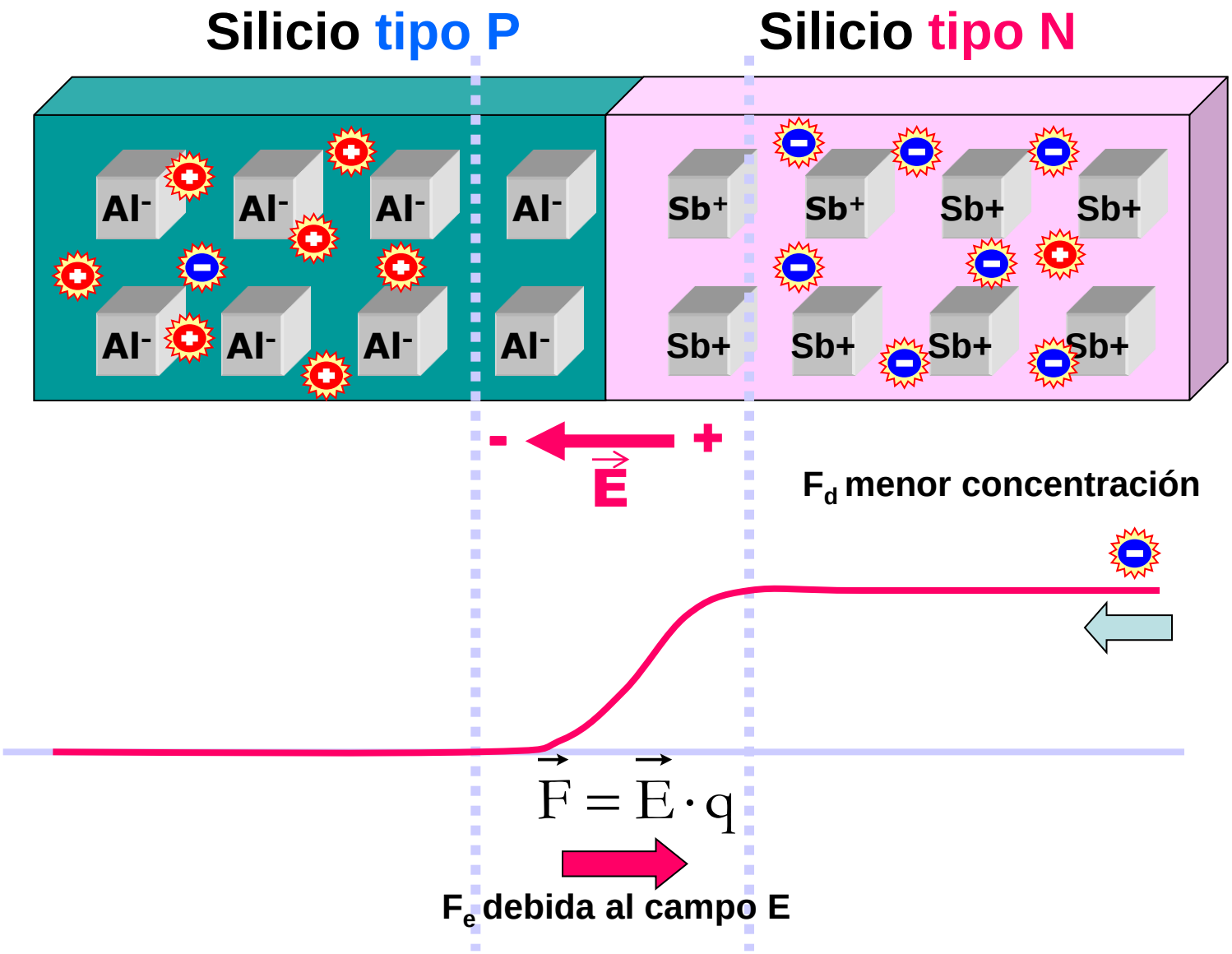


Aparece un campo eléctrico en la zona de contacto (unión metalúrgica) de las zonas

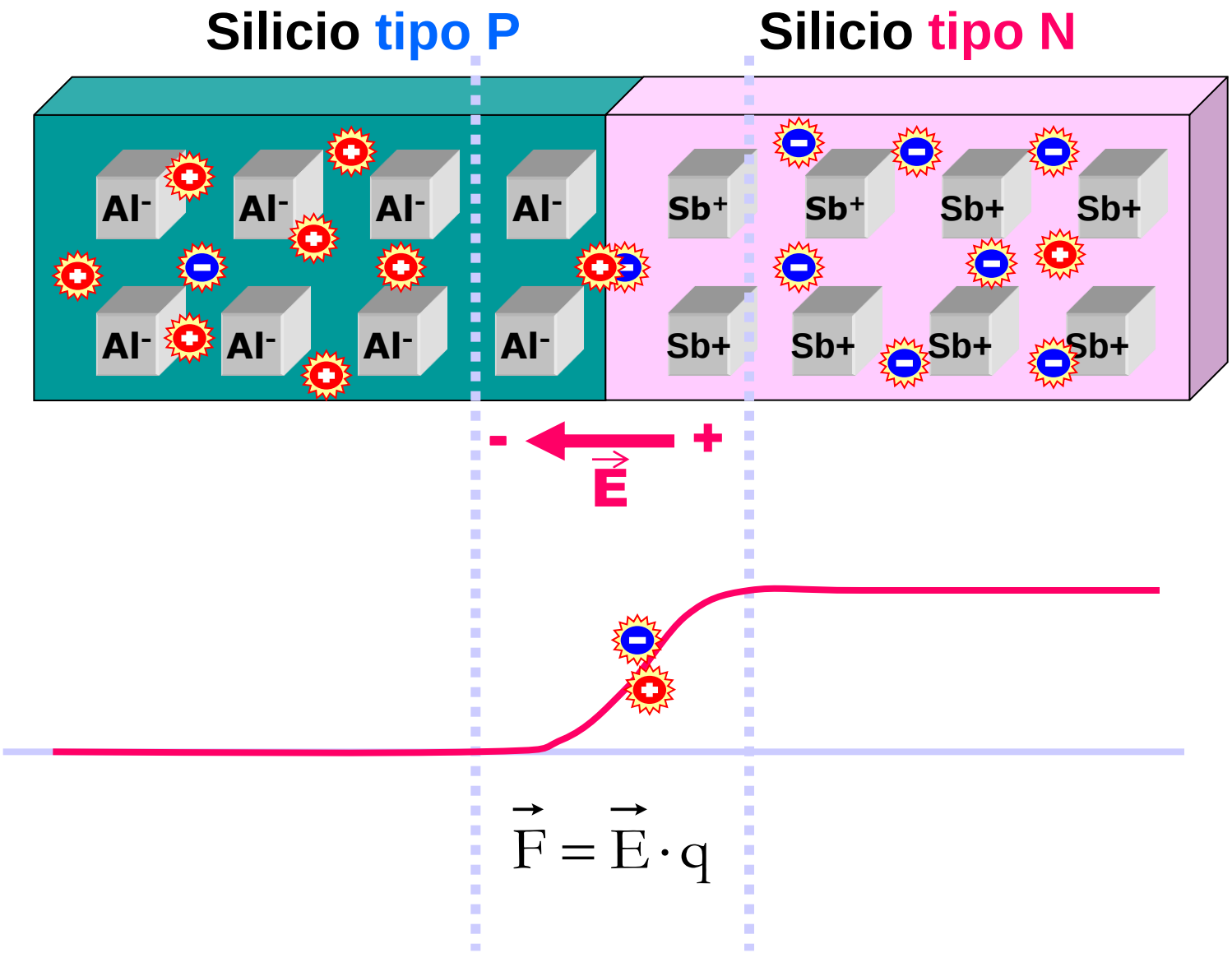
La unión PN


Silicio tipo P
Silicio tipo N
Al-
Sb+
-
+
E
F_d menor concentración
F = E · q
F_e debida al campo E

La unión PN


Silicio tipo P
Silicio tipo N
Al-
Sb+
-
+
E
Fd menor concentración
F = E · q
Fe debida al campo E

La unión PN



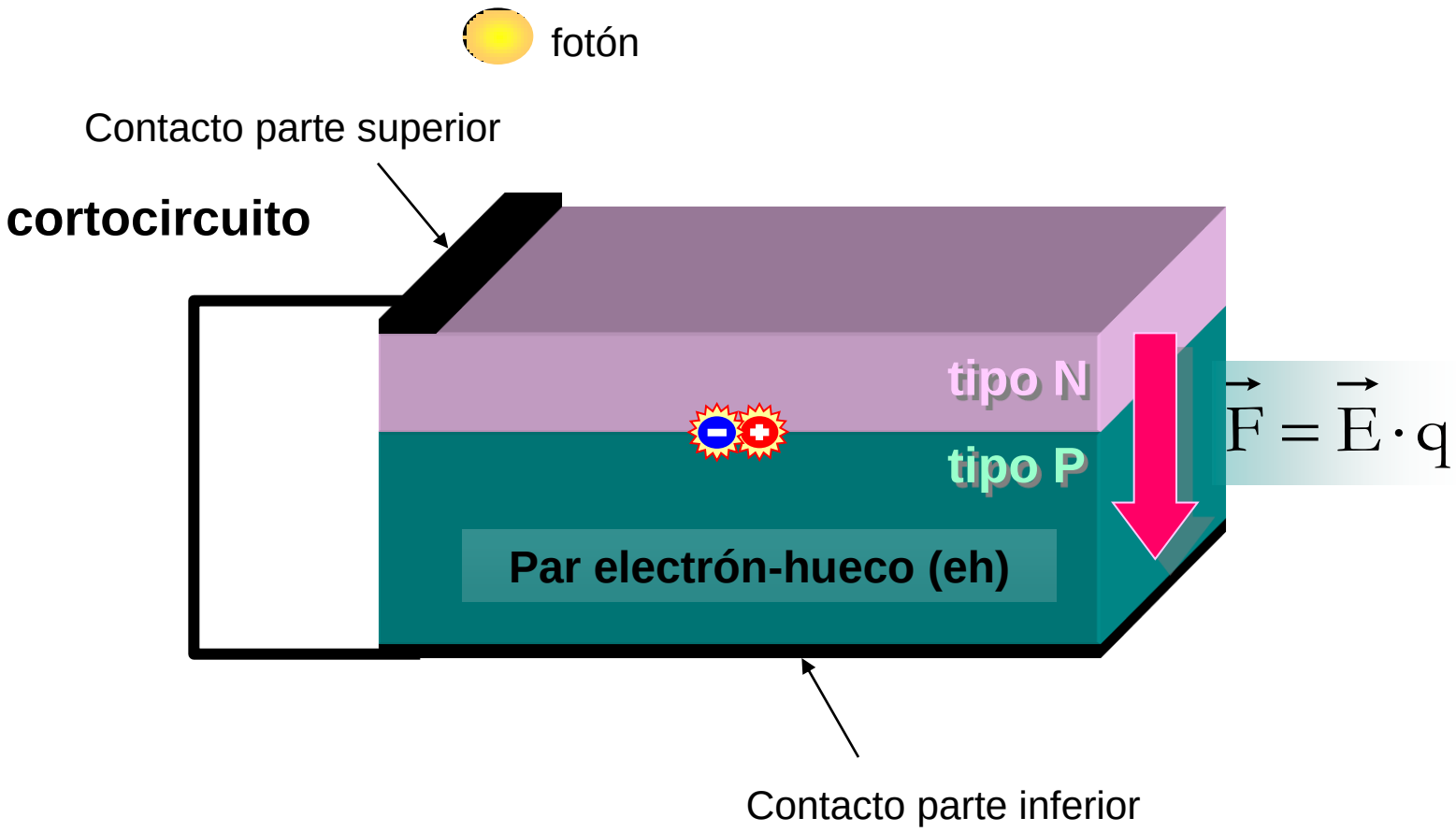
$$\vec{F} = \vec{E} \cdot q$$

Contenido

1. Naturaleza de la luz solar
2. Efecto Fotoeléctrico
3. Fundamentos sobre semiconductores
4. La unión PN
5. **Funcionamiento de las células solares**
6. **Circuito equivalente de una célula solar**
7. **Interconexión de células**
8. **Concentración Solar**
9. **El sol visto desde la tierra**
10. **El sistema fotovoltaico**

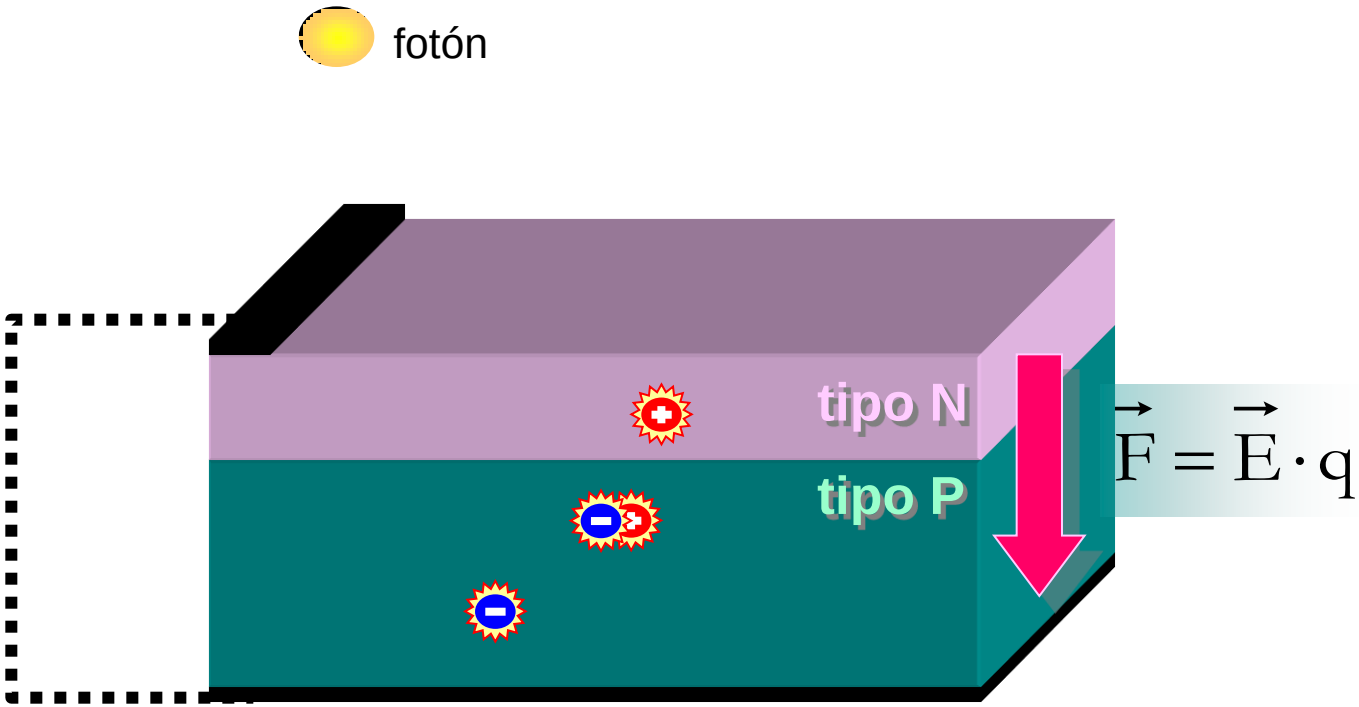
Funcionamiento de las Células Solares

Efectos de la luz



Funcionamiento de las Células Solares

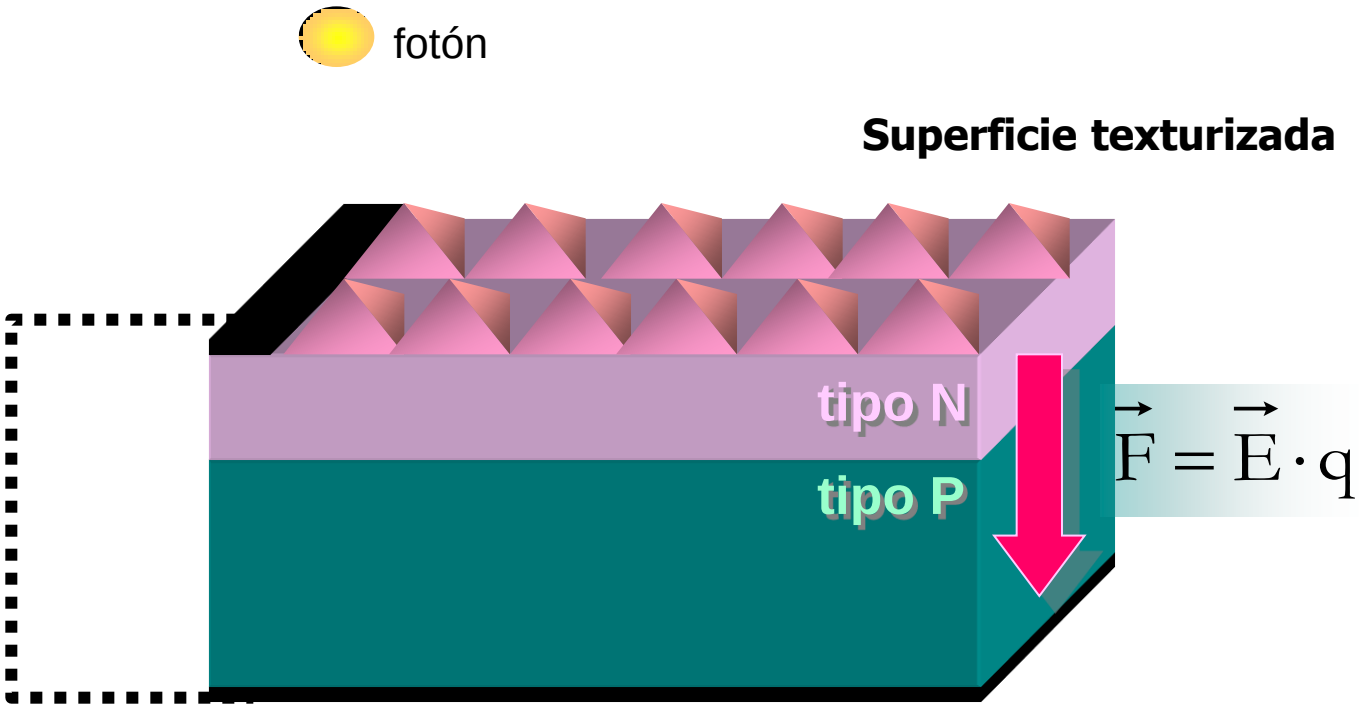
Efectos de la luz



No todos los pares e-h son recolectados muchos se **recombinan**

Funcionamiento de las Células Solares

Efectos de la luz



No todos los fotones generan pares electrón-hueco

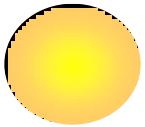
REFLEXIONES

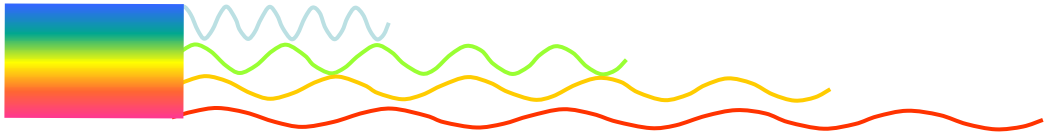
Funcionamiento de las Células Solares

Respuesta espectral

No todos los fotones generan pares electrón-hueco

fotón





La energía de un fotón depende de su frecuencia

$$E = f \cdot h$$

Constante de Planck

$6{,}6261 \cdot 10^{-34}$ J·s

Velocidad de la luz

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Longitud de onda

$$E = \frac{c}{\lambda} \cdot h$$

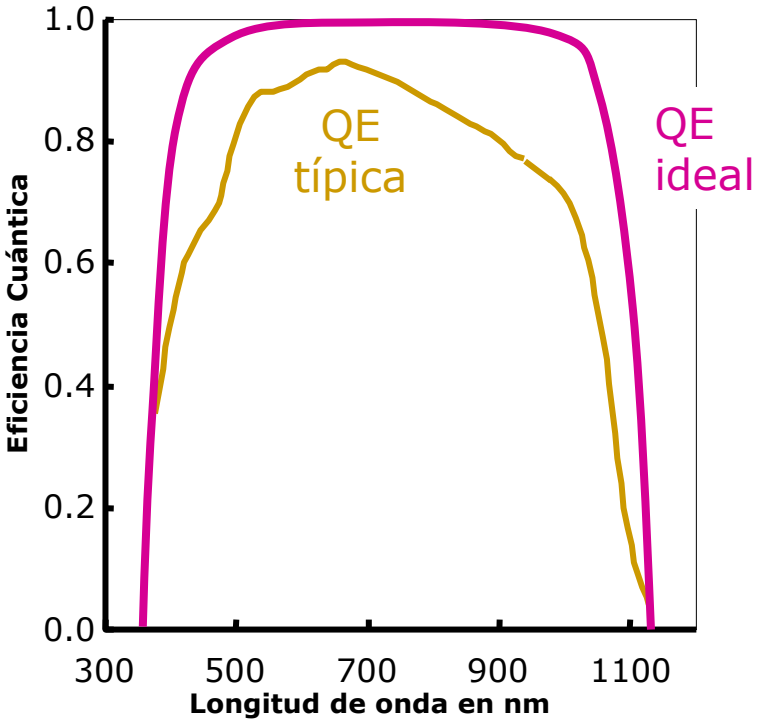
Los fotones de **mayor energía** son los de **mayor frecuencia** o de forma equivalente los de **menor longitud de onda**

Funcionamiento de las Células Solares

Eficiencia cuántica

La eficiencia cuántica es una media de la corriente que se genera por cada fotón

- Sólo los fotones que superen dicha energía **Eg** serán útiles
- Generar un par e-h necesita una energía Eg diferente para cada semiconductor



Funcionamiento de las Células Solares

Eficiencia cuántica

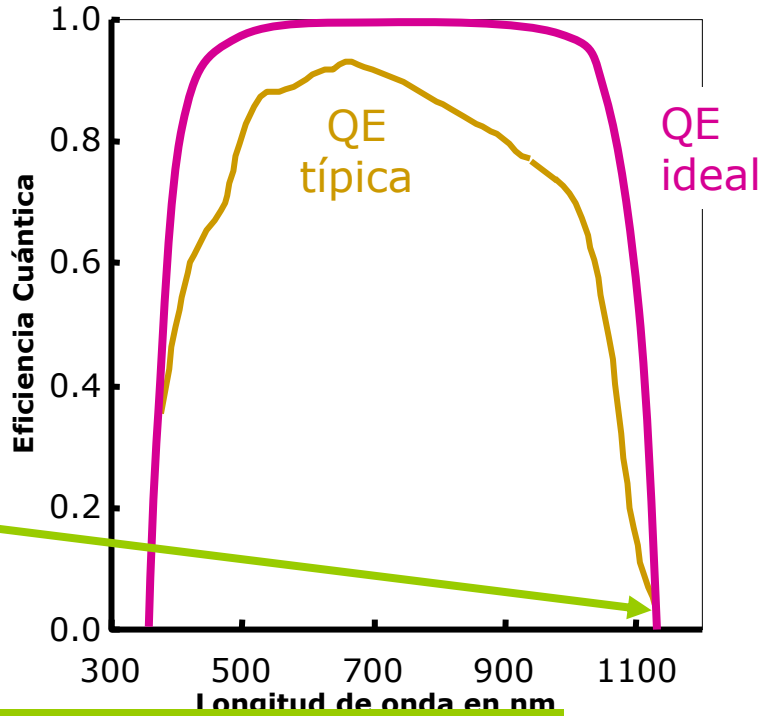
La eficiencia cuántica es una media de la corriente que se genera por cada fotón

