

Segundo día virtual (CUDI)

Octubre 25, 2011.

“Sistemas fotovoltaicos y la electrónica de potencia”

*Nimrod Vázquez Nava
Profesor-Investigador
n.vazquez@ieee.org*

I.T.Celaya

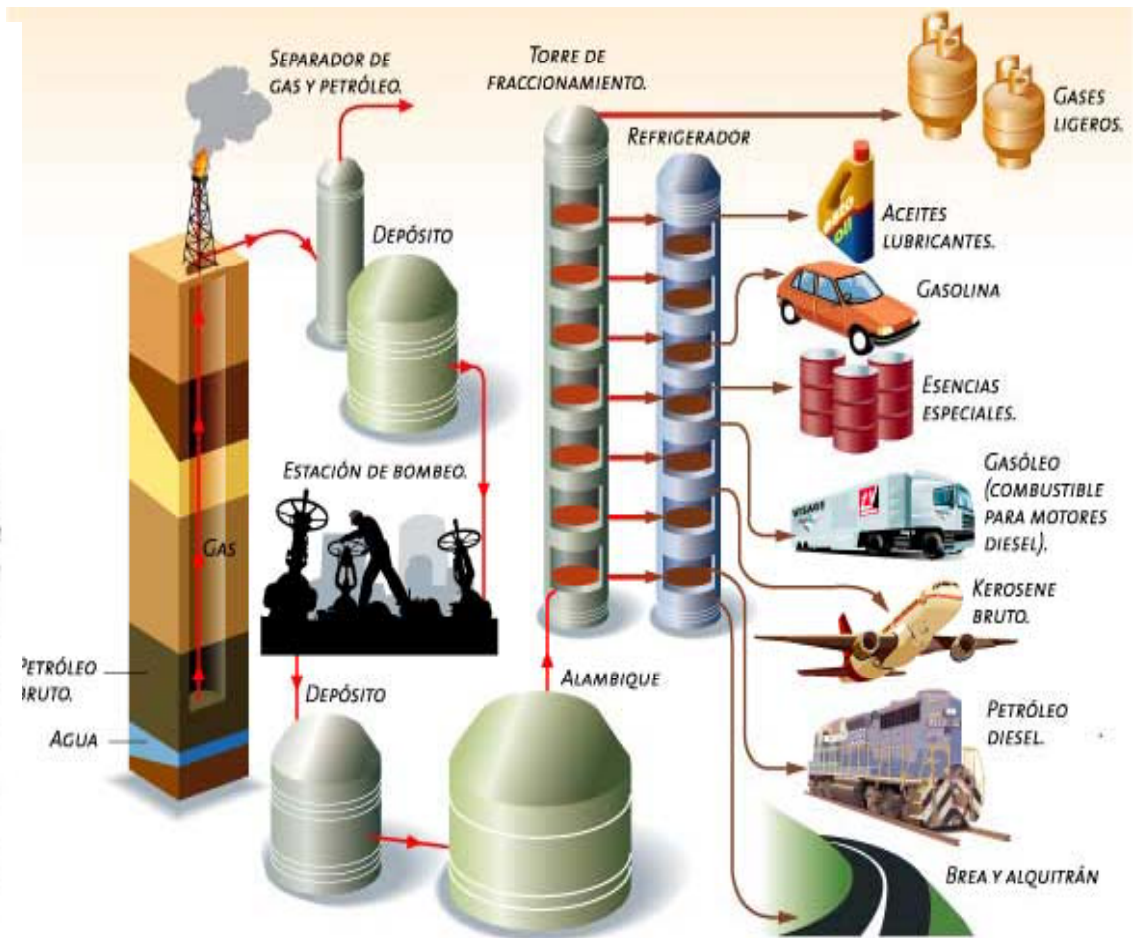
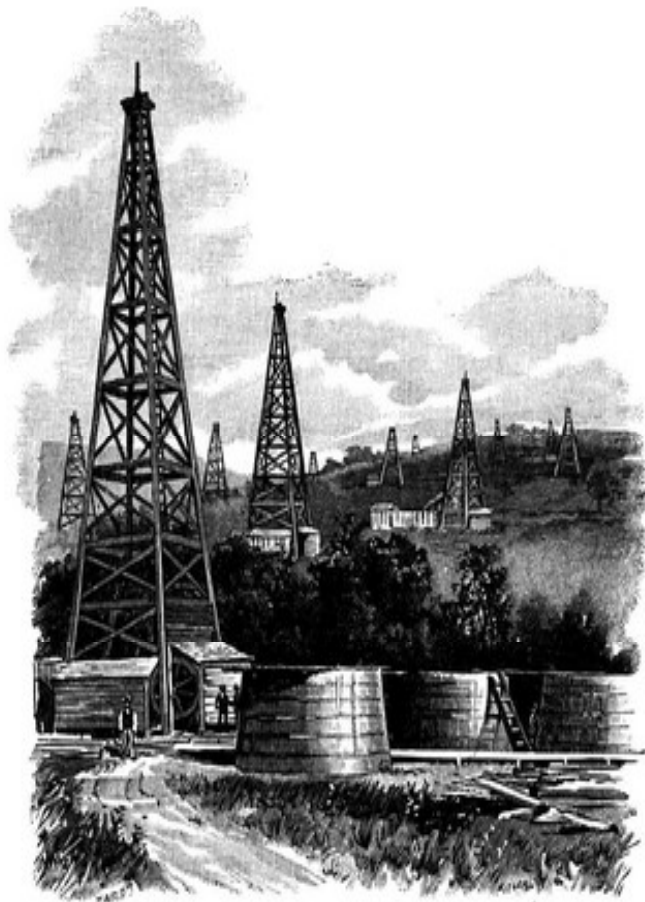
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CELAYA
AV. TECNOLÓGICO Y A. G. CUBAS S/N
CELAYA, MÉXICO. C.P. 38010

Contenido

- ↪ Introducción
 - ⇒ Generación eléctrica
- ↪ Celdas solares
- ↪ Fuentes renovables
 - ⇒ Esquemas convencionales
- ↪ Convertidores de potencia
 - ⇒ Topologías
 - ⇒ Estrategias de control
- ↪ Otros temas
- ↪ Conclusiones

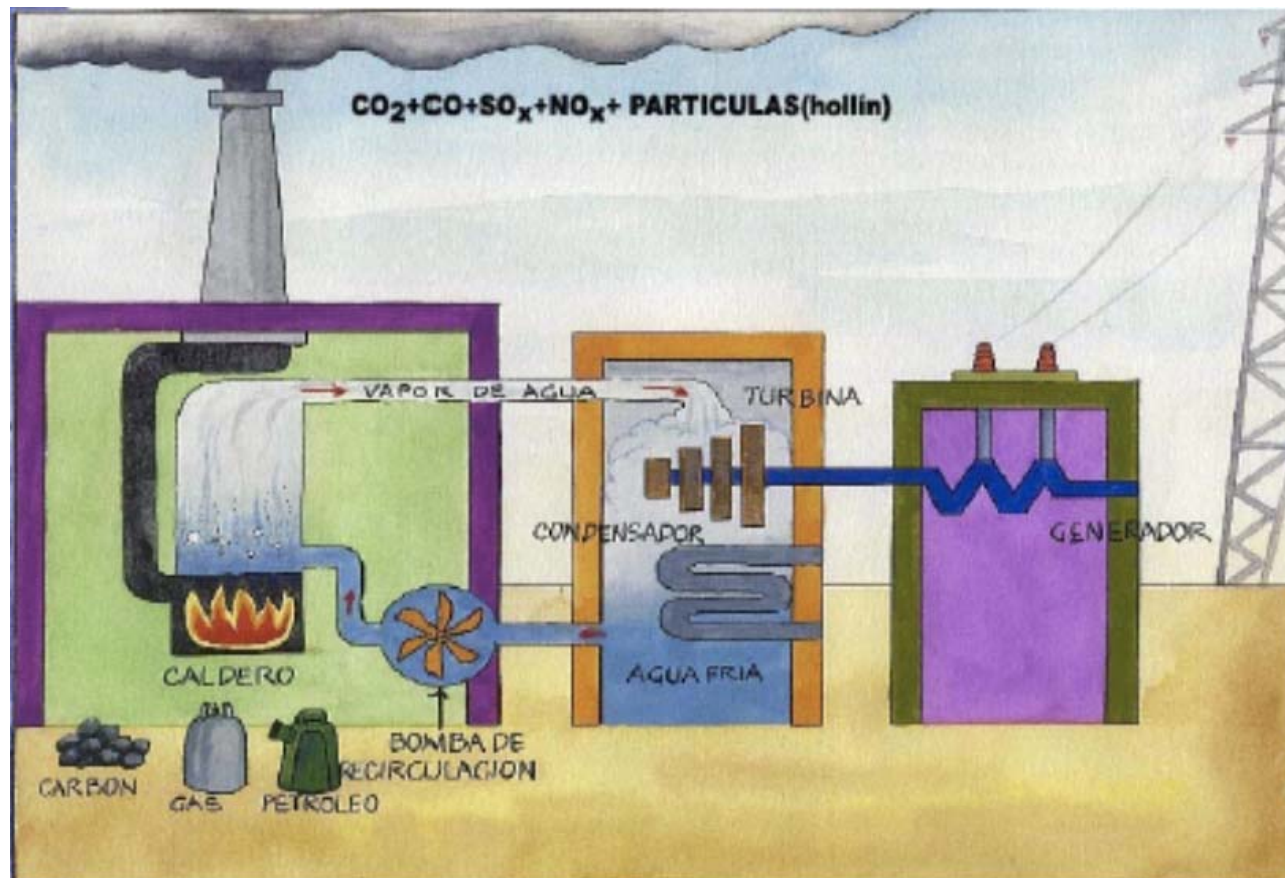


Introducción



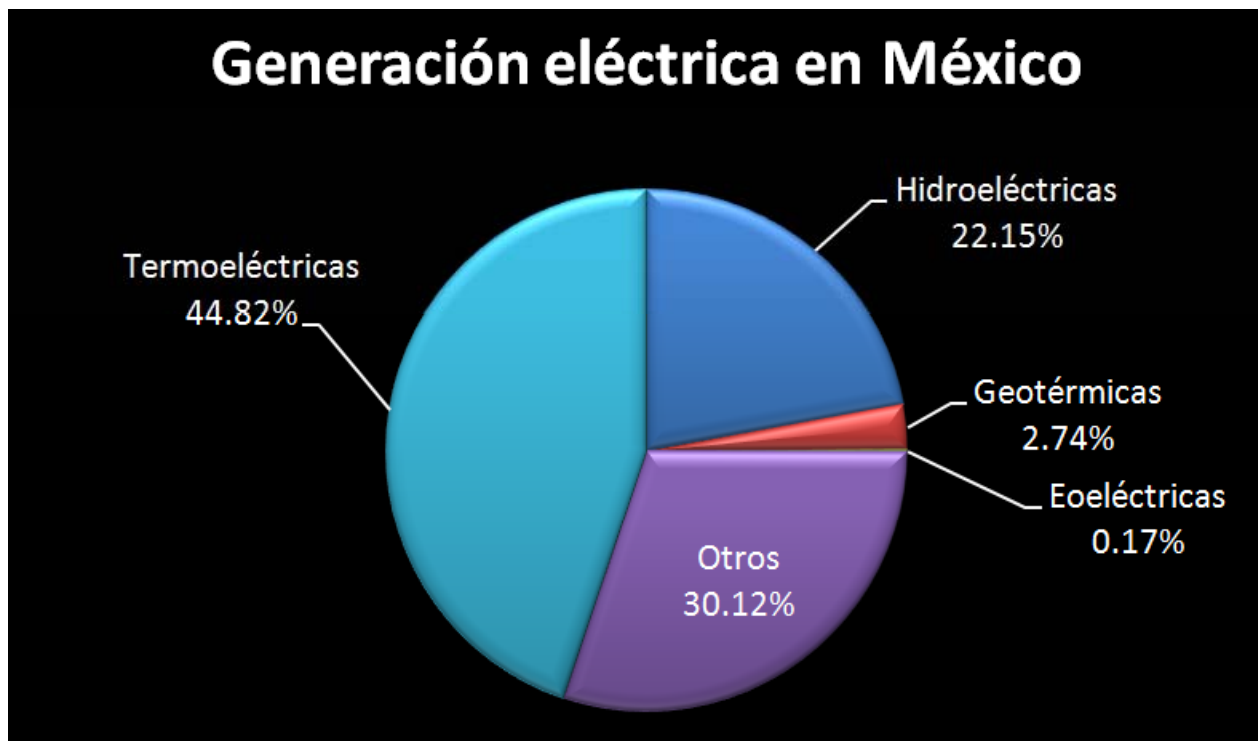
Introducción

- ✓ Generación de energía (termoeléctrica)



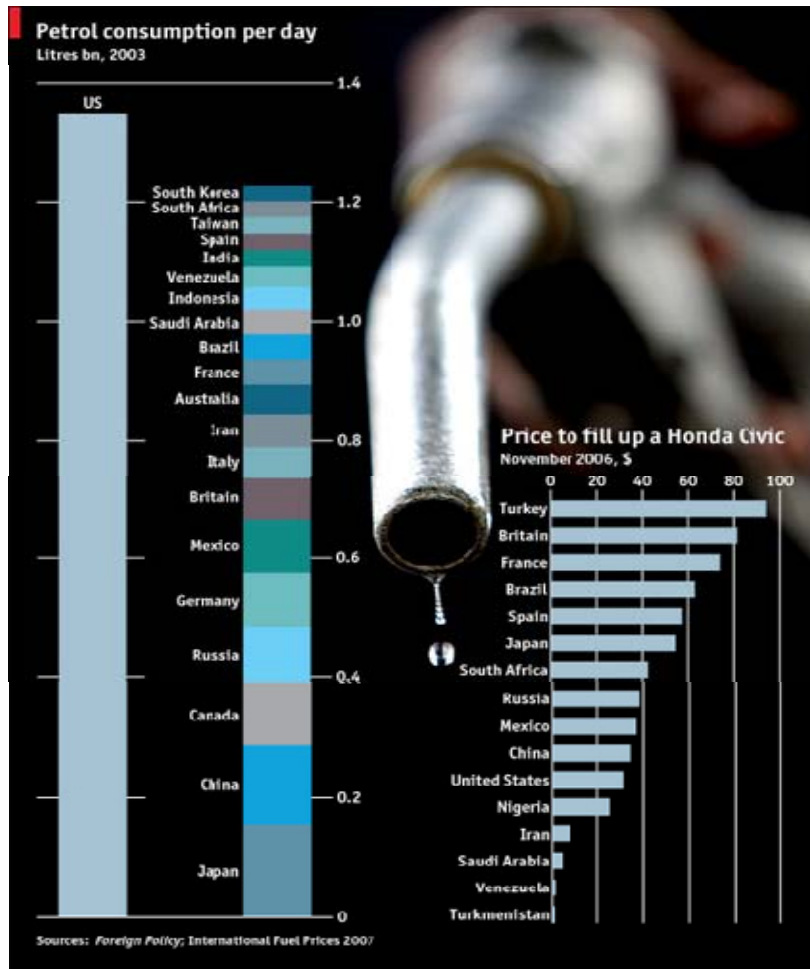
Introducción

- ✓ Energía en México
 - 49,861 Megawatts aprox



Fuente: www.explorandomexico.com.mx/about-mexico/6/67/

Introducción



AWARD WINNER
GALWAY FILM FESTIVAL

AWARD WINNER
BERGEN FILM FESTIVAL

AWARD WINNER
TAHOE (BEND) FILM FESTIVAL

AWARD WINNER
ZURICH FILM FESTIVAL

OFFICIAL SELECTION
AFI FEST LOS ANGELES

OFFICIAL SELECTION
EDINBURGH FILM FESTIVAL

OFFICIAL SELECTION
HOT DOCS FILM FESTIVAL

OFFICIAL SELECTION
SHEFFIELD DOCUMENTARY FESTIVAL

OFFICIAL SELECTION
SXSW FILM FESTIVAL

OFFICIAL SELECTION
NEWPORT FESTIVAL

OFFICIAL SELECTION
ZURICH FILM FESTIVAL

OFFICIAL SELECTION
MAUI FILM FESTIVAL

A CRUDE AWAKENING

THE OIL CRASH

WE'RE RUNNING OUT,
AND WE DON'T HAVE
A PLAN.

