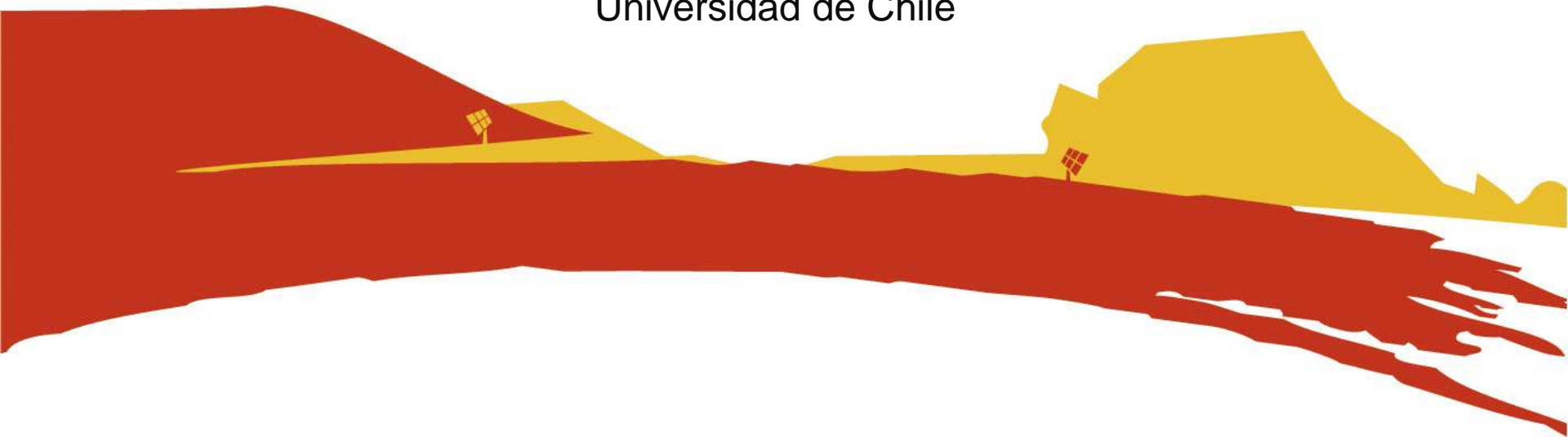




Energía Solar y Chile:

Módulo 2: Conversión Solar y Retscreen

Prof. Roberto Román L.
Universidad de Chile



Temario:

Módulo 1: Recurso Solar e Introducción a la Conversión Solar.

Geometría Tierra-Sol; Influencia de Atmósfera; Datos de radiación solar; Métodos de conversión de la energía solar.

Módulo 2: Sistemas Solares y Retscreen. Conversión Termosolar; Conversión Directa; Introducción a Retscreen.

Módulo 3: Aplicación de Retscreen. Ejercicios de aplicación de Retscreen a un sistema de colectores solares térmicos; un sistema fotovoltaico fuera de red y un sistema FV conectado a red.

Módulo 2: Conversión Solar y Retscreen

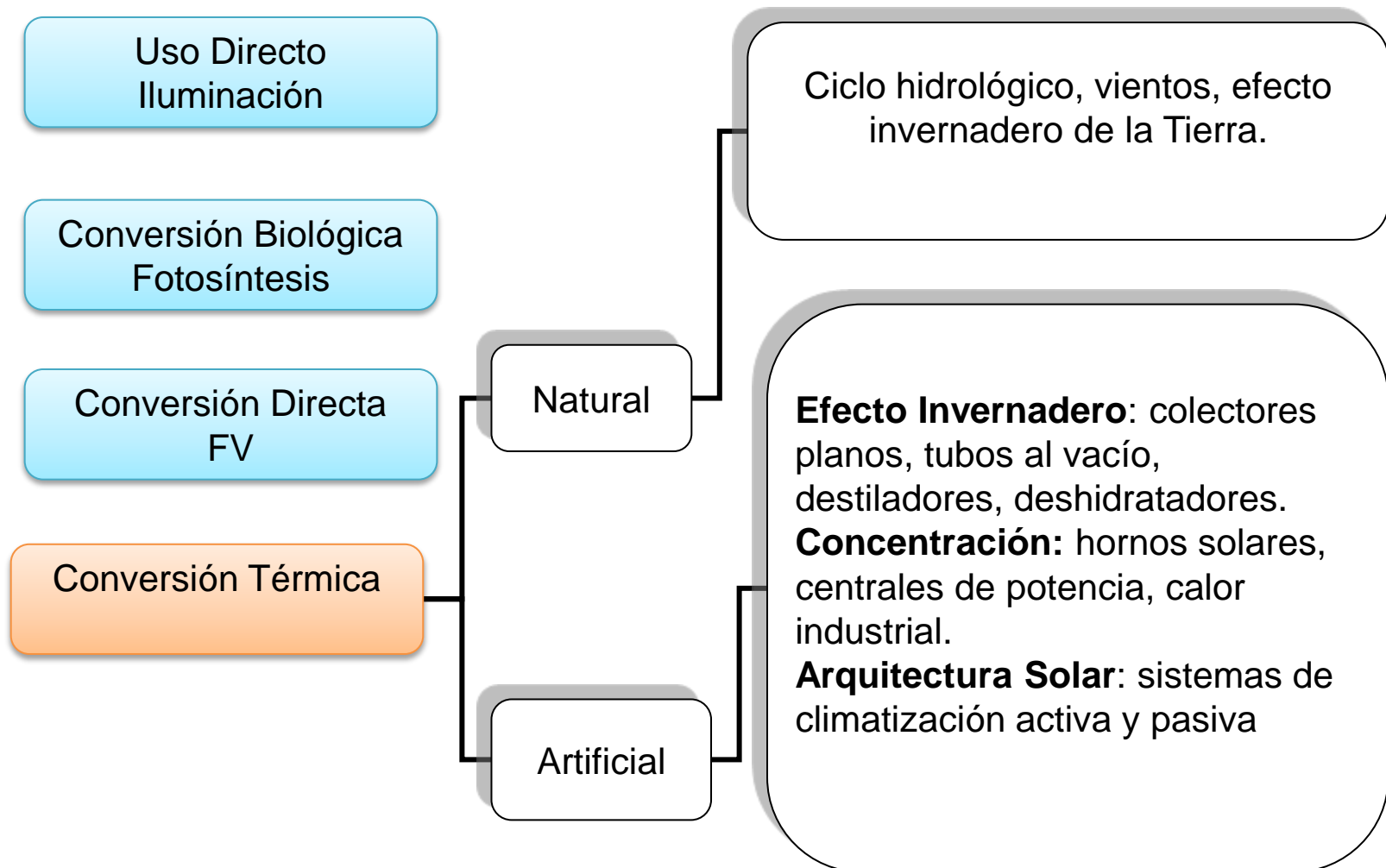
Conversión Térmica: principios de conversión térmica

Conversión Termosolar: Sistemas de foco lineal, sistemas de foco puntual. Estado actual de la tecnología.

Conversión directa: fenómenos básicos de conversión FV.

Retscreen: un programa de apoyo para el diseño de sistemas solares.

Conversión de la Energía Solar



Funcionamiento Colector Solar Térmico

- Es básico comprender que:
 - **Eficiencia óptica:** No toda la energía solar incidente es utilizable. Solo la absorbida.
 - **Pérdidas Térmicas:** Dentro de las pérdidas térmicas, lo más importante es la *radiación*, luego las pérdidas por *convección* y finalmente las por *conducción*.
 - **Energía útil:** es la diferencia entre energía absorbida y las pérdidas térmicas.
 - **Rendimiento:** Es el cociente entre la energía útil y la incidente.

Funcionamiento Colector Solar

En un sistema solar térmico, en régimen **permanente**, se produce un balance de energía entre la que incide sobre el sistema captor y la que este mismo sistema aprovecha y pierde hacia el medio ambiente. Esto lo podemos plantear desde el punto de vista matemático como:

$$\alpha \cdot \tau \cdot E = Q_{util} + Q_{rad} + Q_{conv} + Q_{cond}$$

Energía absorbida Energía útil Pérdidas Térmicas

Esta ecuación simplemente nos dice que la energía que absorbe el sistema captor (y por lo tanto está afecta a las pérdidas ópticas de transmisión y absorción), debe ser igual a las pérdidas por convección, conducción y radiación, más la energía útil.

Funcionamiento Colector Solar

- El término de la izquierda representa la radiación absorbida, siendo E la incidente y el término $\alpha \cdot \tau$ representa el cociente absorción-transmisión de la radiación solar entre cubierta transparente y superficie absorbente. Si además se usara un espejo (reflector) sería necesario incorporar el coeficiente de reflexión (ρ) del material reflectante.

