

**LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y LA MATRIZ  
ENERGÉTICA  
EN LA INDUSTRIA DE PROCESOS.**

**ASIGNATURA TECNOLOGÍA Y SERVICIOS  
INDUSTRIALES.**

**ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.**

**Curso 2011- Prof. Acad. Ing. RAÚL R. PRANDO**

# CONTENIDO

- Definición.
- Intensidad y potencia.
- Semiconductores Intrínsecos.
- Semiconductores Extrínsecos.
- Esquemas.
- Configuraciones.
- Paneles Solares PV Comerciales.
- Caracterización.
- Por qué emplear Paneles PV?
- Dimensionado de Instalaciones PV.
- Bibliografía.

# SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO, PV.

- *Convierte* directamente la *energía solar radiante en electricidad* mediante la *conversión fotoeléctrica* empleando las llamadas *células fotovoltaicas*.
- Éstas, utilizan *láminas delgadas de un material semiconductor* (sustancia con una resistividad comprendida entre  $10E4$  y  $10E-3$  ohmios cm), por lo general Silicio, en la que se ha formado *una unión p-n impurificando con compuestos químicos diferentes sus dos caras* a las que se sueldan mallas metálicas (una en la cara n y, otra, en la p) que permiten conectarla a un circuito exterior.
- Mediante esta *unión p-n se establece una diferencia de potencial* que, al *recibir la radiación solar incidente, liberan electrones* que, cuando se cierra el circuito exterior, *generan una corriente eléctrica*, I, en amperios.

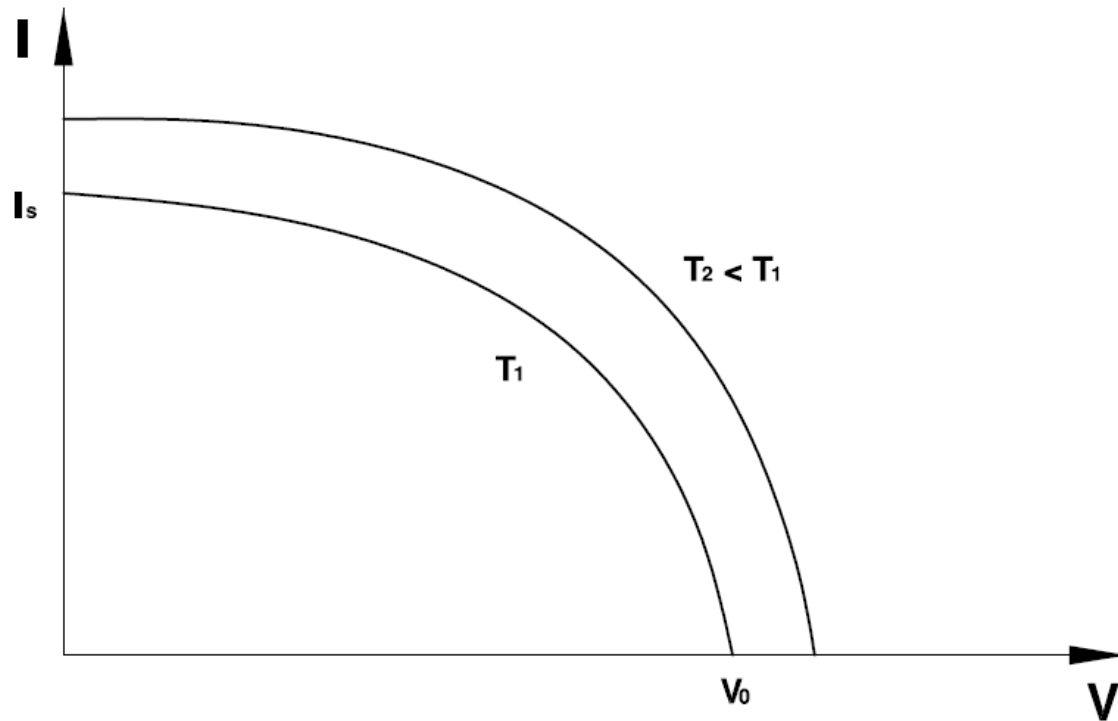
# INTENSIDAD Y POTENCIA ELÉCTRICA GENERADA