In Select Theatres February 2nd

Introducción

- ✓ Energías renovables y limpias



Introducción

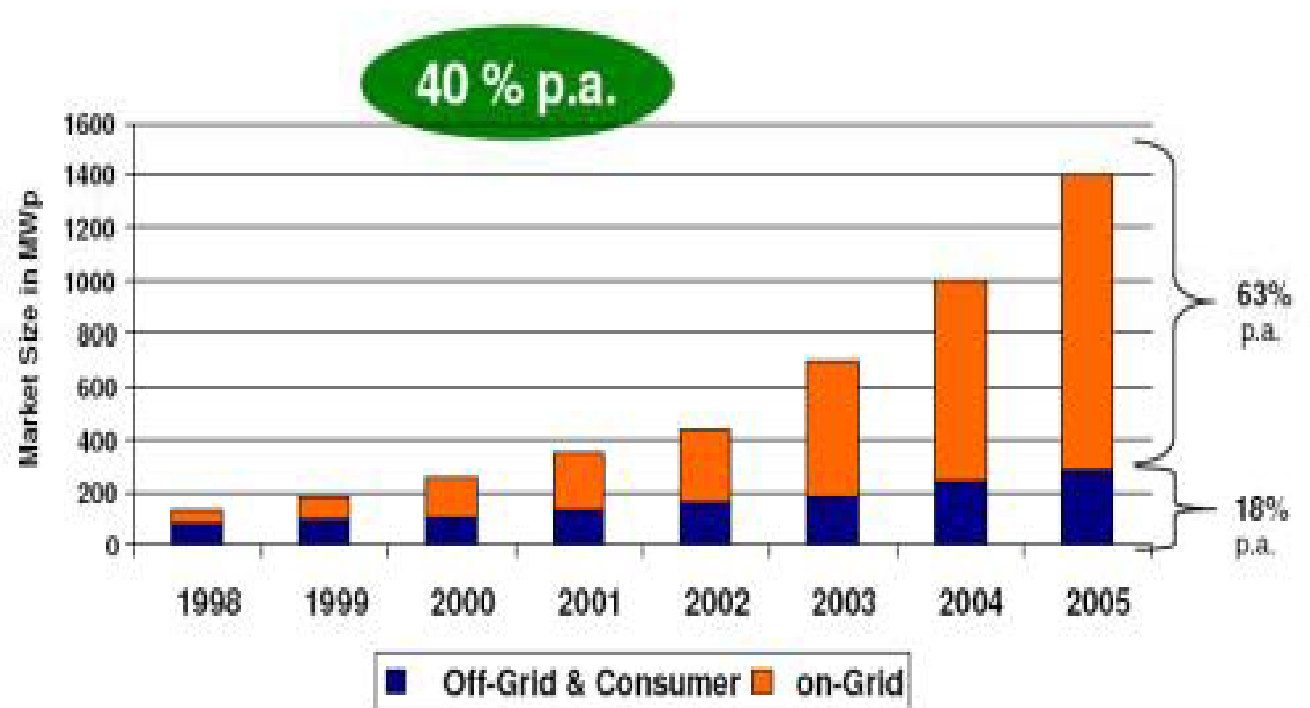


- ✓ El sol está a 150 millones de Km (“Proveedor de vida”)
- ✓ Energía del viento y del mar dependen del sol

Introducción



Introducción



Celdas solares

↪ Energía de celdas solares

- ✓ Más de 30 años de investigación
- ✓ Modulares (mW hasta MW)
- ✓ Libre de ruido y contaminación
- ✓ Confiable (>20 años de vida útil)
- ✓ Operación de bajo costo
- ✓ Recursos abundantes (Si)



- ✗ Alto costo inicial
- ✗ Bajas eficiencias

Celdas solares

↪ Tecnologías

✓ Monocristalino

- Eficiencia: 12-15%
- Potencia pico: 120W/m²
- Precio: 4-5 €/W

✓ Policristalino

- Eficiencia: 10-12%
- Potencia pico: 100W/m²
- Precio: 3-4 €/W

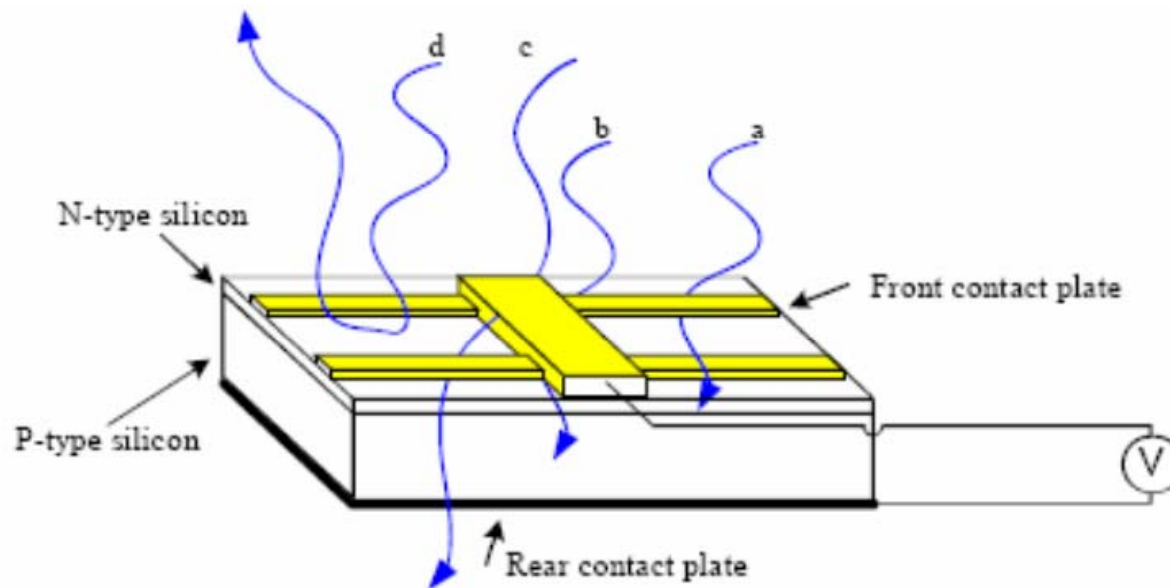
✓ Amorfo

- Eficiencia: 4-9%
- Potencia pico: 50W/m²
- Precio: 5-6 €/W
- Flexible

Celdas solares

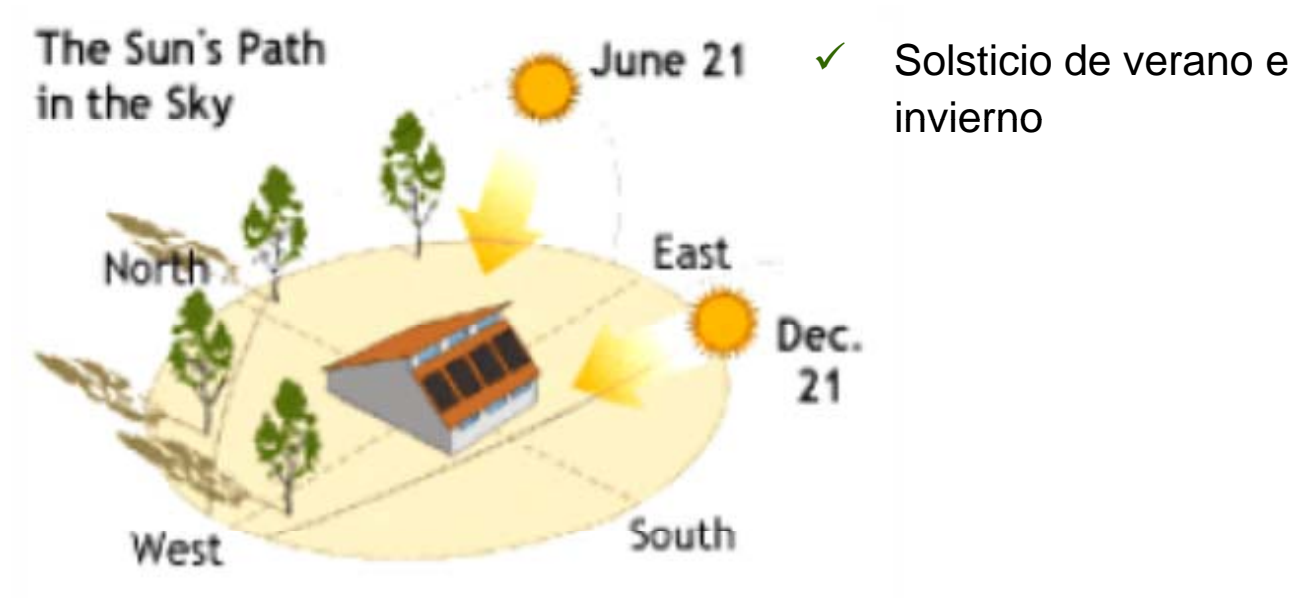
↪ Celdas solares

- ✓ Efecto fotovoltaico (1839, Bequerel)
- ✓ Similar a un diodo, union PN
- ✓ Conexión en serie de celdas



Introducción

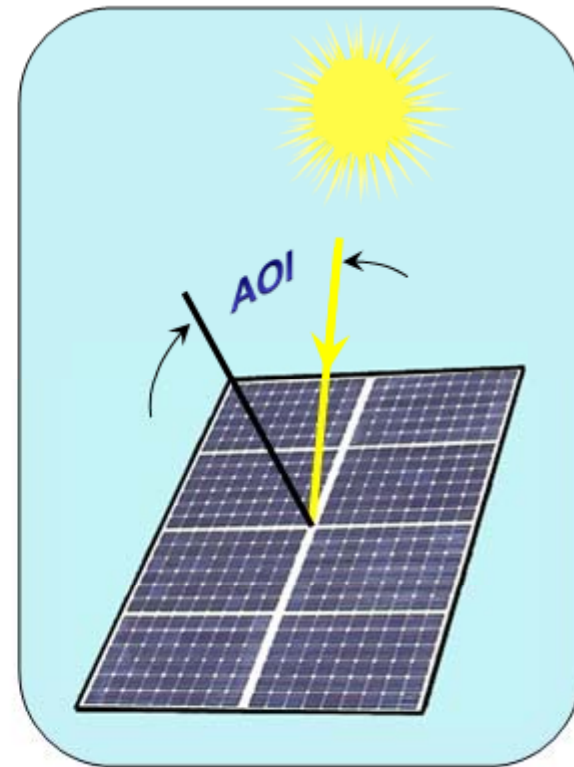
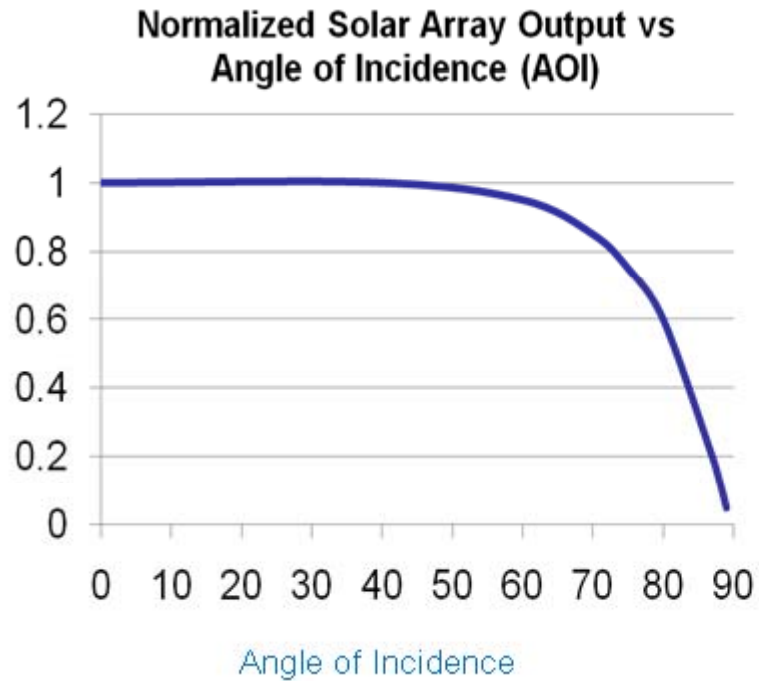
↪ Energía de celdas solares



- ✓ Regla de dedo:
“La inclinación de la celda debe ser a un ángulo igual a la latitud”
Guanajuato esta entre latitud de $21^{\circ}52'$ al norte y $19^{\circ}55'$ al sur.
Celaya esta a $20^{\circ}31'40''$, **Zacatecas esta a $22^{\circ}46'18''$**