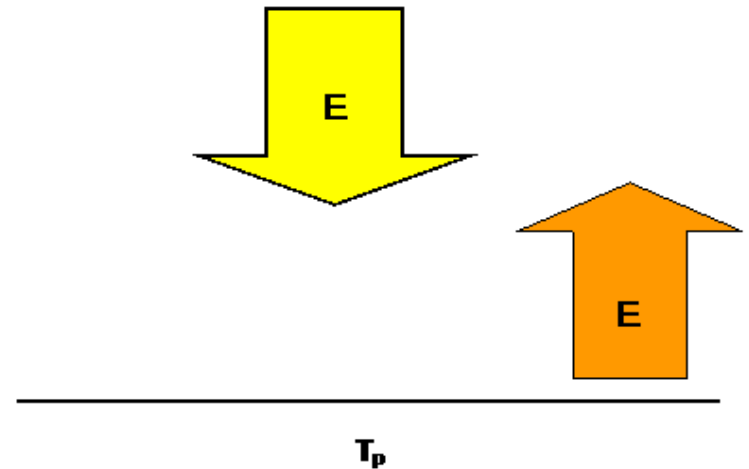
$$\eta = \frac{Q_{util}}{E} = \frac{\alpha \tau E - Q_{perd}}{E}$$

Funcionamiento Colector Solar

- Las pérdidas de calor por conducción y convección tienden a ser lineales con la diferencia de temperatura con el ambiente.
- En cambio las pérdidas de calor por *radiación* crecen con la cuarta potencia de la diferencia de temperaturas entre la superficie absorbente y el medio radiante que la rodea. Esto hace que crezcan muy rápido pasadas ciertas diferencias de temperatura.
- Primero explicaremos en detalle como funciona el efecto invernadero.

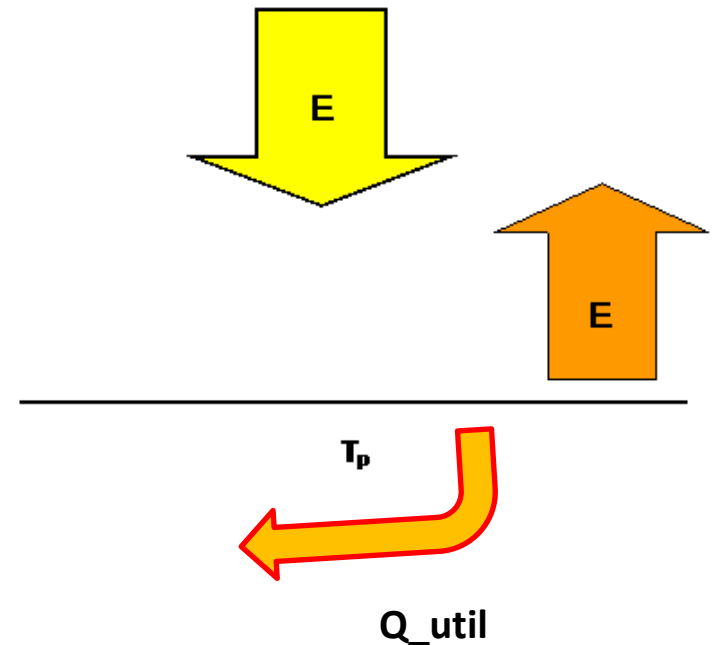
Funcionamiento Colector Solar

- En el colector plano, se tiene una superficie captora que a la vez está recubierta de una superficie transparente para reducir las pérdidas térmicas por el frente. Esta típicamente aprovecha el *efecto invernadero*.
- Antes comprendamos como funciona una superficie negra expuesta al sol:
- Si solo hubiera intercambio por radiación, la superficie negra absorbe radiación solar y se calienta hasta que, al límite emite la misma energía que absorbe.
- Pero *absorbe* en el espectro solar y *emite* en el IR térmico.



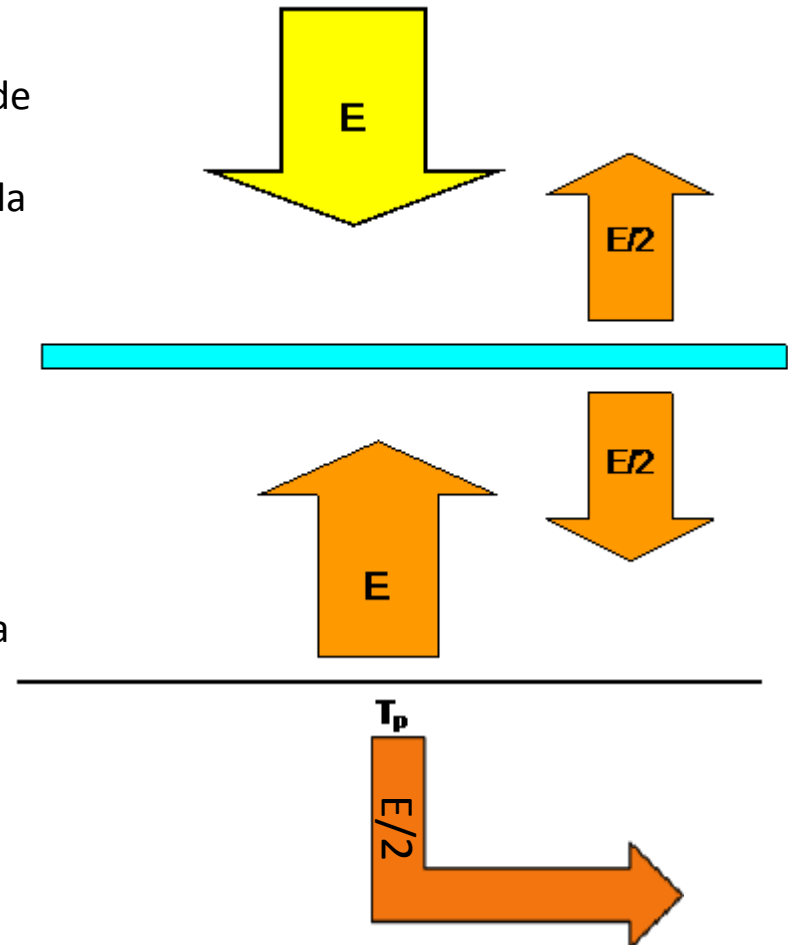
Funcionamiento Colector Solar

- En un colector tan sencillo uno podría extraer energía con la condición de lo que uno extrae más las pérdidas sea igual a lo que absorbe.
- Por lo tanto para sacar energía, no se podría calentar tanto como si uno deje que llegue a la *estagnación*.
- Se llama temperatura de *estagnación* de un sistema térmico cuando se deja calentar hasta que las pérdidas sean igual a lo que se absorbe.



Funcionamiento Colector Solar

- En el *efecto invernadero* la superficie de vidrio absorbe la radiación en onda larga que emite la placa absorbente y la vuelve a emitir por ambas caras.
- Lo que se reemite hacia el fondo se vuelve a absorber, con lo cual las pérdidas por radiación se reducen a la mitad.
- El efecto neto es que es posible alcanzar mayores temperaturas antes de que las pérdidas térmicas igualen la ganancia solar



Funcionamiento Colector Solar

Por lo tanto la ecuación básica de un colector solar térmico en régimen permanente está descrita por:

$$\underbrace{\alpha \cdot \tau \cdot E}_{\text{Energía absorbida}} = \underbrace{Q_{util}}_{\text{Energía útil}} + \underbrace{Q_{rad} + Q_{conv} + Q_{cond}}_{\text{Pérdidas Térmicas}}$$

Esto es válido para cualquier sistema térmico. La única condición especial es que se trata de régimen permanente.

Funcionamiento Colector Solar

Cada una de estas pérdidas es aproximadamente igual a:

$$Q_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_p^4 - T_a^4)$$

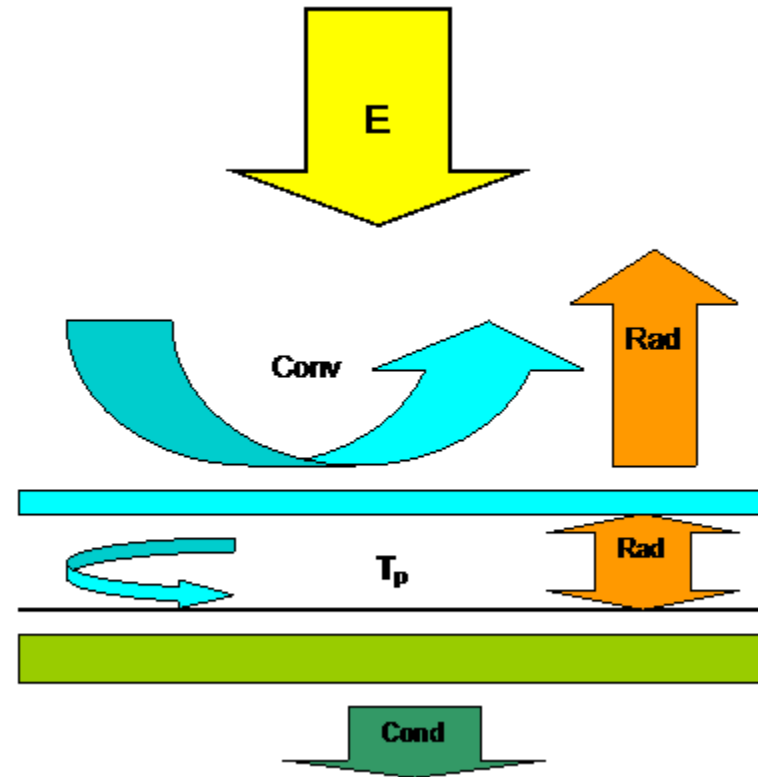
$$Q_{conv} = K (T_p - T_a)$$

$$Q_{cond} = \frac{\lambda}{e} \cdot (T_p - T_a)$$

Las pérdidas radiativas crecen con la cuarta potencia de la diferencia de temperatura (absoluta) entre el sistema absorbente y el ambiente. Las demás pérdidas tienden a ser lineales con la diferencia de temperatura con el ambiente.