- La *intensidad  $I$  de corriente generada*, está dada por la siguiente ecuación:

$$I = I_s - I_o [ eE(a - 1) ]$$

- $I_s$ : intensidad de corriente de cortocircuito
  - $I_o$ : intensidad de corriente máxima
  - $e$ : base de los logaritmos neperianos
  - $a = qe(V - R.I)/k.T$ 
    - $qe$ :  $1.60 \times 10^{-19}$  culombios, carga del electrón
    - $V$ : tensión en los bornes de la célula, voltios
    - $R$ : resistencia interna de la célula en ohmios
    - $k$ :  $1,38 \times 10^{-23}$  J/o.K, Cte. de Boltzman
    - $T$ : temperatura absoluta de la célula, en grados Kelvin
- La potencia eléctrica generada  $W = V \cdot I$  vatios, será máxima para una radiación solar incidente determinada.
- *Los rendimientos de los sistemas comerciales dependen del tipo de celda empleada, del nivel de radiación, de la temperatura y de otros factores, pudiendo alcanzar valores del 16% como máximo.*

# CURVA CARACTERÍSTICA V-I



- La intensidad y potencia suministradas, para una tensión dada, disminuye a medida que la temperatura de la célula aumenta.
- La tensión de vacío,  $V_0$  puede ser importante (siempre es mayor que la de trabajo de la célula) por lo que deben establecerse medidas de seguridad para evitar contactos directos. En efecto

$$V_0 = \frac{kT}{qe} \ln \left[ \frac{I_s}{I_0} + 1 \right]$$

# SEMICONDUCTORES INTRÍNSECOS.

- Comprenden algunos *elementos químicos*, tales como *Silicio* y *Germanio*, y *ciertas sales*, tales como el *fosforo de galio*, *sulfuros de cadmio* y *de zinc*.
- Se caracterizan porque en sus átomos, los *electrones de valencia están poco ligados* y uno de ellos *puede ser liberado al incidir un fotón con energía superior al valor umbral*.
- Al liberarse un electrón se crea automáticamente una carga positiva (hueco de electrón); el electrón liberado se mueve en el interior del semiconductor hasta que encuentra un hueco, neutralizándose entre sí en un régimen en equilibrio dinámico.
- Al ser *expuestos a la radiación solar*, los *fotones incidentes* con *energía suficiente son absorbidos* y liberan su energía *transfiriéndosela a los electrones que pasan a la banda de conducción*. Se crean así pares electrón-hueco los que deben ser separados y llevados a los extremos del semiconductor para alimentar un circuito externo.

# SEMICONDUCTORES EXTRÍNSECOS.

- Son *semiconductores intrínsecos impurificados* (dopados) *con* pequeñas cantidades de *ciertos elementos*, que *alteran* la *uniformidad de la malla cristalina* en aquellos puntos en que los átomos del semiconductor han sido sustituidos por átomos de la impureza agregada.
- Se distinguen *dos tipos de semiconductores extrínsecos*:
  - ✓ *Tipo n.* Semiconductores en los que la *impureza añadida tiene 5 electrones de valencia* (ej. Si dopado con Sb o P). El hecho de incluir un átomo de 5 electrones, en la malla tetraédrica de Si hace que el *5to electrón quede libre fácilmente* con pequeños aportes de energía creándose los correspondientes huecos positivos.
  - ✓ *Tipo p.* Son los *semiconductores dopados* con *elementos* que sólo tienen *3 electrones de valencia* (Ej. Si dopado con B, Ga, In). Este semiconductor se caracteriza por tener gran número de huecos positivos que participan en la conducción eléctrica.