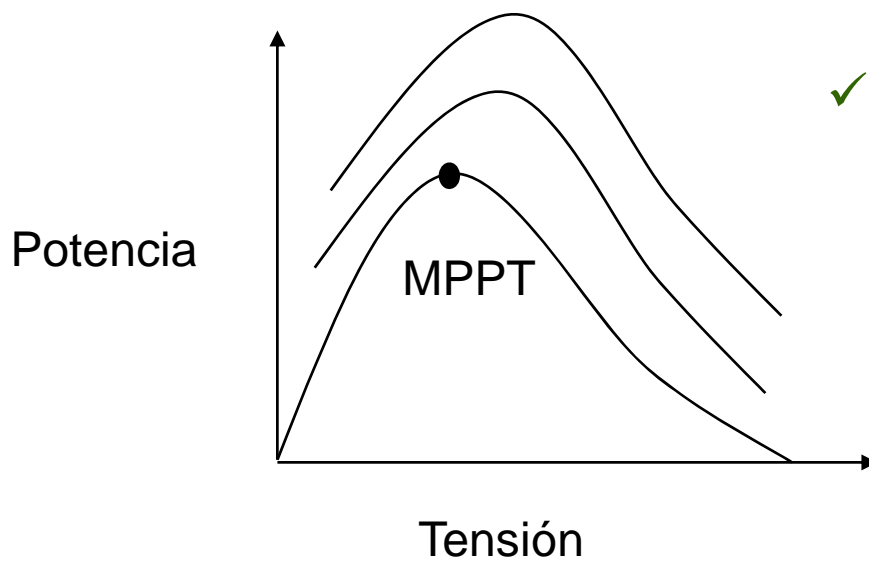
Celdas solares

Effect of Angle of Incidence



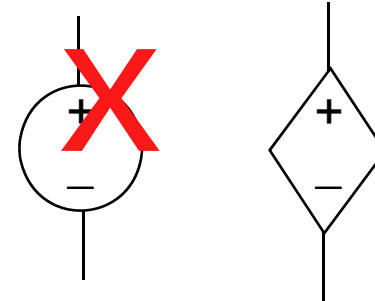
Celdas solares

↪ Comportamiento



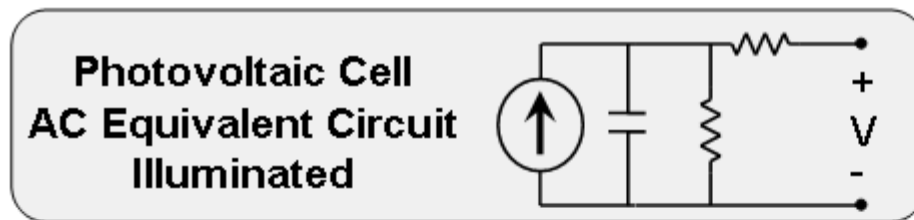
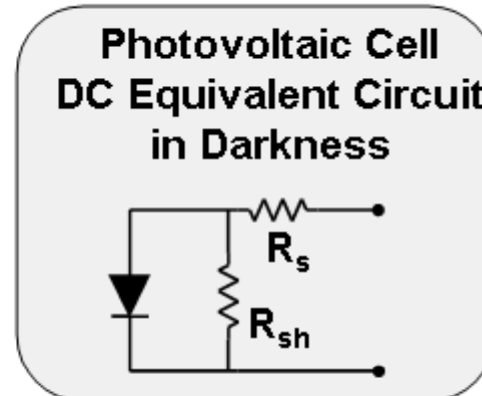
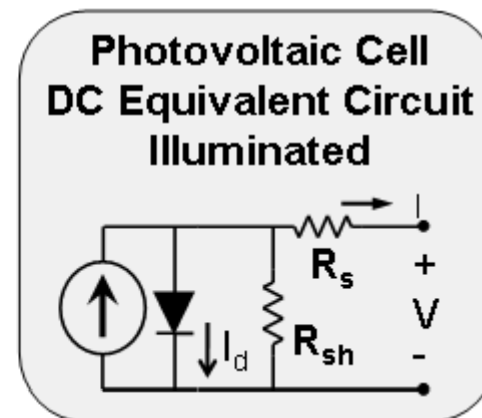
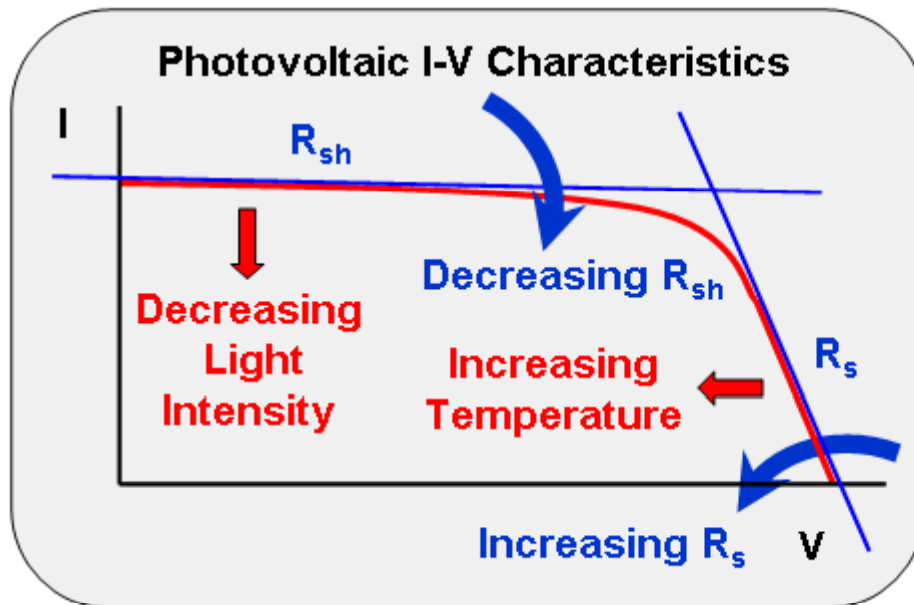
Variable:

- ✓ La potencia depende de la carga
- ✓ Depende de condiciones climáticas



Celdas solares

Basic Photovoltaic Cell



Celdas solares

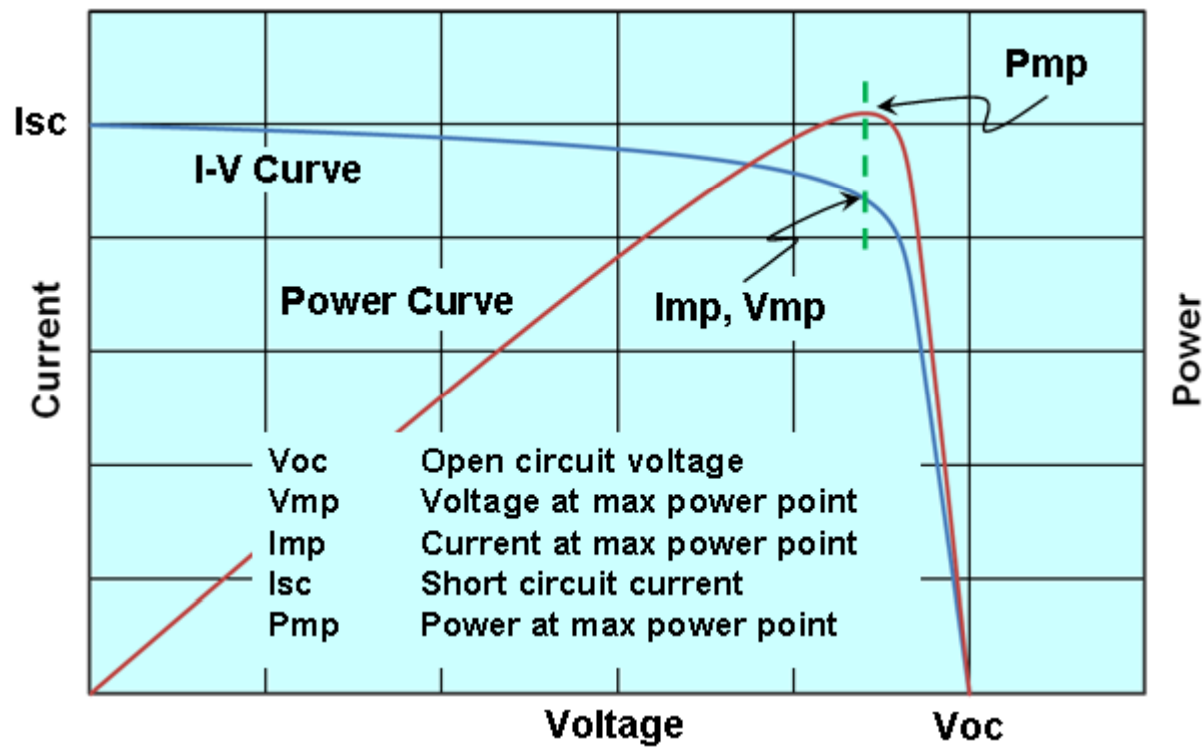
Parameter Based I-V Curve Generation

Generate curves with the entry of V_{oc} , I_{sc} , V_{mp} , and I_{mp}

$$V = \frac{V_{oc} * \ln \left[2 - \left(\frac{I}{I_{sc}} \right)^N \right] - R_s * (I - I_{sc})}{1 + \frac{R_s * I_{sc}}{V_{oc}}}$$
$$R_s = \frac{V_{oc} - V_{mp}}{I_{mp}} \qquad N = \frac{\ln(2 - 2^a)}{\ln \left(\frac{I_{mp}}{I_{sc}} \right)}$$
$$a = \frac{V_{mp} * \left(1 + \frac{R_s * I_{sc}}{V_{oc}} \right) + R_s * (I_{mp} - I_{sc})}{V_{oc}}$$

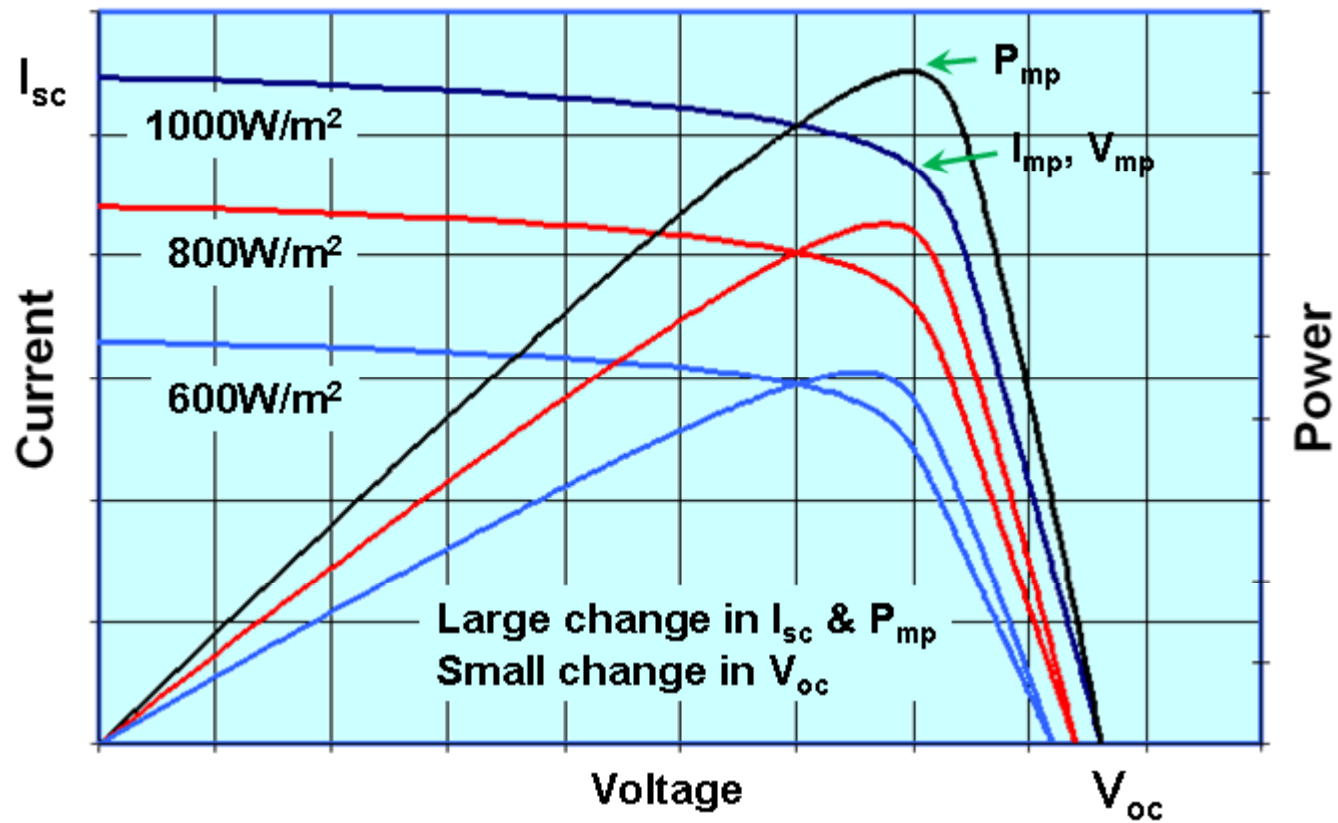
The exponential model is described in the paper: Britton, Lunscher, and Tanju, "A 9KW High-Performance Solar Array Simulator", Proceedings of the European Space Power Conference, August 1993 (ESA WPP-054, August 1993)