Funcionamiento Colector Solar

- La cubierta transparente permite reducir las pérdidas por convección hacia el exterior y las pérdidas por radiación. Si aislamos el fondo y costados, además se reducen las pérdidas por conducción.
- En este caso el mecanismo dominante de pérdidas para temperaturas altas de receptor pasa a ser la *radiación*.
- Por lo tanto para tener alta performance a temperaturas elevadas, se hace necesario reducir las pérdidas al máximo.



Funcionamiento Colector Solar

- En los típicos sistemas planos, uno actúa sobre la parte *derecha* de la ecuación, es decir todas las mejoras técnicas buscan reducir las pérdidas térmicas de manera de maximizar la energía útil. Es así como se han desarrollado colectores con cubierta plana, mejores superficies absorbentes, superficies selectivas y muchas otras estrategias para reducir las pérdidas de energía.
- Pero en cualquier sistema plano no podemos desmarcarnos del hecho de que la radiación incidente sobre el sistema captor será, en el mejor de los casos, del orden de $1.000 \text{ [W/m}^2\text{]}$ y que por cada metro cuadrado de sistema captor vamos a tener un metro cuadrado de sistema receptor.
- Con las técnicas más sofisticadas de reducción de pérdidas térmicas, en la práctica no podemos fabricar sistemas que operen con rendimiento aceptable a temperaturas muy superiores a los 100°C .

Funcionamiento Colector Solar

En régimen permanente se puede simplificar la descripción de funcionamiento del colector solar. Se usa típicamente la ecuación de Hötzel y Woertz:

$$\eta = F_R \left[\alpha\tau - U_L \frac{(T_i - T_a)}{E} \right]$$

Diagram illustrating the components of the Hötzel and Woertz equation for solar collector efficiency:

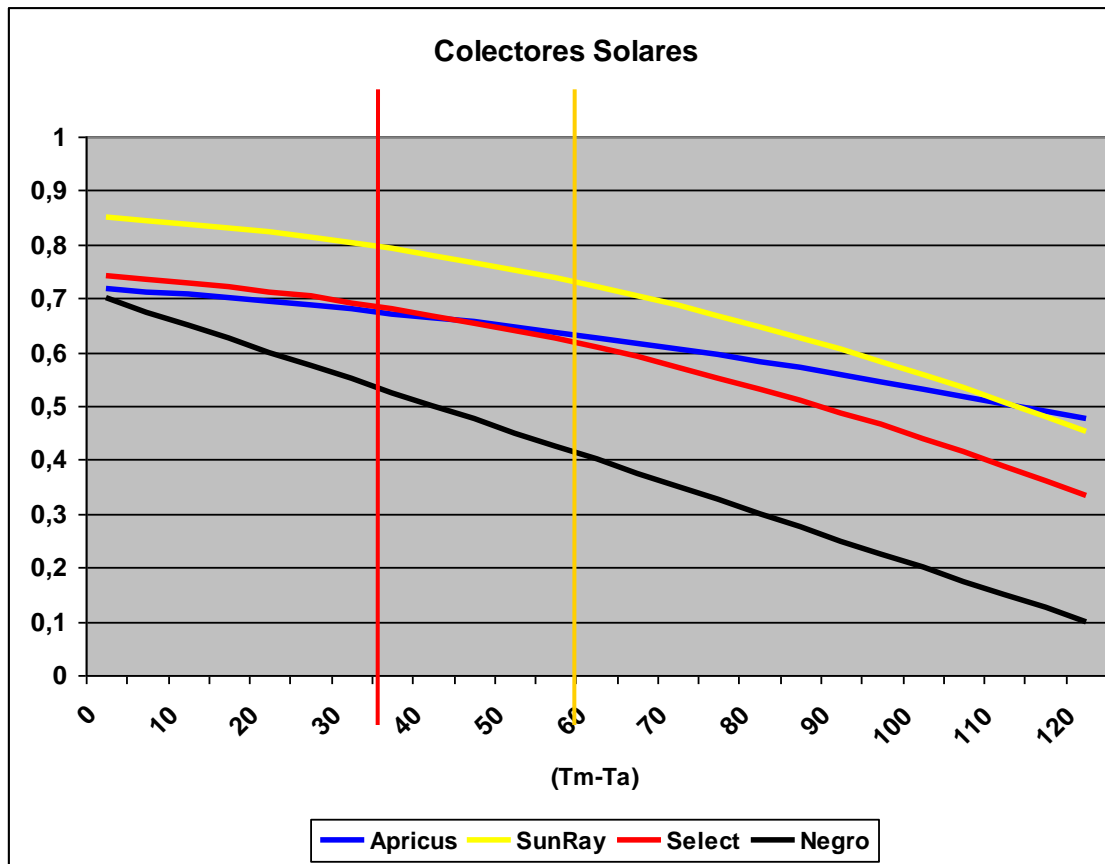
- η : rendimiento
- F_R : Factor de Remoción de calor
- $\alpha\tau$: Eficiencia óptica
- U_L : Factor de Pérdidas Térmicas
- $(T_i - T_a)$: Diferencia de temperatura entre fluido de ingreso y ambiente
- E : Diferencia de temperatura entre fluido de ingreso y ambiente

A medida que la diferencia de temperatura entre el fluido que entra al sistema y el ambiente aumenta, el rendimiento decrece.

El rendimiento de un colector dependerá de dos *variables*: la intensidad de radiación solar y la diferencia de temperatura entre el colector y el ambiente. Y también de dos *parámetros*: el factor de remoción de calor y el factor de pérdidas térmicas.

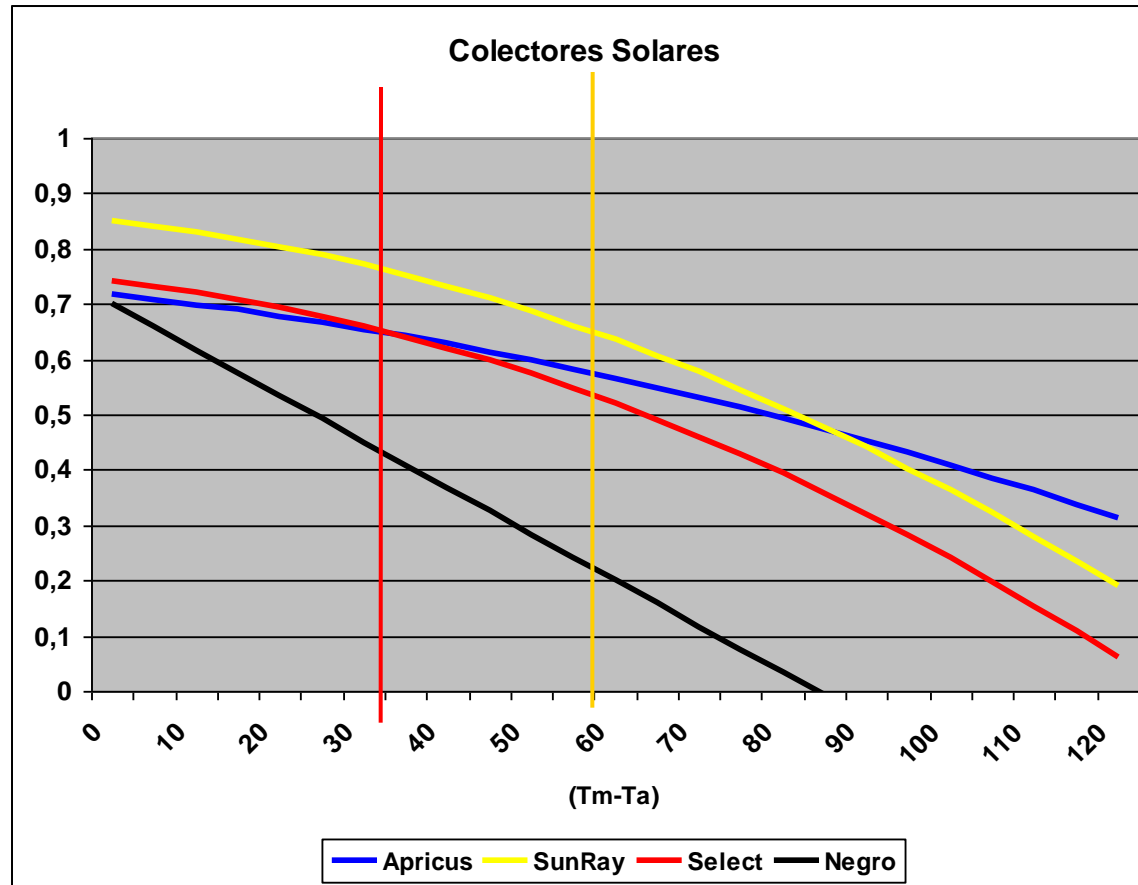
Funcionamiento Colector Solar

- El colector plano se caracteriza por una *curva* de rendimiento que se obtiene para condiciones standard. Aquí con 1000 W/m² de insolación.