Ejemplo: Si

Eg=1,1 eV (*)

$$F_{min} = \frac{1{,}1 \cdot q_{electrón}}{h} = 2{,}65610^{14}$$

$$\lambda = 1120 nm$$

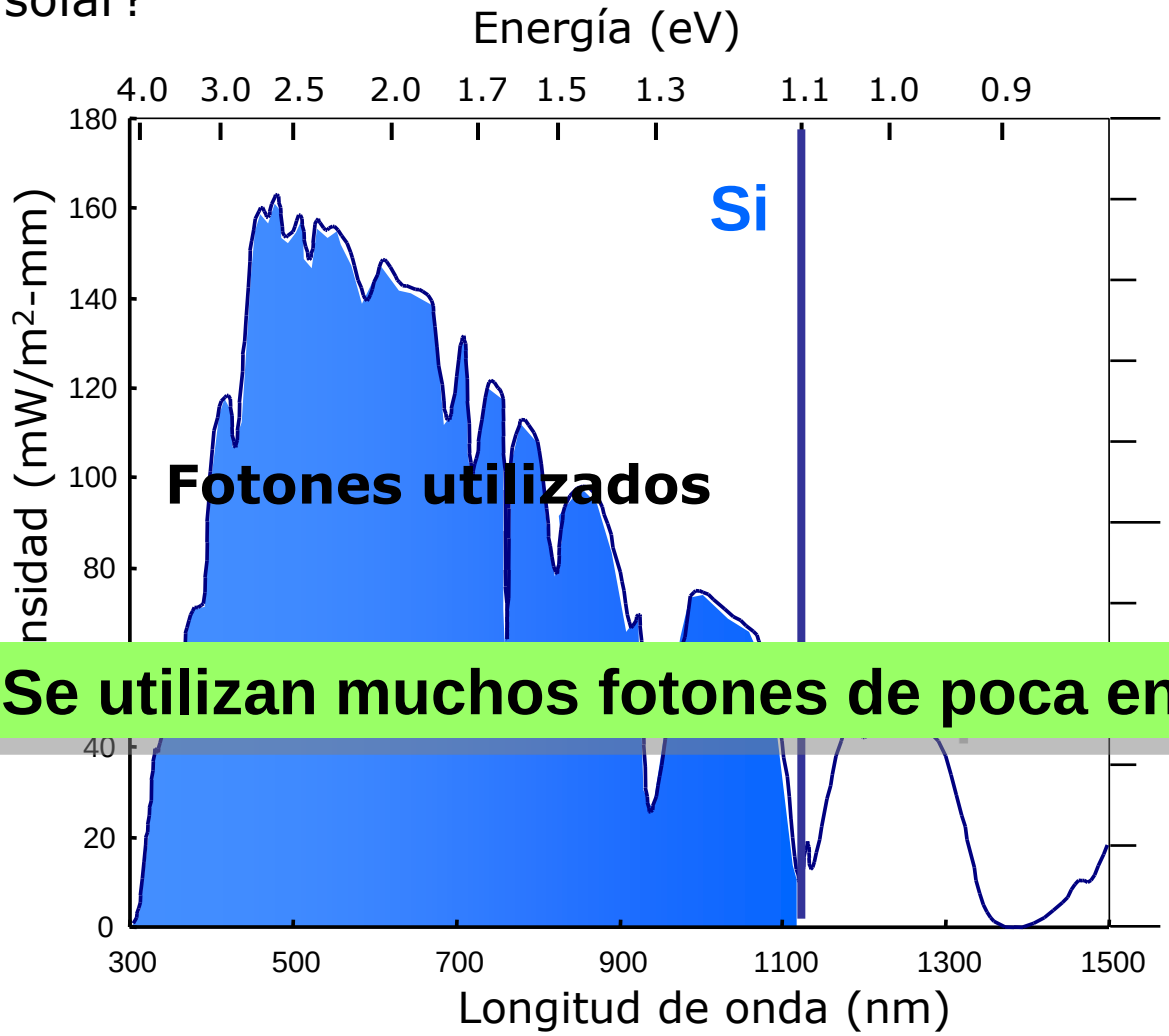


Eg será un factor muy importante en las prestaciones finales de la célula

(*) 1 eV = 1,602 10^{-19} Julios

Funcionamiento de las Células Solares

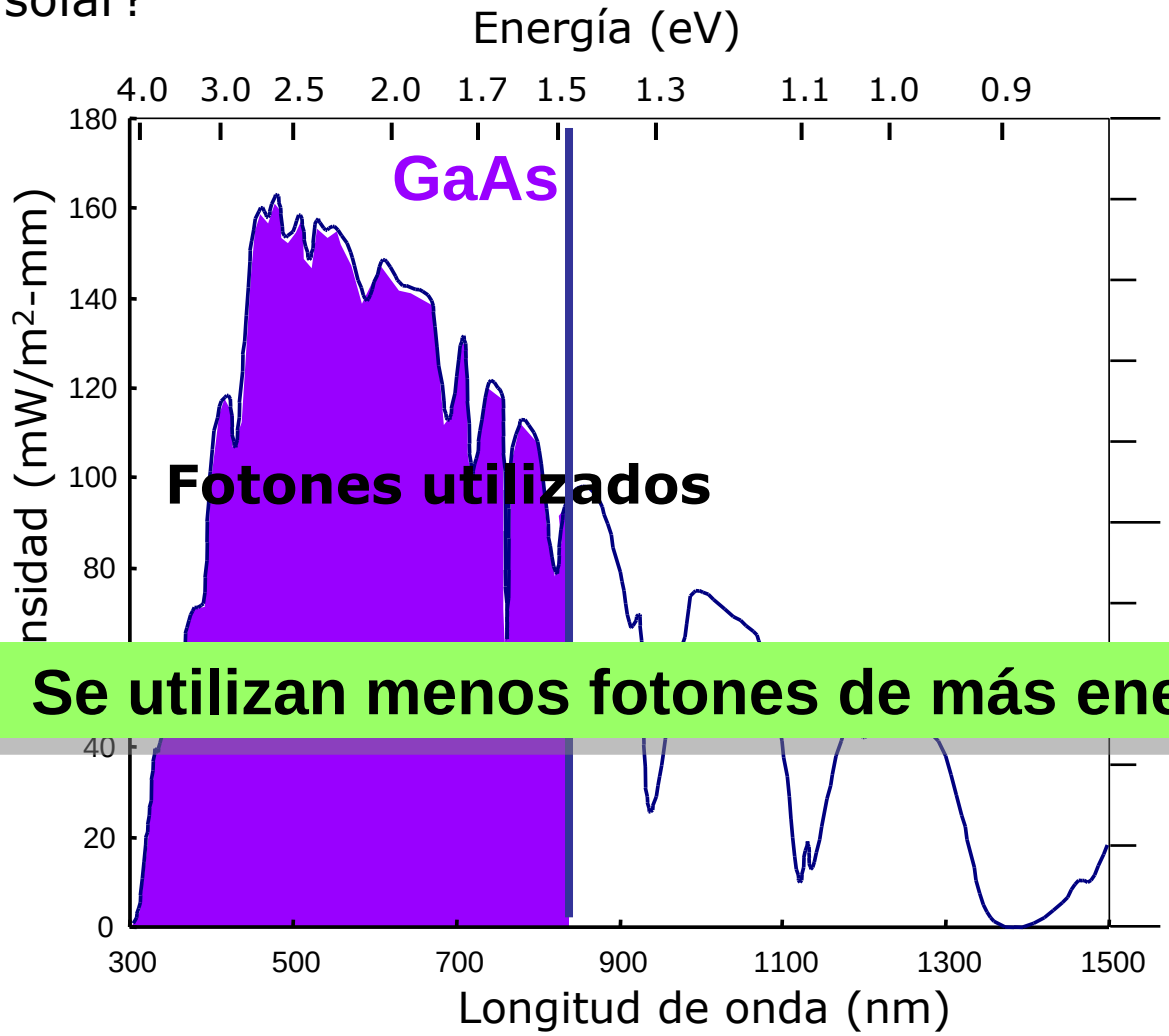
¿Cuál será en semiconductor más adecuado para construir una célula solar?



Se utilizan muchos fotones de poca energía

Funcionamiento de las Células Solares

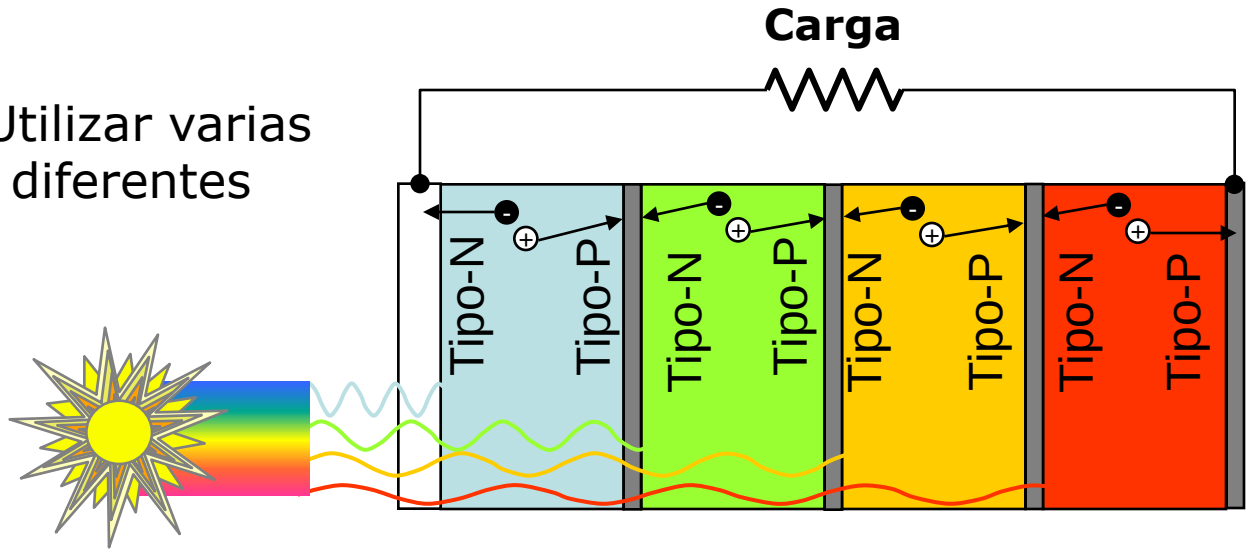
¿Cuál será en semiconductor más adecuado para construir una célula solar?



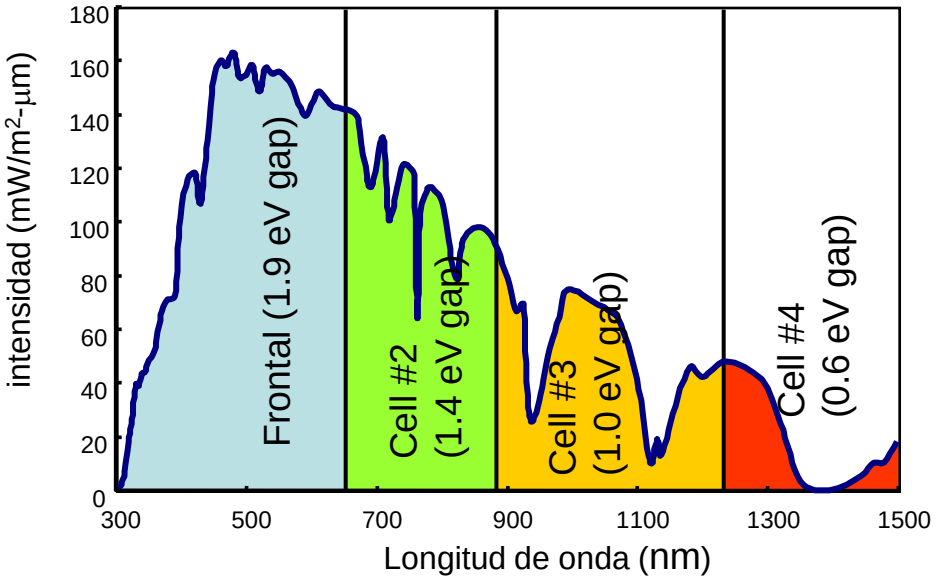
Se utilizan menos fotones de más energía

Funcionamiento de las Células Solares

Solución: Utilizar varias céluas con diferentes "gaps"



Cada célula atrapa la luz que deja pasar la anterior

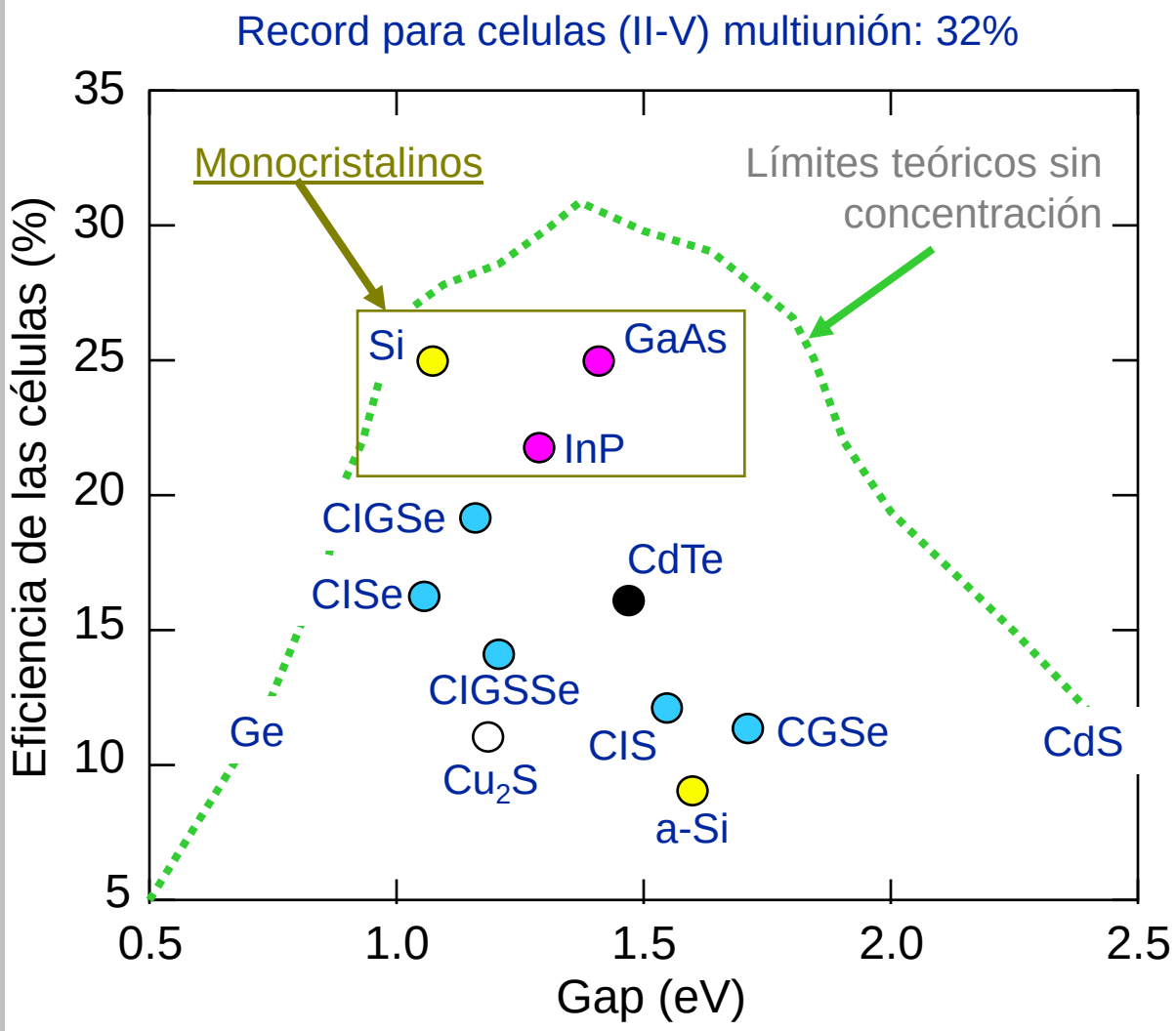


Funcionamiento de las células solares

Células Monounión

- Basadas en Si
- Materiales III-V
- Otras

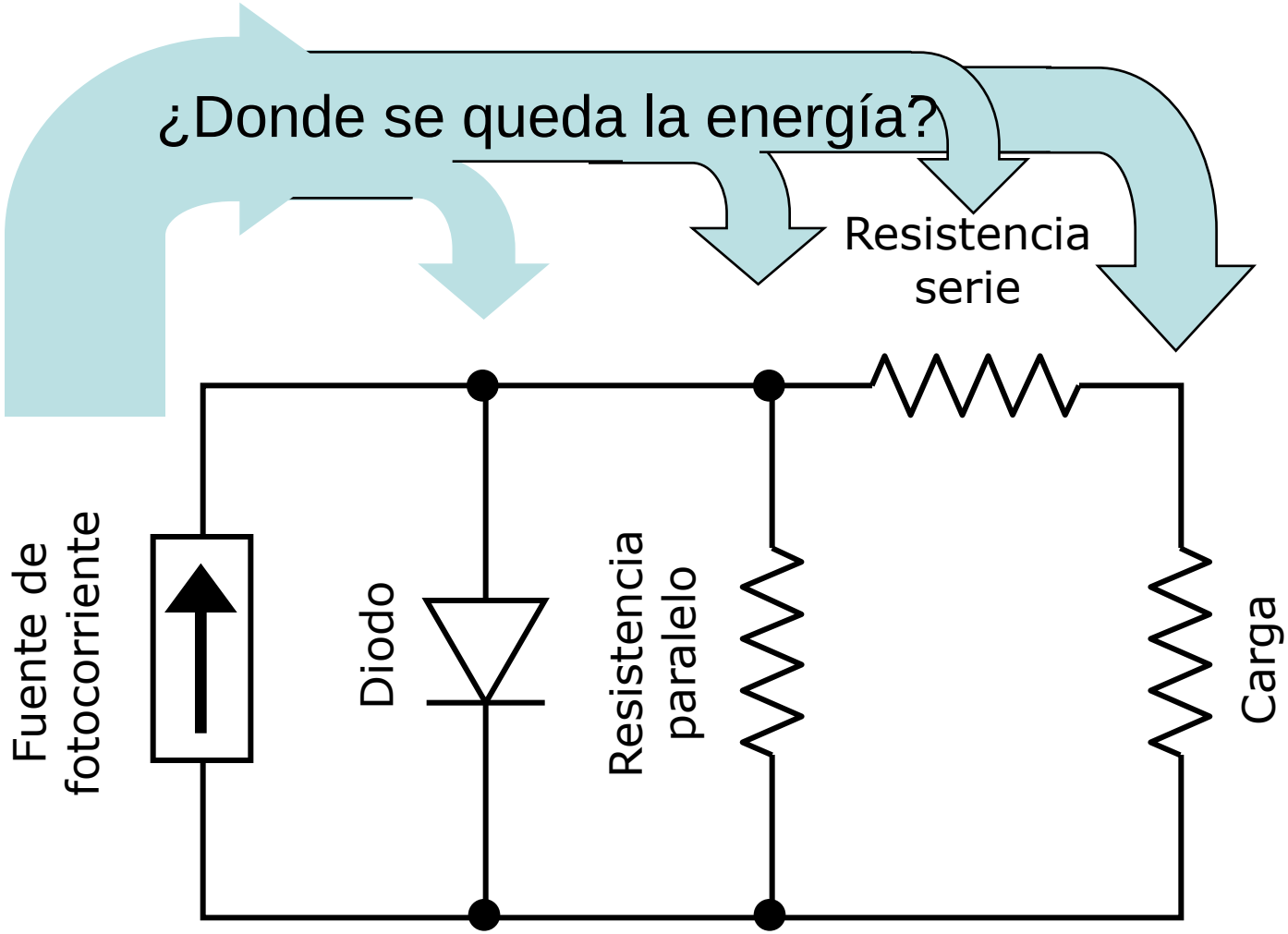
Si y GaAs están muy cerca de sus límites teóricos



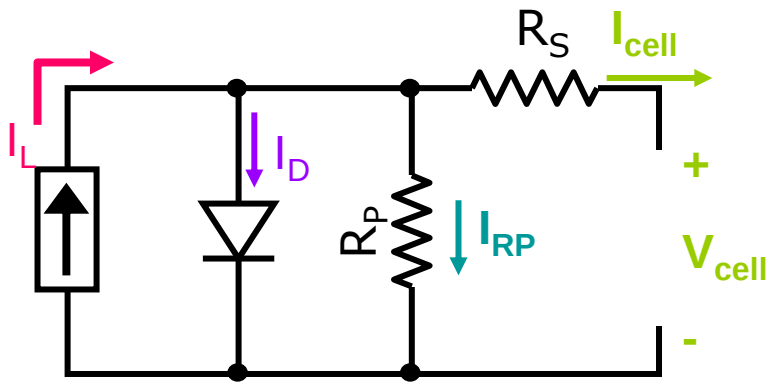
Contenido

1. Naturaleza de la luz solar
2. Efecto Fotoeléctrico
3. Fundamentos sobre semiconductores
4. La unión PN
5. Funcionamiento de las células solares
6. **Circuito equivalente de una célula solar**
7. **Interconexión de células**
8. **Concentración Solar**
9. **El sol visto desde la tierra**
10. **El sistema fotovoltaico**

Circuito equivalente



Circuito equivalente

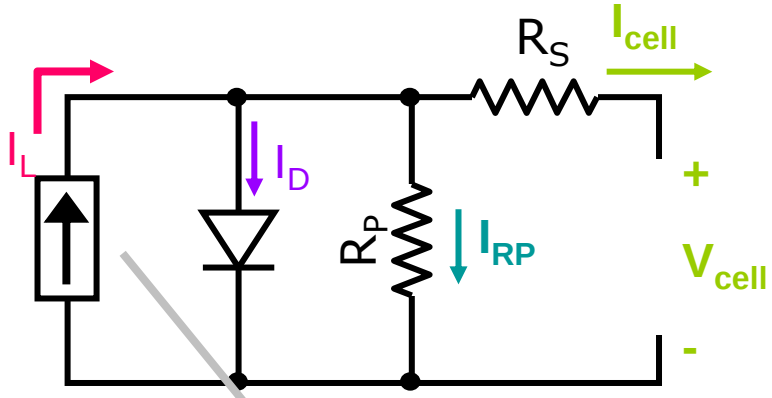


$$I_{cell} = \boxed{I_L} - I_D - I_{RP}$$

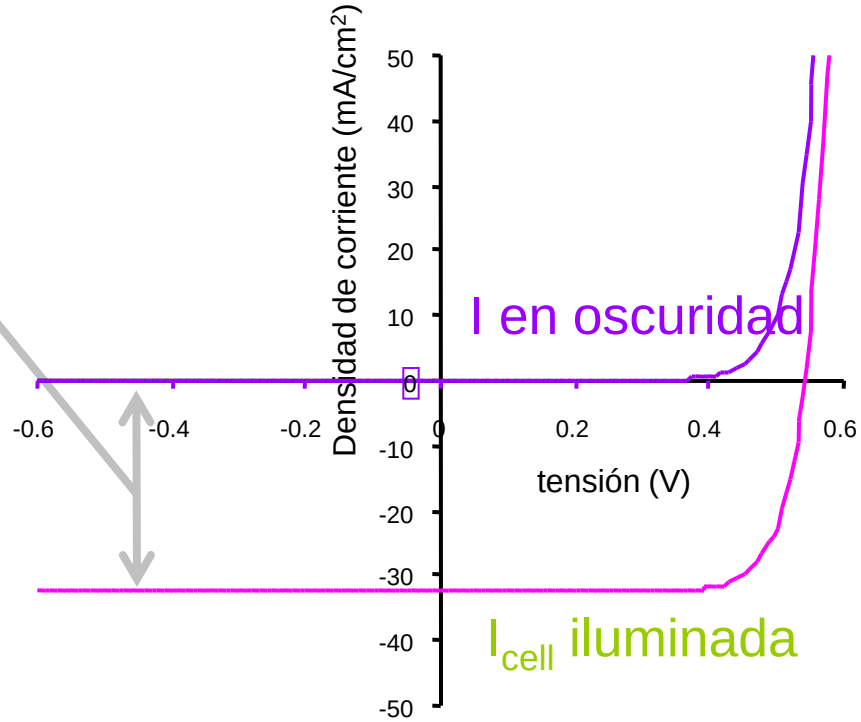
Fotocorriente

- Fotones que inciden sobre la célula
- Coeficiente de absorción
- Eficiencia cuántica
- Propiedades del semiconductor

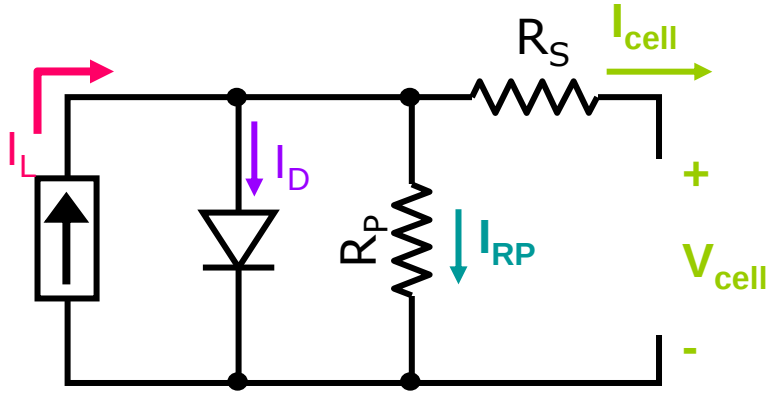
Circuito equivalente



$$I_{cell} = \boxed{I_L} - I_D - I_{RP}$$

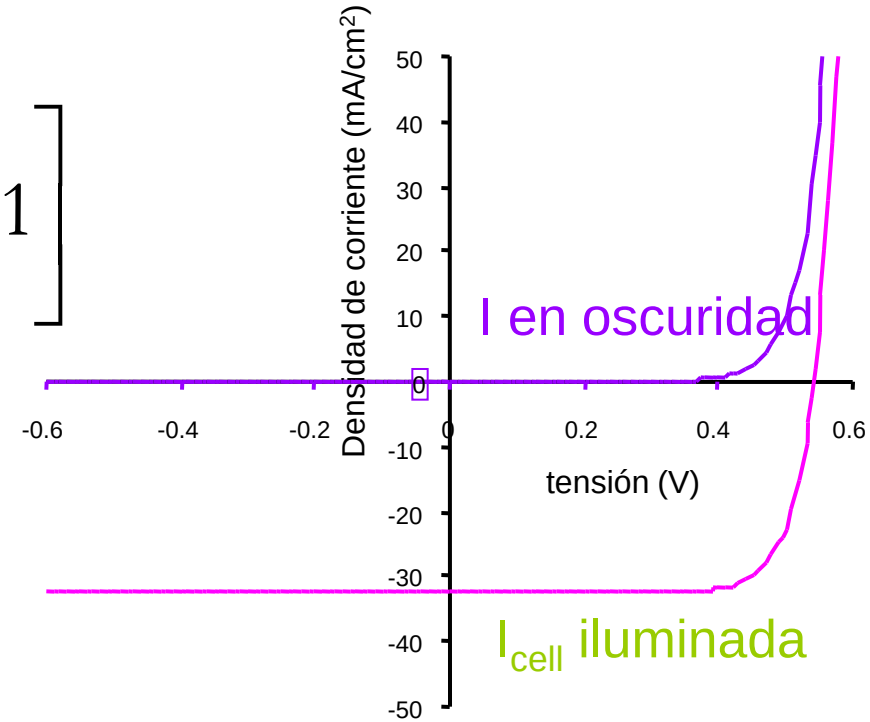


Circuito equivalente

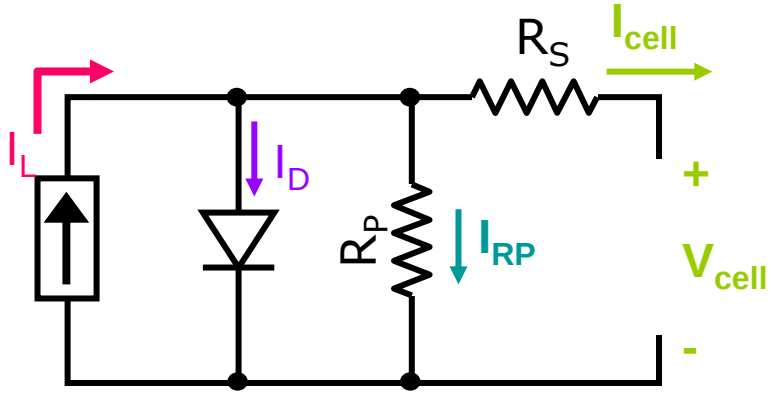


$$I_{cell} = I_L - \boxed{I_D} - I_{RP}$$

$$I_D = I_0 \left[e^{\frac{q \cdot V}{n \cdot K \cdot T}} - 1 \right]$$



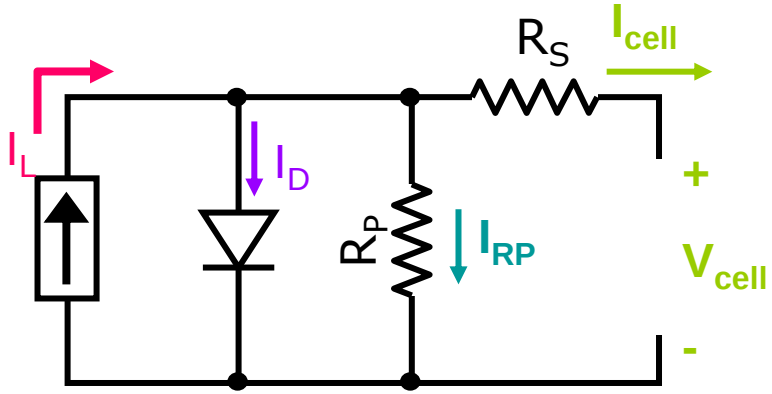
Circuito equivalente



$$I_{cell} = I_L - I_D - I_{RP}$$

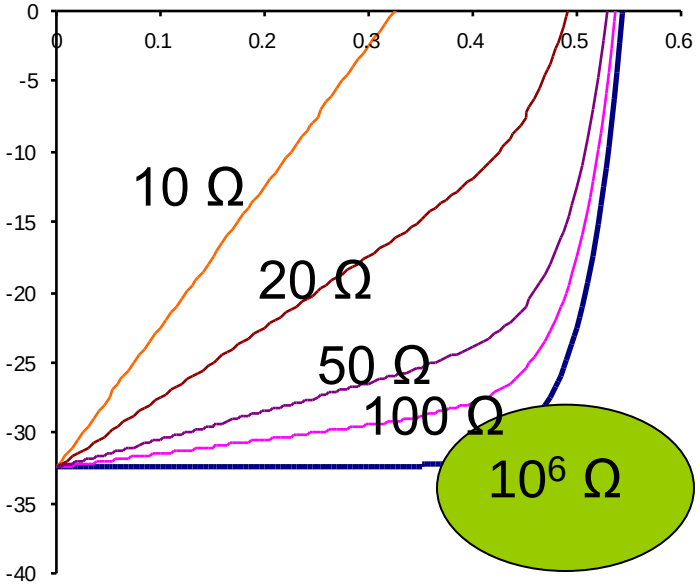
$$I_{cell} = I_L - I_0\left[e^{\frac{-q(V_{cell} - I_{cell}\cdot R_s)}{n\cdot K\cdot T}} - 1\right] - \frac{V_{cell} - I_{cell}\cdot R_S}{R_P}$$