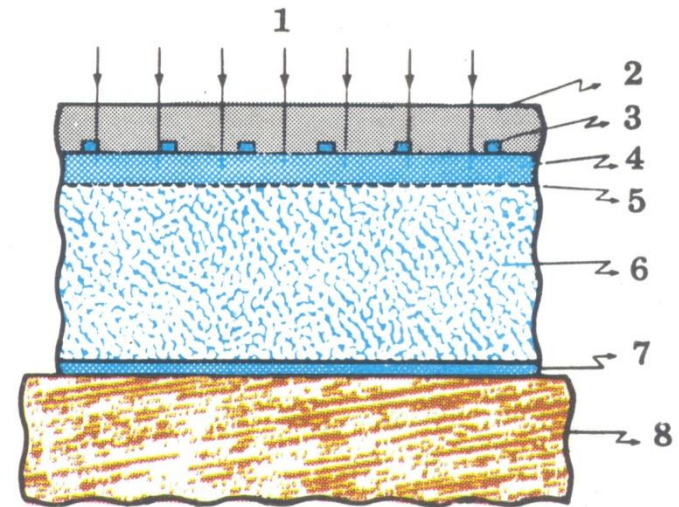
# ESQUEMA DE UNA CÉLULA FOTOVOLTAICA.

- *Juntando un semiconductor n con uno p, se tiene una unión p-n* y, en esta estructura, *los electrones migran hacia p* y los huecos migran en sentido contrario. El *conjunto es neutro* pero *aparece una diferencia de potencial*: la zona p tiene un potencial negativo y la n uno positivo.
- El *voltaje generado* en una celda de este tipo es del orden de **0.45V**, por lo que *deben conectarse en serie* para obtener tensiones de aplicación (12 V).
- Los paneles *generan CC a una tensión de 12V* o un múltiplo entero por lo que *se requiere de un equipo que transforme la CC en CA (Inversor)*.
- La *potencia de salida, depende* del *nivel de la radiación solar incidente*.
- La energía de los fotones depende de su frecuencia *requiriéndose, 1.5 eV* para que, un *electrón, situado en la banda de valencia de un semiconductor de Si, pase a la de conducción*. Los fotones incidentes deben tener una longitud de onda menor a 1.23  $\mu$ m para el Si, por lo que las células solares son capaces de captar cualquier radiación electromagnética en el visible hasta el infrarrojo próximo.



# ESQUEMA DE UNA CÉLULA FOTOVOLTAICA, (Cont.)

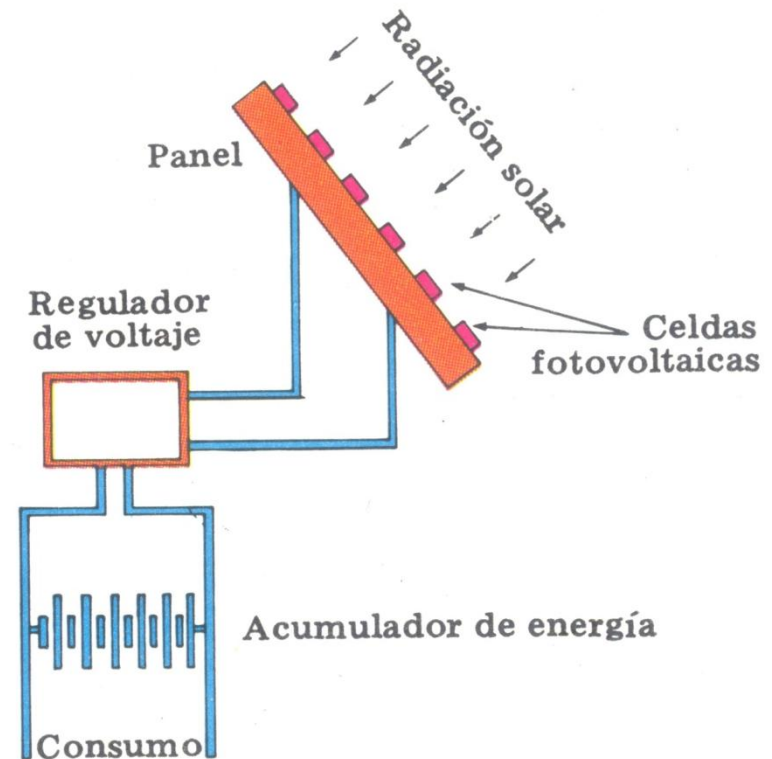
- En la célula de Si, representada en la figura, se destacan dos capas principales que están superpuestas. La superior, capa “n”, está impurificada con P y, la inferior, capa “p”, con B.
- Esta unión crea una diferencia de potencial y por la incidencia de fotones de la radiación solar incidente se liberan electrones que generan la corriente eléctrica ya definida.