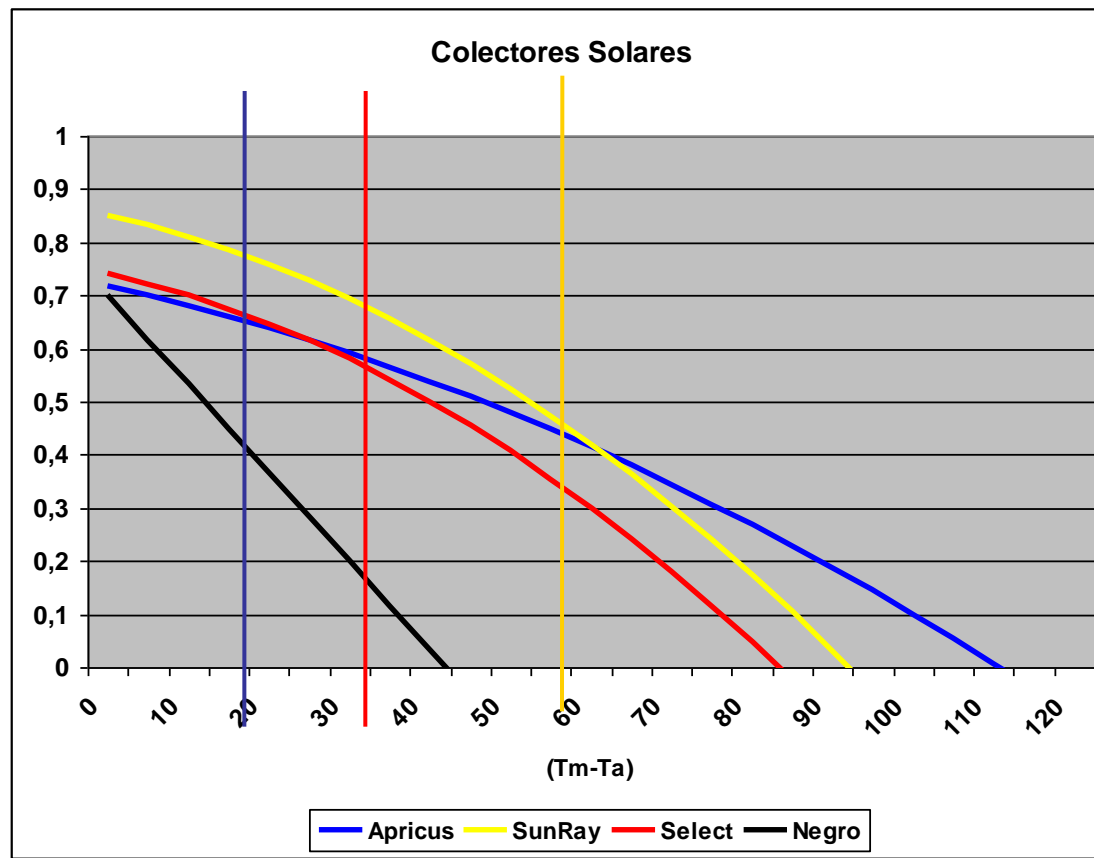
Funcionamiento Colector Solar

- El colector plano se caracteriza por una *curva* de rendimiento que se obtiene para condiciones standard. Ahora con 600 W/m² de insolación.



Funcionamiento Colector Solar

- Y en este caso, tenemos los mismos colectores, pero con insolación de solo 300 W/m²



Rendimiento de Colector Térmico

El rendimiento de un colector térmico es función de:

- Las características *ópticas* del colector. Es decir cuanta de la radiación solar incidente es capaz de absorber. Es decir del producto: $\alpha\tau$ (absorción transmisión).
 - Si se tratase de un sistema con espejos, este producto sería $\alpha\tau\rho$ absorción-transmisión-reflexión.
 - Las características *térmicas* del colector. Es decir cuan rápido aumentan las pérdidas térmicas a medida de que la temperatura de trabajo aumenta.
 - Y de la intensidad de la radiación incidente.
- En general, a mayor intensidad de radiación incidente, mejor rendimiento para la misma temperatura de trabajo.

Funcionamiento Colectores Solares

Sistemas Estáticos:

- **Colectores planos:** estáticos, con superficie absorbente negra o selectiva. Tamaños de 1 a 2,5 m² o más por módulo. Es la tecnología más madura. Amplia variedad de productos y calidades en el mercado.
- **Colectores de tubo evacuado:** una serie de tubos en paralelo que tienen vacío dentro del envoltorio y una superficie absorbente selectiva. No toda la periferia del tubo es activa. La industria China hoy fabrica los de menor precio. Mucho fabricante europeo integra tubos evacuados Chinos a sistemas europeos.
- **Colectores CPC:** con Concentradores Parabólicos Compuestos. La superficie absorbente son aletas que reciben radiación por ambas caras. Buena eficiencia óptica. Siempre usan superficies selectivas. Muy buenos resultados, tecnología madura y a precios competitivos con los colectores planos. Menos fabricantes.

Sistemas de ACS de pequeña y mediana escala

Para esta aplicación, se utilizan básicamente dos tecnologías de colector, los *planos* y los de *tubo evacuado*. Veamos sus características fundamentales:

- **Colectores planos:** estáticos, con superficie absorbente negra o selectiva. Tamaños de 1 a 2,5 m² por módulo. Es una tecnología madura. Amplia variedad de productos y calidades en el mercado.
- **Colectores de tubo evacuado:** una serie de tubos en paralelo que tienen vacío dentro del envoltorio y una superficie absorbente selectiva. No toda la periferia del tubo es activa. La industria China hoy fabrica los de menor precio. Mucho fabricante europeo integra tubos evacuados Chinos a sistemas europeos. Al ser conjuntos de tubos, para la misma superficie activa se usa más superficie bruta. Tienen la ventaja de ser más baratos, operar mejor con menos radiación. Tienen la desventaja de que son capaces de levantar temperaturas muy elevadas. También mucho colector no está certificado.

Sistemas de ACS: Colectores Planos



Para sistemas pequeños (individuales), es común que el colector esté integrado al estanque. El de la imagen opera por *termosifón*. Es decir la circulación de agua entre colector y estanque es por convección natural. También es *presurizado*. Es decir soporta presión de la red. El de la imagen es *indirecto*. Este es de tipo **indirecto**.

Transferencia Térmica Directa o Indirecta

En todo sistema de ACS (Agua Caliente Sanitaria) uno debe distinguir la transferencia de calor, pudiendo ser *directos e indirectos*:

Sistemas Directos: es el agua de la red la que circula por los colectores. Tienen la ventaja de una eficiencia un poco mejor y un menor costo. Pero tienen muchas desventajas:

- Problemas de corrosión e incrustaciones en los colectores.
- Probabilidad de que se congele el agua en los colectores.
- En general **deben evitarse**.

La supuesta ventaja casi 100% de las veces no compensa los problemas de operación y mantención. Solo aplicable en casos muy excepcionales.

Colector Tubos Evacuados

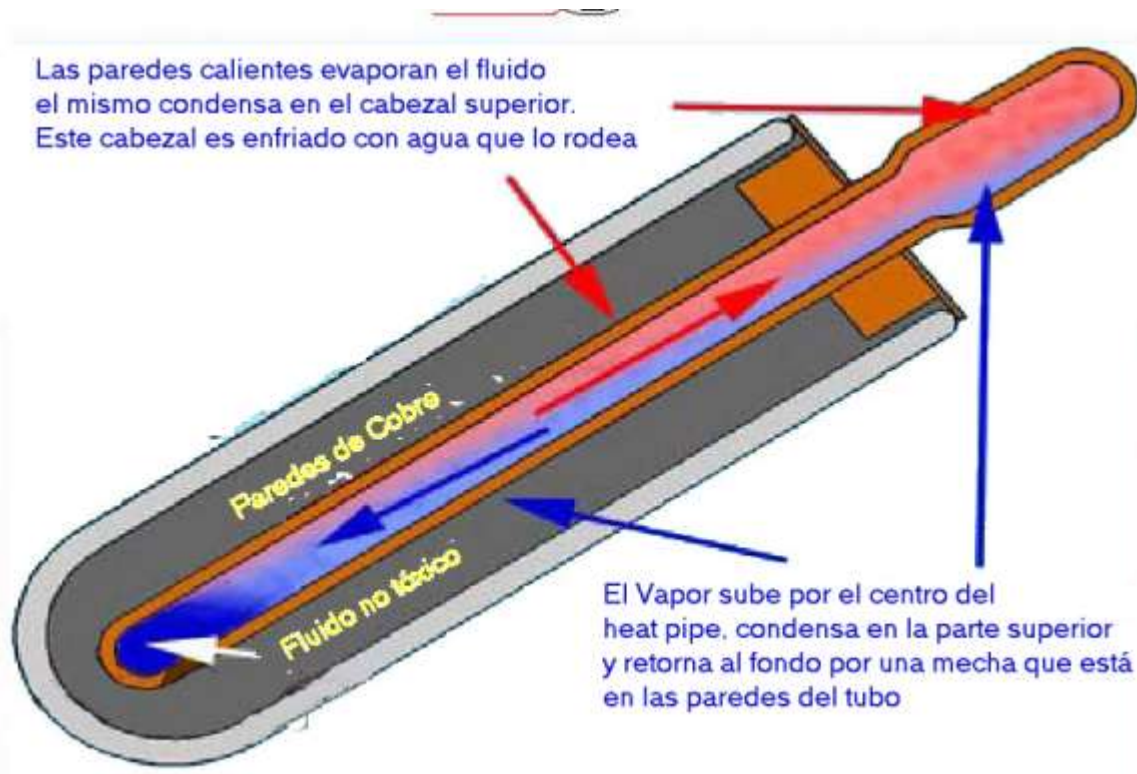


Este tiene estanque de 205 lts de capacidad. Soporta presión de la red. Como usa el principio de "heat pipe" está protegido de congelamiento. Bajo costo. Se instaló abajo para facilitar limpieza y mantenimiento. Suple el 70 a 80% de la demanda anual de ACS de una familia. Simplicidad de concepto, seguridad en operación.