Circuito equivalente

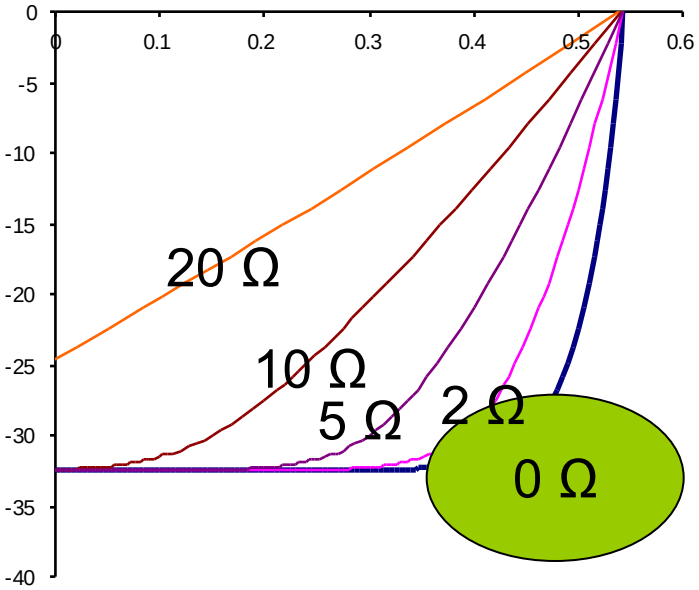


$$I_{cell} = I_L - I_D - I_{RP}$$

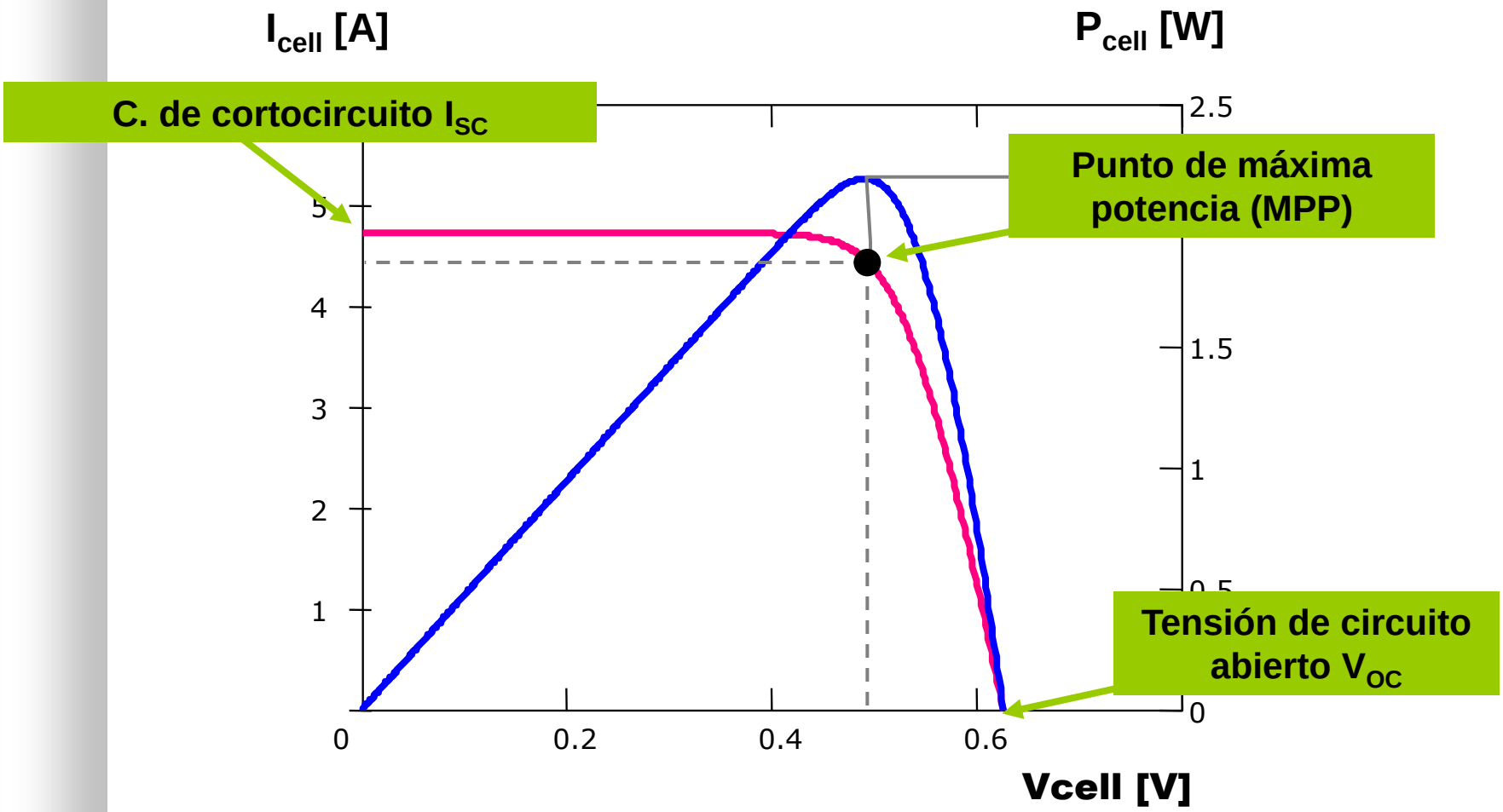
R_P



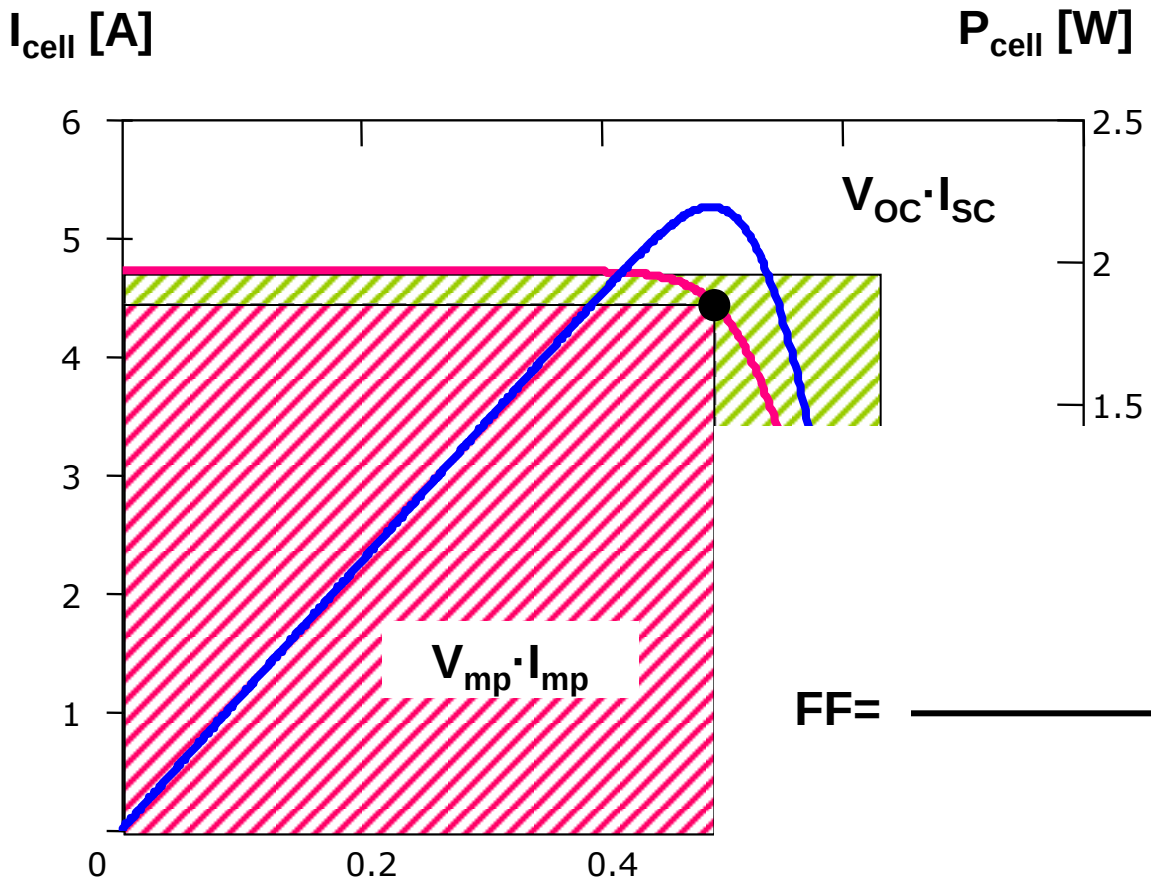
R_S



Circuito equivalente

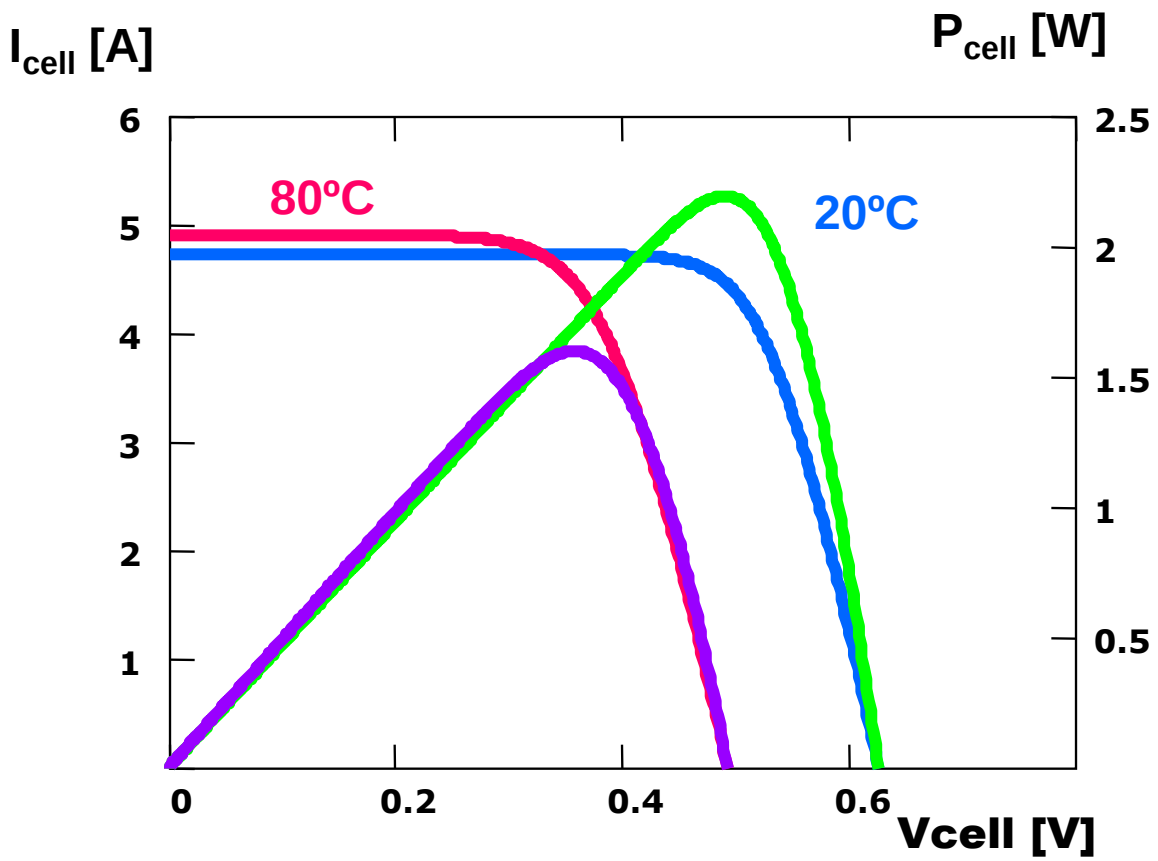


Circuito equivalente



$$FF = \frac{\quad}{\quad}$$

Efectos de la temperatura



La temperatura reduce la tensión de circuito abierto y la potencia que se puede extraer de la célula

Contenido

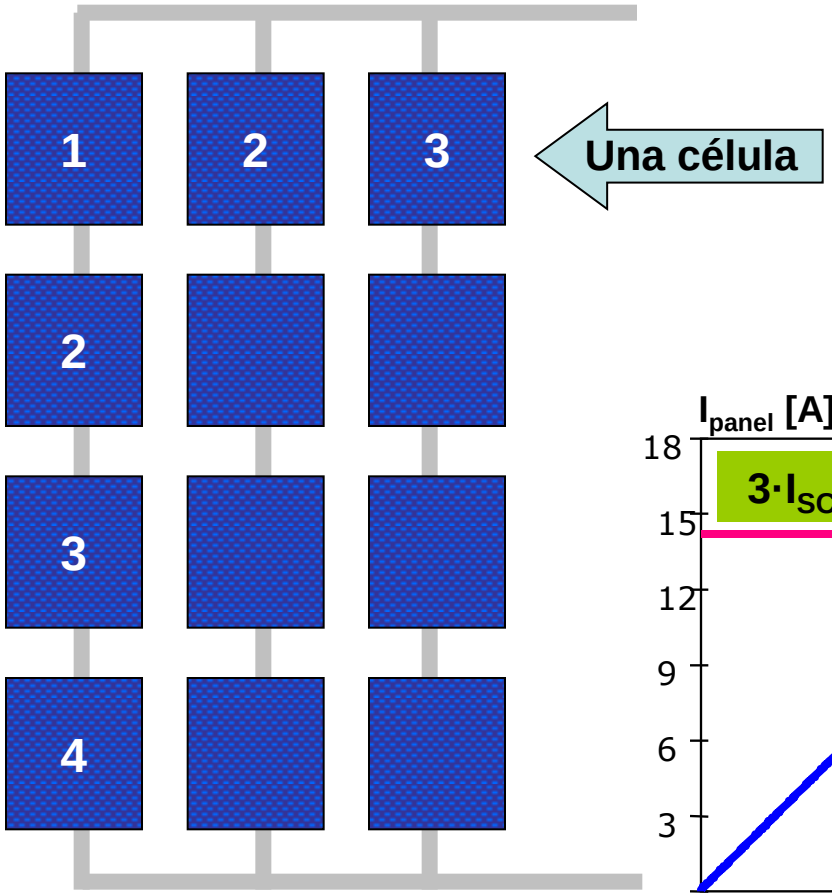
1. Naturaleza de la luz solar
2. Efecto Fotoeléctrico
3. Fundamentos sobre semiconductores
4. La unión PN
5. Funcionamiento de las células solares
6. Circuito equivalente de una célula solar
7. **Interconexión de células**
8. **Concentración Solar**
9. **El sol visto desde la tierra**
10. **El sistema fotovoltaico**

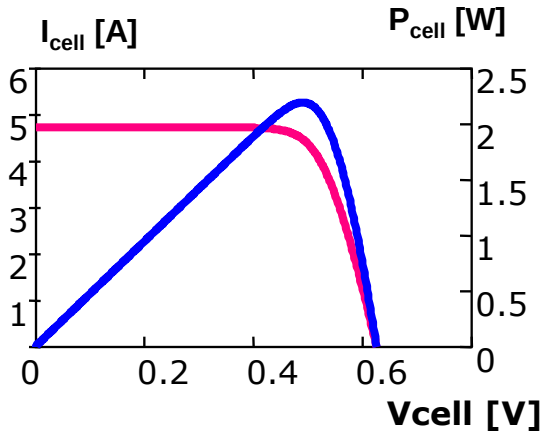
Interconexión de células

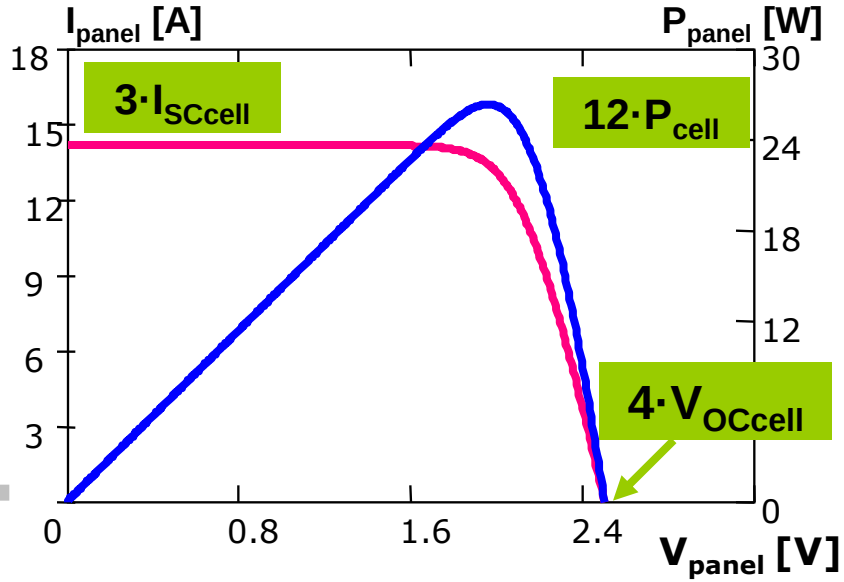
- La tensión máxima de una célula de silicio es **600mV**, para obtener una determinada tensión las células deberán **conectarse en serie**
- La corriente de cortocircuito de una célula con una radiación de **1kW/m^2** es de **30mA/cm^2**. Para corrientes elevadas también se **conectarán en paralelo**

Interconexión de células

Caso IDEAL todas las células son idénticas

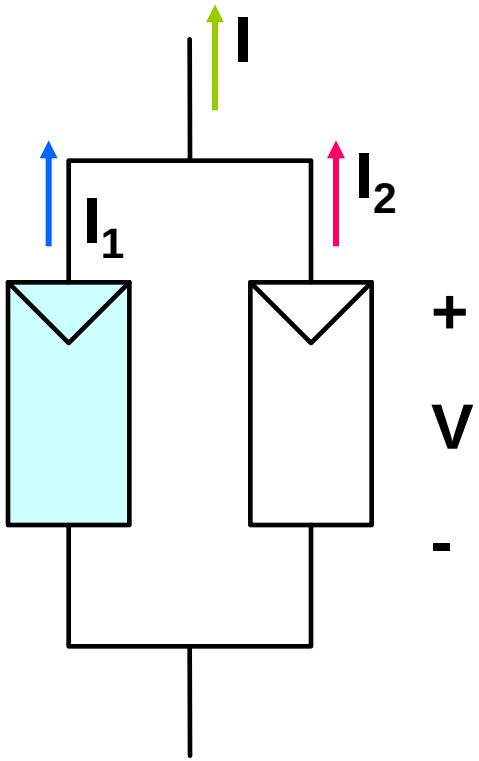


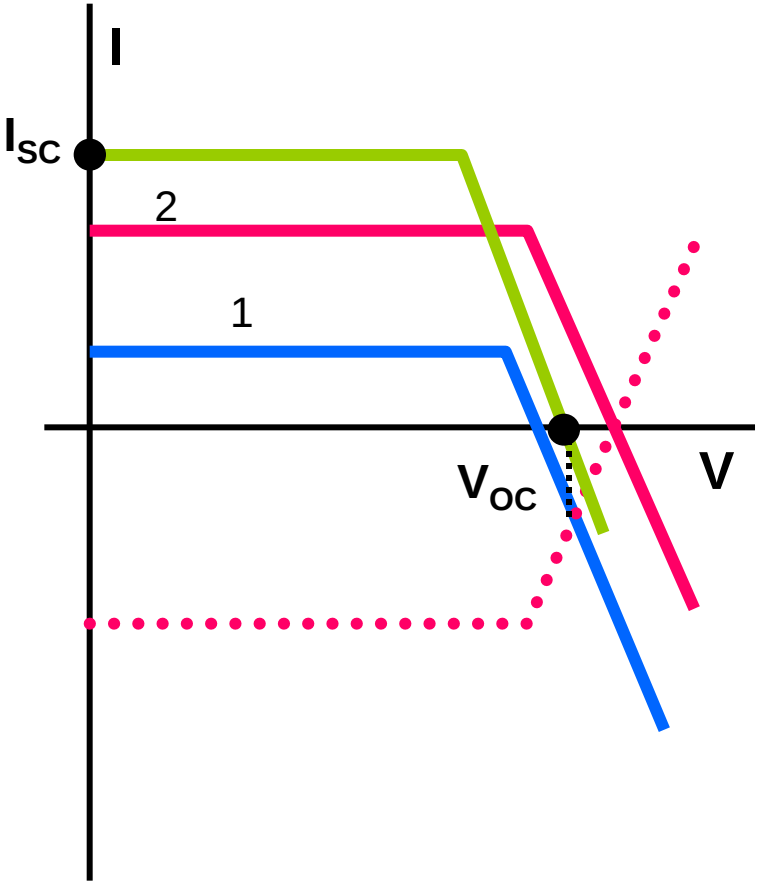




Interconexión de células

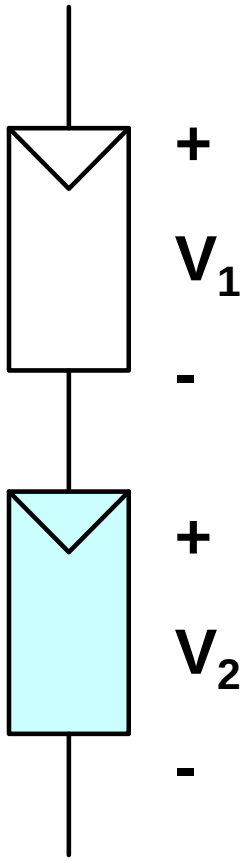
Caso REAL las células no son idénticas

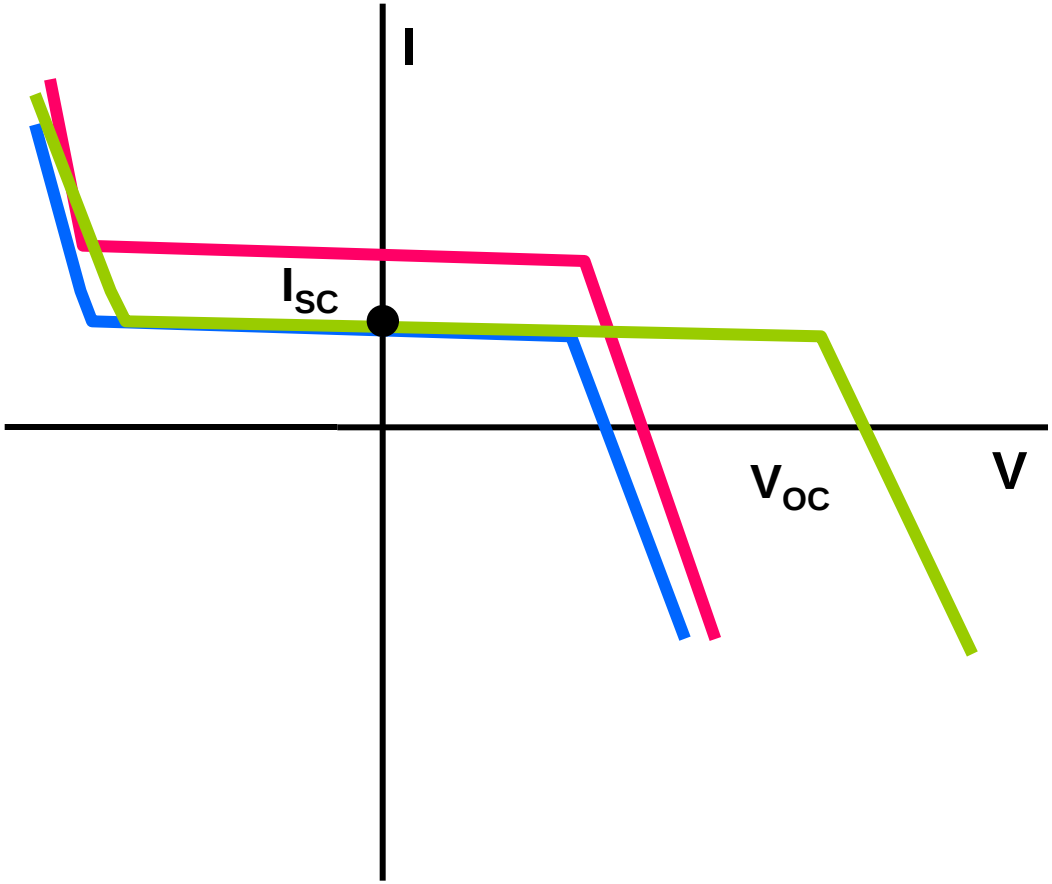




Interconexión de células

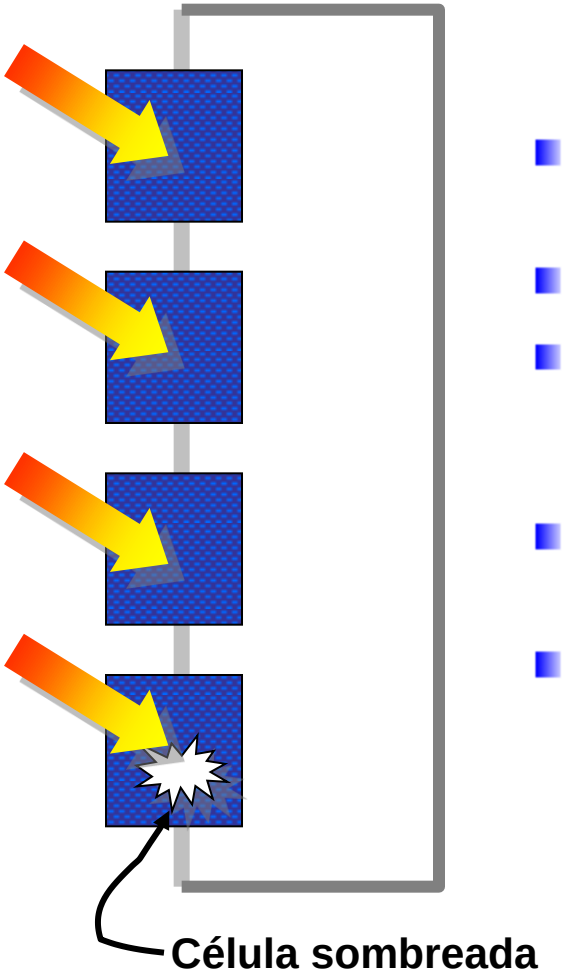
Caso REAL las células no son idénticas





Interconexión de células

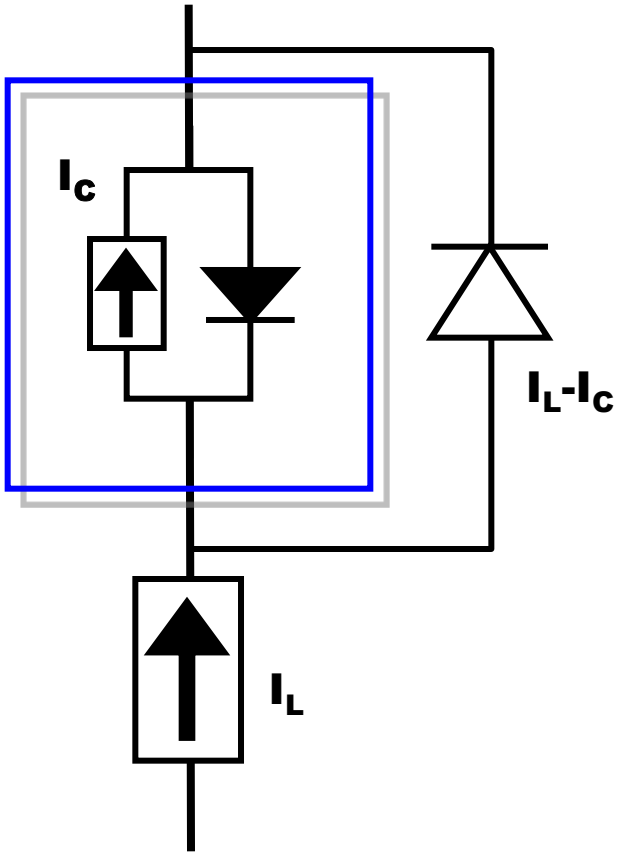
Caso REAL las células no son idénticas



- Como el panel está en cortocircuito no puede dar energía a exterior
- La célula sombreada actúa como carga
- La energía generada en las células no sombreadas se disipará en la célula sombreada
- Si existen muchas células podría destruirse la célula sombreada
- Los diodos de “by-pass” protegen las células sombreadas de sobrecalentamientos