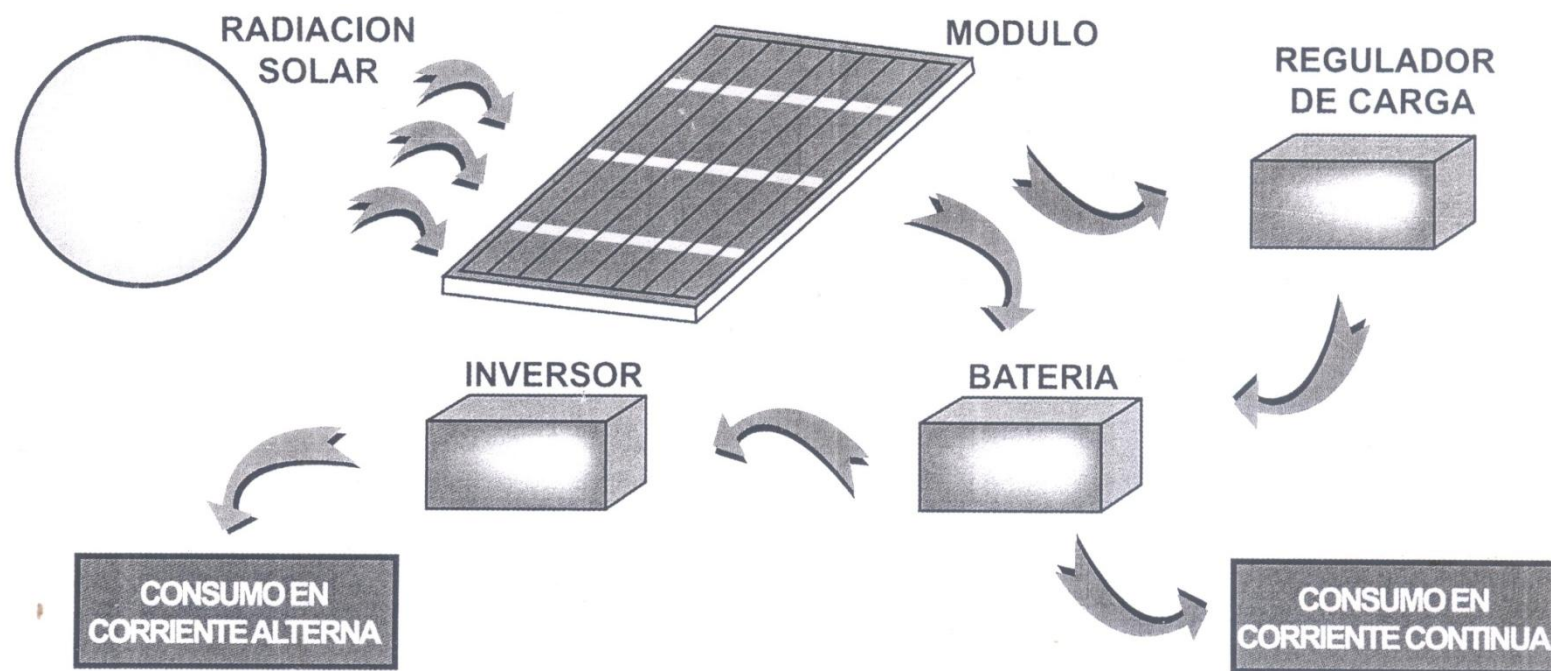
1. Fotones solares
2. Cara antirreflectora
3. Grilla conductora (--)
4. Semiconductor tipo N
5. Unión P-N
6. Semiconductor tipo P
7. Lámina conductora (+)
8. Substrato

# ESQUEMA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.

- Las células solares se montan sobre paneles interconectando los distintos circuitos. Generalmente van encapsulados para proteger a las células y a las interconexiones de factores climáticos adversos.
- La mayoría de los paneles PV se fabrican con Si monocristalino, similar al empleado en computadoras y electrónica; en alternativa, también pueden fabricarse mediante Si policristalino y amorfo. La primera modalidad es la más cara y eficiente; la tercera es la más barata e ineficiente.
- En el generador eléctrico solar esquematizado, puede observarse, además del panel fotovoltaico, un regulador de voltaje y un conjunto de baterías eléctricas de acumulación, las que permiten utilizar la fuente de energía solar en forma continua.



# CONFIGURACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.



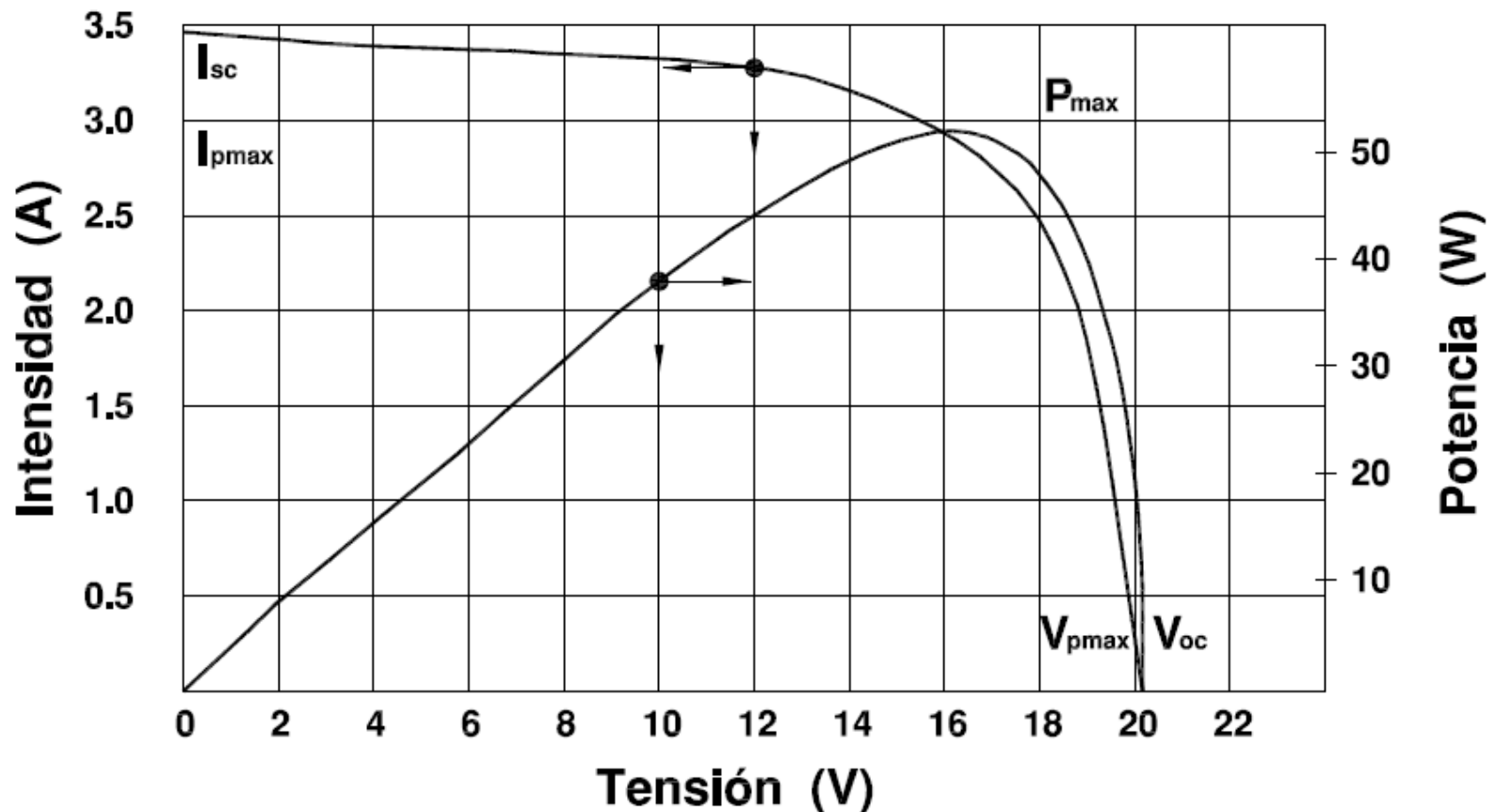
# PANELES SOLARES

## FOTOVOLTAICOS COMERCIALES

- *Formados por células elementales*, dimensiones aproximadas 8 cm x 10 cm *agrupadas formando conjuntos* con áreas normalmente comprendidas entre  $0.34 \text{ m}^2$  y  $1 \text{ m}^2$  con una *potencia nominal del orden de  $117 \text{ W/m}^2$* .
- *Comercialmente*, los fabricantes *proporcionan* la *Potencia Pico: potencia máxima* que suministra el panel trabajando a  $25^\circ \text{ C}$ , bajo una *radiación solar estándar incidente de  $1000 \text{ W/m}^2$*  y *normal a la superficie del panel*.
- Este *dato se determina experimentalmente* en un banco de ensayos homologado y se indica como *Wp, Watios pico Ahp, Amperios hora pico*.
- Para lograr las *potencias requeridas*, se *agrupan células elementales en serie* (tensión habitual media de 12 V) y *grupos de éstas en paralelo*.

# CARACTERIZACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS COMERCIALES.

- Se especifica mediante dos curvas características, a saber: curva Tensión/Intensidad y curva Tensión/Potencia.



# POR QUÉ CONSIDERAR EL EMPLEO DE PANELES PV?

- *No usan combustible*; no requieren instalaciones en el sitio de uso y *no tienen partes móviles*.
- Sus componentes con una *vida útil prolongada* (los módulos que convierten E solar en electricidad tienen más de **20 años garantidos**) y el *módulo que convierte la DC en AC* puede remplazarse a *bajo costo*.
- Los *precios actuales* de los módulos PV oscilan entre **U\$S 2/W y U\$S 3/W**.
- El primer cliente residencial que se acogió (12/2010) al mecanismo de Microgeneración de UTE es de Maldonado; dispone de paneles fotovoltaicos inclinados 45° y estima que generará promedialmente 2 MWh.año  $\Leftrightarrow$  167 kWh mensuales.

# DIMENSIONADO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.

- Estimar la *demanda de energía* eléctrica a lo largo *del día* y *del año* y *optar por la curva* correspondiente **al día en que sea máxima.**