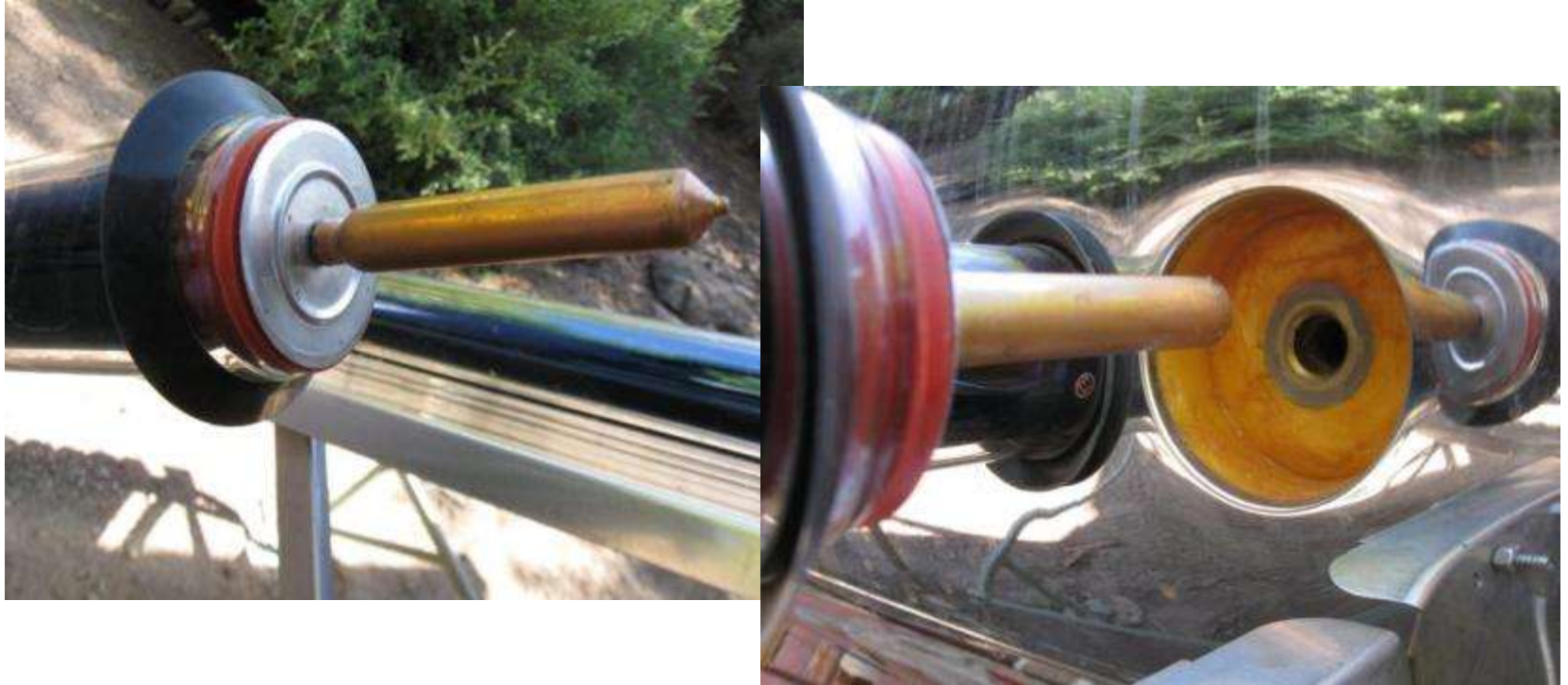
Colector Tubos Evacuados

- Hoy lo más común en estos sistemas es un doble tubo de vidrio con “heat pipe” en el interior

Utiliza un mínimo de materiales.
Talón de Aquiles es transferencia de calor de los tubos al heat pipe y de allí al fluido de trabajo



Colector Tubos Evacuados



En esta figura se observa la cabeza del *heat pipe* (caloducto) y la forma en que se inserta en el estanque de acumulación

Colectores planos versus tubo evacuado:

Ventajas de colector plano:

- Tecnología muy probada.
- Existen muchos en el mercado.
- Durables (siempre que tenga buenos materiales y vidrio de cubierta sea templado).
- Más superficie útil en función de área ocupada.

Desventajas de colector plano:

- Más pesados.
- Usualmente de mayor costo para la misma superficie útil.
- No funcionan tan bien en días nublados.
- Cubierta se ensucia con más facilidad.

Colectores planos versus tubo evacuado:

Ventajas de colector tubo evacuado:

- Tecnología muy probada.
- Más baratos.
- Durables (siempre que sean de heat-pipe).
- Mejor respuesta a radiación con gran ángulo de incidencia.
- Mejor respuesta con menos radiación solar.
- Más livianos.

Desventajas de colector de tubo evacuado:

- Ocupan más superficie total.
- Algo más frágiles.
- Existen pocos que están certificados.
- Deben instalarse a ángulos fijos (30 y 45°).

SST de ACS de Gran Escala

- Utilizado para abastecer de ACS a edificios o instalaciones multiviendas.
- Hoteles.
- Escuelas y Colegios.
- Hospitales.
- Calentamiento para Procesos Industriales.

Sistemas Solares de ACS – Gran Escala



Instalación de sistema de tubos evacuados en Viña Gracia (sur de Rengo)



Sistema solar para ACS – 125 colectores (375 mts²), 24 mil litros de acumulación – precalentado de agua ingreso a caldera. (con franquicia tributaria: 9.000 UF de 12.000 UF)



Campo de Colectores Planos



Correcta Aislación de tuberías en el exterior.



Correcta Aislación de tuberías en el exterior.



Dos bombas recirculadoras en paralelo (mantención)



Sistemas de apoyo convencional (2 calderas)



Acumulador Solar (4.000 lts)



Sistema auto llenado colectores

Grandes proyectos Actuales_



Planta Termosolar El Tesoro: 55% aporte solar, del orden de 10 MW térmico

Grandes proyectos actuales



**Planta Termosolar Minera Gaby: 35.000 m² de colectores y acumulador de 4300 m³
Factor solar anual de 80%**

Centrales Termosolares

Es el área de mayor dinamismo en la energía solar de hoy. Gran parte de lo nuevo que viene se encuentra en esta área. En el caso de Chile, hay grandes ventajas para aplicarlas:

- **Recurso extraordinario:** Cielos casi totalmente transparentes, recurso 30 a 40% mejor que en los mejores lugares de Europa y 15 a 20% mejor que en los mejores lugares del resto del mundo.
- **Necesidad de energía:** se da el hecho de que justo en la zona donde hay más energía solar, existe a la vez alta demanda por los crecientes procesos mineros.
- **Generación de base:** ya existen sistemas con acumulación de energía, capaces de generar hasta las 24 horas del día.
- **Posibilidad de integración tecnológica:** este tipo de centrales tiene mucho elementos repetitivos de tecnología media. Existe amplio campo para mejorar, innovar y fabricar a nivel nacional.
- **Posibilidad de “Cogeneración Solar”:** es sumamente atractivo hacer cogeneración solar. Es decir usar el ciclo de alta temperatura para generar electricidad y el calor de desecho en procesos industriales. Esto mejora la economía del sistema conjunto.

Centrales Termosolares

Usando tecnología solar existen al menos cuatro alternativas:

•**Sistemas cilindro parabólicos:** similares a ANDASOL, VALLE o Nevada Solar One. Se puede acumular energía. Hay muchas centrales en operación.

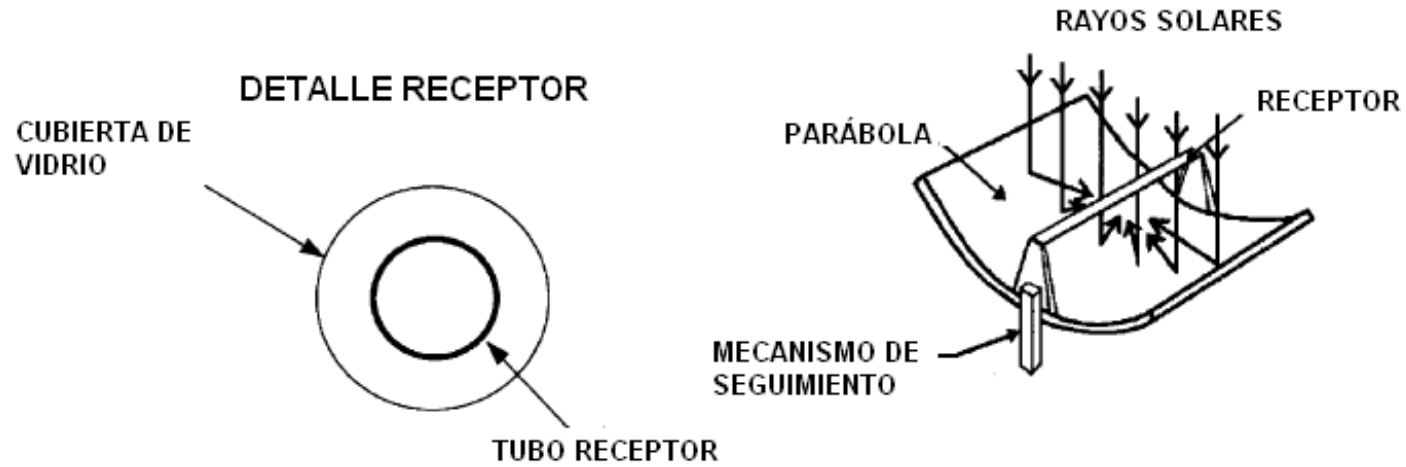
•**Sistemas Fresnel:** receptor fijo, tiende a tener menores costos. Un poco inferior en rendimiento. Menos desarrollo.