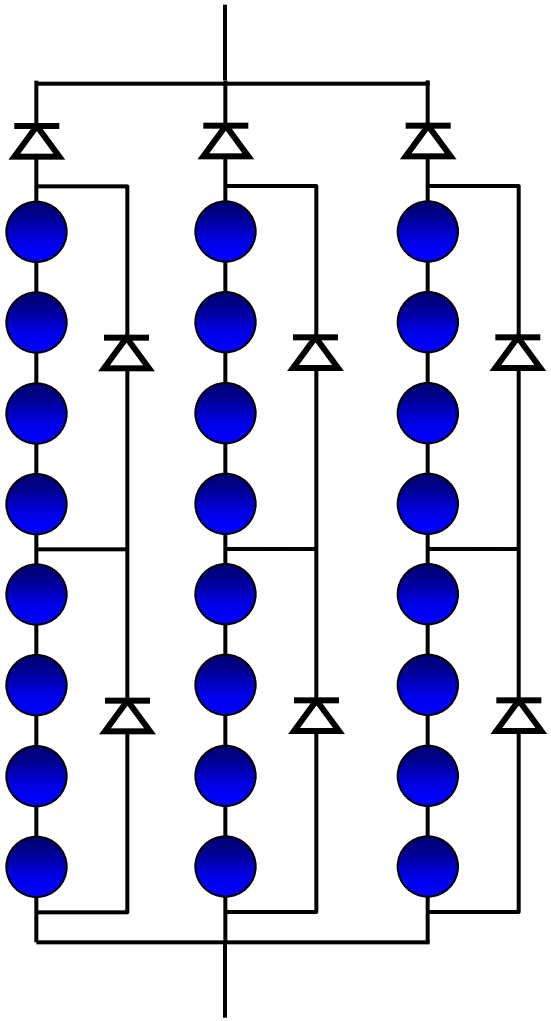
Interconexión de células

Diodos de “bypass”



- Sin sombras I_C=I_L no circulando corriente por el diodo de bypass
- La célula al sombrearse reduce su corriente
- El desequilibrio de corriente circulará por el diodo, la célula no producirá energía, consumirá

Interconexión de células

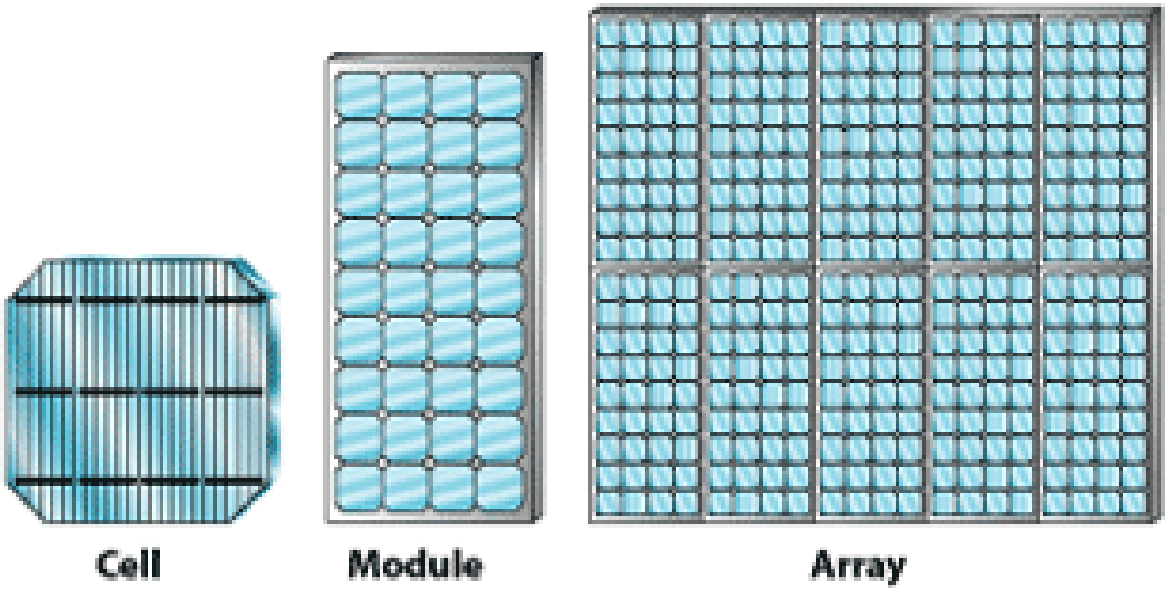


- Cuando hay muchas células se pone un diodo de bypass por cada grupo
- Se pueden poner diodos en serie para evitar circulaciones de corriente de un módulo a otro
- El número de células real suele ser mayor que el dibujado

Interconexión de células

Generadores fotovoltaicos

El panel plano y la asociación de varios paneles es la forma más habitual de formar un generador fotovoltaico

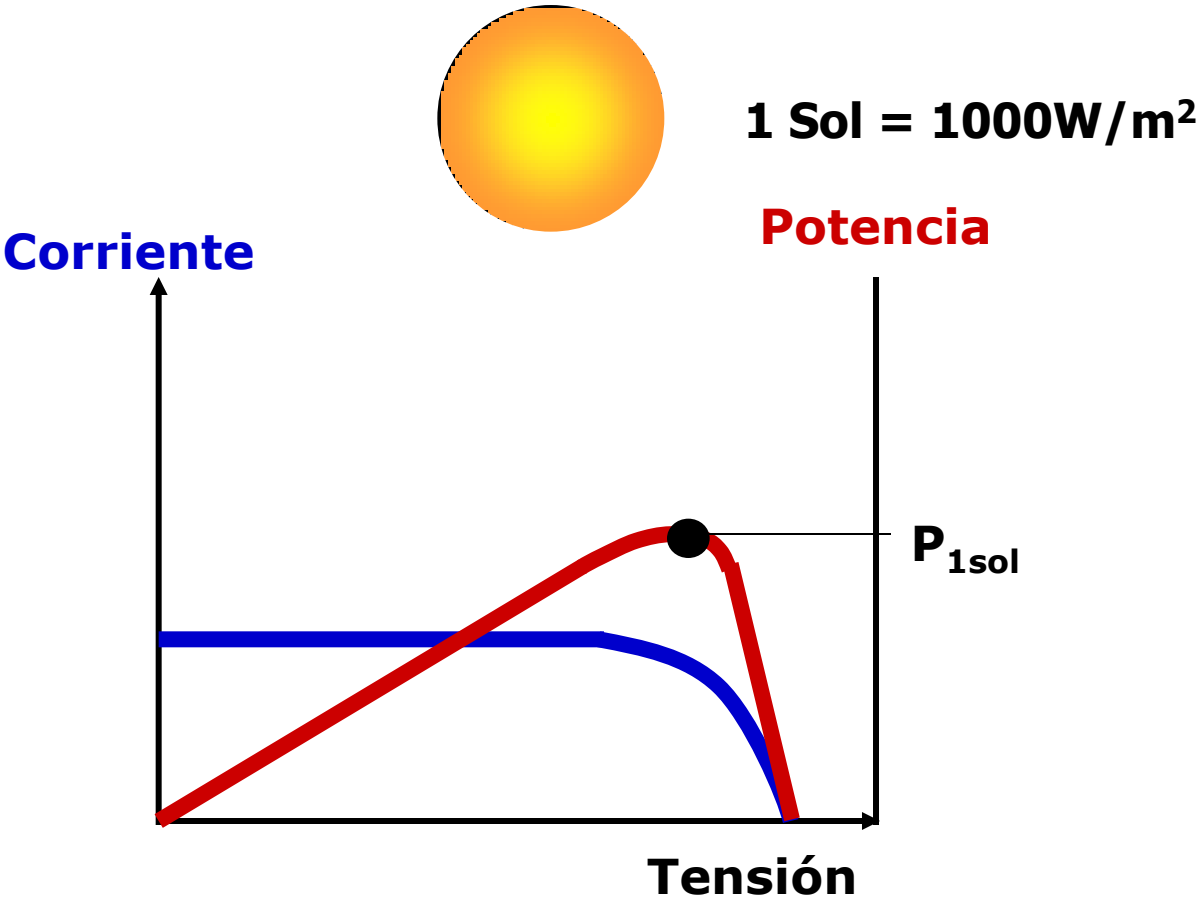


¿Existen otras tipos de generadores?

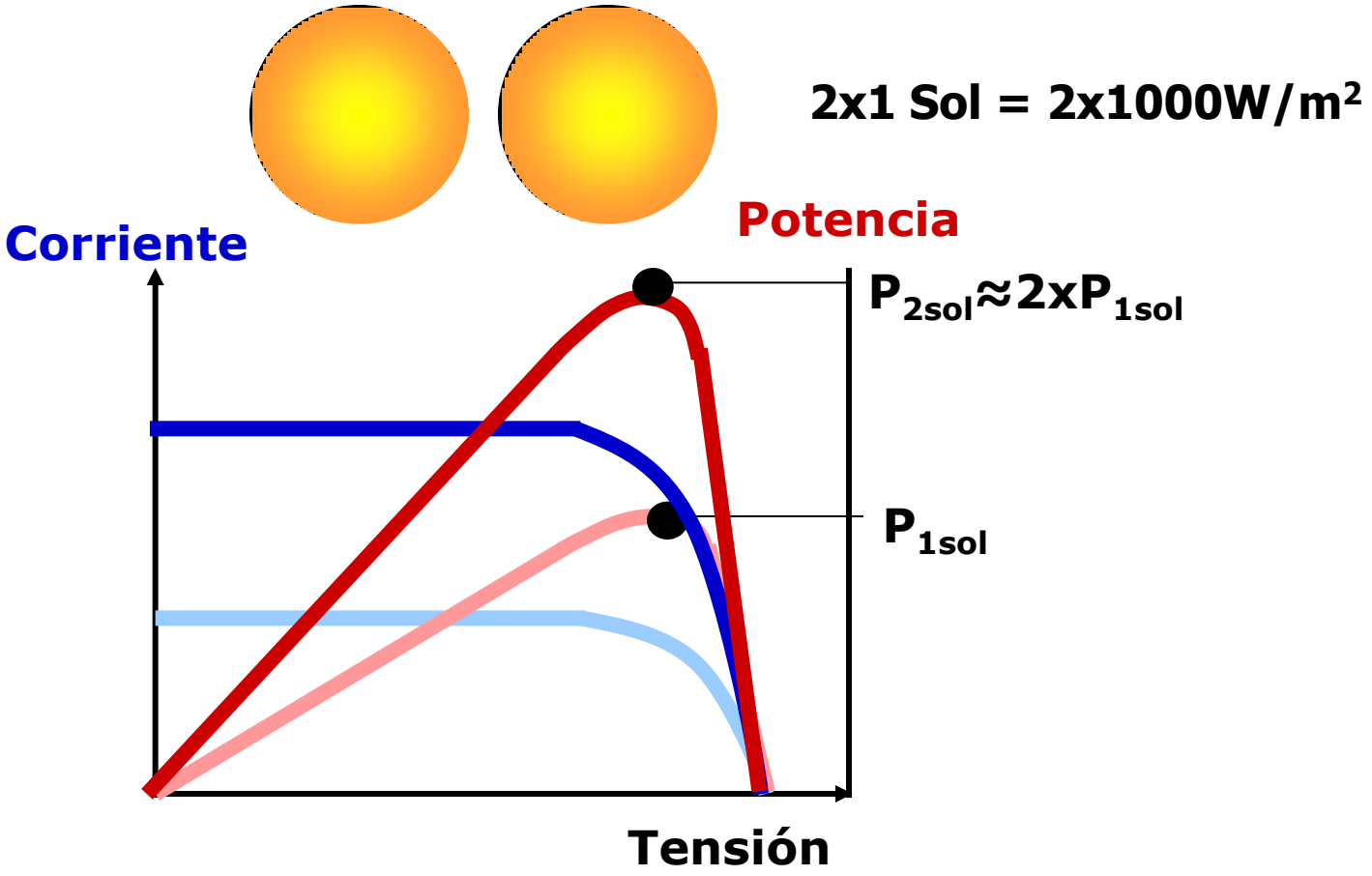
Contenido

1. Naturaleza de la luz solar
2. Efecto Fotoeléctrico
3. Fundamentos sobre semiconductores
4. La unión PN
5. Funcionamiento de las células solares
6. Circuito equivalente de una célula solar
7. Interconexión de células
8. **Concentración Solar**
9. **El sol visto desde la tierra**
10. **El sistema fotovoltaico**

Concentración Solar



Concentración Solar



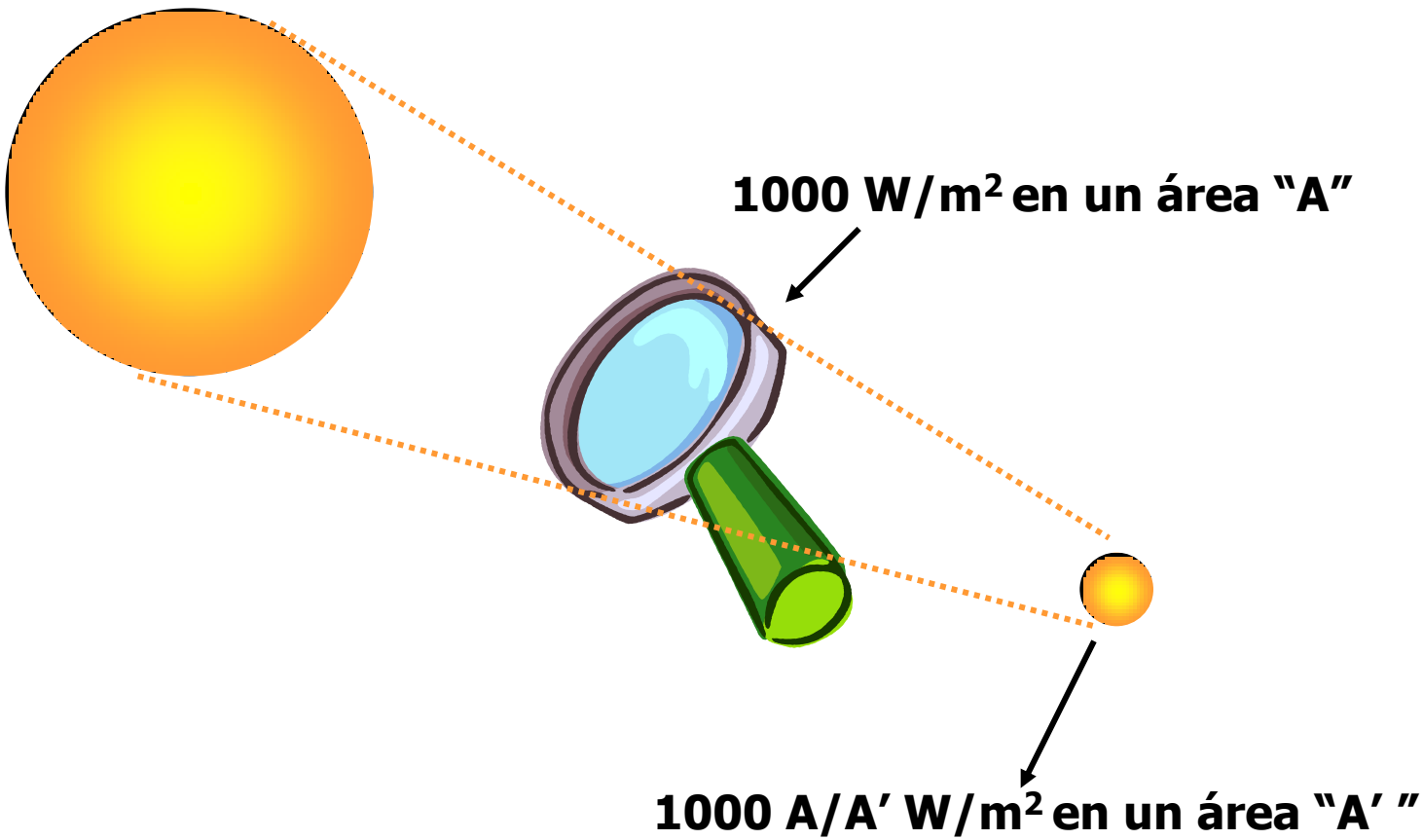
Concentración Solar

Ventajas de la concentración

- Aumentando la radiación solar, podemos obtener mayor energía con el mismo tamaño de célula
- Disminuyendo el número de células o su tamaño puede reducirse el coste de la instalación para una misma potencia

Concentración Solar

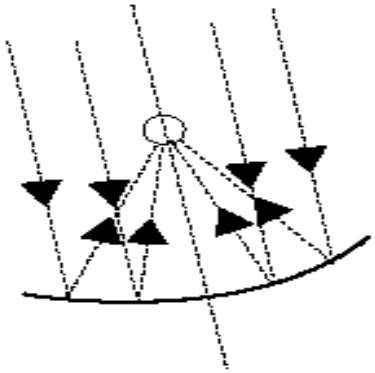
¿Cómo tener varios soles?



Concentración Solar

¿Cómo tener varios soles?

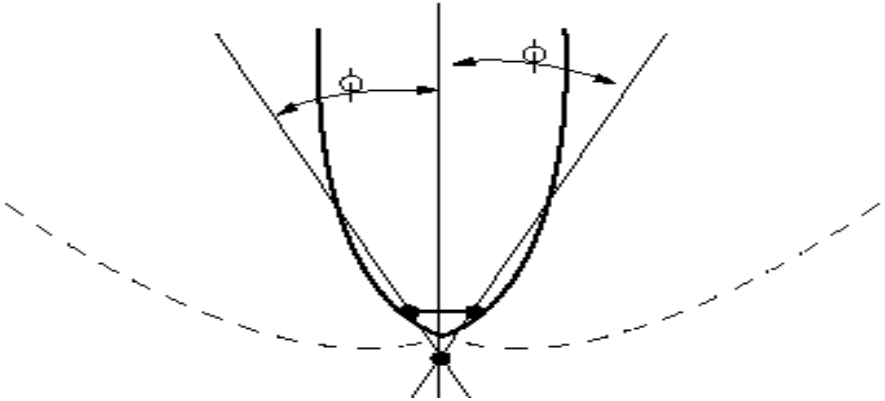
COLECTOR CONCENTRADOR



Por Reflexión

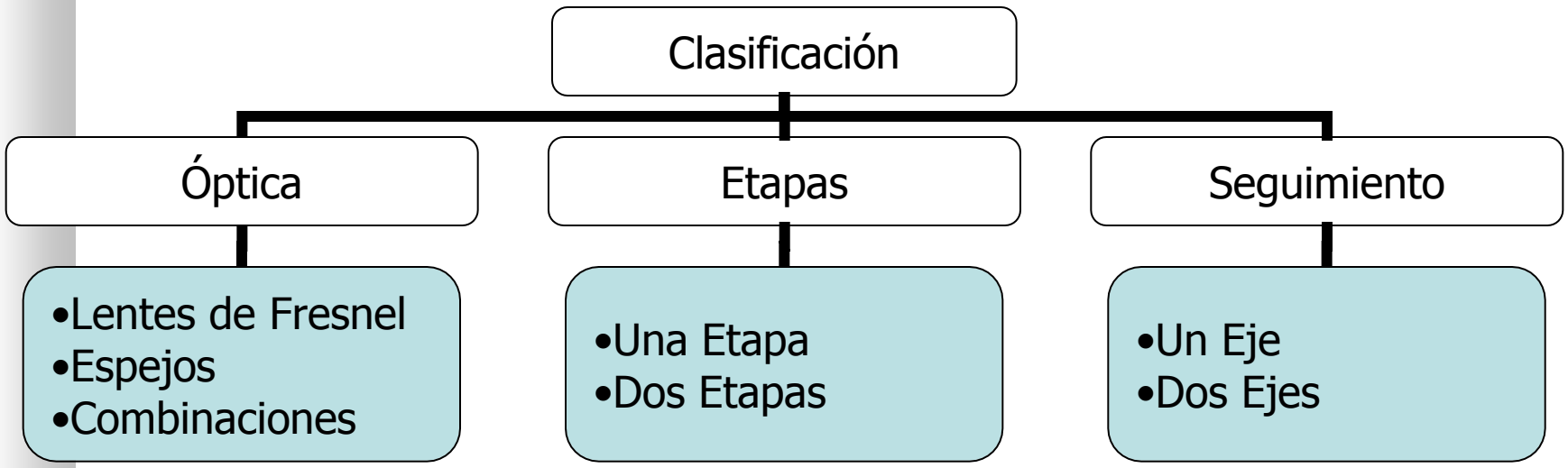
Por Refracción

COLECTOR PARABOLICO COMPUESTO



Concentración Solar

Tipos de concentradores



Gran parte de esta tecnología ha sido “heredada” de la energía solar térmica de alta temperatura (Hornos solares, centrales térmicas, etc).

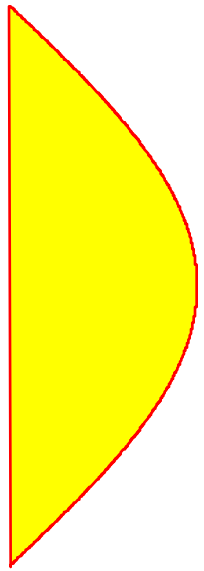
Concentración Solar

Lentes de Fresnel

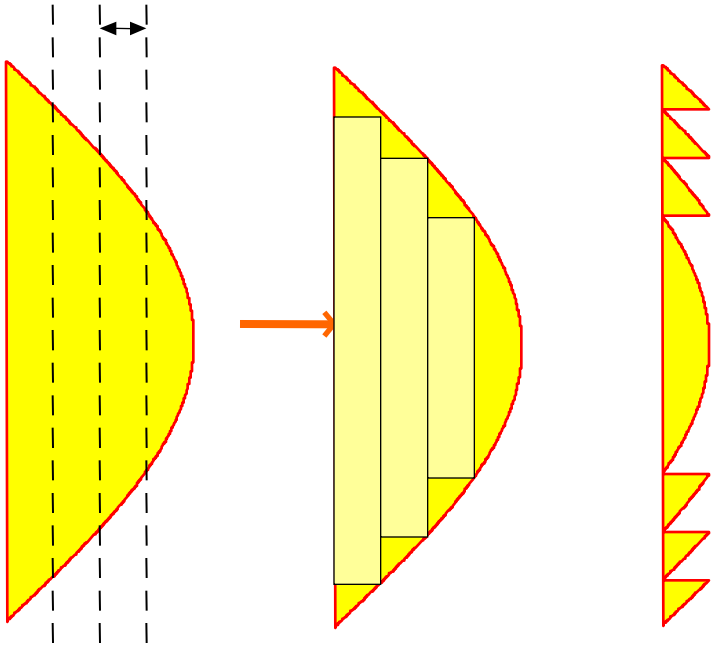
Clasificación

Óptica

- Lentes de Fresnel
- Espejos
- Combinaciones



Lente voluminosa, tiene pérdidas y necesita gran cantidad de material



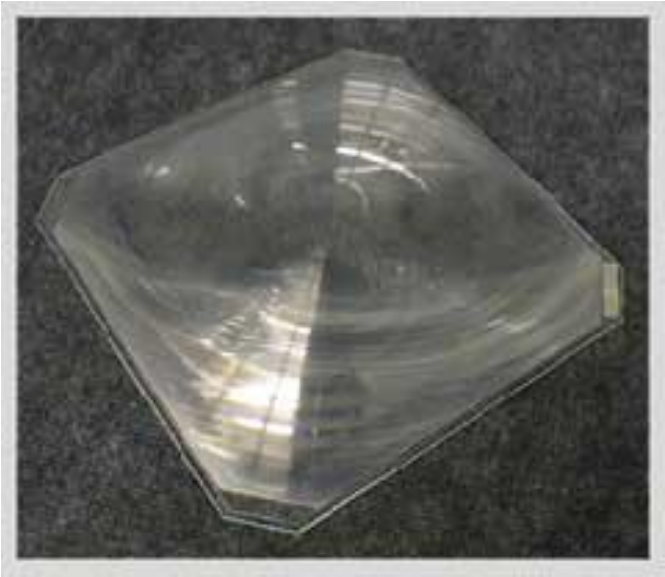
Lentes planas no afectan a los rayos perpendiculares

Concentración Solar

Lentes de Fresnel

Muy utilizadas en la industria tanto como colimadores como concentradores.