Celdas solares



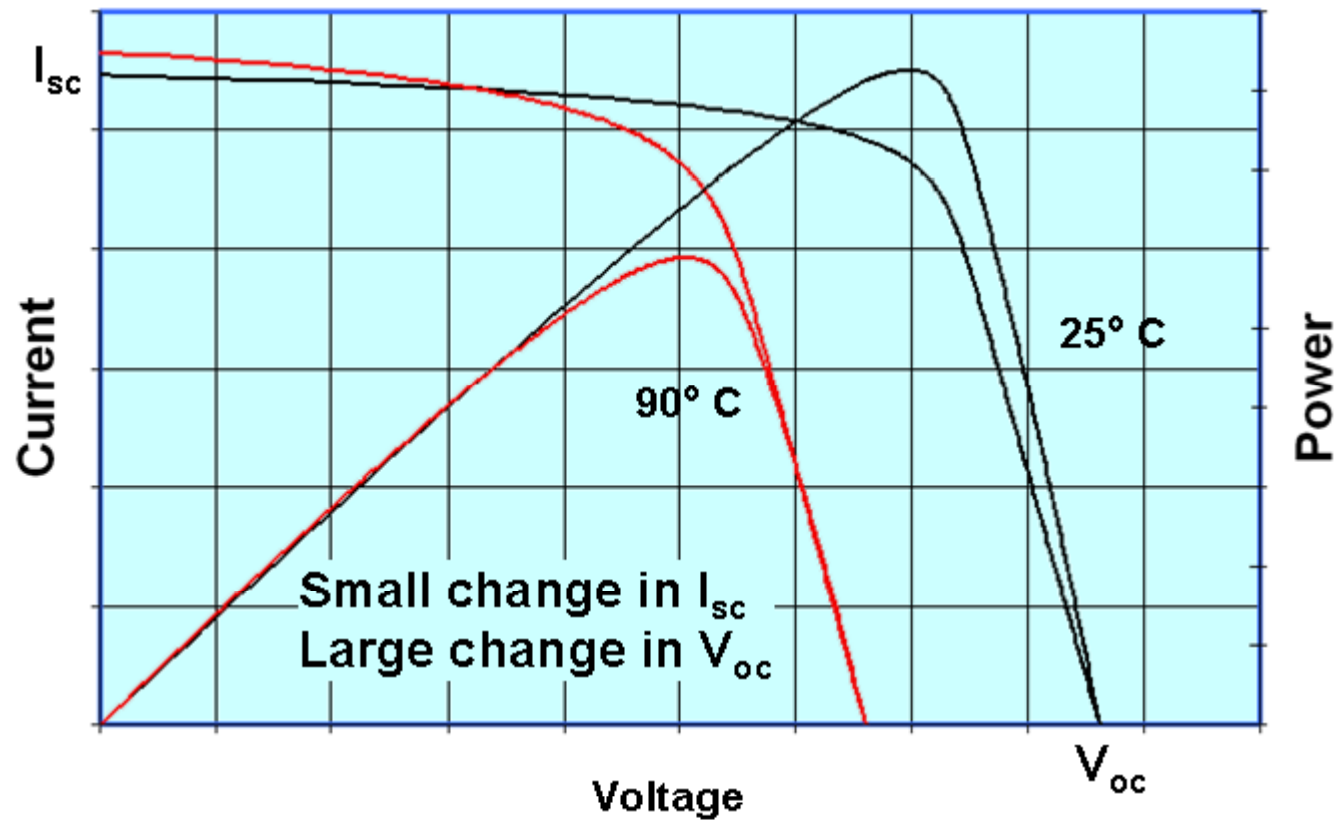
Celdas solares

Variation of I-V & Power Curves with Irradiation Level

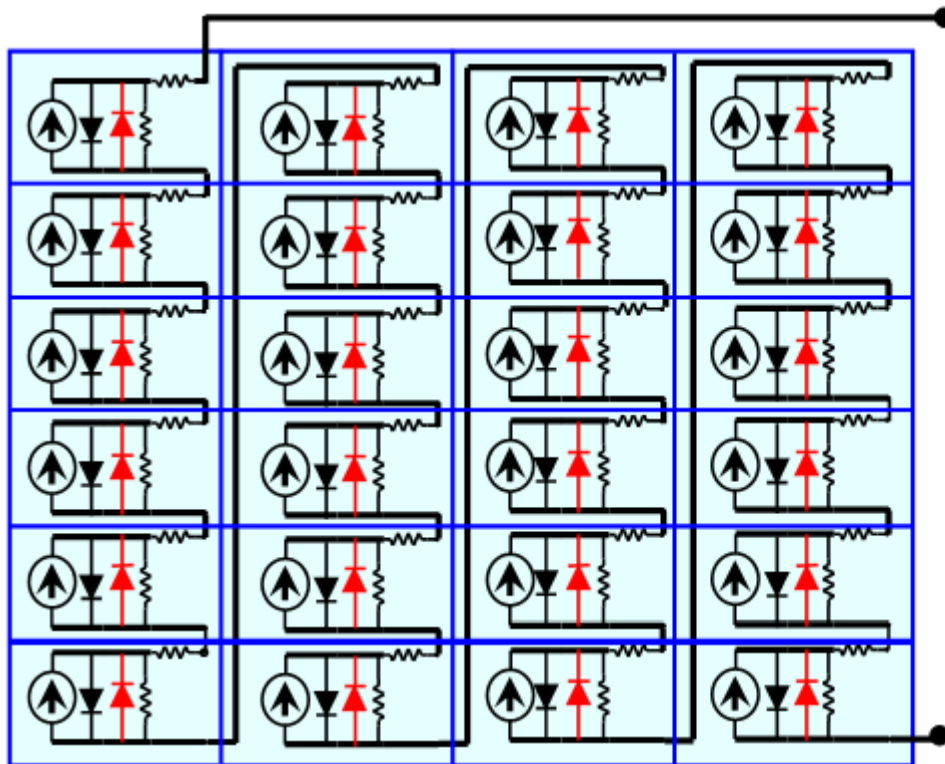


Celdas solares

Variation of I-V & Power Curves with Temperature



Celdas solares



Cells are assembled in series to obtain the required output voltage.

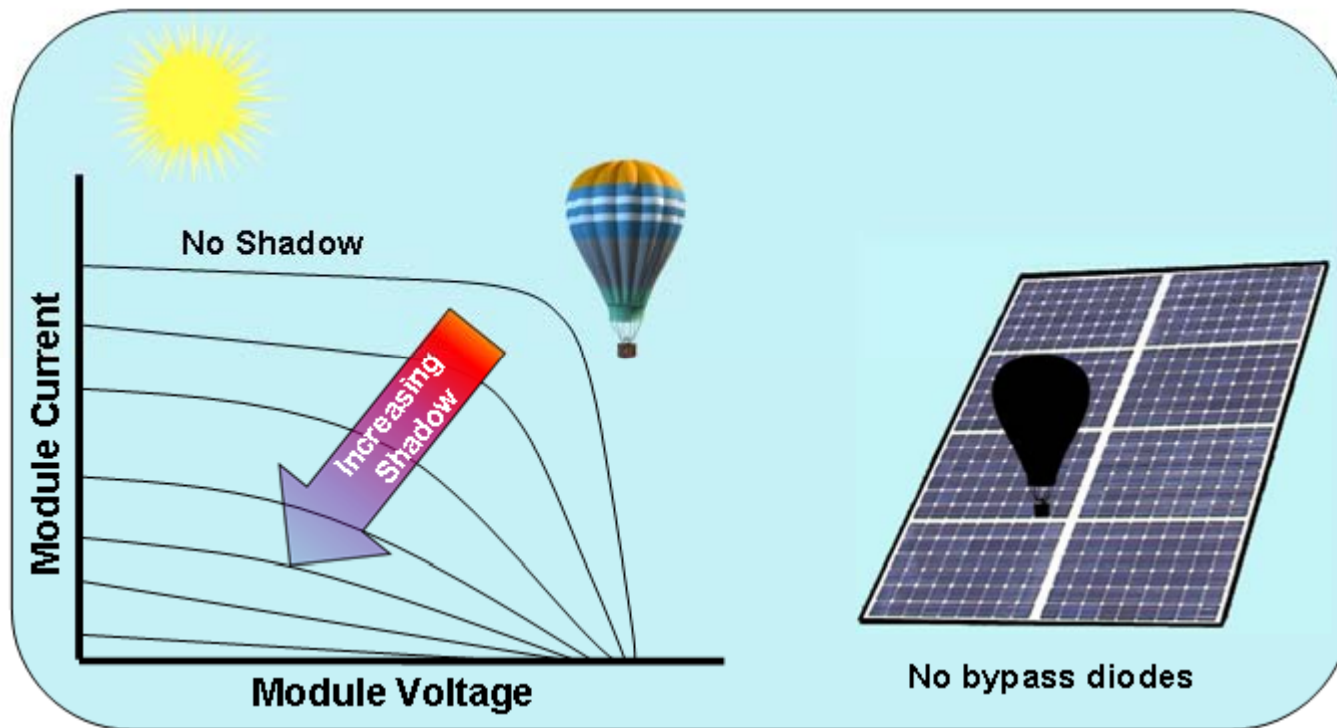
Modules can be connected in parallel to obtain higher current

Modules can be connected in series or in parallel

Diodes in red serve as bypass devices if a cell or series of cells fall under shadow

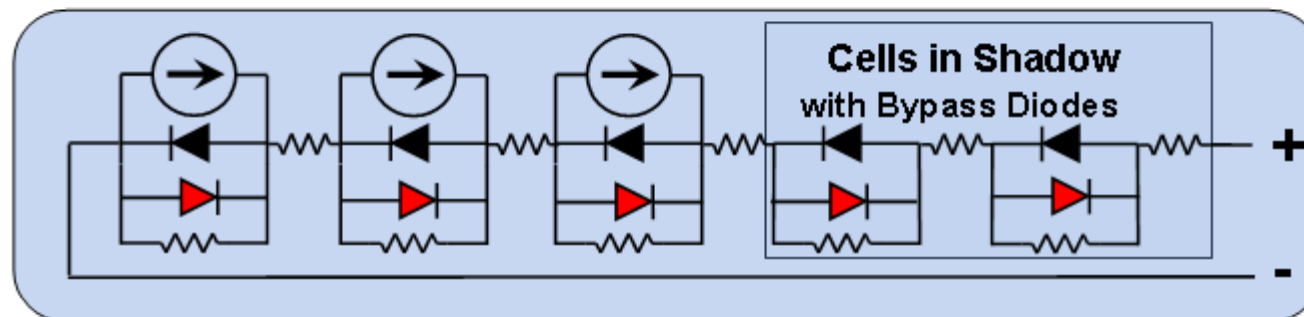
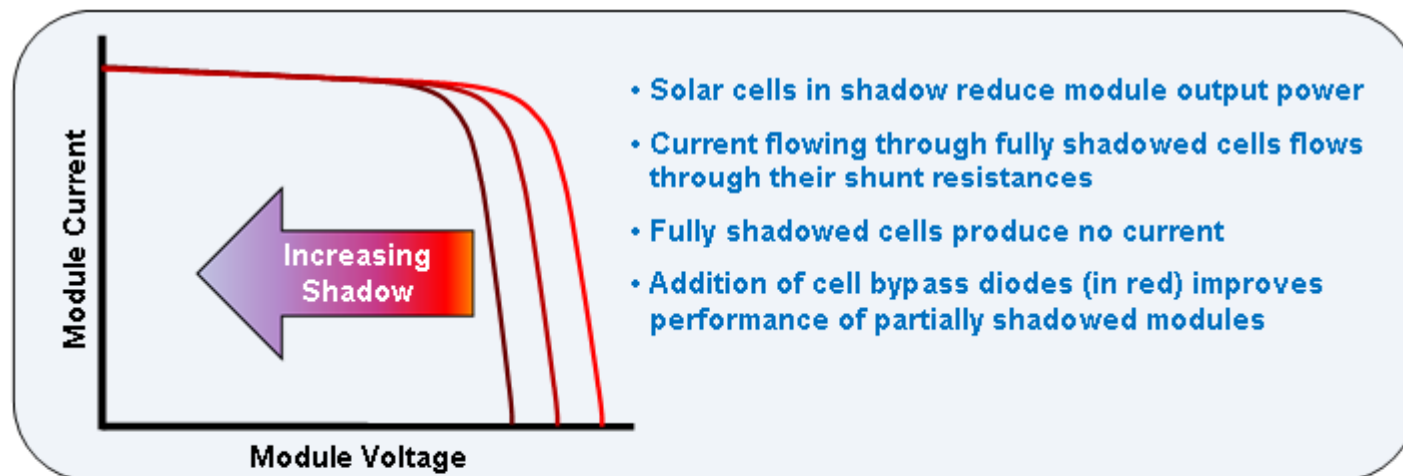
Celdas solares

Module in Partial Shadow – no bypass diodes

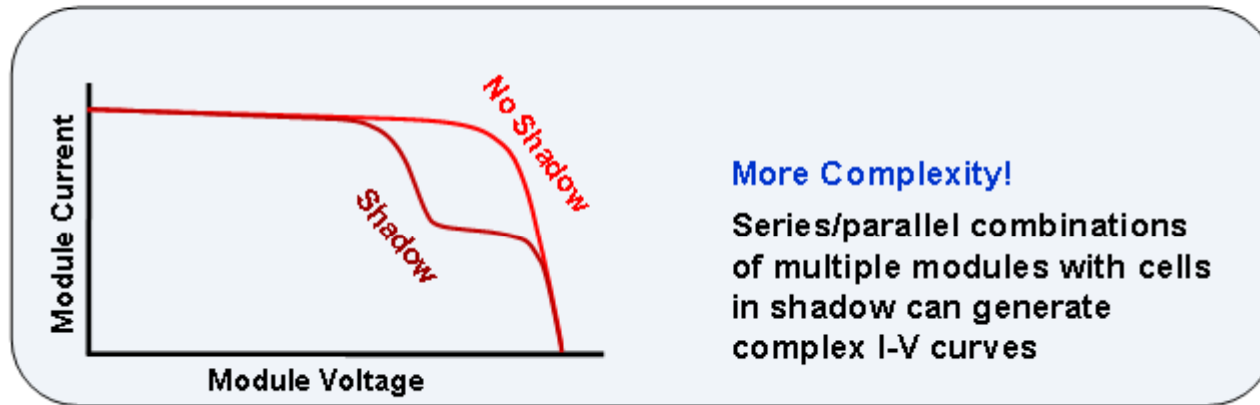


Celdas solares

Module in Partial Shadow – with bypass diodes

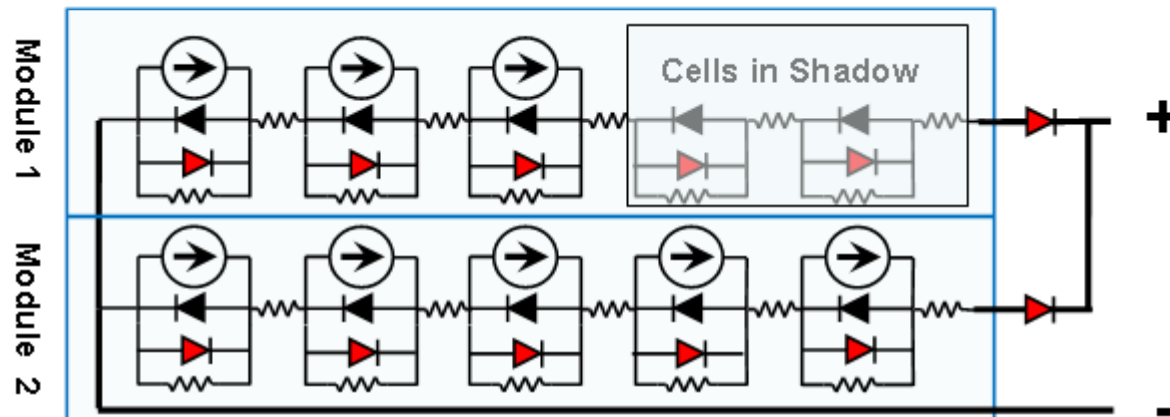


Celdas solares



More Complexity!