•**Sistemas de Torre Central:** mayor temperatura de trabajo, mejor rendimiento, acumulación, posibilidad de cogenerar. Ya hay experiencia.

•**Sistemas con Motor Stirling:** gran eficiencia, modulares (se puede ir desde las decenas de kW hasta los MW de potencia). No necesitan agua de enfriamiento. Desarrollo estancado.

•**Sistemas Fotovoltaicos:** los veremos en punto separado. Son la gran competencia de sistemas termosolares.

Sistemas Cilindro Parabólicos



Sistemas Cilindro Parabólicos

Ventajas

- Tecnología madura, plantas SEGS en EEUU han funcionado por más de 25 años aproximadamente. 3500 MW en operación.
- Soluciones disponibles comercialmente, ha disminuido el riesgo tecnológico y comercial.
- Se han invertido altas sumas de dinero en I+D.
- Hay mucho en construcción.
- Existen con acumulación.

Desventajas

- Temperatura de operación limitada por el fluido caloportador. Actualmente los aceites térmicos utilizados se degradan sobre los 400 °C.
- Se pierde cantidad importante de energía por bombeo del aceite (incluso de noche).
- En aplicaciones eléctricas, el bloque de potencia requiere de gran cantidad de agua para refrigeración, salvo que se use enfriamiento seco, lo que afecta al rendimiento
- Están alcanzando el límite de desarrollo. Hay limitaciones de concentración y rendimiento que se están alcanzando.

Sistemas Cilindro Parabólicos

Colector Cilindro Parabólico			
País	Plantas en operación	Plantas en construcción	Plantas en estudio
	[MW]	[MW]	[MW]
Estados Unidos	433,8	0	3717
España	200	1350	2365
Grecia	0	50	0
Egipto	0	40	0
Marruecos	0	30	0
Algeria	0	25	225
Italia	0	5	460
China	0	0	251
Israel	0	0	350
Jordan	0	0	135
UAE	0	0	100
Irán	0	0	67
India	0	0	30
México	0	0	30

Fuente: Publicación CSP Today., datos 2009

Sistemas Cilindro Parabólicos



Centrales Andasol 3x50 MWe con acumulación

Sistemas Cilindro Parabólicos



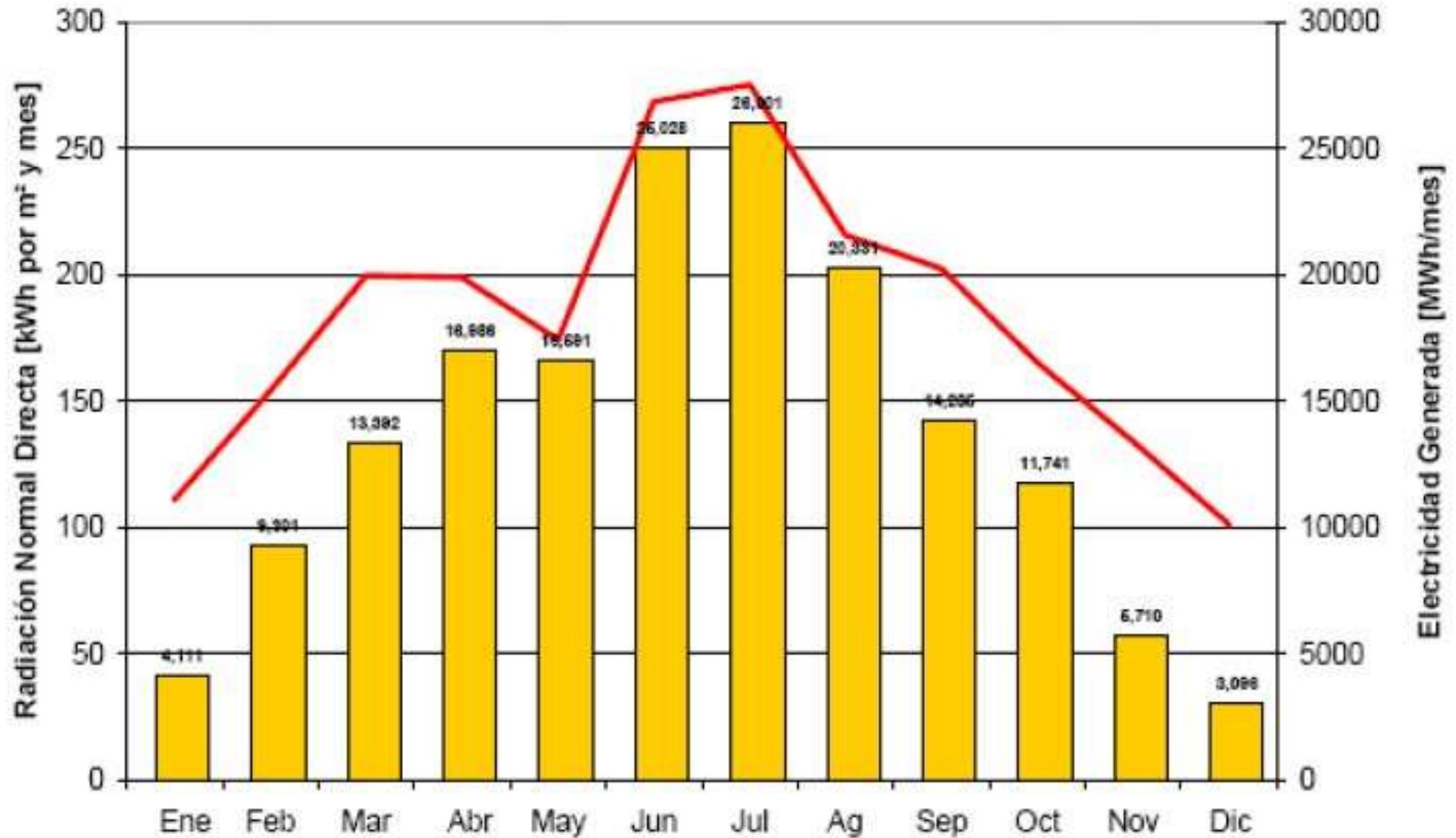
Acumuladores de calor Andasol: nitratos fundidos. 2 estanques, el de alta temperatura a 350°C y el de baja a 220°C

Sistemas Cilindro Parabólicos



Centrales Andasol 3x50 MWe con acumulación

Sistemas Cilindro Parabólicos



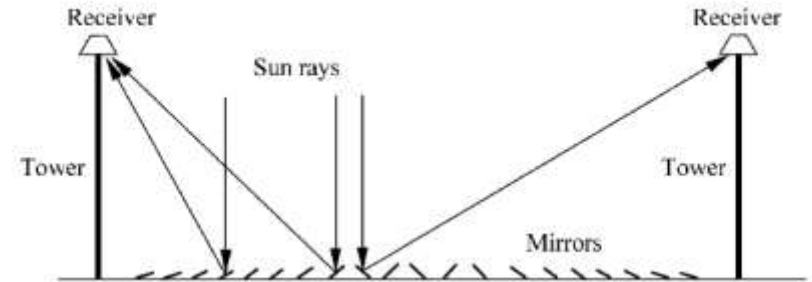
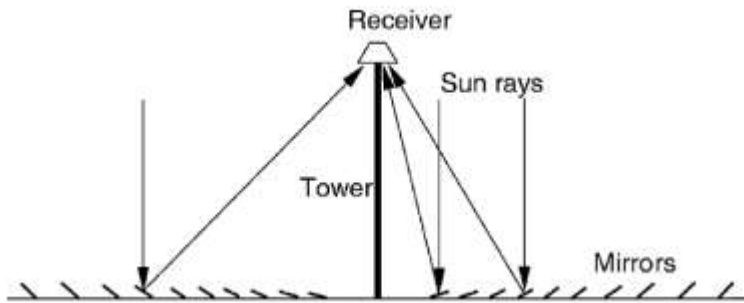
La misma central en Chile produciría al menos 30% más energía

Nevada Solar One



Sin acumulación, adecuada para cubrir demandas peak de día

Colector Fresnel lineal



Menor costo, pero tecnología menos madura. Límites ópticos similares a Cilindro parabólico. En sistemas lineales, límite de concentración cercano a 100. Más adecuado para calor que potencia. Ventaja de tener receptor fijo.

Colector Fresnel lineal

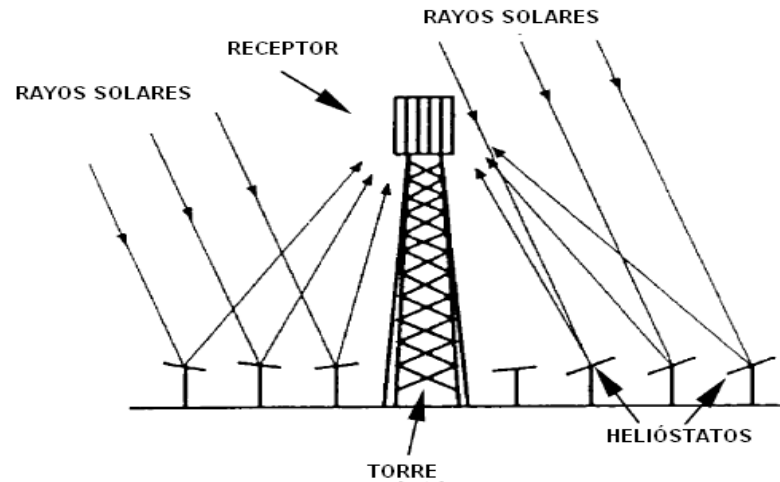
Ventajas

- Componentes simple, bajo costo de fabricación
- Absorbedor está fijo, por lo que el sistema no requiere juntas móviles.
- Estructura liviana debido a menores cargas de viento
- Sistemas más compactos, mejor uso de tierra.