Como aplicación histórica ya que fueron el motivo de su descubrimiento deben citarse los faros.



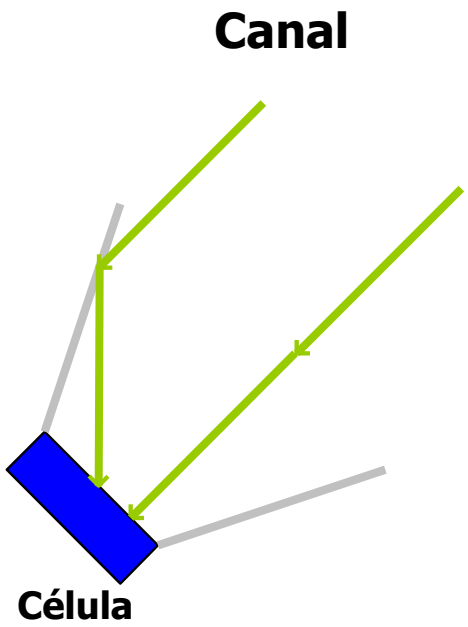
Concentración Solar

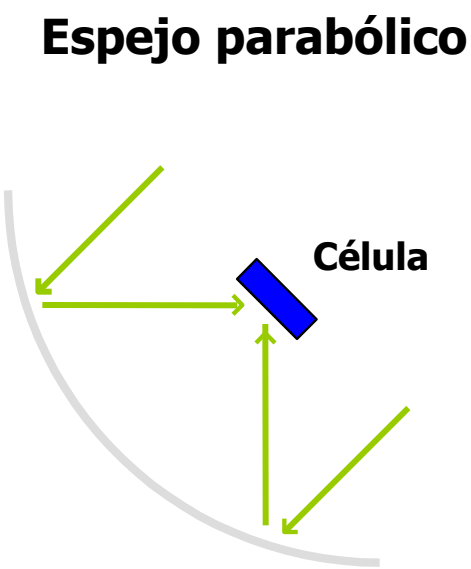
Espejos

Clasificación

Óptica

- Lentes de Fresnel
- Espejos
- Combinaciones





Concentración Solar

Espejos

Clasificación

Óptica

- Lentes de Fresnel
- Espejos
- Combinaciones

Cilindroparabólicos

Concentración Solar

Espejos

Clasificación

Óptica

- Lentes de Fresnel
- Espejos
- Combinaciones

Paraboloides

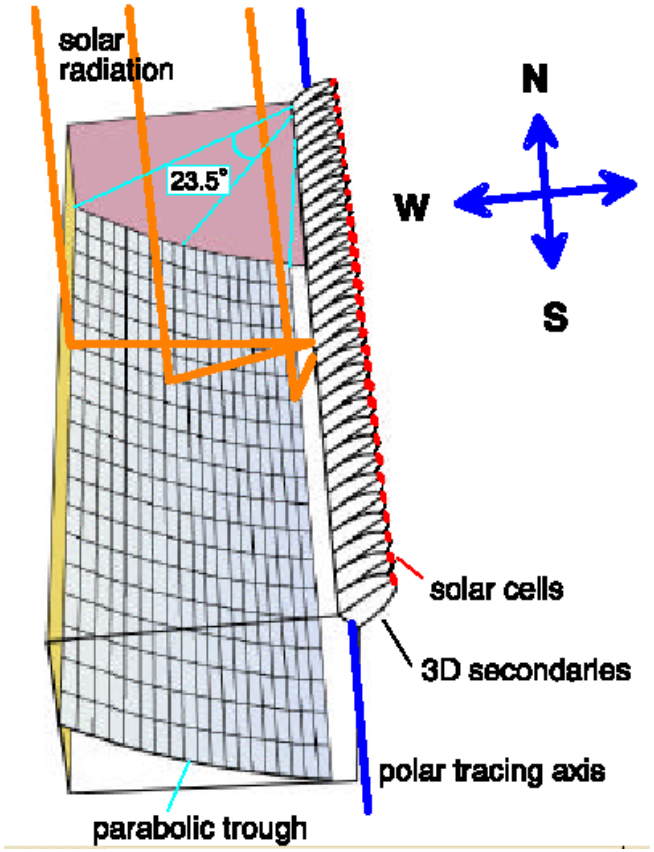
Concentración Solar

Mixtos

Clasificación

Óptica

- Lentes de Fresnel
- Espejos
- Combinaciones



Combinados

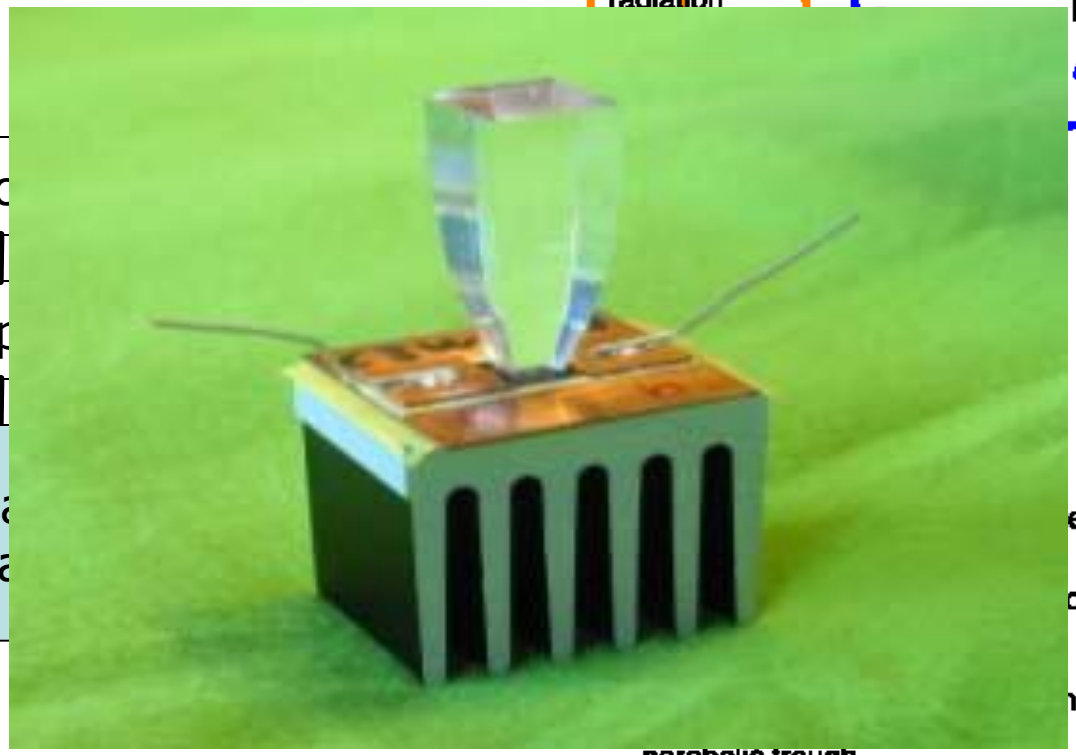
Concentración Solar

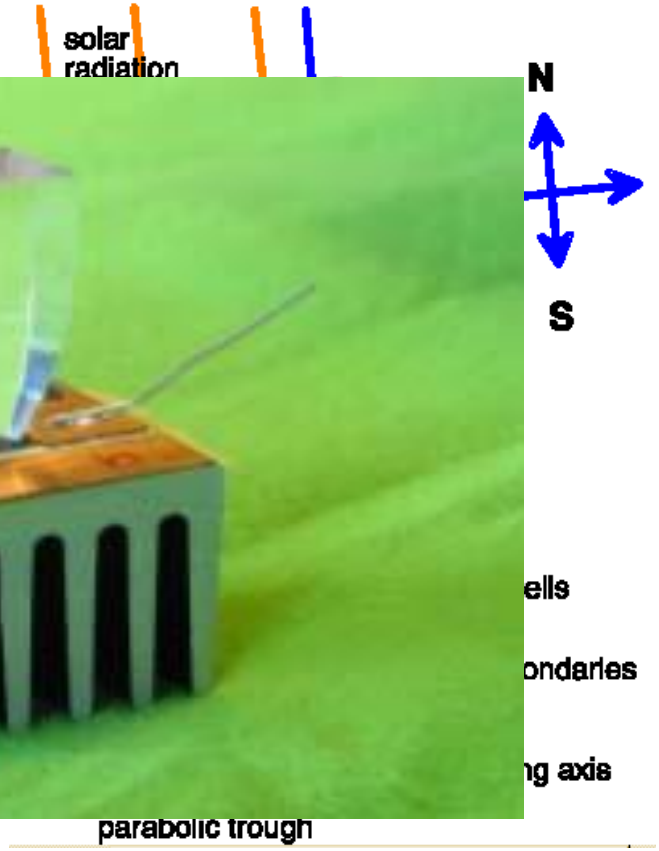
Mixtos

Clasific

Etap

•Una Etapa
•Dos Etapa





2 etapas (espejos+cpc)

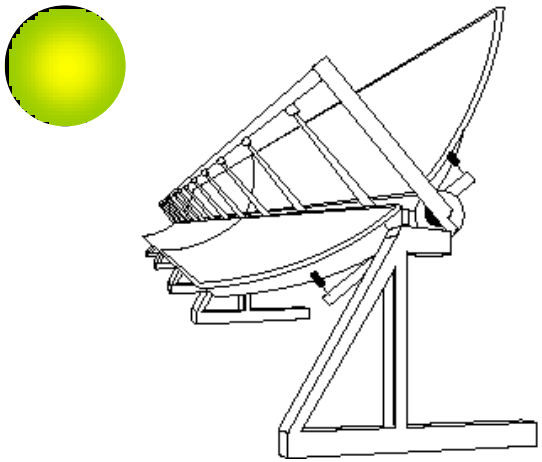
Concentración Solar

Seguimiento en un eje

Clasificación

Seguimiento

- Un Eje
- Dos Ejes



Válidos para concentraciones inferiores a x40

Mediante el seguimiento de un eje no pueden seguirse los cambios consecuencia de la declinación de la tierra. Seguimiento diario

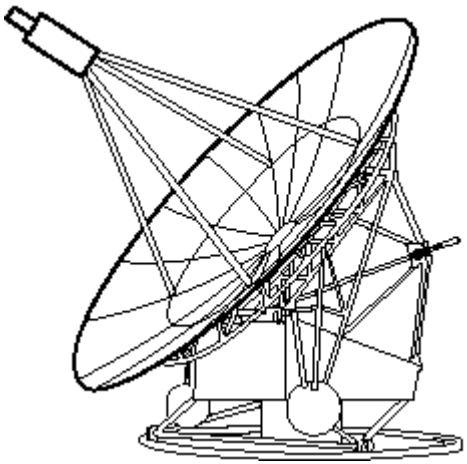
Concentración Solar

Seguimiento en dos ejes

Clasificación

Seguimiento

- Un Eje
- Dos Ejes



Recomendados para grandes concentraciones

Mediante el seguimiento con dos ejes apuntamos un punto en el espacio. El sistema estará perfectamente orientado en cualquier fecha del año.

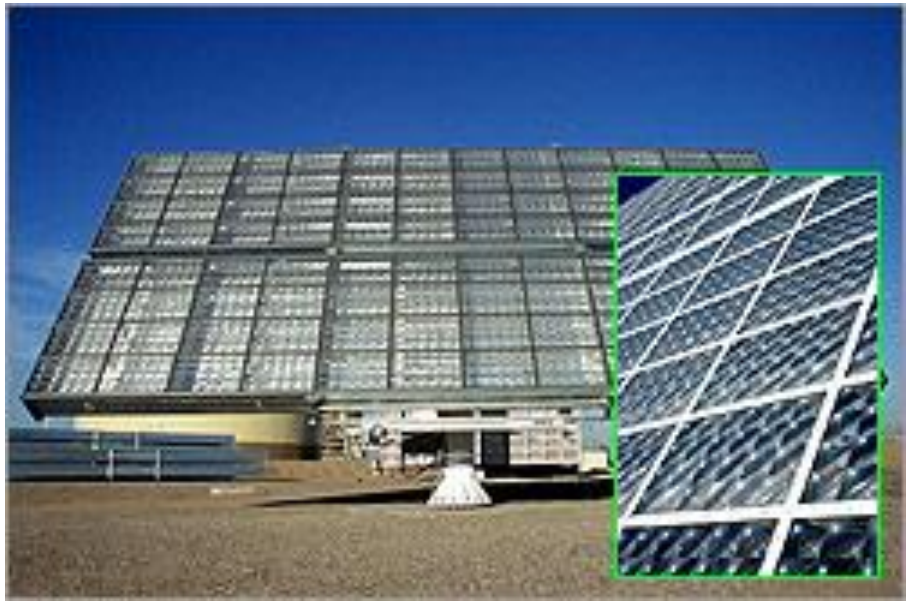
Concentración Solar

Ventajas de la concentración

Clasificación

Seguimiento

- Un Eje
- Dos Ejes



Recomendados para grandes concentraciones

Mediante el seguimiento con dos ejes apuntamos un punto en el espacio. El sistema estará perfectamente orientado en cualquier fecha del año.

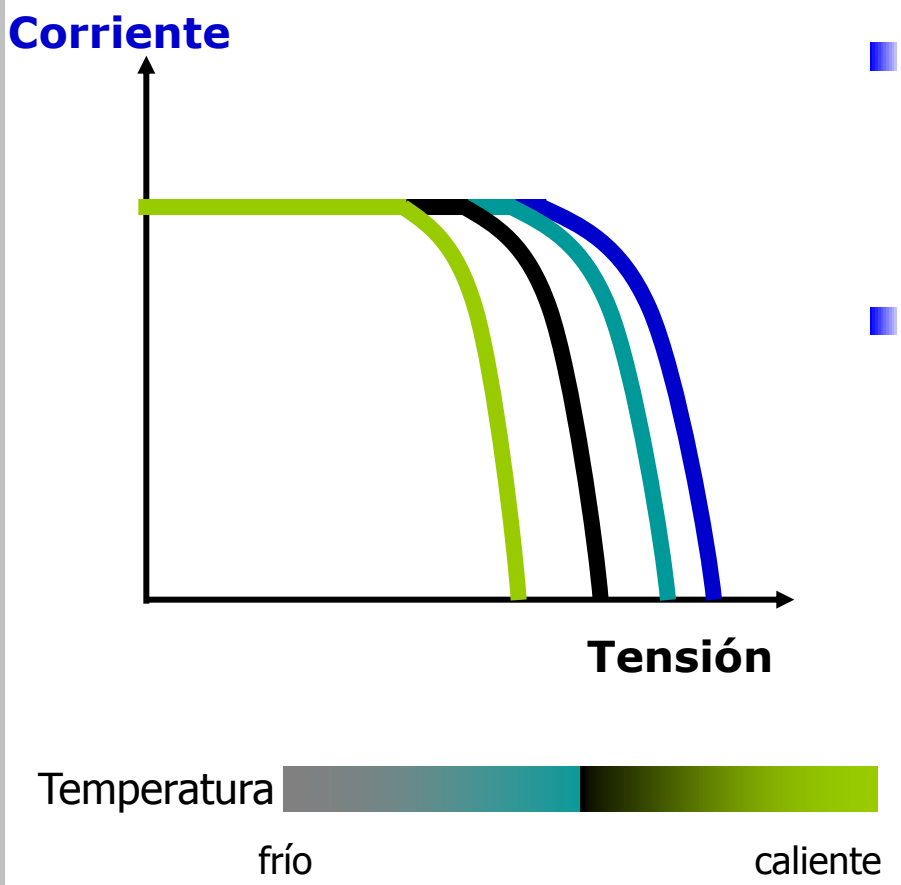
Concentración Solar

Problemas de los concentradores

- Sólo puede concentrarse la radiación directa
- El seguimiento solar
- Células trabajando con mucha energía
- Células bajo una gran radiación solar

Concentración Solar

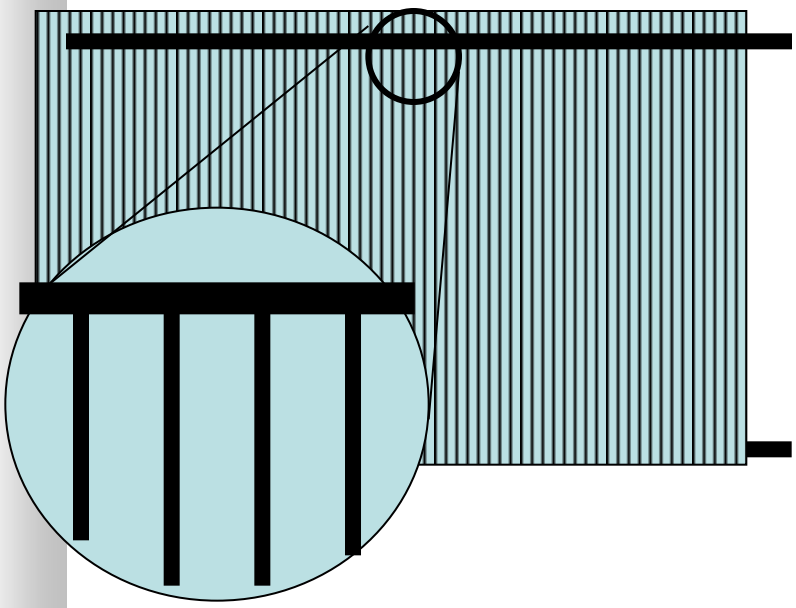
Problemas térmicos



- La eficiencia disminuye con la temperatura
- Las células solares utilizadas en concentradores necesitarán sistemas auxiliares de refrigeración (disipadores)

Concentración Solar

Problemas con las sombras

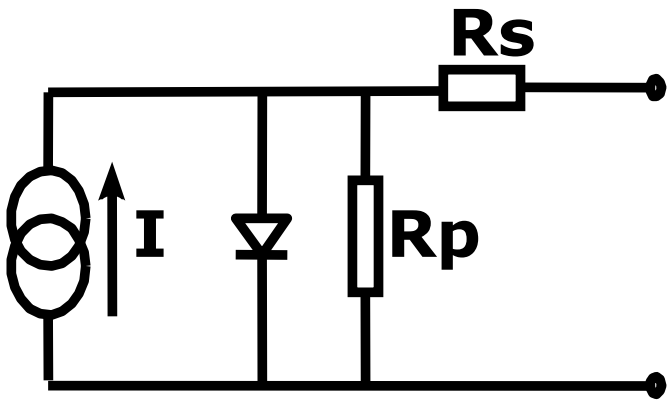


- Necesitamos “pistas” para “recoger” la electricidad
- Cuanto mayores sean las pistas menos perdidas por resistencia
- Cuanto mayores sean las pistas más pérdidas por sombra

Concentración Solar

Problemas con las sombras

Modelo de una célula



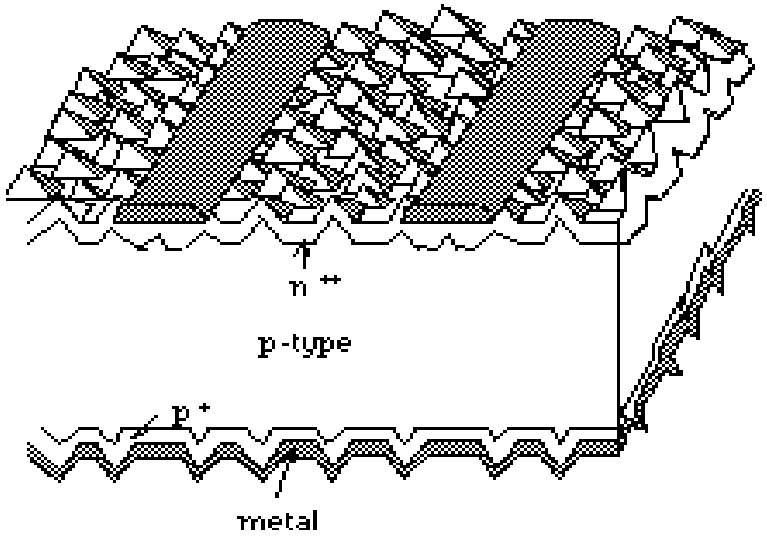
- Si los contactos son muy delgados R_S será muy grande
- Si los contactos son muy anchos "I" será más pequeña

Hay que llegar a un compromiso o buscar células especiales

Concentración Solar

Células especiales

Célula convencional

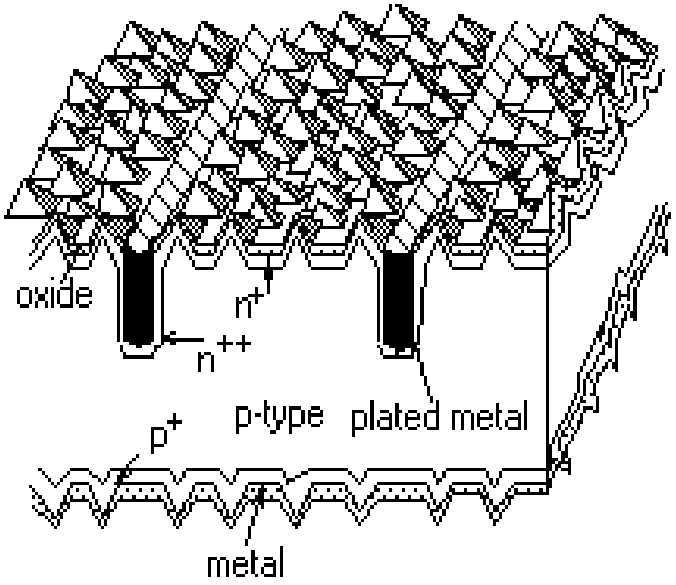


Los contactos causarán gran cantidad de pérdidas por sombra.

Concentración Solar

Células especiales

Célula contactos enterrados

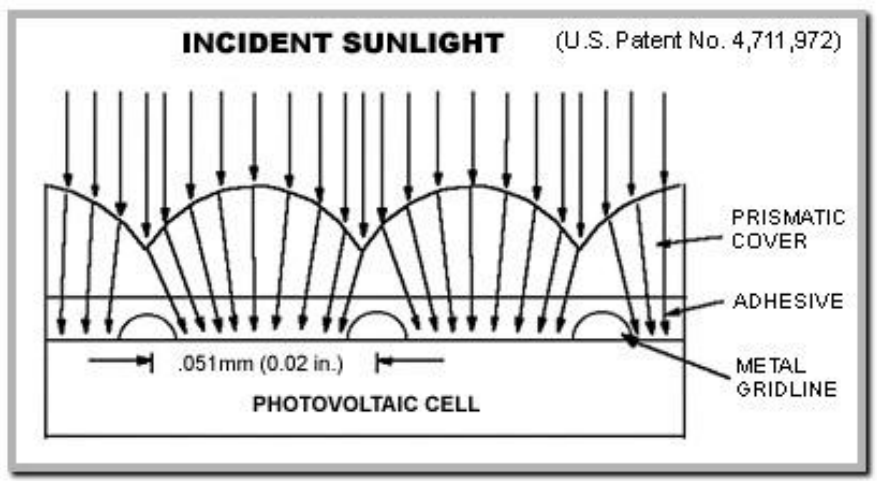


- Insertando los contactos en hendiduras realizadas al semiconductor se reduce el área sombreada
- Son más difíciles de fabricar

Concentración Solar

Células especiales

Células con microlentes

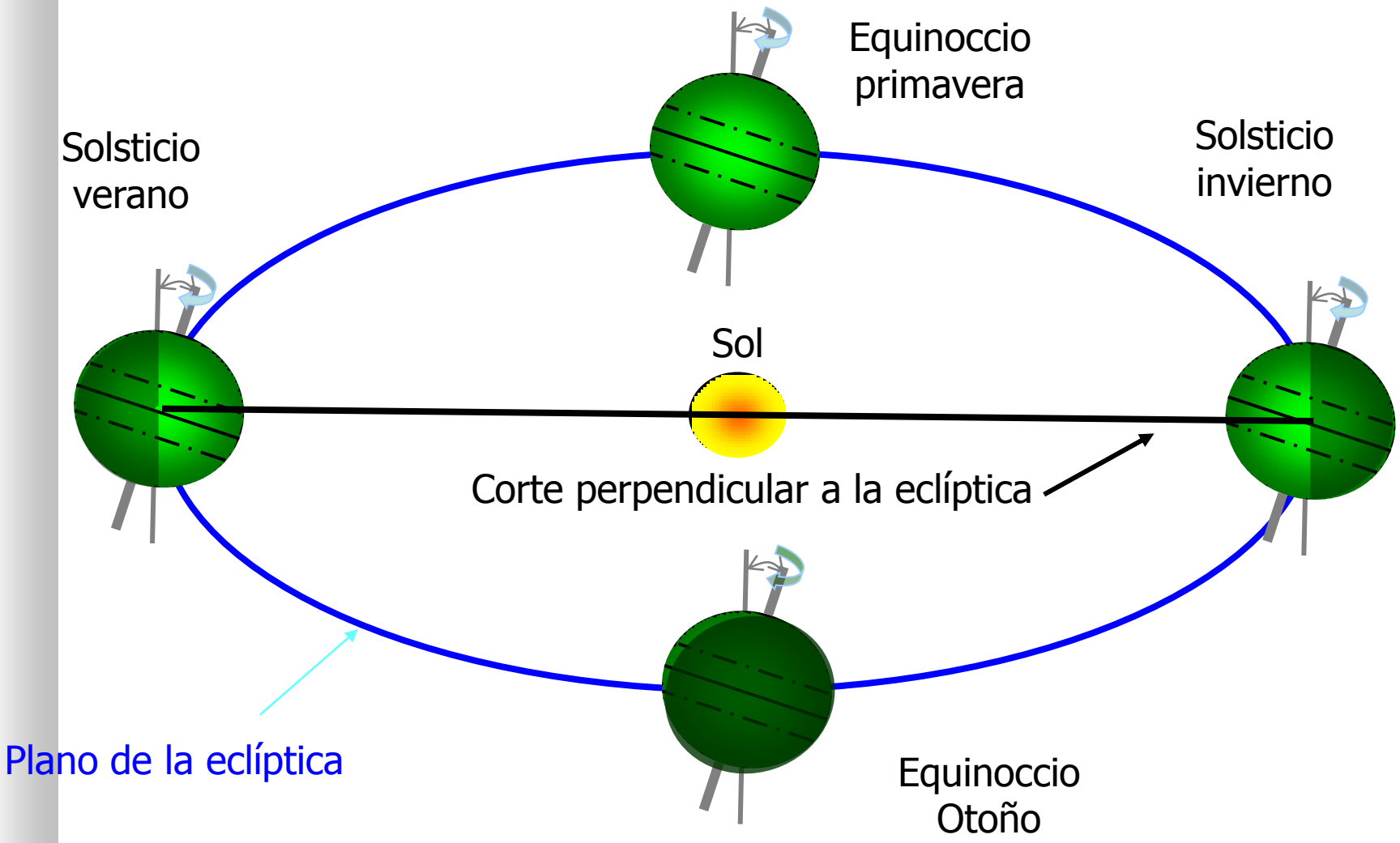


- Las microlentes desvían los rayos solares para evitar que incidan sobre los contactos
- Hace de la célula un "pequeño" concentrador