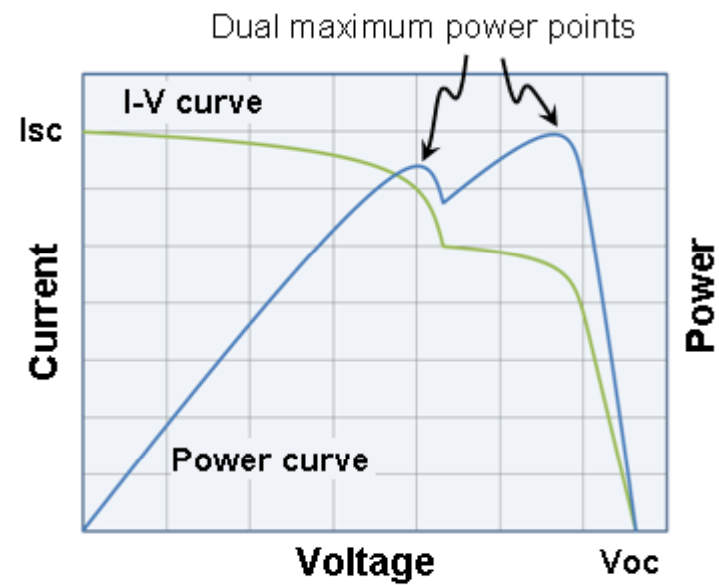
Series/parallel combinations of multiple modules with cells in shadow can generate complex I-V curves



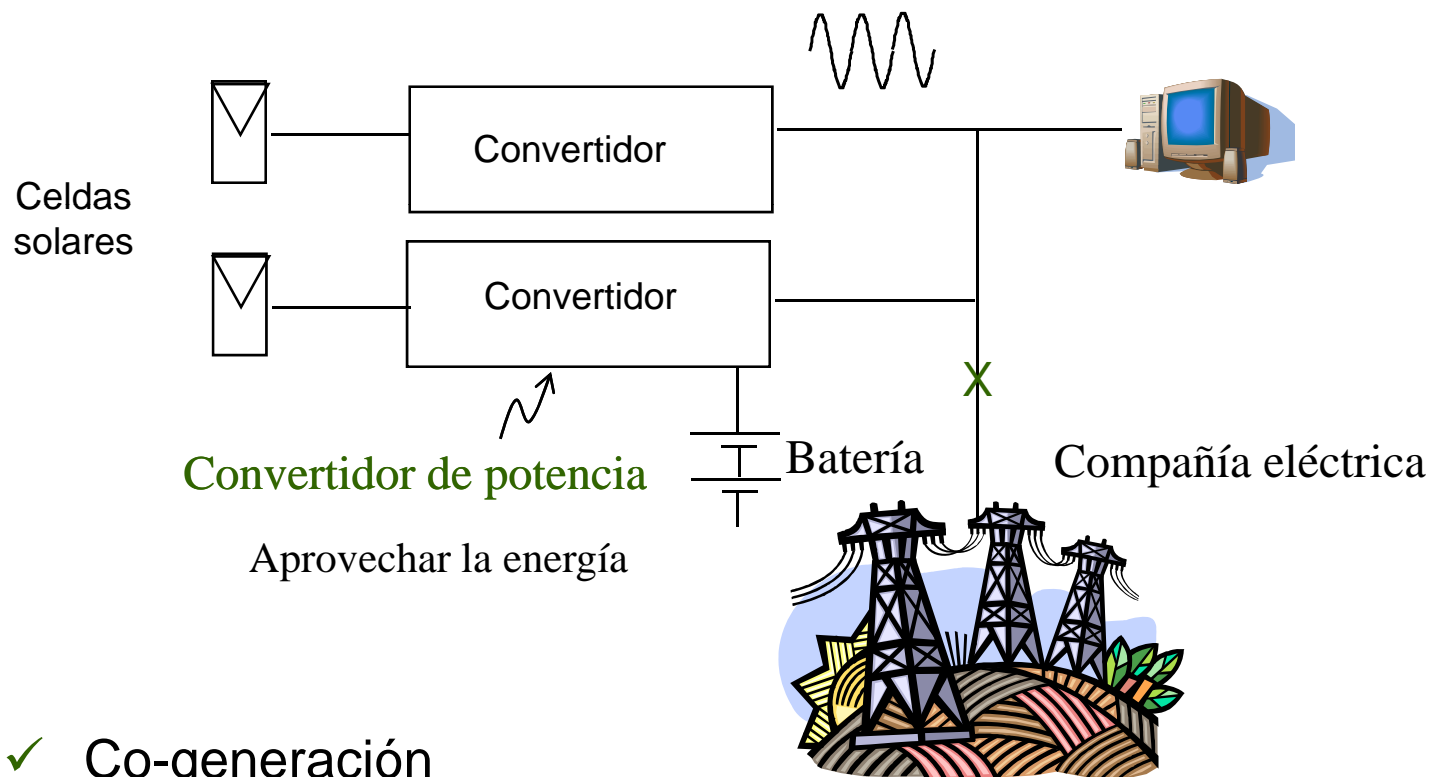
✓ Algo similar con módulos en serie

Celdas solares

Complex I-V Curve Generation



Fuentes renovables



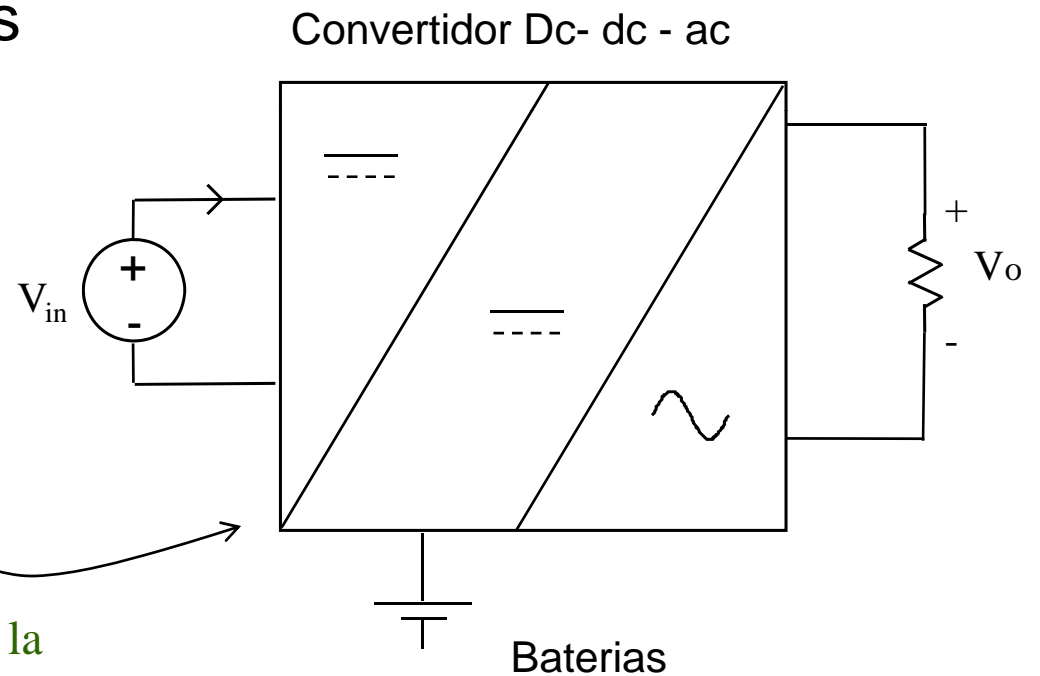
- ✓ Co-generación
- ✓ Fuente independiente

Fuentes renovables

↪ Aplicaciones fotovoltaicas

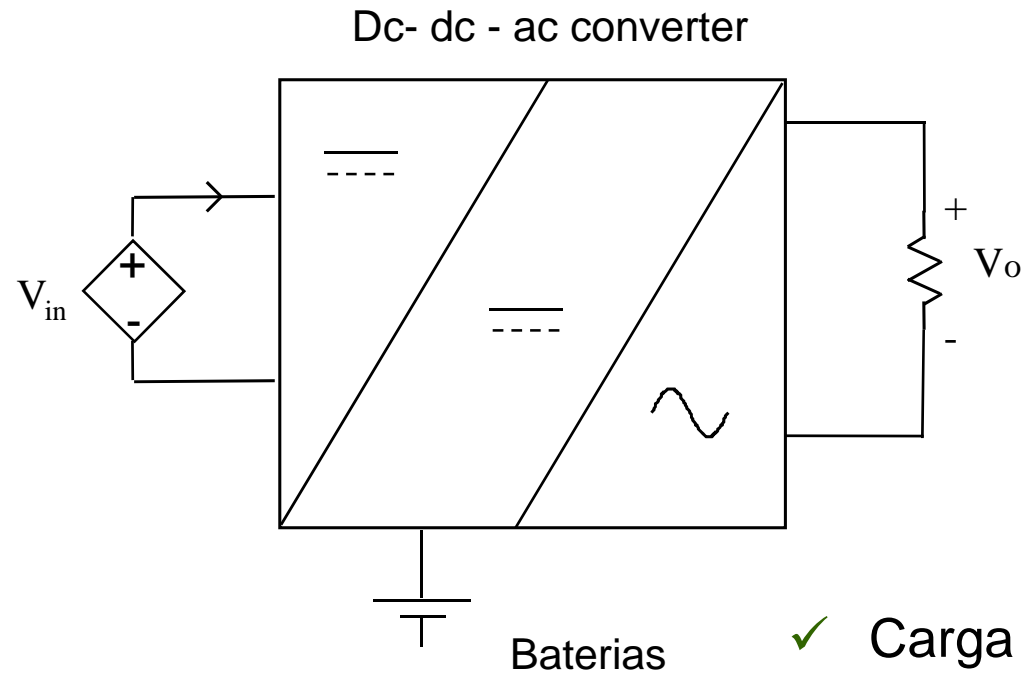
- ✓ Co-generación
- ✓ Fuente independiente

Función cambia en función de la aplicación



Fuentes renovables

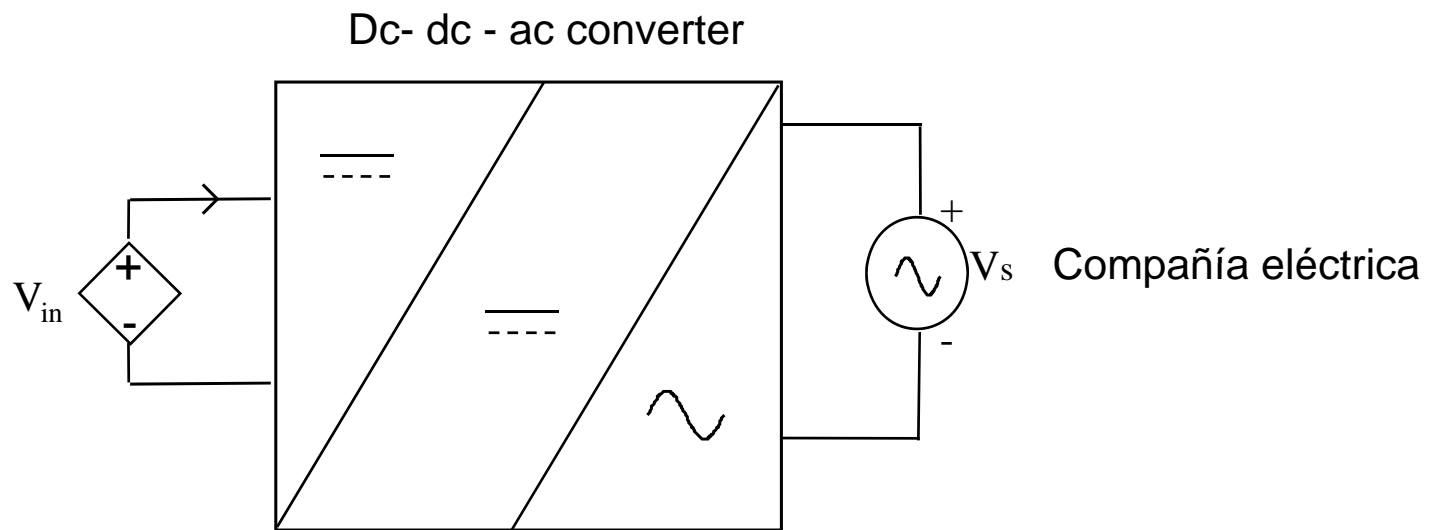
↪ Fuente independiente



- ✓ Carga de batería
- ✓ Regulación de tensión

Fuentes renovables

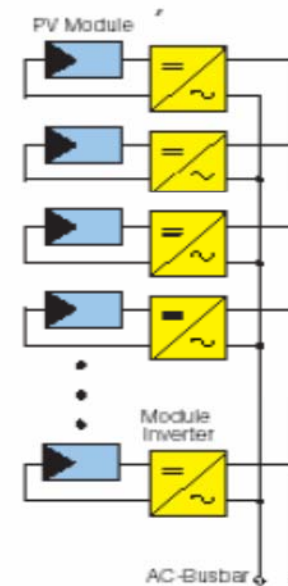
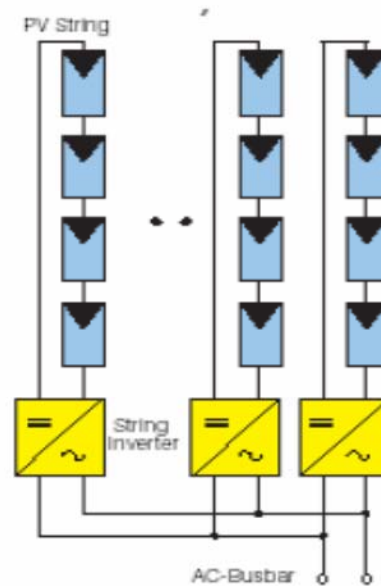
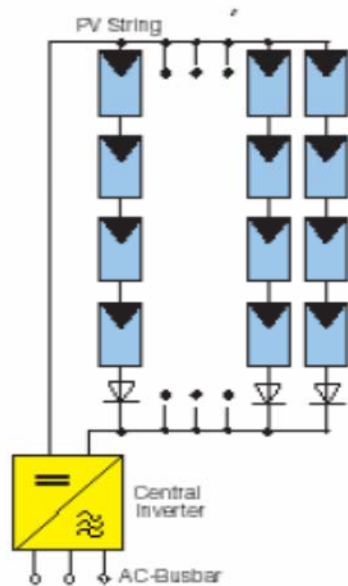
↪ Co-generación