Desventajas

- Bajo desarrollo, poca inversión en I+D y pocos proyectos en operación.
- Menor eficiencia de conversión.

Sistemas de Torre Central



Ventajas

- Cada vez más desarrollada.
- Múltiples modos de funcionamiento. Transmisión óptica de energía.
- Altas razones de concentración, lo que implica mayores temperaturas y mayor eficiencia
- Posibilidad de trabajar con ciclo Rankine y ciclo Brayton (que es el mismo de las turbinas a gas)
- Se adapta muy bien a la acumulación.
- Es tecnología con más futuro.

Desventajas

- Mayores riesgos de inversión (todavía), pero decreciente
- Se han mostrado muy confiables, pero existen pocas plantas en operación.
- En desarrollo materiales que soporten las altas temperaturas alcanzadas en el receptor. Temperatura de operación limitada por resistencia de los materiales existentes.

Gemasolar en Prueba



Se observa torre y caústica

Javier Guerra 2011

Gemasolar

Se observa el bloque de potencia y los acumuladores en construcción.

Estanque caliente a 800°C, estanque frío a 250°C. Con menor volumen se genera más energía.

Transmisión óptica elimina problema de bombeo de grandes distancias.

Ideal para Chile

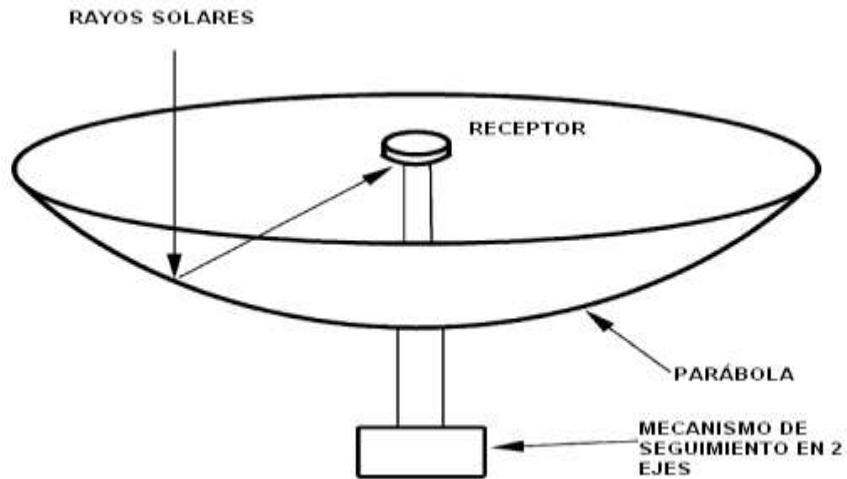
Lleva casi 2 años de operación comercial.

Gemasolar



Vista aérea de Gemasolar

Sistemas de Motor Stirling



En sistemas de concentración puntual el límite de concentración es cercano a 10.000



Sistemas de Motor Stirling

Esta tecnología tiene las siguientes características:

- Son modulares de pequeña potencia (30 a 50 kWe por unidad).
- La electricidad se genera en cada unidad. No hay pérdidas térmicas
- Concentración teórica máxima en torno a 10.000, temperaturas de trabajo sobre 1000° C.
- Se usa ciclo Stirling que podría alcanzar el rendimiento de Carnot .
- Solo se necesita agua para limpieza de espejos.
- Conceptualmente sencillos.
- Elementos replicables.
- Pero es tecnología menos desarrollada. Falta confiabilidad de largo plazo de los motores.

Sistemas de Motor Stirling



Sistemas Stirling de tipo Euro Dish

Sistemas Stirling

Sistemas Stirling de tipo Euro Dish



Sistema solar con motor Stirling para generación eléctrica. 20 kW potencia (Pirineos Franceses)

Conversión Fotovoltaica

En esta parte abordaremos:

- **Conversión Fotovoltaica:** aspectos físicos fundamentales. Teoría básica de conversión. Limitantes y potenciales.
- **La celda fotovoltaica:** características de la celda. Curva I - V . Punto de máxima potencia. Conexiones serie paralela.
- **El panel fotovoltaico:** características básicas de los paneles. Curvas I - V . Pérdidas de voltaje. Efecto sombra.

Fundamentos de Conversión FV

Objetivos:

- Fundamentos de conversión FV.
- Factores que afectan sistemas.
- Criterios de dimensionamiento de sistemas.

Estructura:

- Física de conversión FV.
- Celdas – módulos – interconexión de módulos – características de funcionamiento de módulos.
- Sistemas FV y sus componentes.
- Criterios de dimensionamiento de sistemas.

Aspectos Históricos

Línea de tiempo:

- El fenómeno se observa hacia 1800-1830. Al iluminar con radiación UV una placa al vacío, se observa que se desprenden electrones. Es una *fotocorriente*.
- La primera explicación física del fenómeno data de los trabajos de Einstein en 1905 que introducen el concepto de *fotón* y los fenómenos cuánticos.
- Las celdas FV de inicios del Siglo XX tienen eficiencias bajo 2% y se utilizan sobre todo para instrumentos fotométricos.
- La celda FV práctica es desarrollada por los Laboratorios Bell en 1954. Su primeras celdas tienen una eficiencia en torno a 6%.
- En 1958 el cohete Vanguard pone en el espacio el primer satélite con celdas FV:

Aspectos Históricos

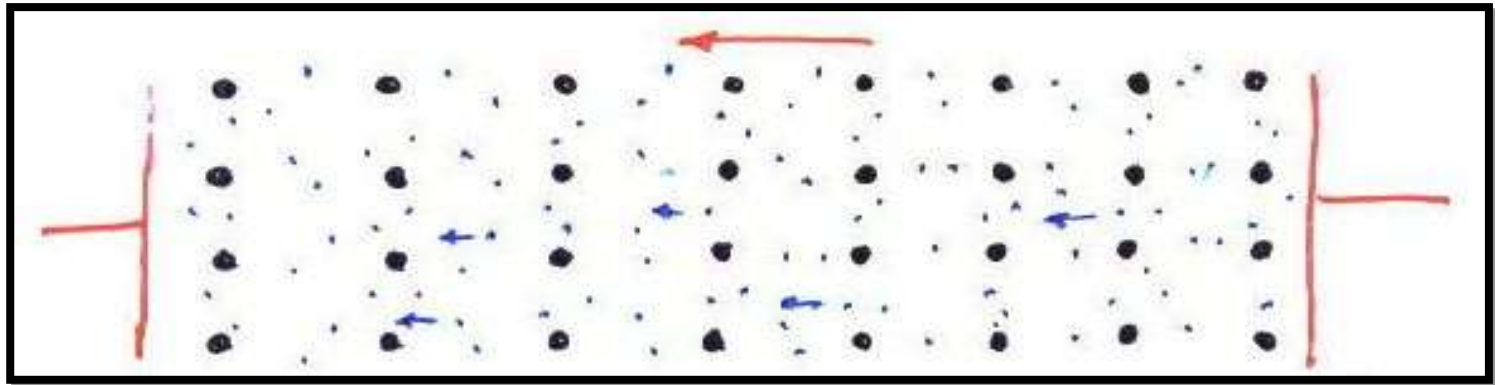


Réplica del primer satélite Vanguard. Tenía seis celdas solares y pesaba 1,47 kg. Operó más de 7 años gracias a sus celdas FV.

Fue lanzado el 17 de Marzo de 1958

Conductores – Aislantes – semi conductores

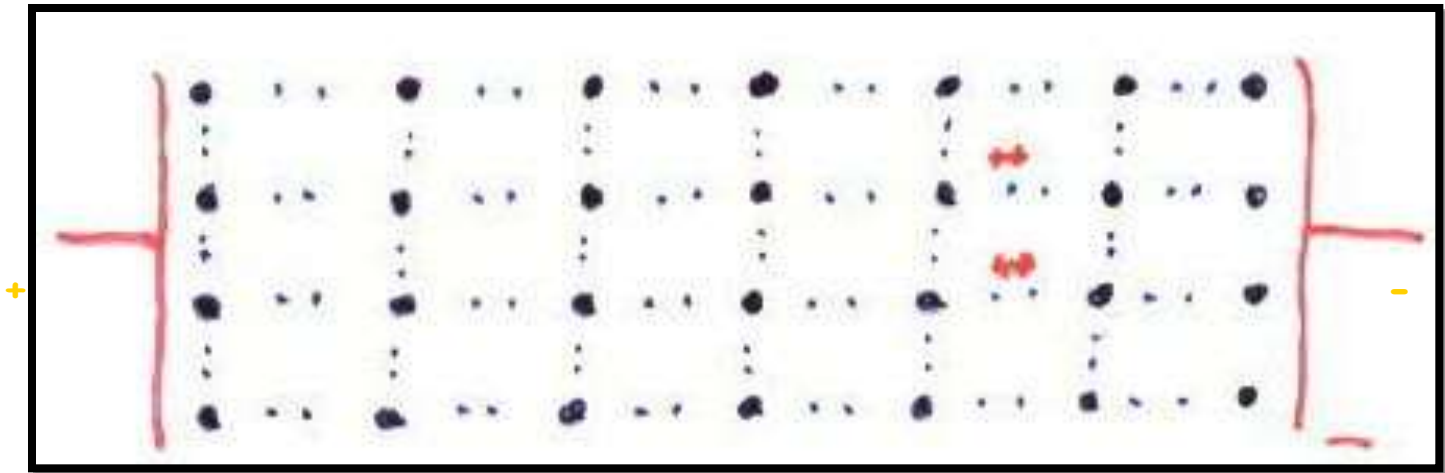
Un material es **conductor** si los electrones de su última capa orbital están débilmente ligados al núcleo. Esto ocurre en forma natural con los metales pesados. Además es importante que estos electrones no se ocupen en enlaces intermoleculares (*pureza*). Podemos imaginarnos el sólido como átomos en posiciones estables rodeados de electrones con una gran movilidad.