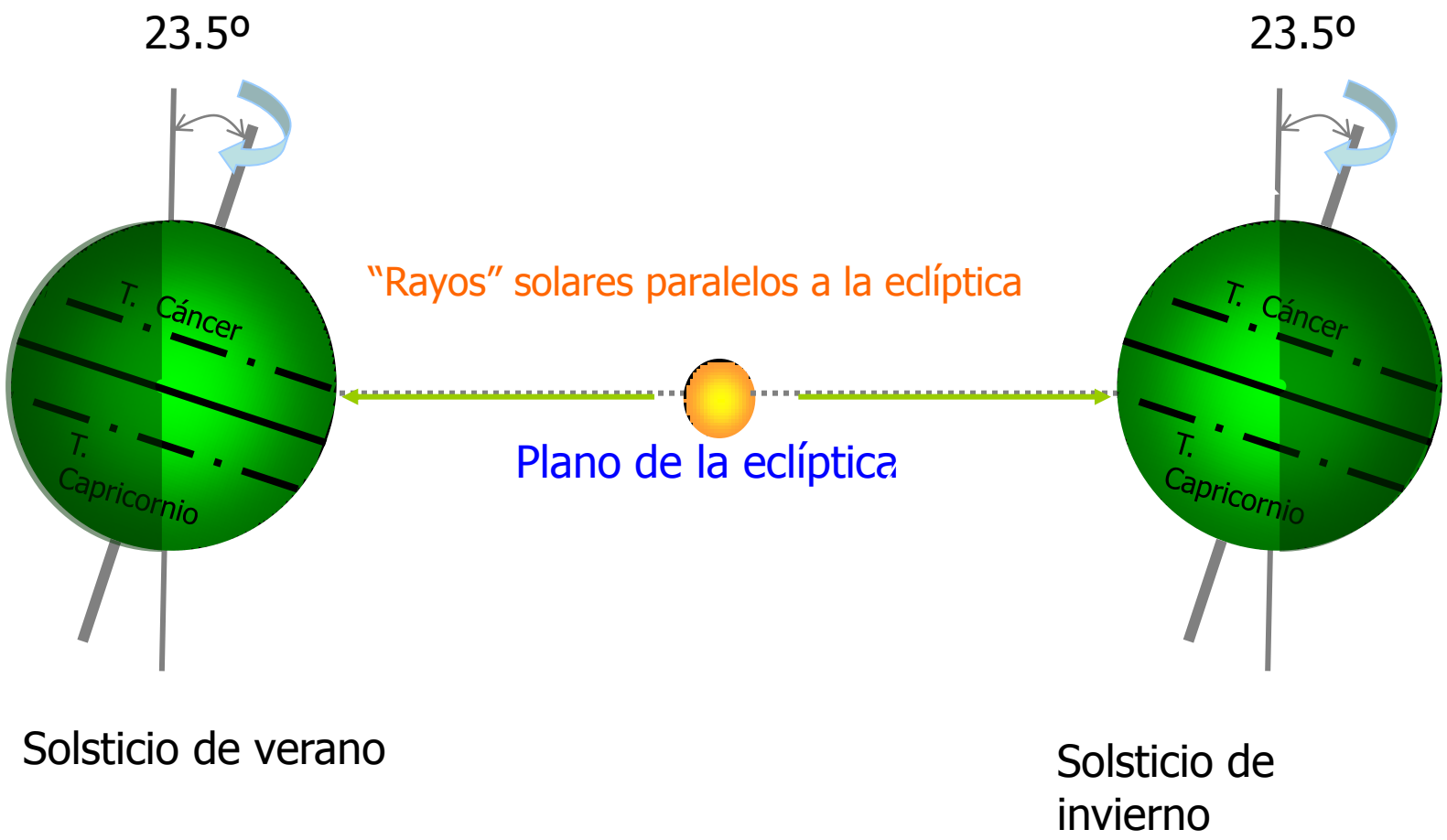
Contenido

1. Naturaleza de la luz solar
2. Efecto Fotoeléctrico
3. Fundamentos sobre semiconductores
4. La unión PN
5. Funcionamiento de las células solares
6. Circuito equivalente de una célula solar
7. Interconexión de células
8. Concentración Solar
9. **El sol visto desde la tierra**
10. **El sistema fotovoltaico**

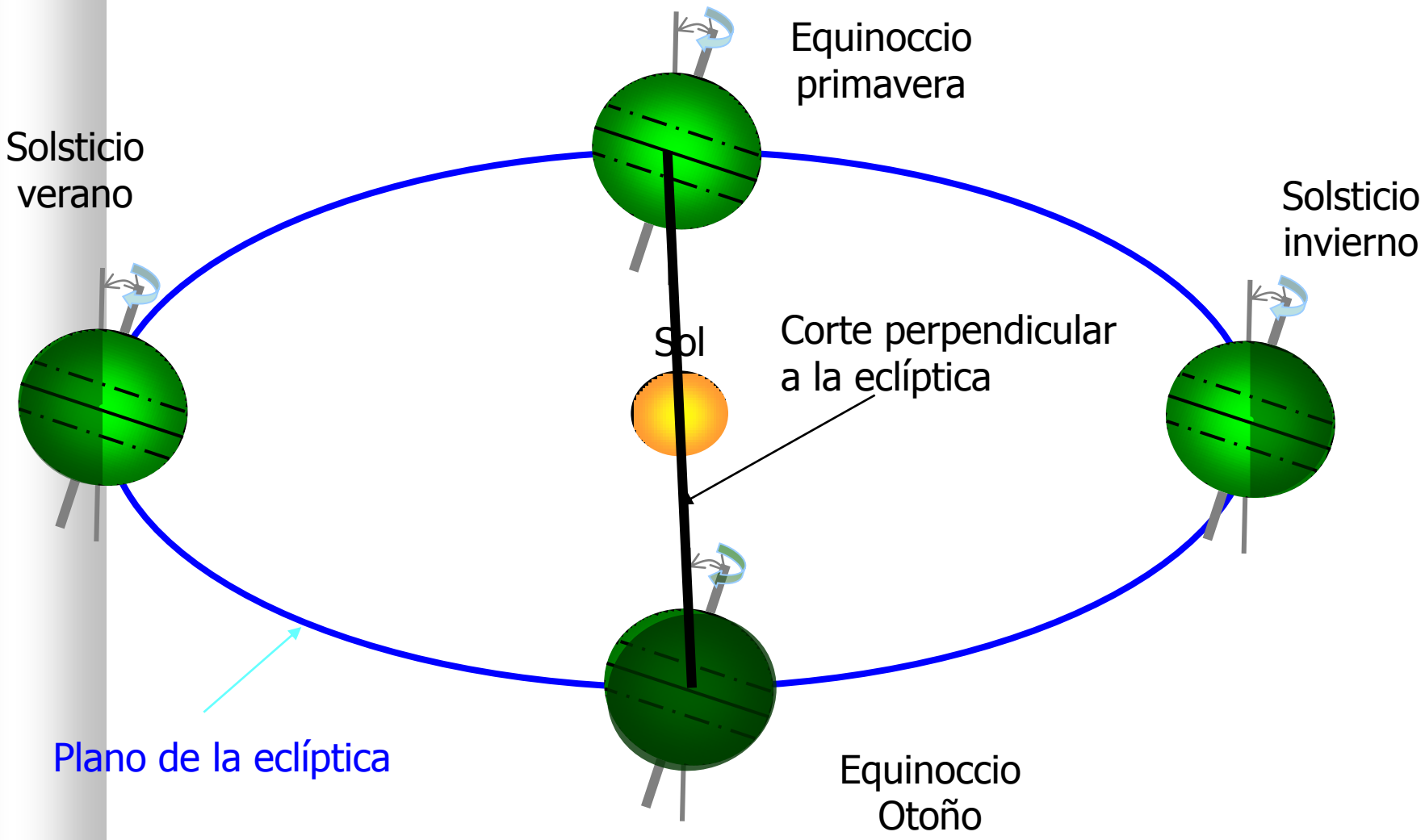
El sol visto desde la tierra



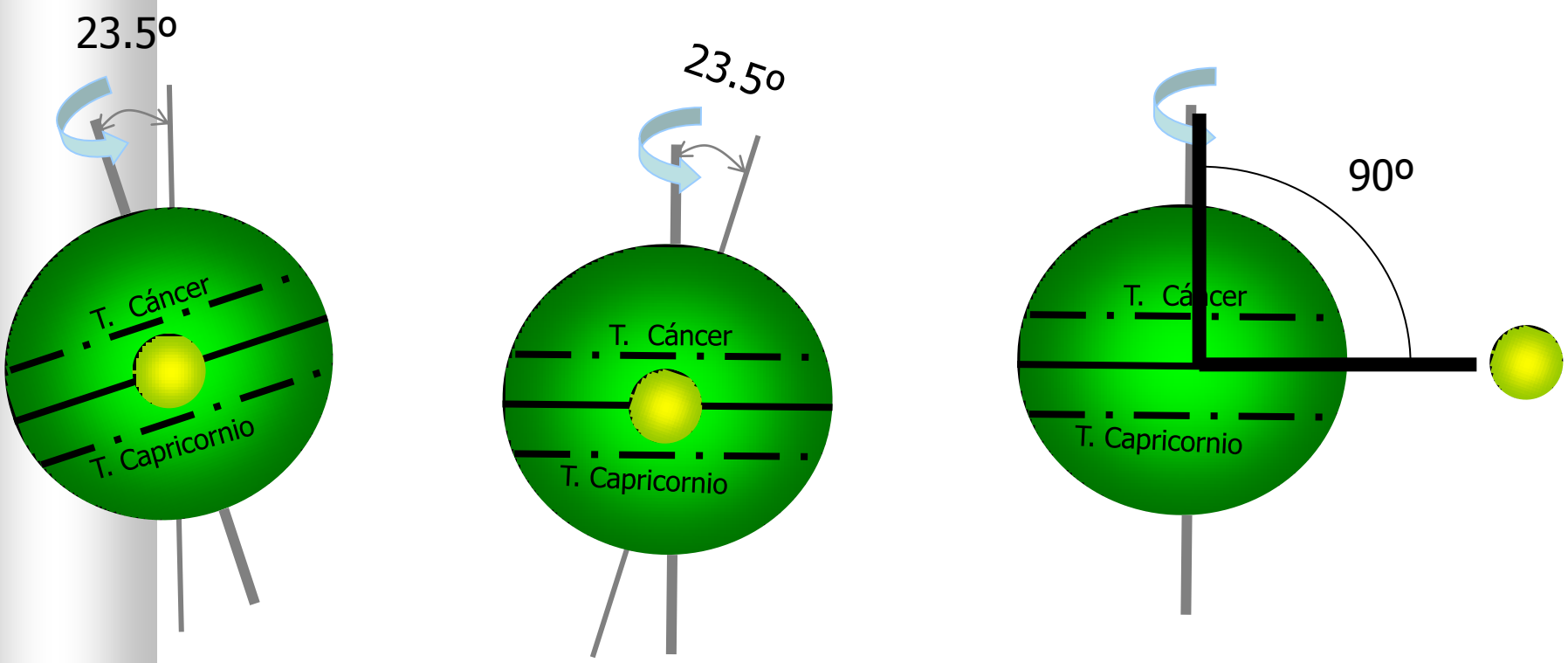
El sol visto desde la tierra



El sol visto desde la tierra



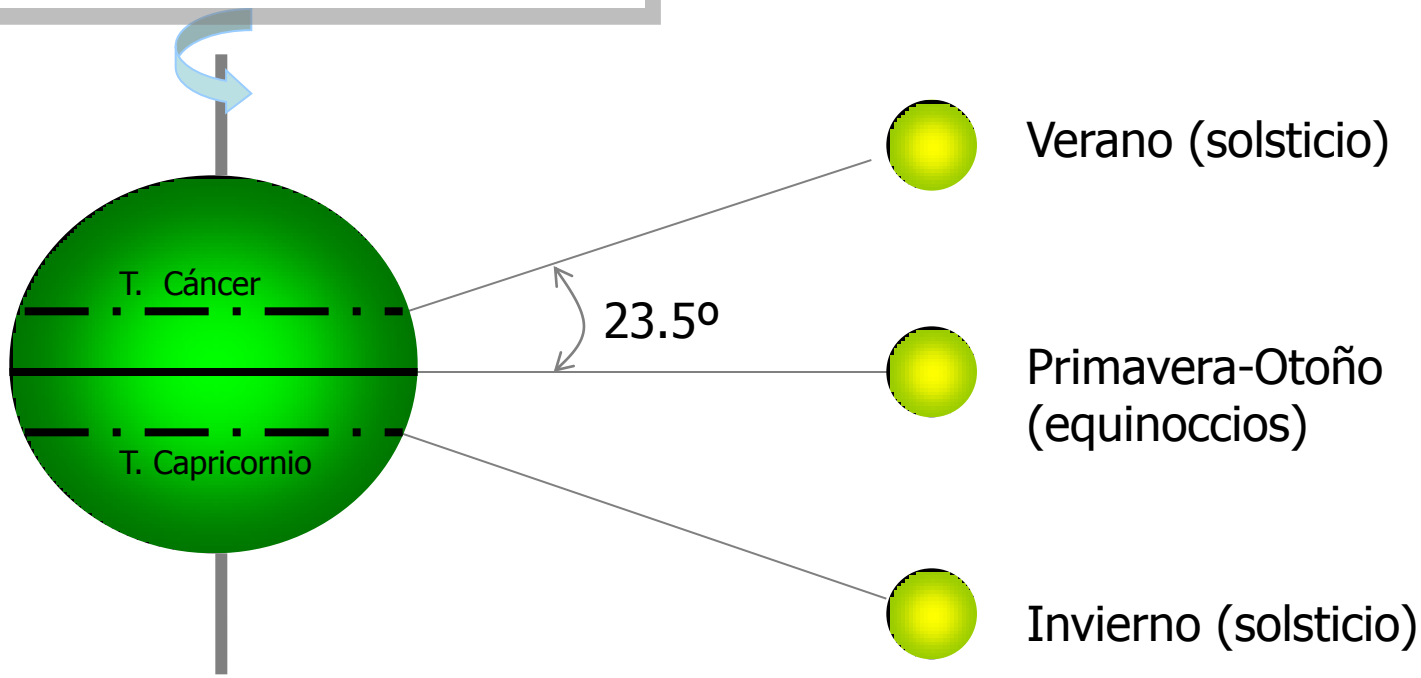
El sol visto desde la tierra



El sol forma un ángulo de 90º con el eje de giro de la tierra

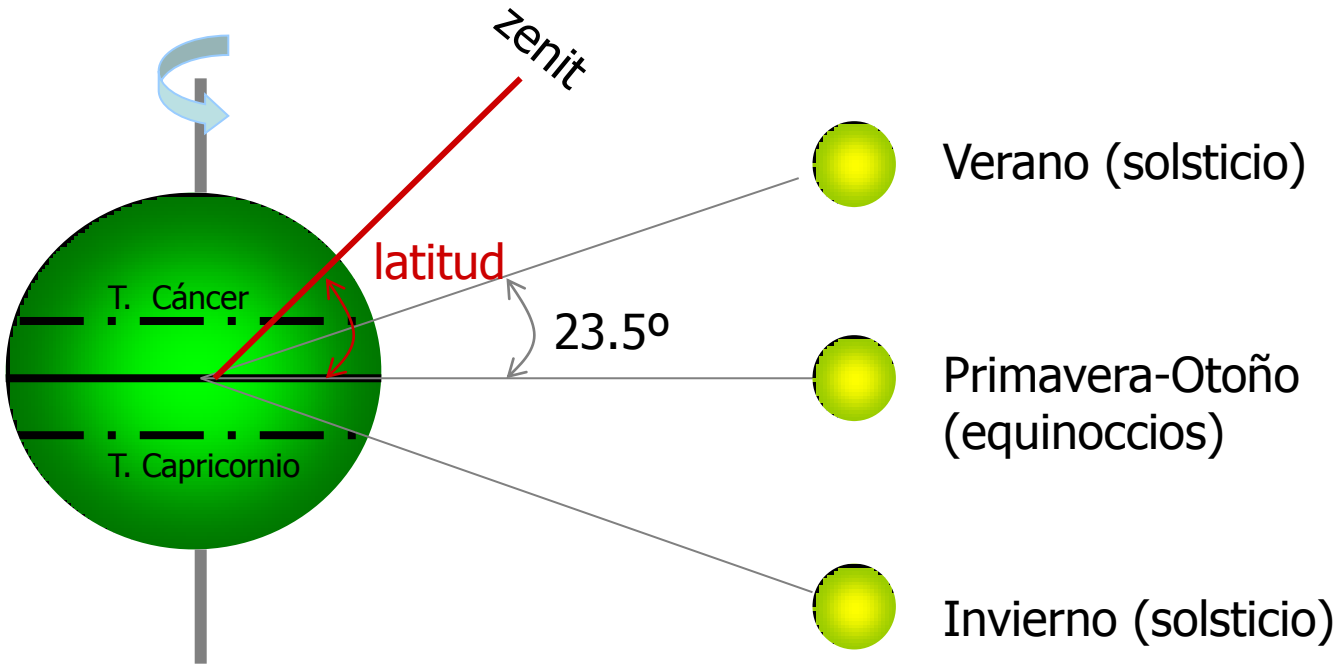
El sol visto desde la tierra

Los seguidores de un eje siguen el sol en su movimiento diario



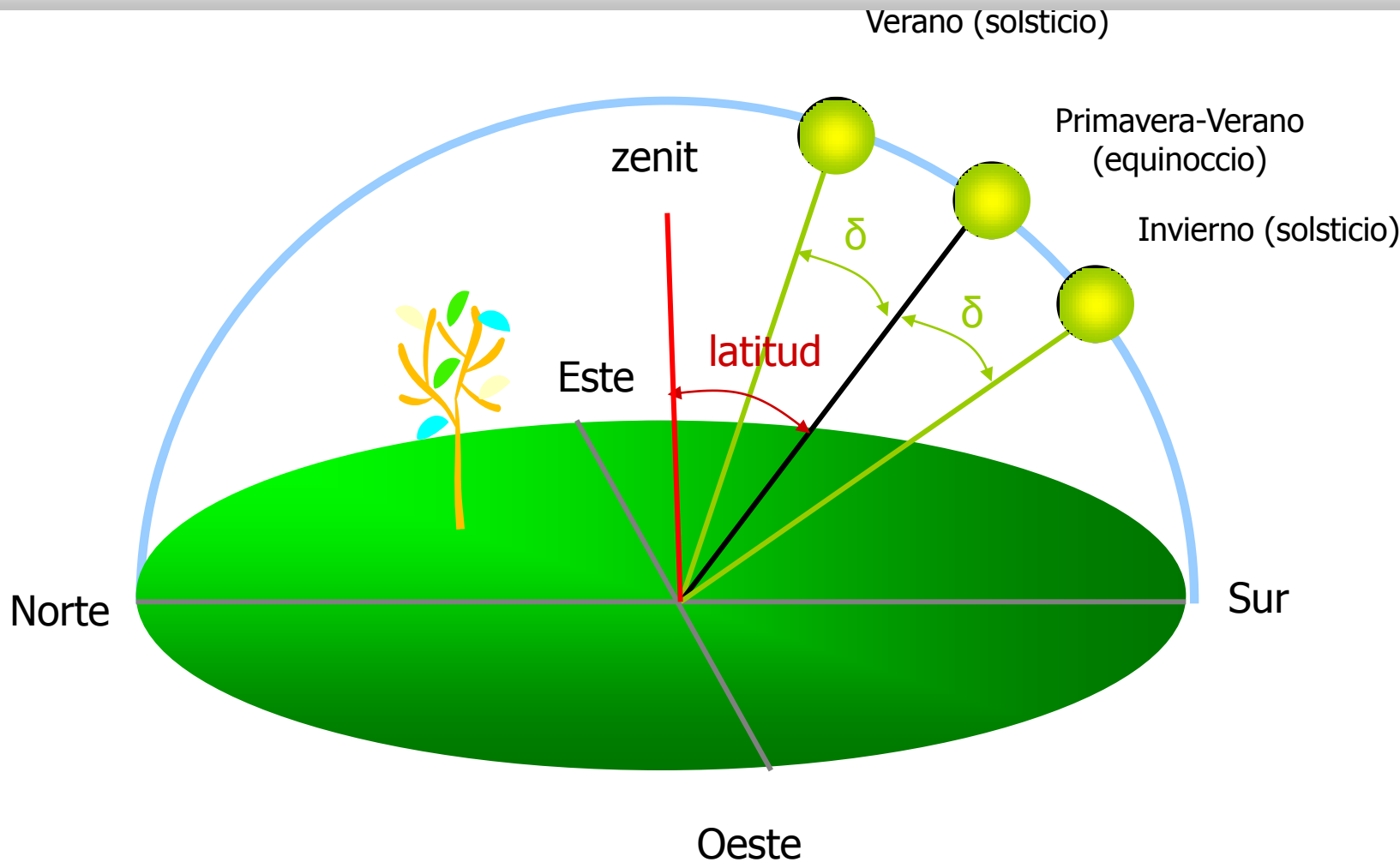
Un eje adicional permite seguir el movimiento del sol con las estaciones

El sol visto desde la tierra



El sol visto desde la tierra

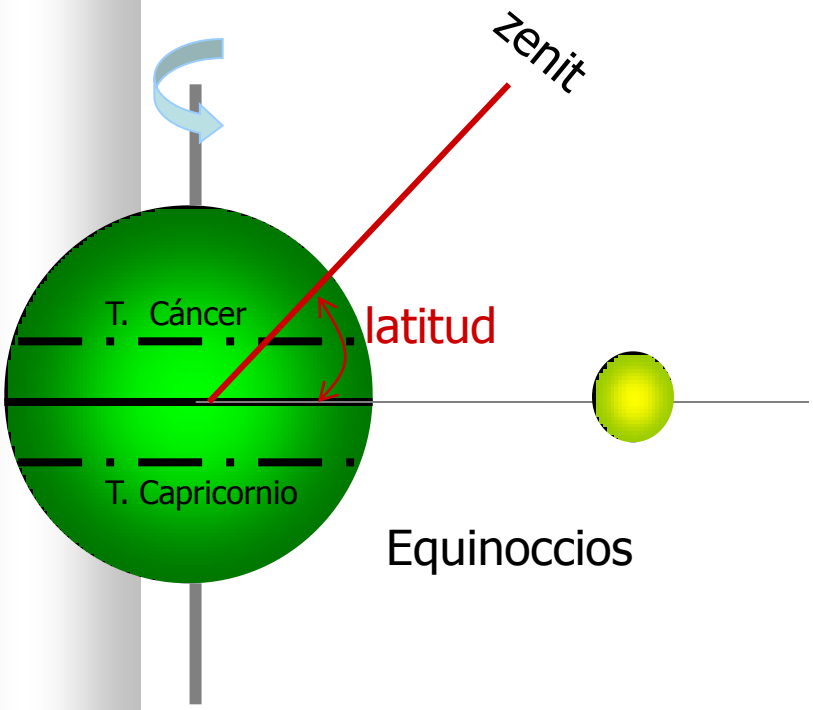
Posición del sol a medio día solar



Latitud de Murcia: 37’5º Norte

El sol visto desde la tierra

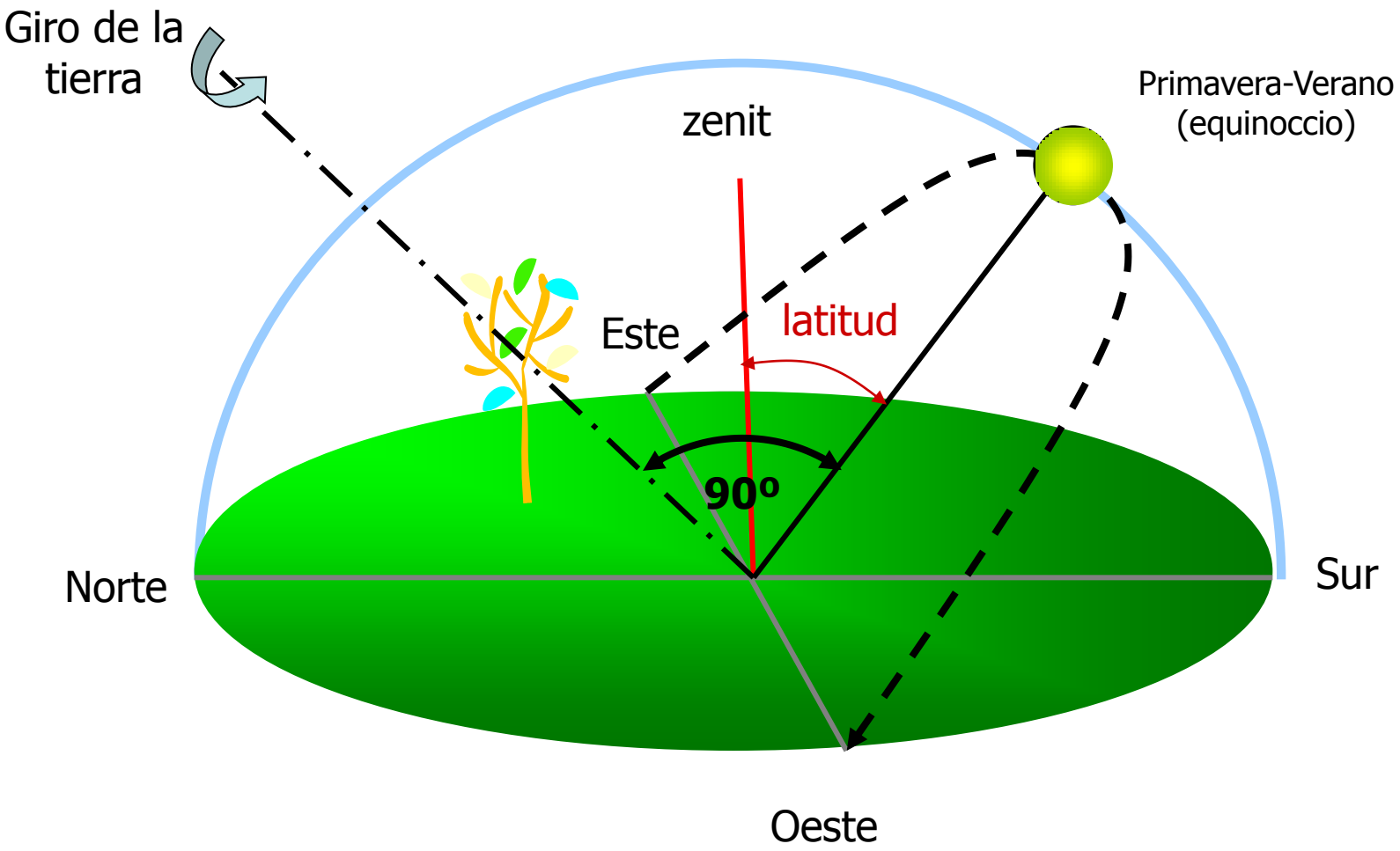
El sol durante los equinocios



- El eje de giro forma un ángulo de 90º con la posición del sol
- El sol sale exactamente por el este y se esconderá también exactamente por el oeste