- ✓ Maxima Potencia
- ✓ Sincronía con CFE

Fuentes renovables

Configuraciones



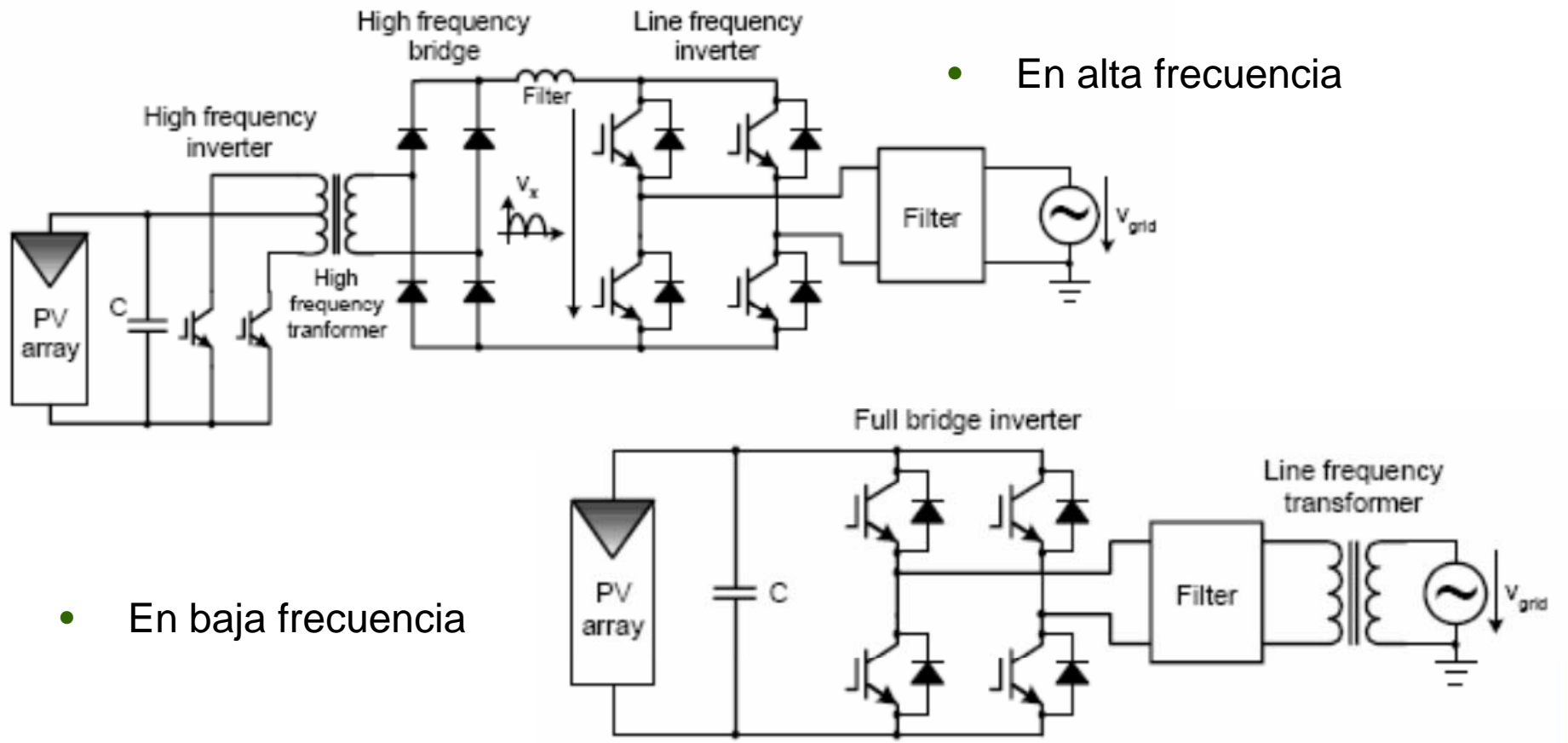
- **Inversor central**
 - ✓ 10KW-250KW
 - ✓ Bajos costos
 - ✓ Baja confiabilidad
 - ✓ No MPPT optimo

- **Inversor en cadena**
 - ✓ 1.5KW-5KW
 - ✓ Costos moderados
 - ✓ Cada uno, un MPPT

- **Inversor modular**
 - ✓ 50W-80W
 - ✓ Costos altos
 - ✓ Baja eficiencia
 - ✓ MPPT optimo

Convertidores de potencia

↪ Esquemas con aislamiento (co-generación) ✓ $V_{in} > V_s$

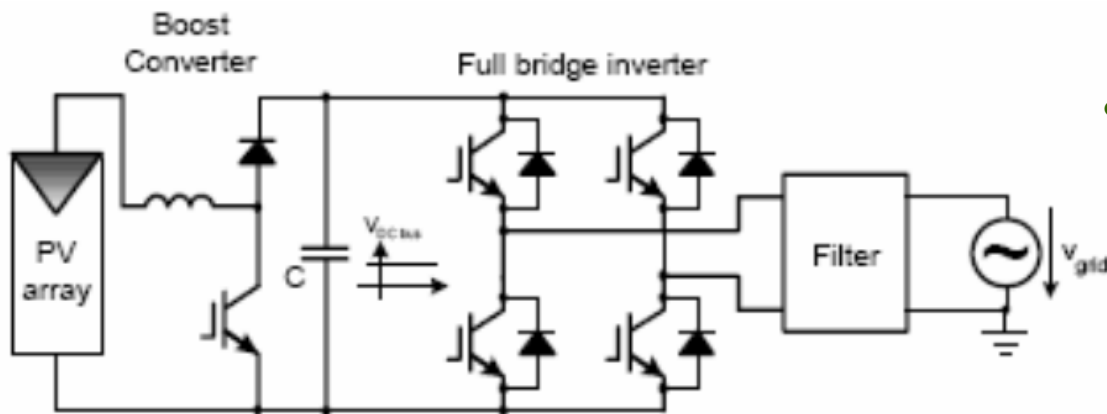


~~Inversores operados en alta frecuencia~~

Convertidores de potencia

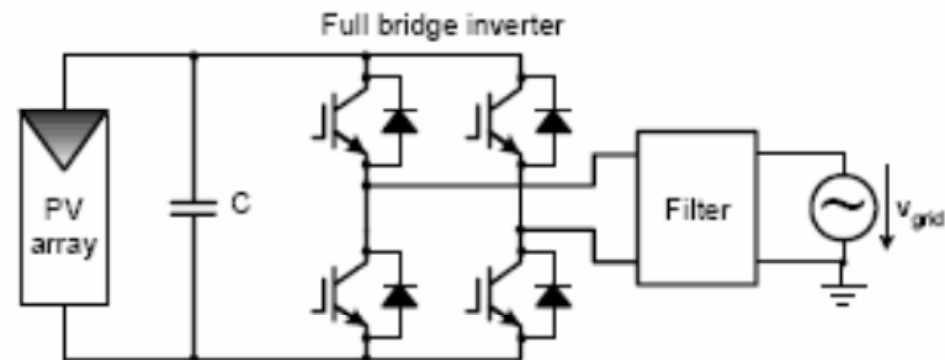
↪ Esquema sin aislamiento

✓ $V_{in} > V_s$



- Con etapa de elevación

- Sin etapa de elevación

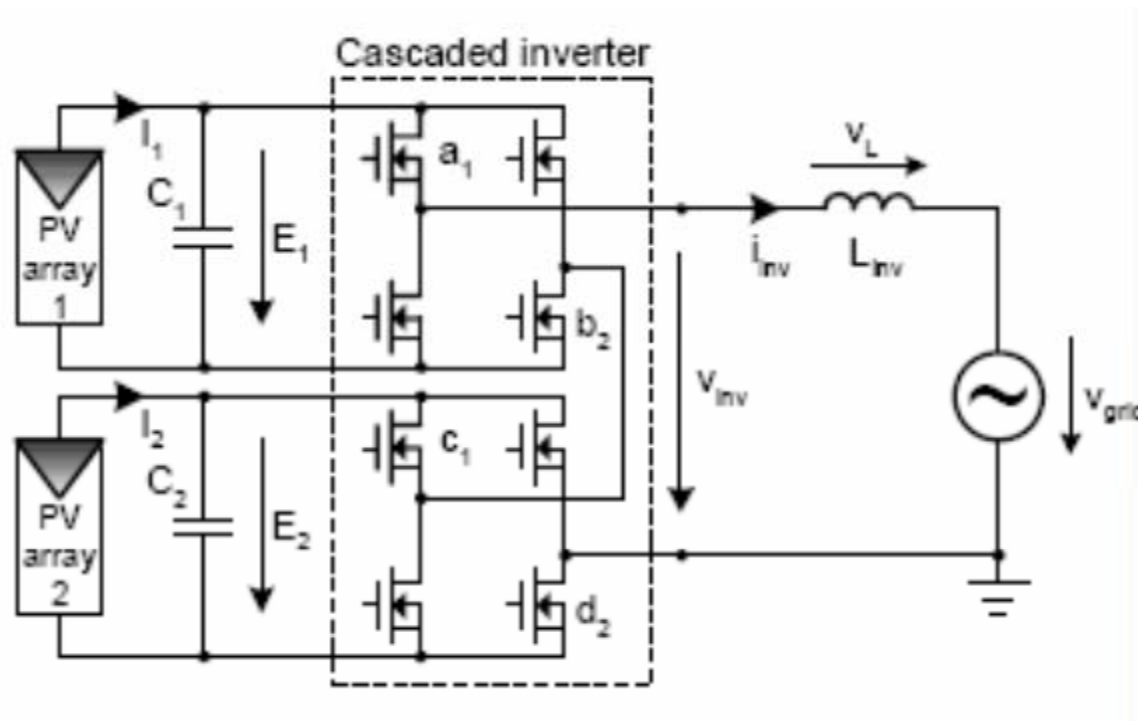


Inversores operados en alta frecuencia

Convertidores de potencia

↪ Esquema sin aislamiento

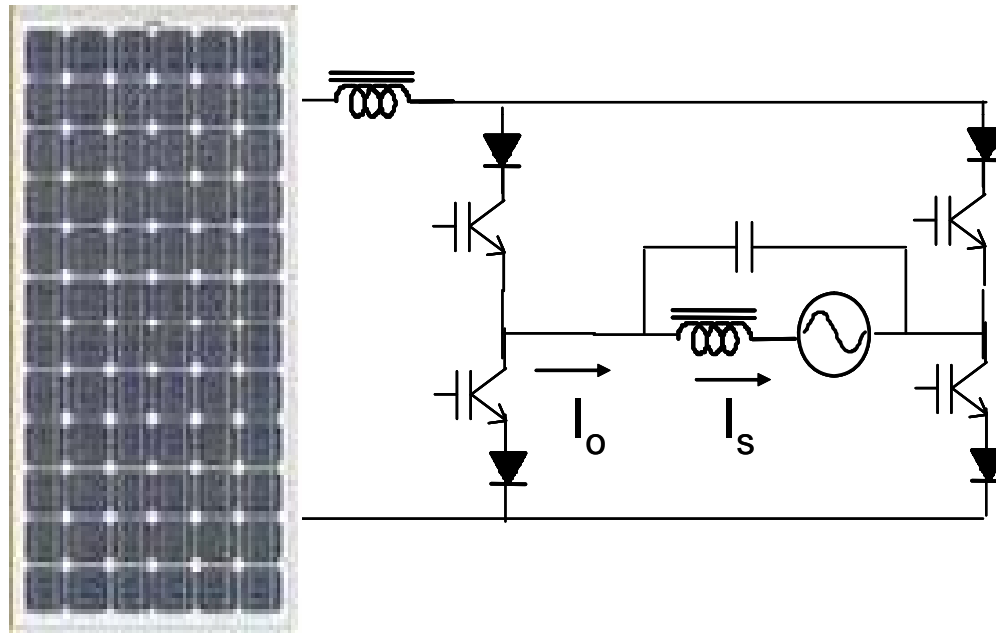
✓ Baja frecuencia y baja THD



Convertidores de potencia

↪ Esquema sin aislamiento

✓ $V_{in} < V_s$

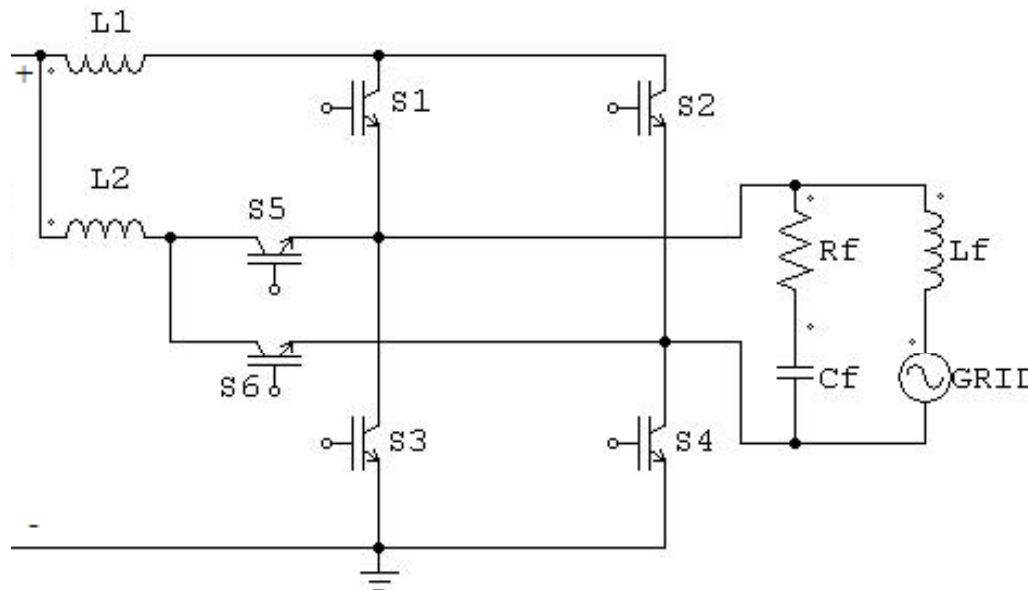


- ✓ Capacidad de elevación
- ✓ Confiables en fallas de sobre corriente

Convertidores de potencia

↪ Esquema sin aislamiento (Propuesto en ITC)