- Escoger la *orientación e inclinación de los paneles* que sean *óptimas para el sitio.*
- *Estimar la radiación solar global diaria en media mensual en el sitio* teniendo en cuenta la orientación y la inclinación de paneles elegidas.
- *Calcular la superficie teórica requerida de paneles* solares fotovoltaicos suponiendo que su rendimiento es independiente de la radiación incidente y, a partir de ella, calcular la real utilizando el *rdto. global del campo de colectores* estimado.

# DIMENSIONADO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA, Cont.

- Como los catálogos proporcionan la potencia o la intensidad pico para una radiación de  $1000 \text{ W/m}^2$ , **calcular el número de horas de potencia pico equivalente de la radiación diaria** en el **mes de mínima radiación solar** (Ésta debe ser inferior al número de horas diarias de insolación a  $1000 \text{ W/m}^2$ ).
- Afectar a la instalación de paneles prevista con un **rendimiento global**, que cubra ineficiencias de los paneles, acumulación, regulador e inversor (**se sugiere adoptar 70%**).
- De **acumularse energía** para **cubrir la demanda en días nublados**, **multiplicar la superficie estimada por el número de días nublados consecutivos** estadísticamente más frecuente en el sitio de la instalación.
- **Estimar la capacidad de acumulación de energía en el banco de baterías de reserva**. Tener presente el **rendimiento de acumulación, 90%** y la necesidad de **no superar una tasa de agotamiento de aquéllas del 50%**; en consecuencia afectar el valor requerido por un **rendimiento global de 45%**



# BIBLIOGRAFÍA.

- Energía Solar, Lluís Jutglar, Ceac, 2004, España.
- [www.solartec.ar](http://www.solartec.ar)
- [www.energiasrl.com.uy](http://www.energiasrl.com.uy)
- [www.renovables.com.uy](http://www.renovables.com.uy)
- Energía Solar fotovoltaica; Aplicaciones en Uruguay-  
Abastecimiento de agua a pequeñas localidades y escuelas  
rurales. OSE, Mesa Solar, Agosto 2010.