El sol visto desde la tierra

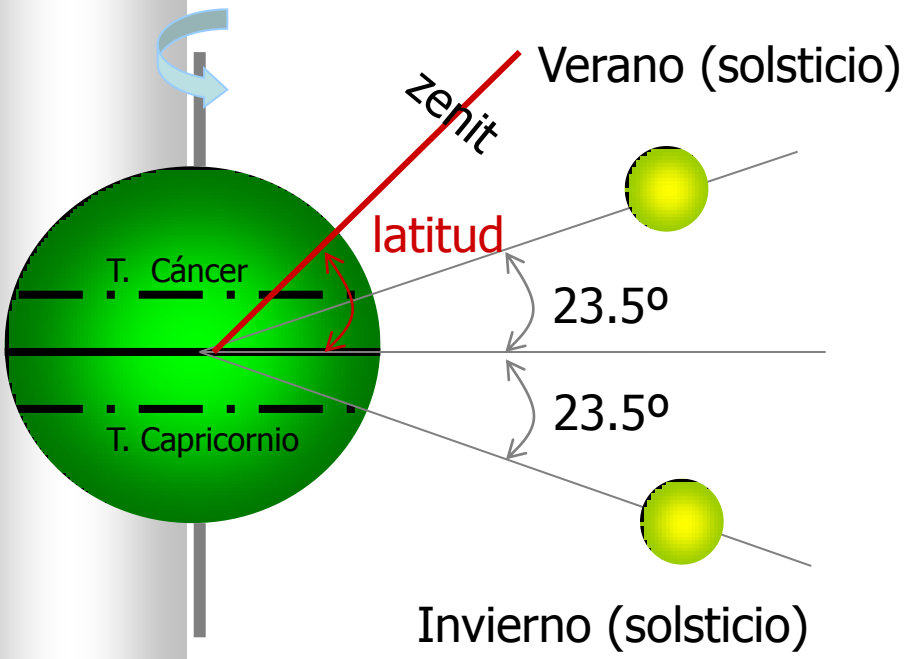
El sol durante los equinocios



Latitud de Murcia: 37’5º Norte

El sol visto desde la tierra

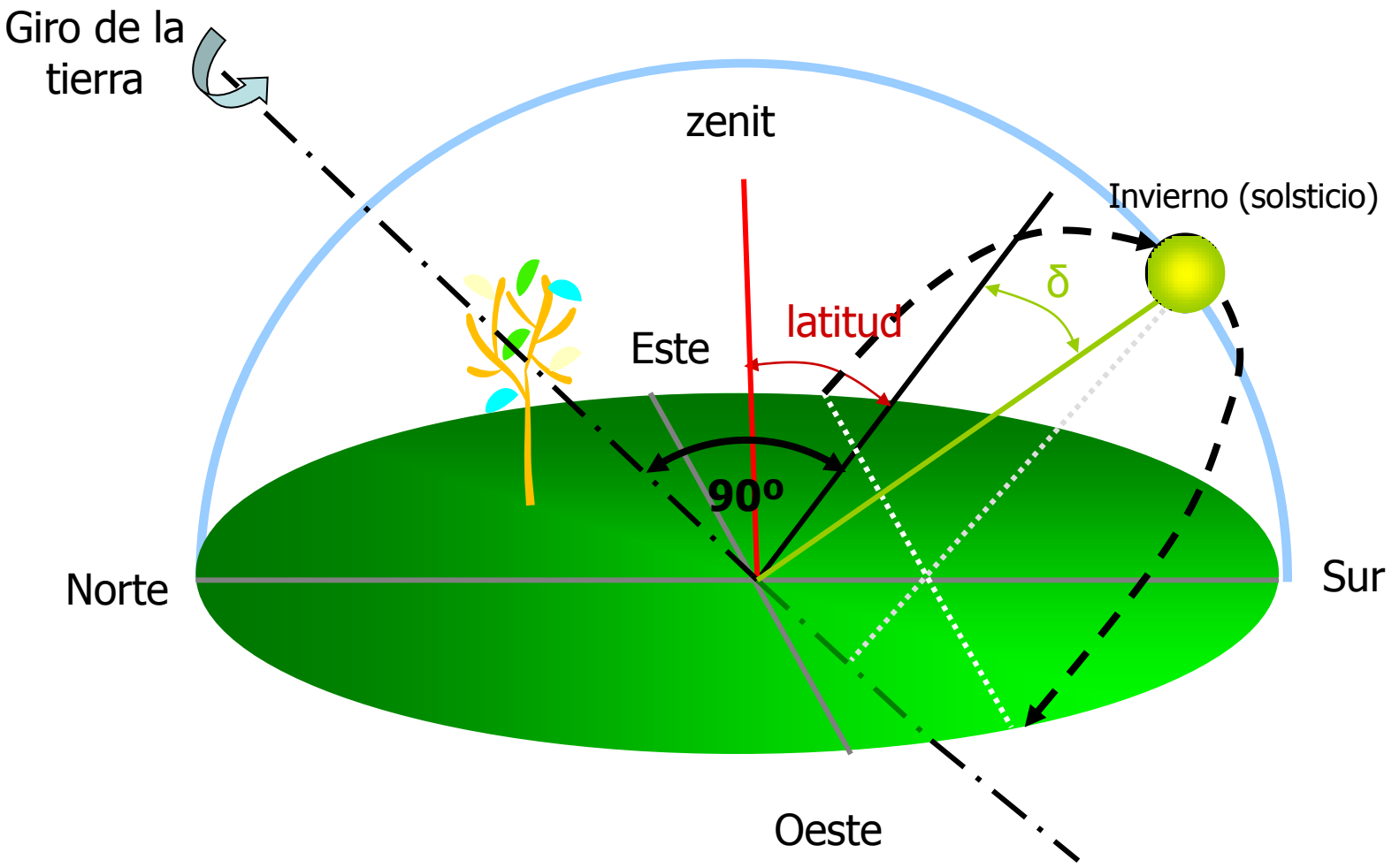
El sol durante los solsticios



- Los ejes de rotación no son perpendiculares a la posición del sol
- El sol no sale exactamente por el este y ni se esconderá exactamente por el oeste

El sol visto desde la tierra

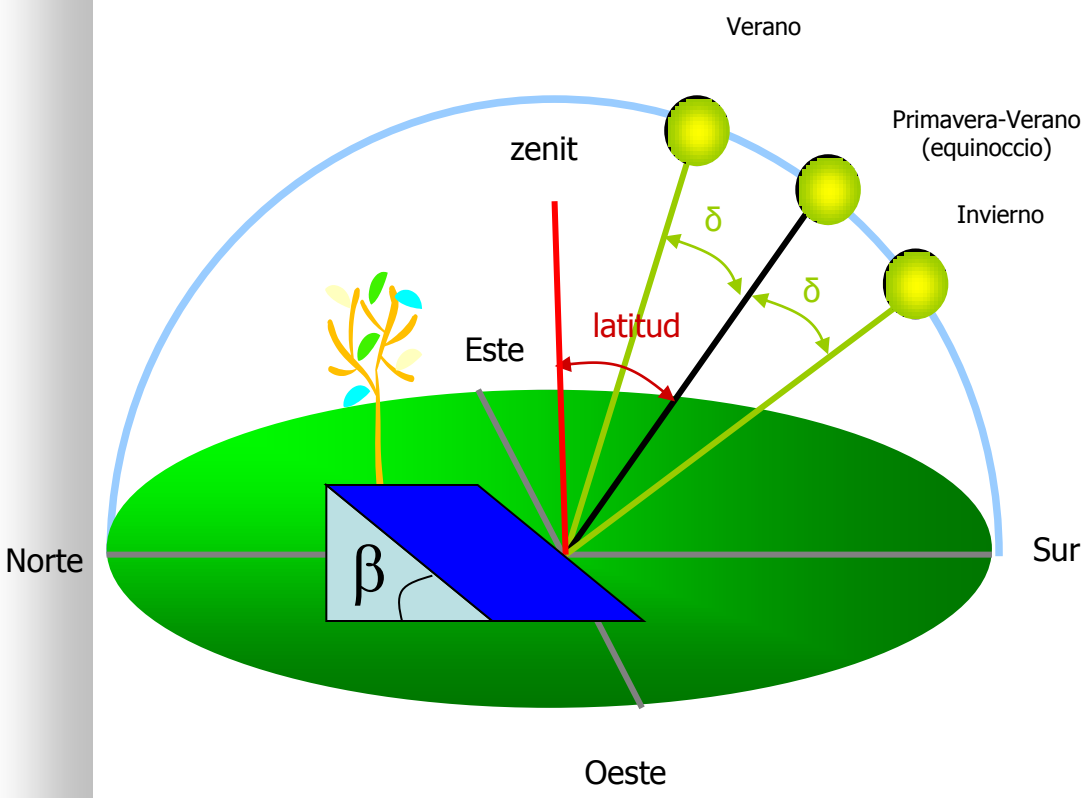
El sol durante el solsticio de invierno



El sol visto desde la tierra

Inclinación de los paneles

Dependerá de la aplicación



Diciembre

Latitud +10

Junio

Latitud - 20

Anual

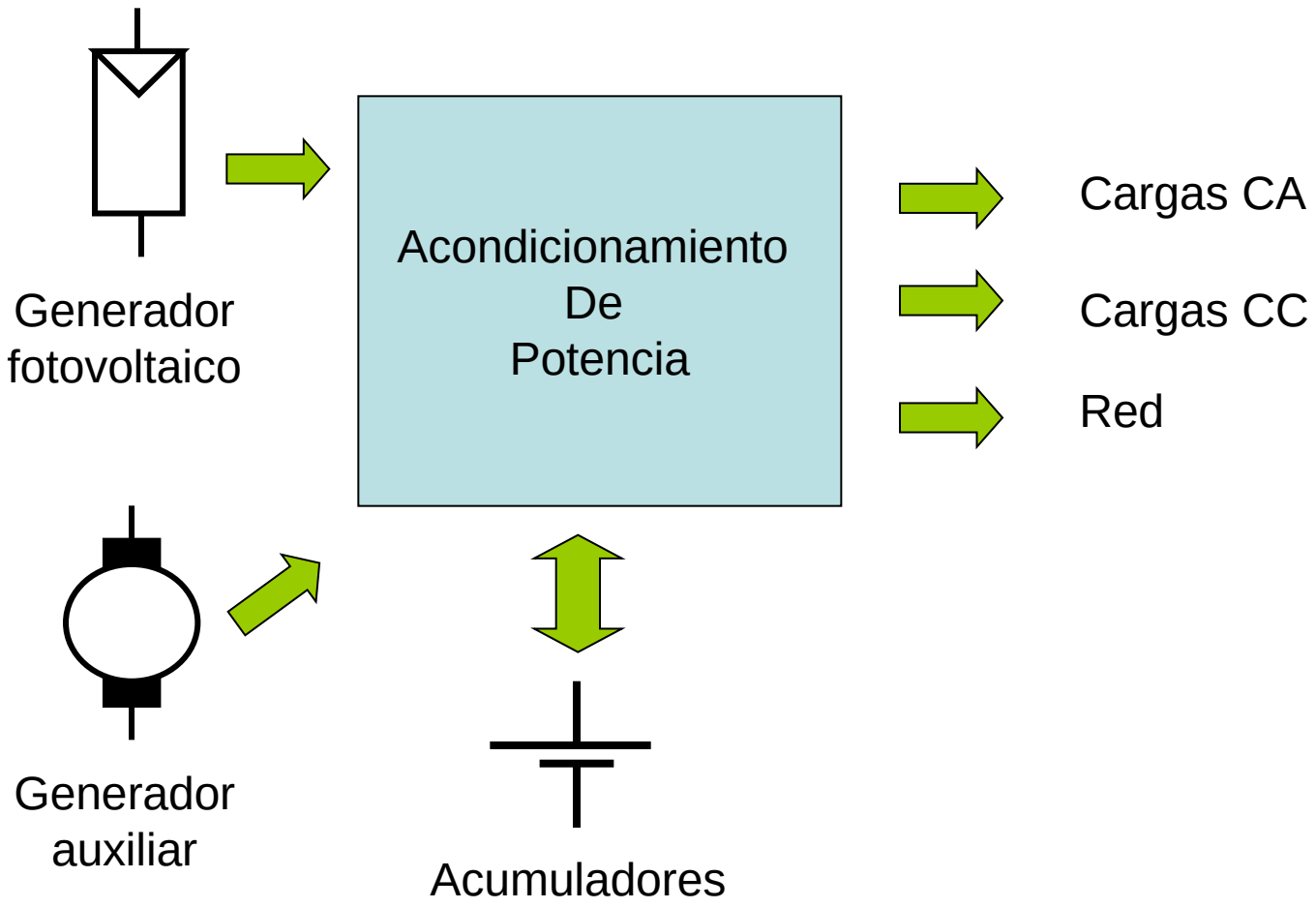
Latitud - 10

Contenido

1. Naturaleza de la luz solar
2. Efecto Fotoeléctrico
3. Fundamentos sobre semiconductores
4. La unión PN
5. Funcionamiento de las células solares
6. Circuito equivalente de una célula solar
7. Interconexión de células
8. Concentración Solar
9. El sol visto desde la tierra
10. **El sistema fotovoltaico**

El sistema fotovoltaico

Constitución general de un sistema fotovoltaico



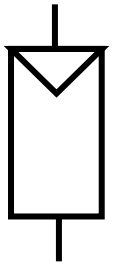
El sistema fotovoltaico

Constitución general de un sistema fotovoltaico

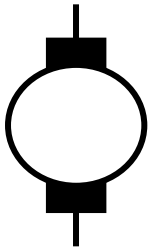
- No todos los elementos tienen que existir en una instalación:
  - En una instalación conectada a red solo existen el generador y el acondicionamiento de potencia
  - En una instalación aislada normalmente no exista la red como carga
- Los equipos mencionados son tecnologías maduras, bien conocidas, sin embargo suelen ser los responsables de los fallos de las instalaciones. Los paneles fallan en raras ocasiones
- Las condiciones de operación que imponen el sistema fotovoltaico no son tenidas en cuenta en los diseños haciendo fallar las instalaciones

El sistema fotovoltaico

Generador auxiliar



Generador fotovoltaico



Generador auxiliar

- Complementa al fotovoltaico en los momentos de insuficiente radiación
- Con frecuencia está constituido por un grupo termoeléctrico alimentado por diesel o gasolina

Acumuladores

El sistema fotovoltaico

Acumuladores

- Adapta los diferentes ritmos de producción y de demanda
- En la mayoría de los sistemas está constituido por un acumulador electroquímico, o batería, de plomo ácido
- Con menor frecuencia se utilizan baterías Niquel-Cadmio.
- En ocasiones se almacena el producto final “bombeo”

Generador auxiliar

Acumuladores

El sistema fotovoltaico

Cargas

- Equipos de corriente continua: iluminación, enlaces de telecomunicaciones, alimentación de electrónica en general.
- Equipos de alterna: motores eléctricos, iluminación, etc.
- Las instalaciones conectadas a red se basan en la probabilidad de que alguien esté consumiendo la energía que se está inyectando en ese instante

→ Cargas CA

→ Cargas CC

→ Red

El sistema fotovoltaico

Acondicionamiento de Potencia

- Actúan como interfaces entre consumidores y productores.
- Realizan tareas de control y protección.
- Suelen ser equipos de electrónica de potencia. Reguladores de Carga, convertidores CC/CC y convertidores CC/CA

La batería

Necesidad de almacenar energía

Naturaleza variable de la radiación solar

- Variación día-noche
- Variación duración de los días (estaciones)
- Variación debida a condiciones atmosféricas: nubes

Objetivo del acumulador

- Almacenar energía cuando la producción fotovoltaica excede a la demanda, para utilizarla en la situación contraria
- Incluso con la radiación máxima pueden existir picos de carga que superen la generación

La batería

Posibles sistemas de almacenaje de energía

Posibles acumuladores de energía

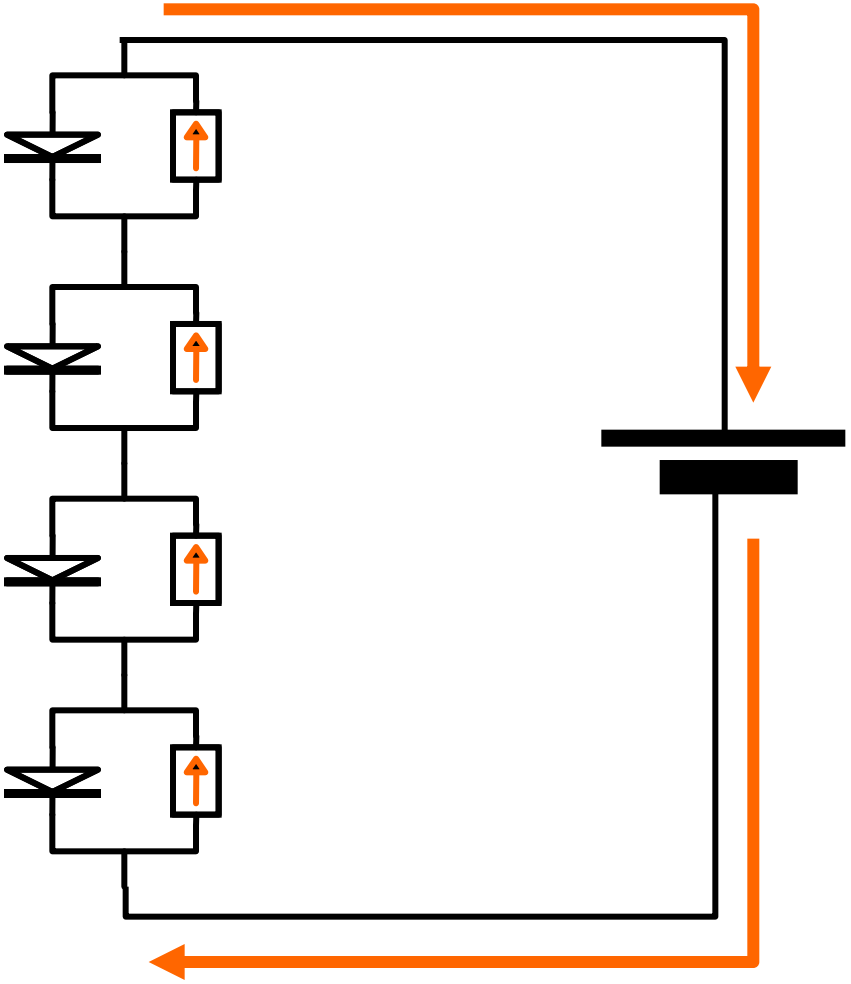
- Volantes de inercia (Energía Cinética)
- Depósitos de agua (Energía Potencial)
- Energía electroquímica: Baterías
- Otros: pilas de combustible, supercondensadores, etc.

¿Por qué baterías?

- Tamaño de las instalaciones
- Disponibilidad en el mercado: Baterías plomo-ácido y Niquel-Cadmio