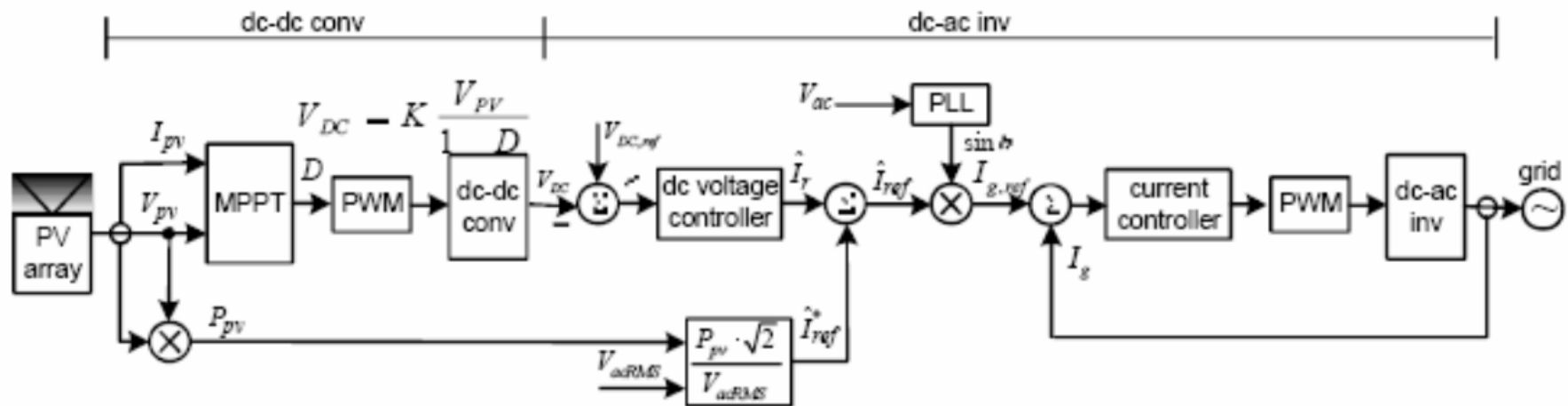
✓ $V_{in} < V_s$



- ✓ Capacidad de elevación
- ✓ Esfuerzos balanceados en L_s y S_w
- ✓ Menor número de componentes
- ✓ Multinivel

Convertidores de potencia

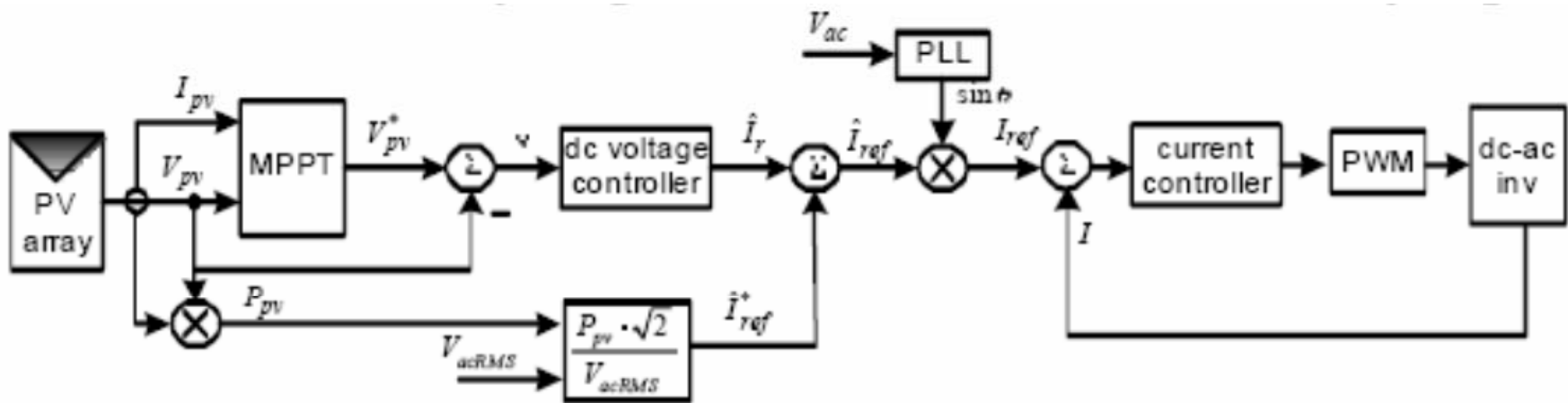
↪ Esquemas de control (Co-generación)



- ✓ MPPT en el convertidor dc/dc
- ✓ Inversor controlado en modo corriente
- ✓ Feedforward en potencia

Convertidores de potencia

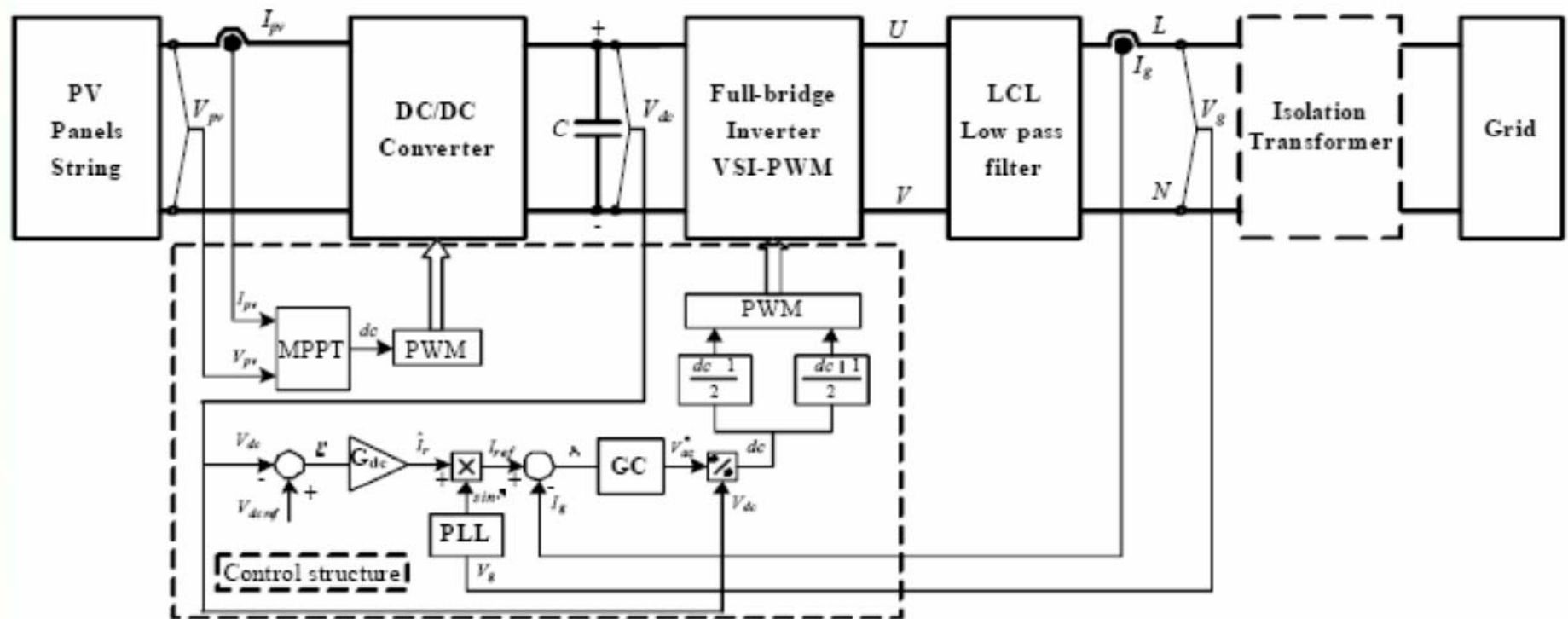
↪ Esquemas de control (Co-generación)



✓ MPPT en el convertidor dc/ac

Convertidores de potencia

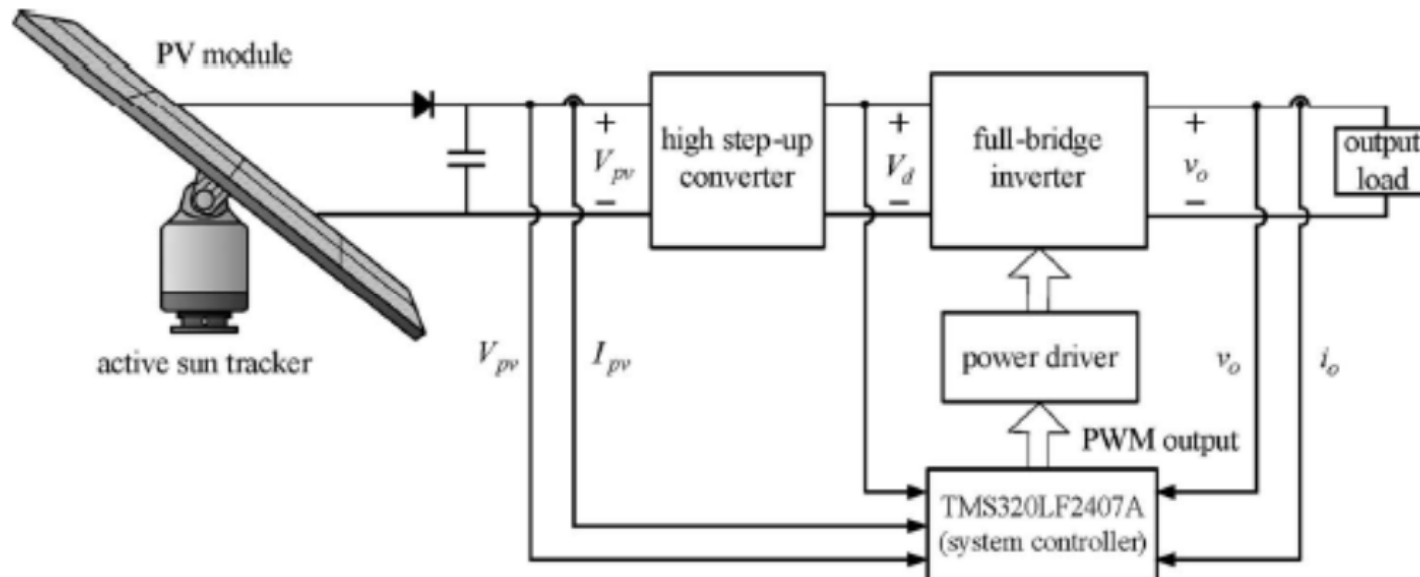
↪ Esquemas de control (Co-generación)



✓ Esquema típico en aplicaciones residenciales (feedforward)