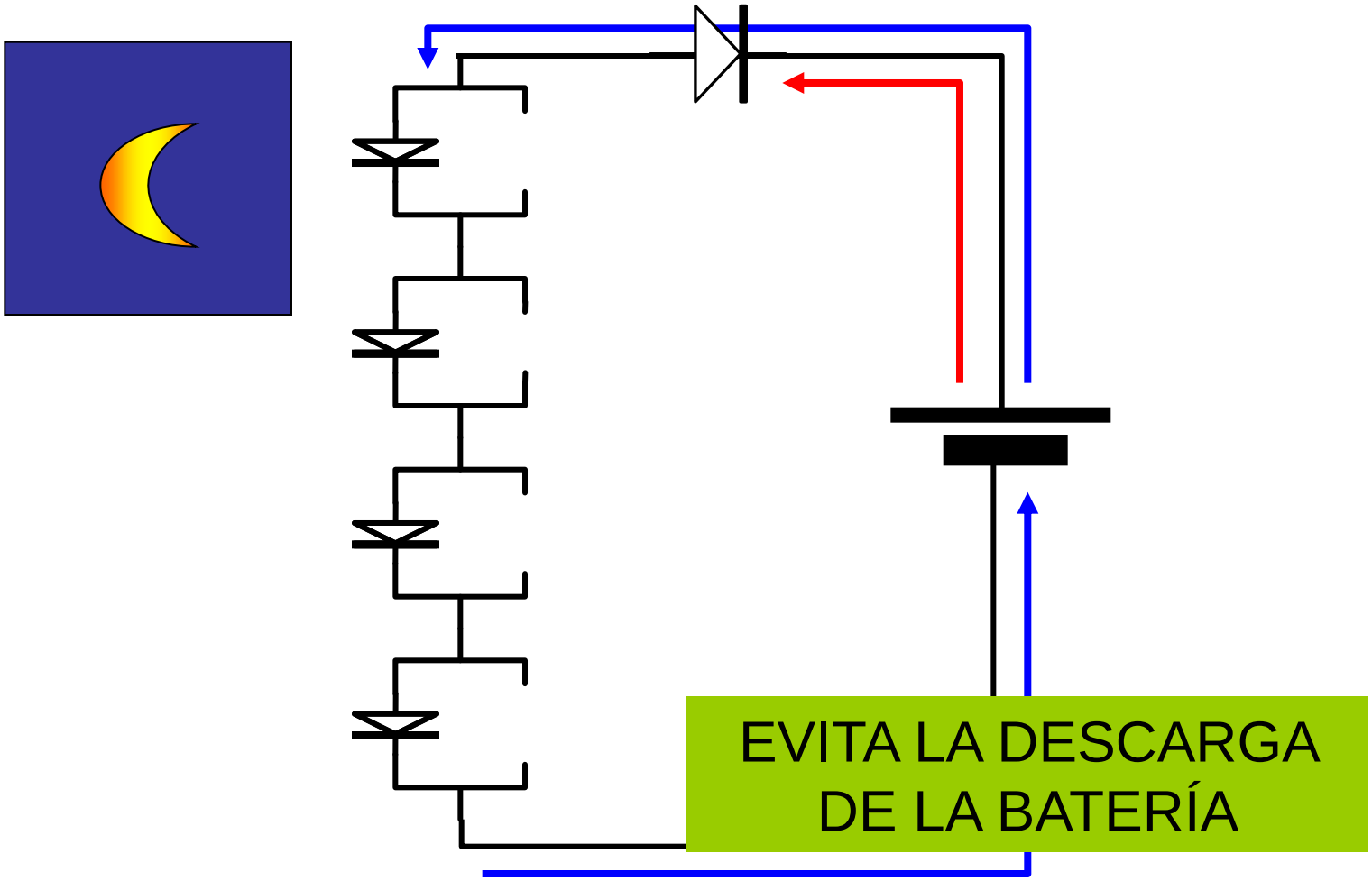
Acondicionamiento de potencia

Diodos de Bloque



Acondicionamiento de potencia

Diodos de Bloque

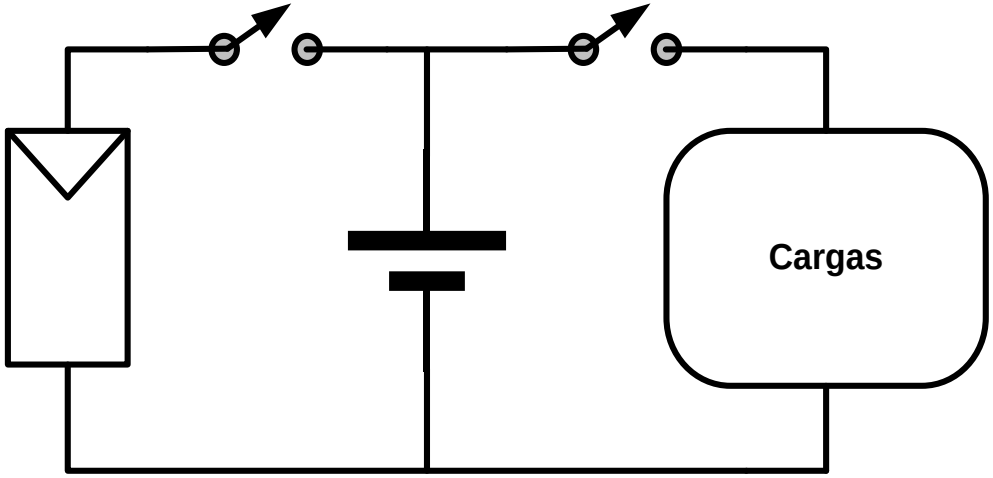


Reguladores de Carga

Objetivo

Protegen las baterías contra descargas profundas y sobre cargas

Regulador de Carga Serie

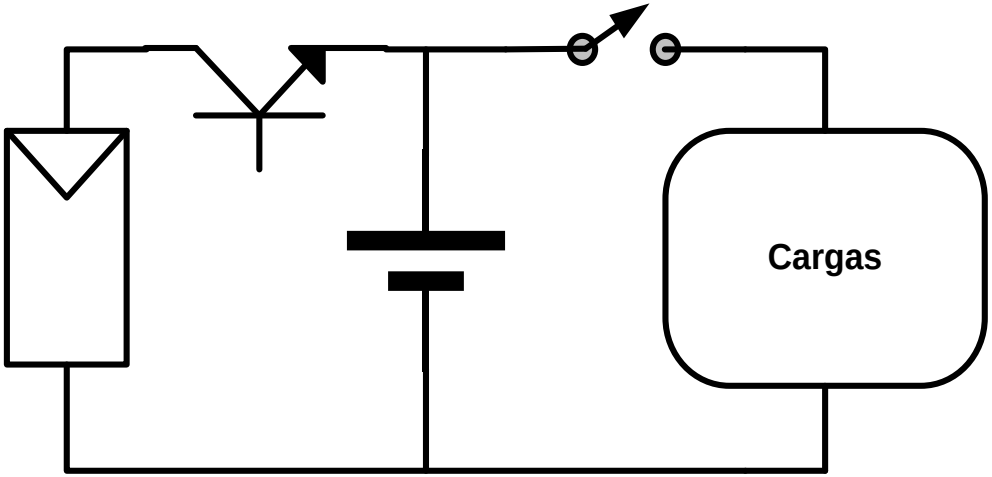


Reguladores de Carga

Objetivo

Protegen las baterías contra descargas profundas y sobre cargas

Regulador de Carga Serie

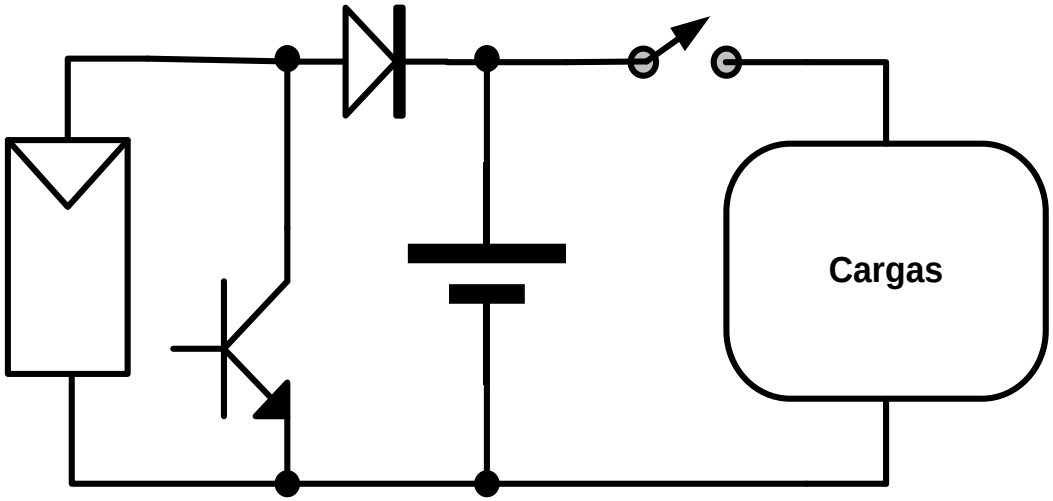


Reguladores de Carga

Objetivo

Protegen las baterías contra descargas profundas y sobre cargas

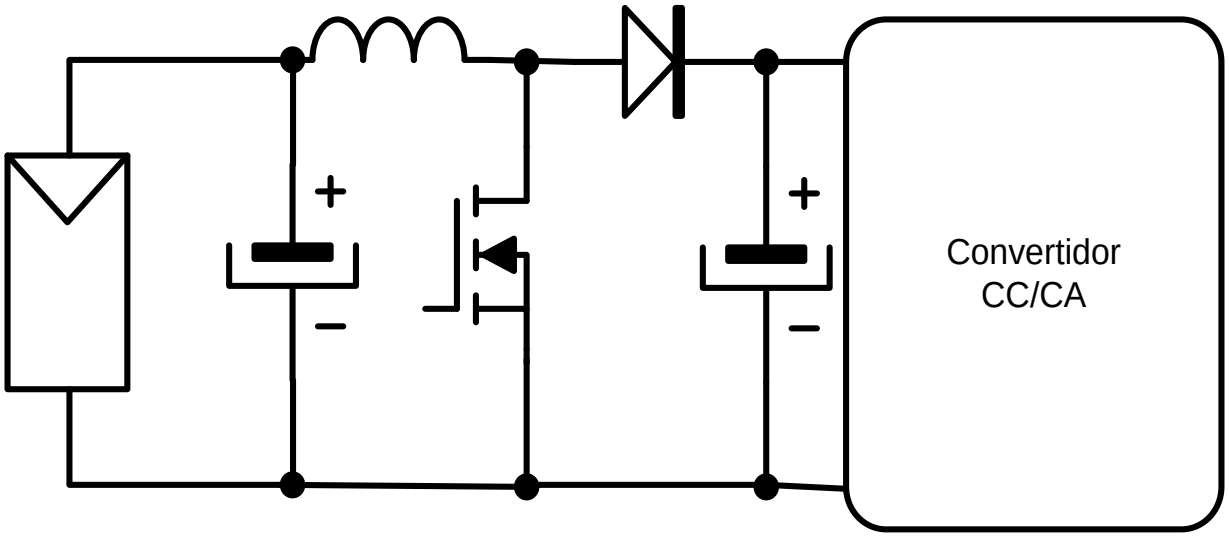
Regulador de Carga Paralelo



Convertidores CC/CC

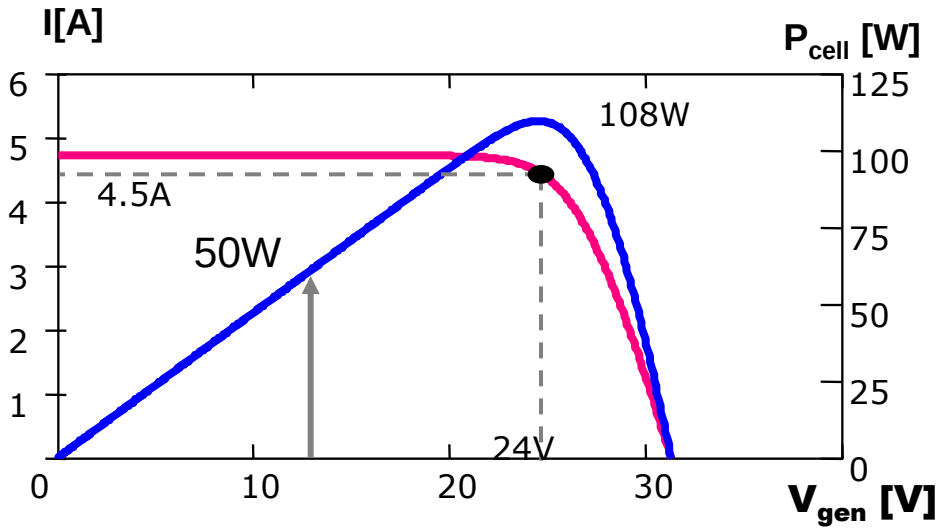
Objetivo

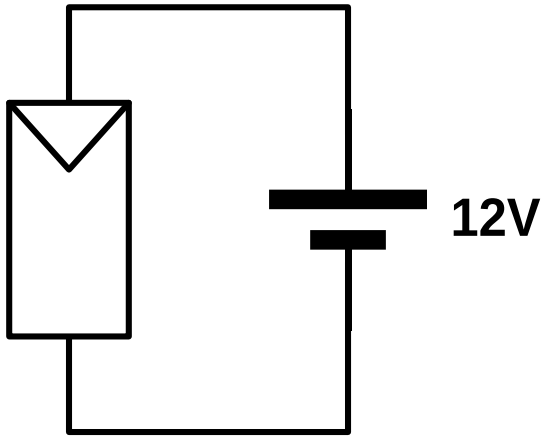
Pueden formar parte del regulador de carga como adaptador de impedancias, o modificar la tensión para adecuarla a su uso. Ejemplo: entrada de los inversores, alimentación a distintas tensiones, etc.



Acondicionamiento de potencia

Adaptador de impedancias

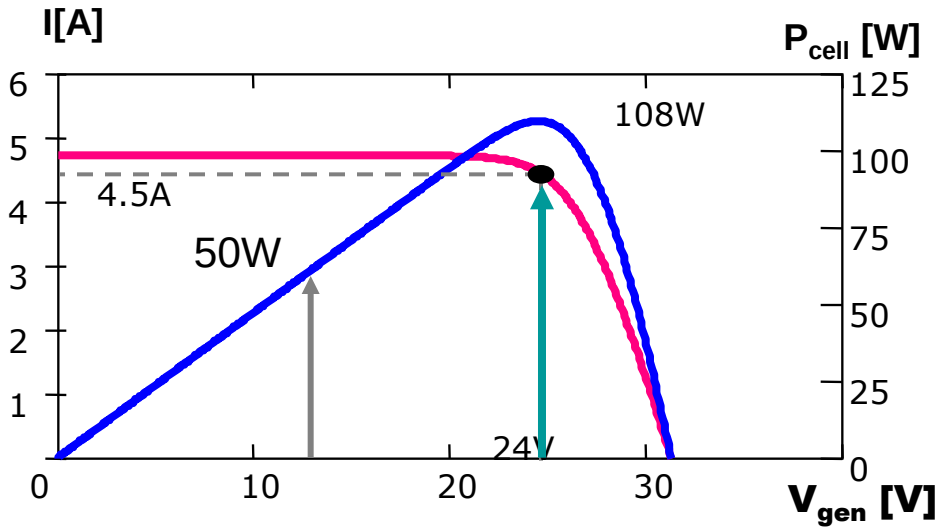


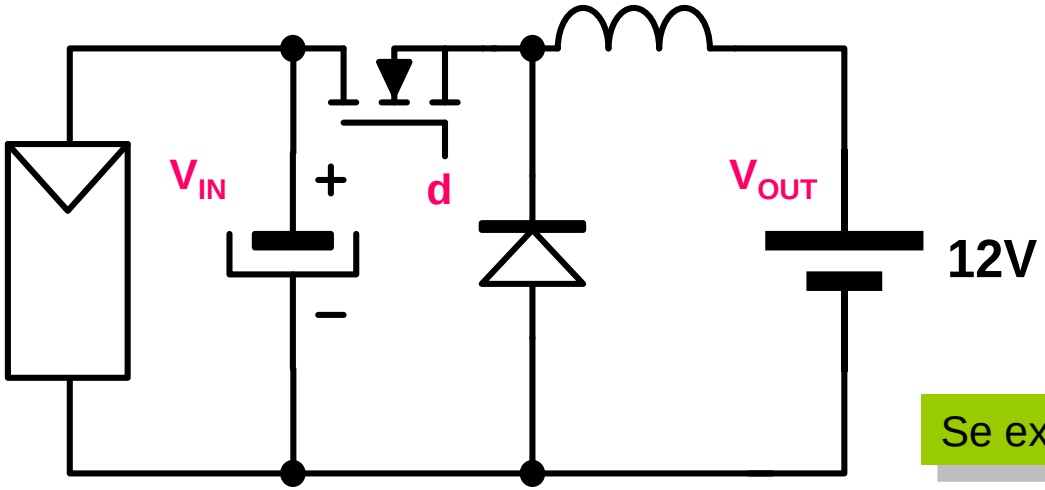


La potencia vendrá impuesta por la tensión de la batería

Acondicionamiento de potencia

Adaptador de impedancias





$V_{OUT}=V_{IN}\cdot d$

$d=0,5$

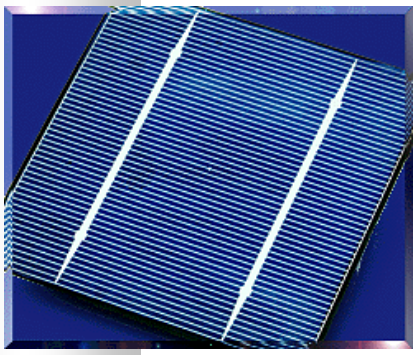
$V_{IN}=24V$

Se extrae la máxima potencia

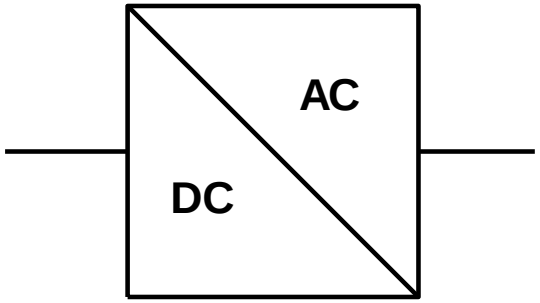
Acondicionamiento de potencia

Inversores

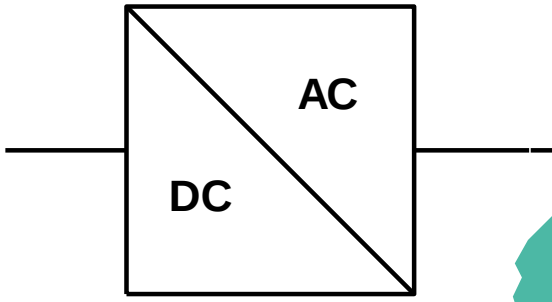
GENERADOR



Fuente de tensión



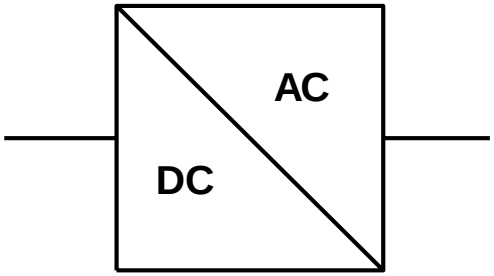
Fuente de corriente



¡No funcionan igual!

Acondicionamiento de potencia

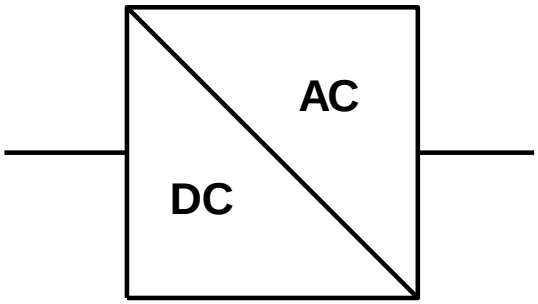
Inversores: Trabajando como fuente de tensión



- Suministra energía según demanda
- El generador solar actúa como cargador de baterías
- Normalmente alimentado desde baterías
- Pueden utilizarse inversores de propósito general

Acondicionamiento de potencia

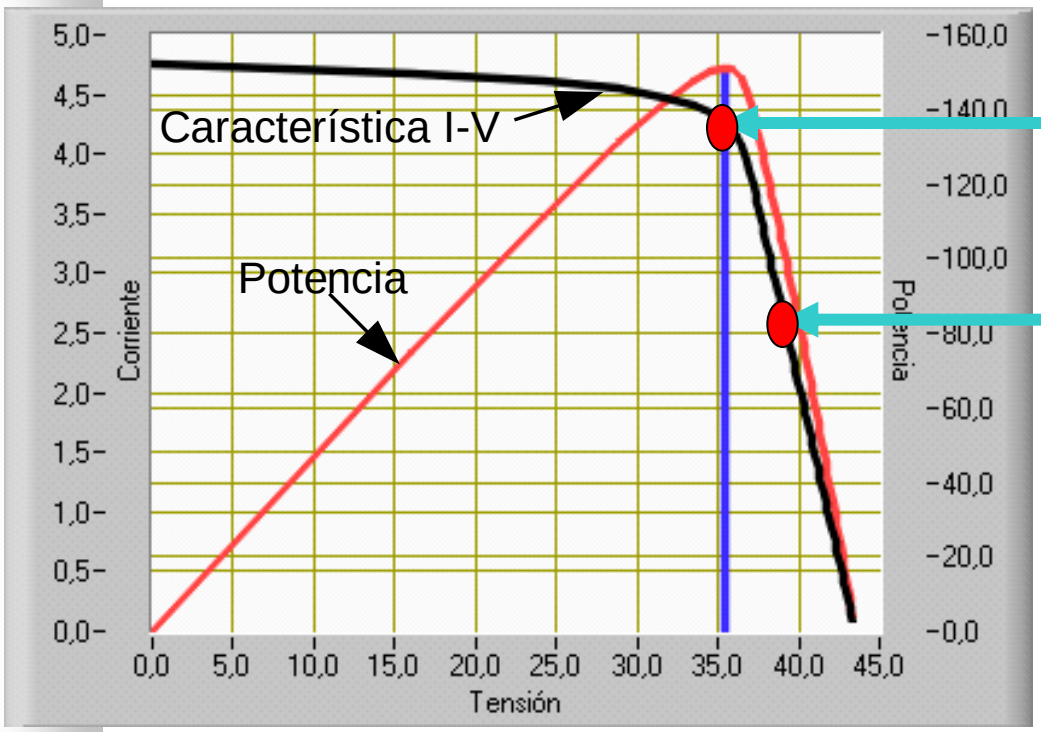
Inversores: Trabajando como fuente de corriente



- La tensión de salida del inversor la impone la red
- El controlador del inversor regulará la cantidad de corriente “inyectada”
- Se buscará obtener el mayor rendimiento posible del sistema fotovoltaico
- Deben incluir: Seguimiento del punto de máxima potencia, protección por funcionamiento en isla

Acondicionamiento de potencia

Inversores: Seguimiento del punto de máxima potenca

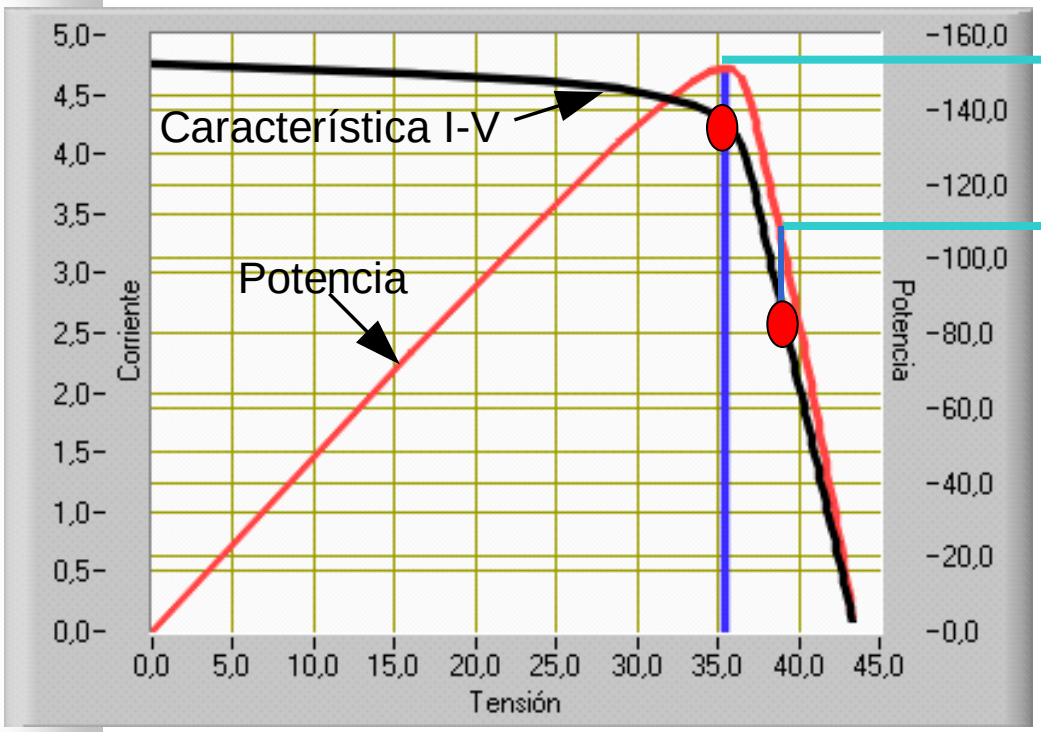


Funcionamiento óptimo

Punto de funcionamiento no óptimo

Acondicionamiento de potencia

Inversores: Seguimiento del punto de máxima potenca

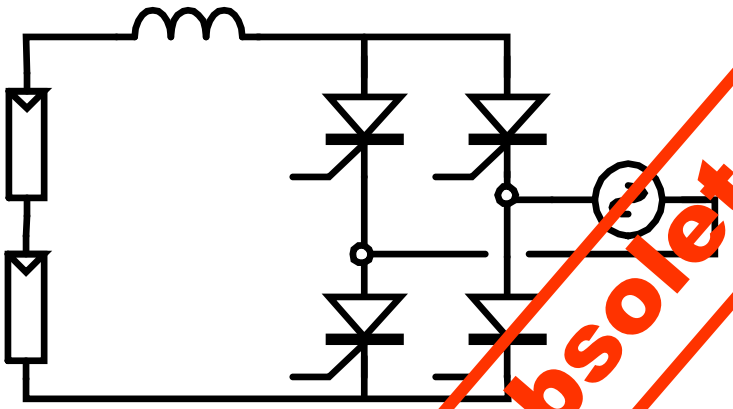


Energía perdida

Tipos de inversores

Inversores para conexión red

- **No autónomos**
  - Conmutados a frecuencia de Red
  - Construidos con tiristores
  - Necesitan la Red para funcionar
  - Inyección de armónicos elevada
  - No es una solución habitual
- Autónomos



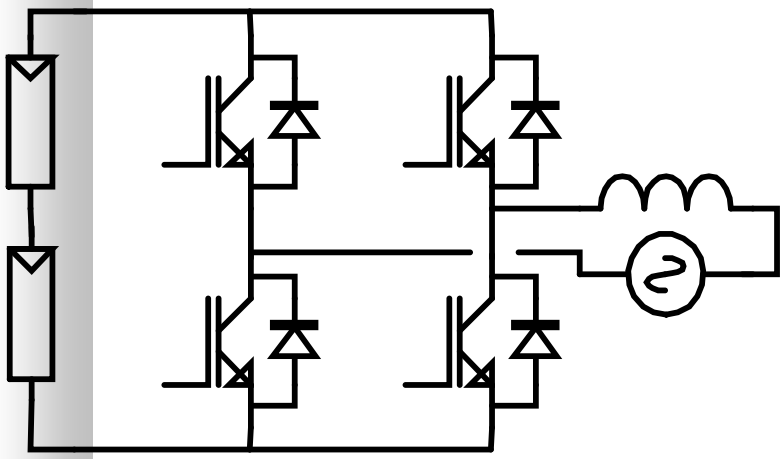
Obsoleto

Acondicionamiento de potencia

Tipos de inversores

Inversores para conexión red

- No autónomos
- **Autónomos**
  - Funcionan con transistores
  - Podrían funcionan en ausencia de red
  - Buena calidad de la corriente de salida en los conmutados a alta frecuencia
  - Son la solución más utilizada

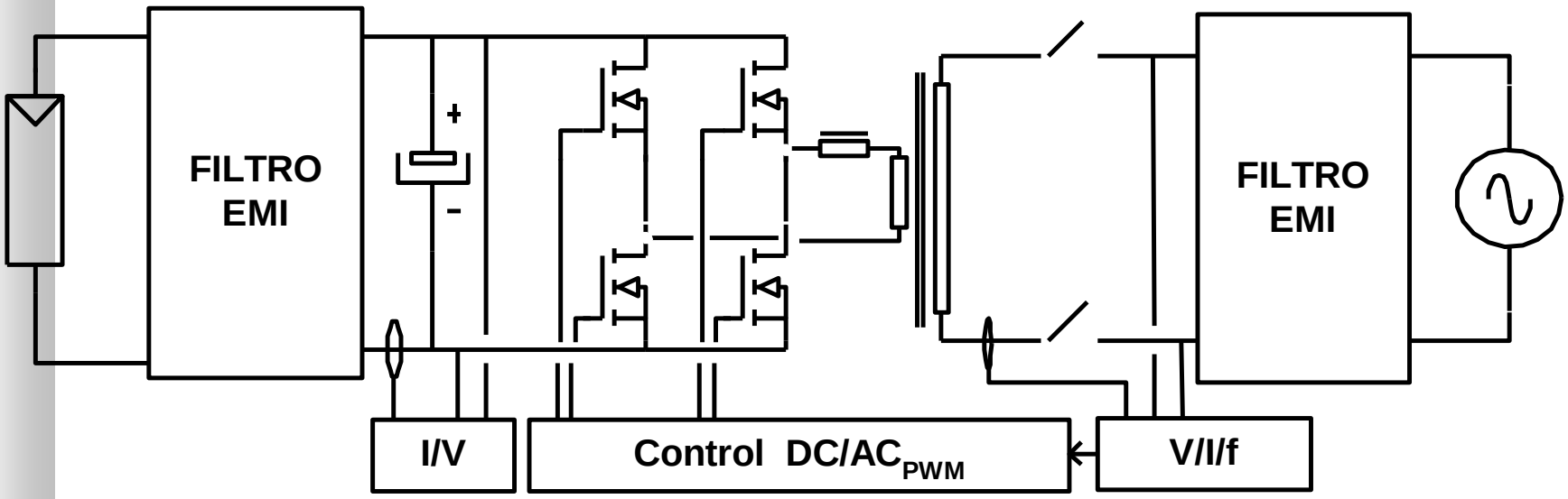


Acondicionamiento de potencia

Tipos de inversores

Inversores para conexión red

- No autónomos
- Autónomos

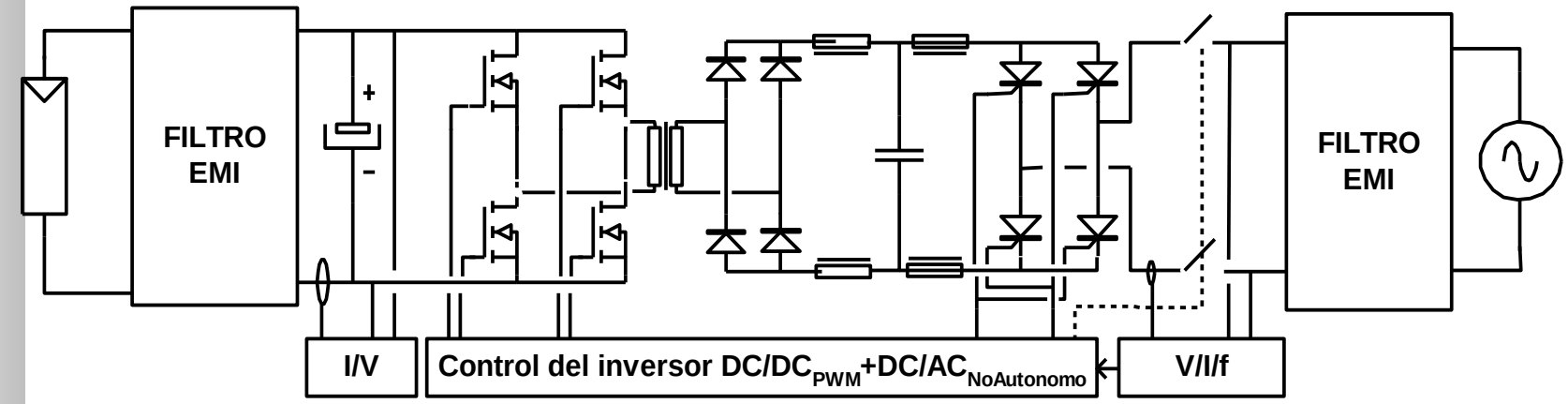


Transformador de baja frecuencia

Acondicionamiento de potencia

Tipos de inversores

- Inversores para conexión red
  - No autónomos
  - Autónomos



Transformador de alta frecuencia

Otras aplicaciones

Señalización marina

Otras aplicaciones

Vehículos solares

Otras aplicaciones

Aviones solares

NASA Dryden Flight Research Center Photo Collection
http://www.dfrc.nasa.gov/gallery/photo/index.html
NASA Photo: EC98-44621-252 Date: 17 Jun 1998 Photo by: Nick Galante

Pathfinder-Plus on flight over Hawaiian island N'ihau

Otras aplicaciones

Vehículos espaciales