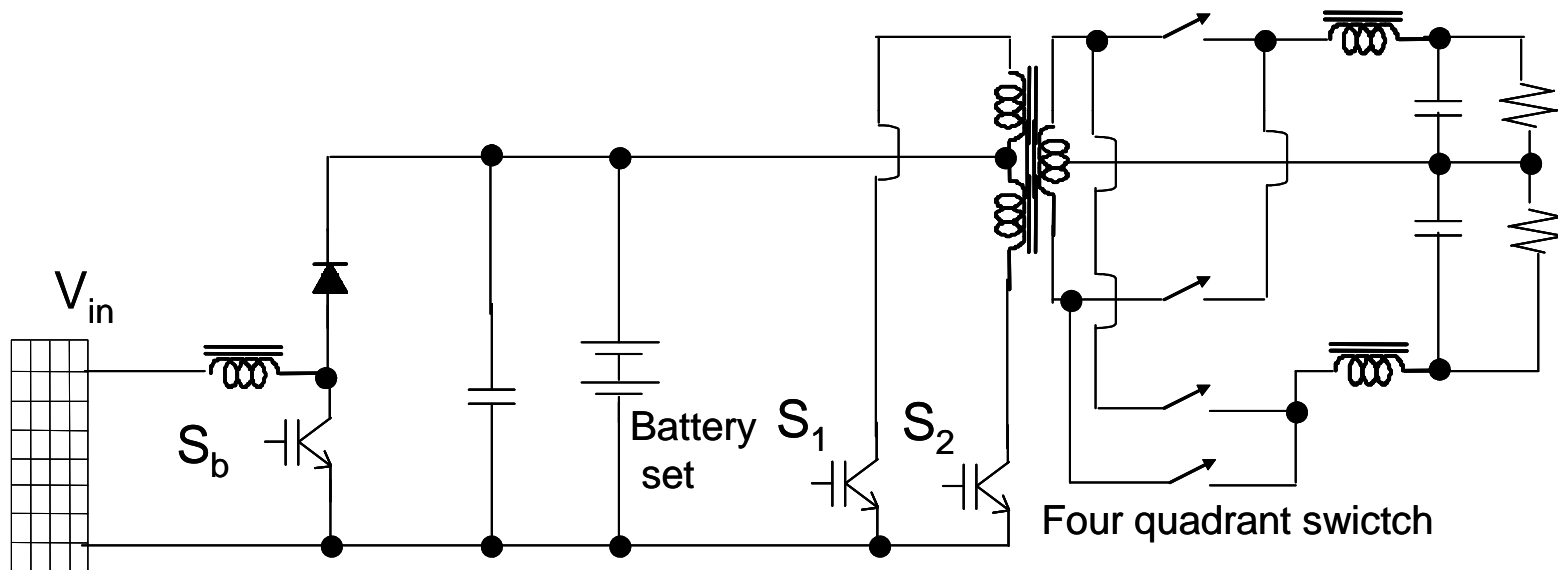
Convertidores de potencia

↪ Esquemas operando como fuente independiente



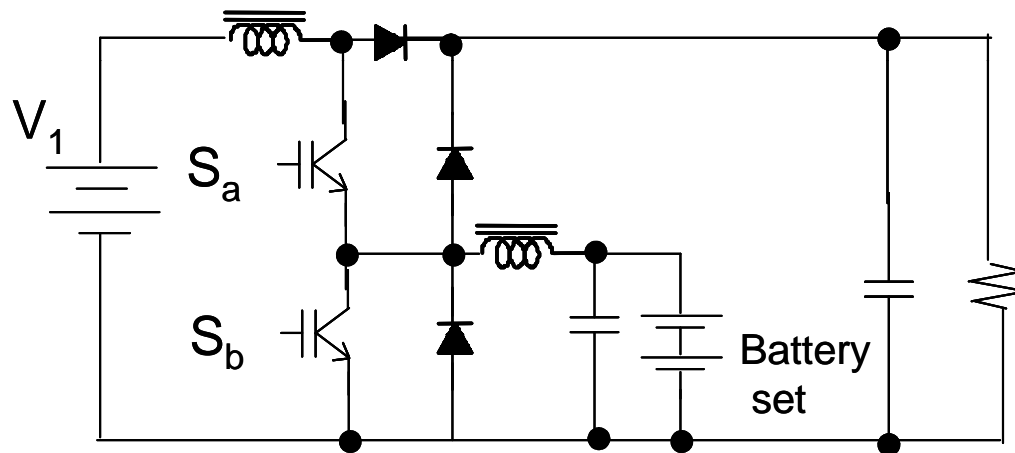
Convertidores de potencia

↪ Esquemas operando como fuente independiente



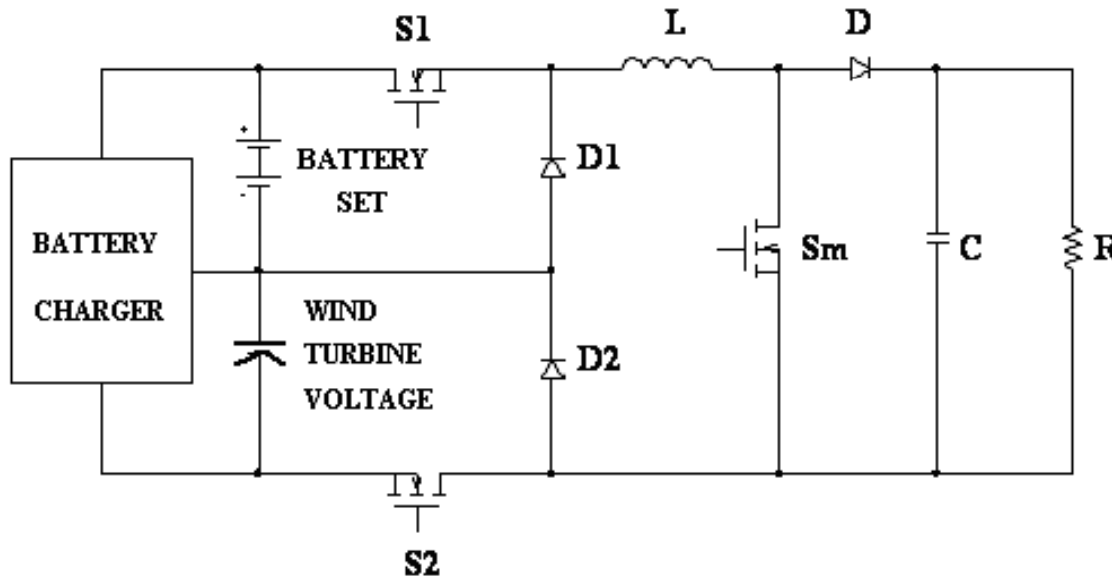
Convertidores de potencia

↪ Esquemas operando como fuente independiente



Convertidores de potencia

Propuesto en ITC

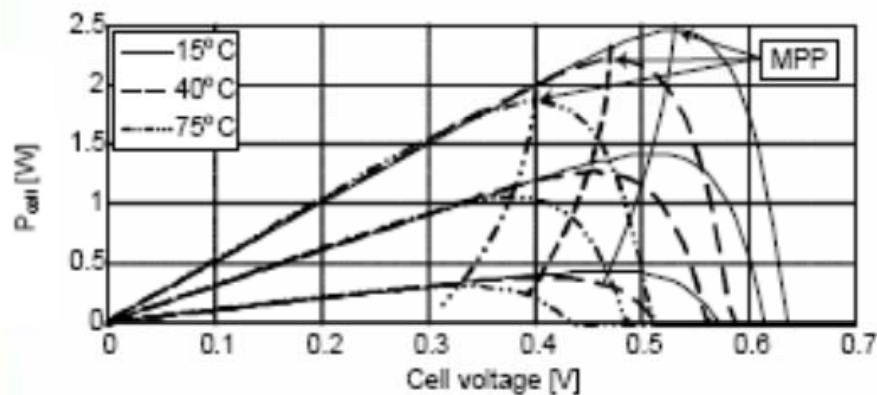
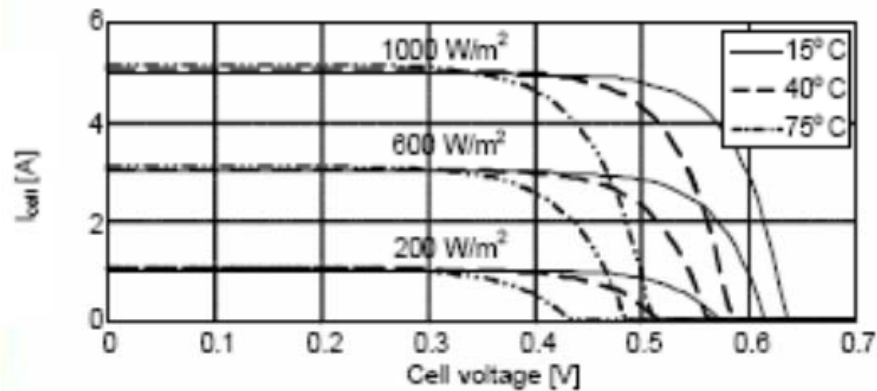


✓ La energía puede ser de:

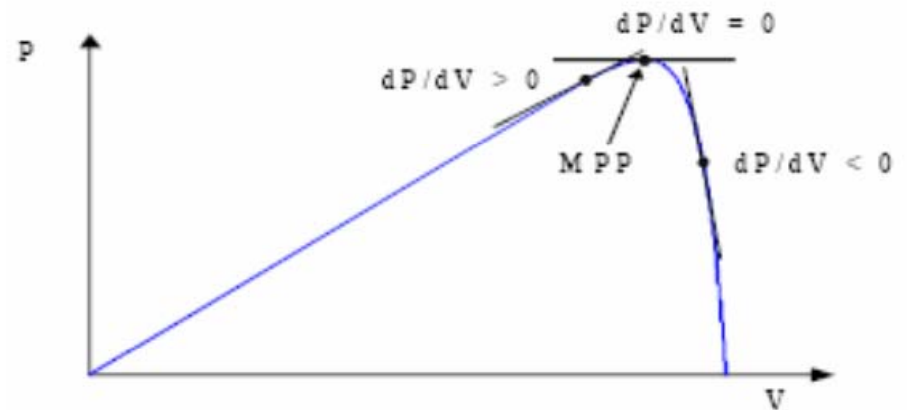
Baterías
Fuente renovable
Ambas

Otros temas

↻ Seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT)



- ✓ Perturbación y observación
- ✓ Conductancia incremental
- ✓ Voltaje constante
- ✓ Otros



Otros temas

↪ Sincronización y monitoreo

- ✓ Norma IEC 61727, IEEE 929 e IEEE 1574
 - Fuera de rango de frecuencia: desconexión en 0.2s
 - $FP > 0.85$ si la potencia es mayor al 10%
- ✓ Métodos
 - Detección de cruce por cero filtrado (ZCD)
 - PLL (transformadas DQ)

Otros temas

↩ Control en modo corriente

- ✓ Norma IEC 61727 (draft), IEEE 929

Table 1—Distortion limits as recommended in IEEE Std 519-1992 for six-pulse converters

Odd harmonics	Distortion limit
3 rd _9 th	< 4.0%
11 th _15 th	< 2.0%
17 th _21 st	< 1.5%
23 rd _33 rd	< 0.6%
Above the 33 rd	< 0.3%

- THD < 5% (total)
- PI tiene problemas de magnitud y fase
- Feedforward mejora el desempeño

Otros temas

↩ Anti-islanding

- ✓ Norma IEC 61727 (draft), IEEE 929

Table 2—Response to abnormal voltages

Voltage (at PCC)	Maximum trip time ¹
$V < 60$ ($V < 50\%$)	6 cycles
$60 \leq V < 106$ ($50\% \leq V < 88\%$)	120 cycles
$106 \leq V \leq 132$ ($88\% \leq V \leq 110\%$)	Normal operation
$132 < V < 165$ ($110\% < V < 137\%$)	120 cycles
$165 \leq V$ ($137\% \leq V$)	2 cycles

¹“Trip time” refers to the time between the abnormal condition being applied and the inverter ceasing to energize the utility line. The inverter will actually remain connected to the utility to allow the inverter to sense utility electrical conditions for the “reconnect” feature.

Otros temas

↻ Problemas de los sistemas fotovoltaicos



Fig. 12: Some dirt stays after a heavy rainfall (ewz)



Fig. 13: Bird dropping stays after a heavy rainfall (ewz)

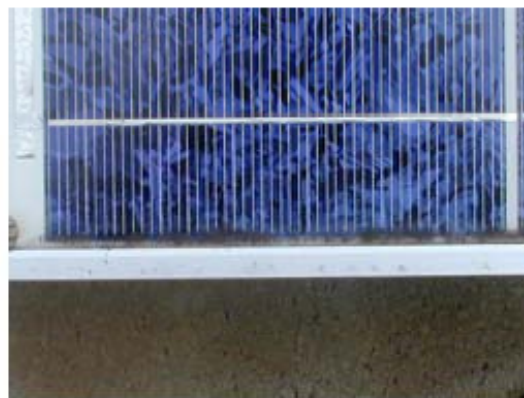


Fig. 14: Dirt accumulation above the frame (ewz).



Fig. 15: This laminate is free of dirt (ewz).

Otros temas

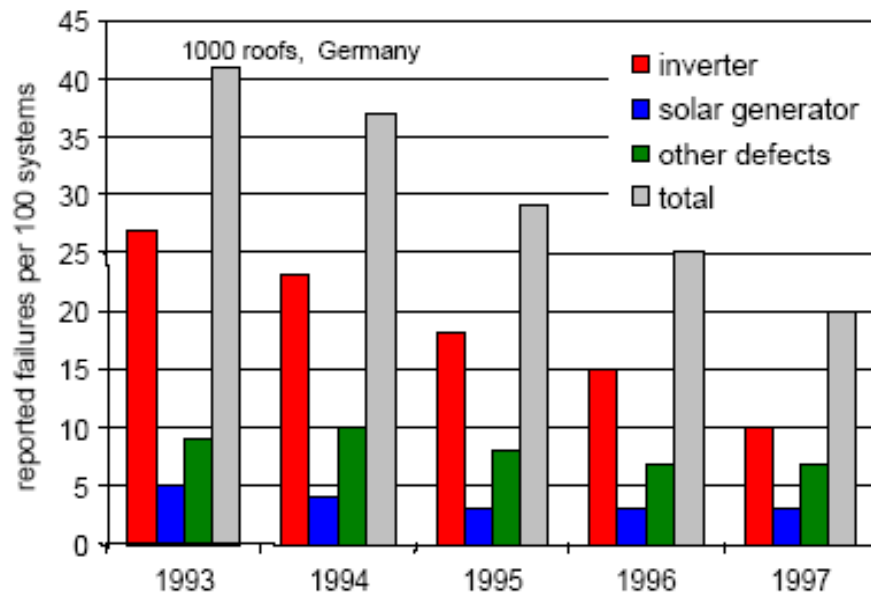
Problemas de los sistemas fotovoltaicos

Table IV: defects and deficiencies found by inspections of 200 »1000-Roofs-Programme« PV systems

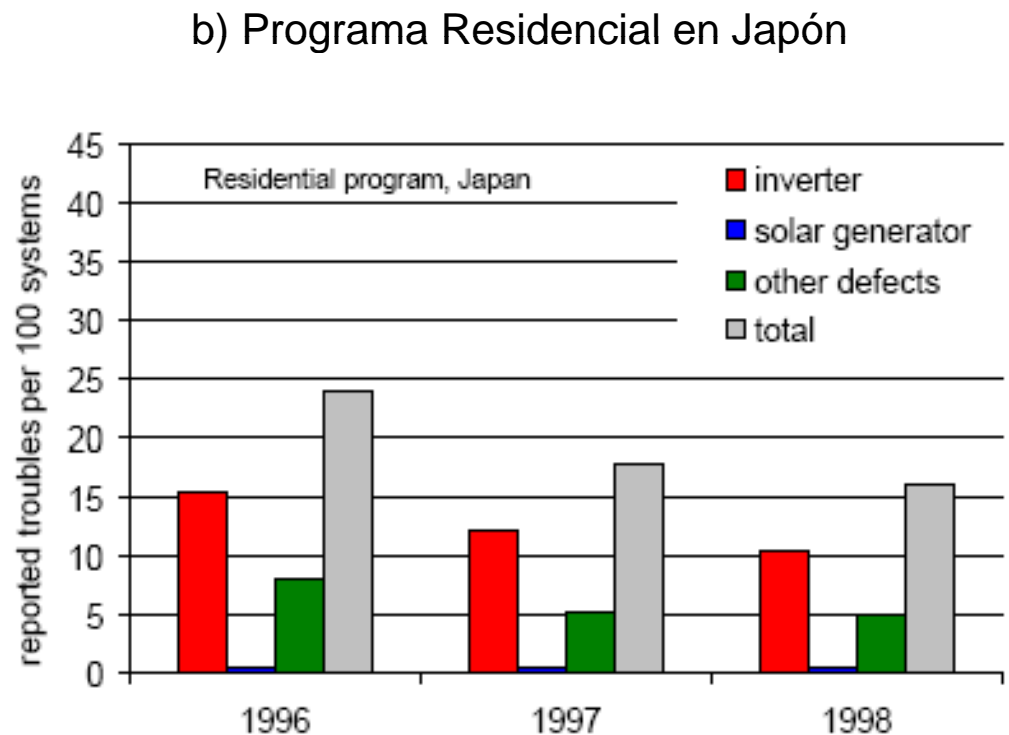
problems during operation	fraction of systems affected
corrosion and defects in mounting structure	19 %
moderate to strong soiling of modules	12 %
defect string fuses	4 %
faulty modules (broken glass, open circuits, discoloration)	< 2 %
defect string diodes	< 2 %
corroded plug/receptacle connectors	1 %
defect overvoltage protection devices	< 1 %

Otros temas

Problemas de los sistemas fotovoltaicos



a) Programa "1000 Roofs" en Alemania



Conclusiones

- ↪ Energía renovable
 - ⇒ Sistemas fotovoltaicos
- ↪ Celdas solares
- ↪ Esquemas convencionales
 - ⇒ Co-generación
 - ⇒ Fuente independiente
- ↪ Convertidores de potencia
 - ⇒ Topologías
 - ⇒ Estrategias de control
- ↪ Otros temas
- ↪ Conclusiones

Segundo día virtual (CUDI)

Octubre 25, 2011.

“Sistemas fotovoltaicos y la electrónica de potencia”

*Nimrod Vázquez Nava
Profesor-Investigador
n.vazquez@ieee.org*

I.T.Celaya

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CELAYA
AV. TECNOLÓGICO Y A. G. CUBAS S/N
CELAYA, MÉXICO. C.P. 38010