Al aplicar una diferencia de potencial, se mueven en el sólido, pudiendo conducir con facilidad la electricidad.

Conductores – Aislantes – semi conductores

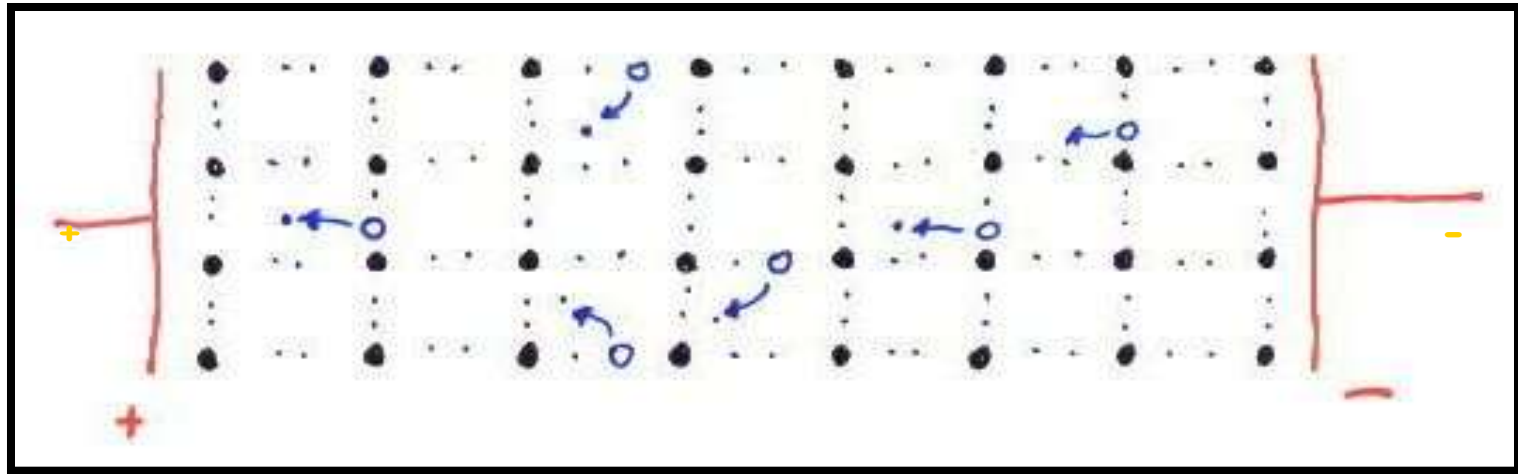
Un material es **aislante** si los electrones de su última capa orbital están fuertemente ligados al núcleo o ocupados en enlaces interatómicos. Esto ocurre en forma natural con los metales pesados. Al aplicar una diferencia de potencial, los electrones no pasan a la banda de conducción. Cuando esta diferencia es muy grande, se rompen los enlaces, lo que típicamente destruye el material.



Al aplicar una diferencia de potencial, los electrones se desplazan del punto de equilibrio. Se puede almacenar electricidad.

Conductores – Aislantes – semi conductores

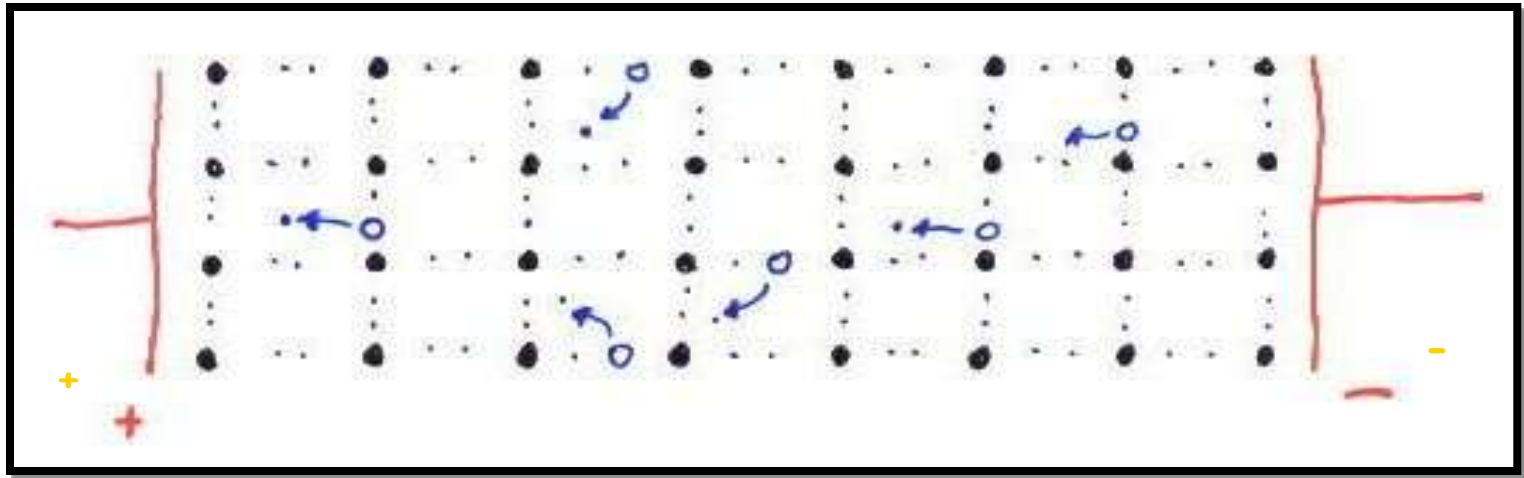
En un **semi conductor** la situación es intermedia. Los electrones externos se ocupan en enlaces intermoleculares, pero no es excesivamente fuerte. Con suficiente diferencia de potencial o con excitación térmica los electrones pueden pasar a la banda de **conducción**. Al hacerlo, dejan “hueco” en la estructura. Si otro electrón pasa cerca del hueco, es posible caiga en él, **recombinándose**.



Un semiconductor puede conducir electricidad, pero tiene alta resistencia eléctrica.

Conductores – Aislantes – semi conductores

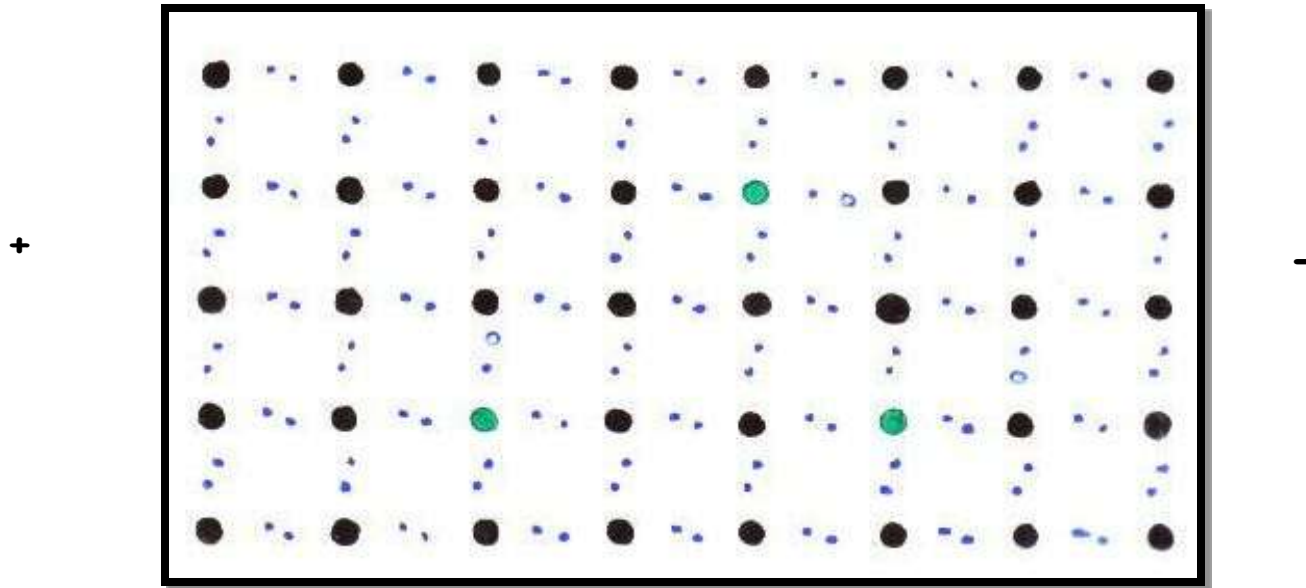
El fenómeno de ocupar nuevamente un hueco por un electrón se llama *recombinación*. La distancia media que puede recorrer un electrón antes de recombinarse se llama *recorrido libre*.



Un material de especial interés para estos efectos es el *silicio*. Tiene 4 electrones en la banda de valencia y estructura tetrahedral.

Conductores – Aislantes – semi conductores

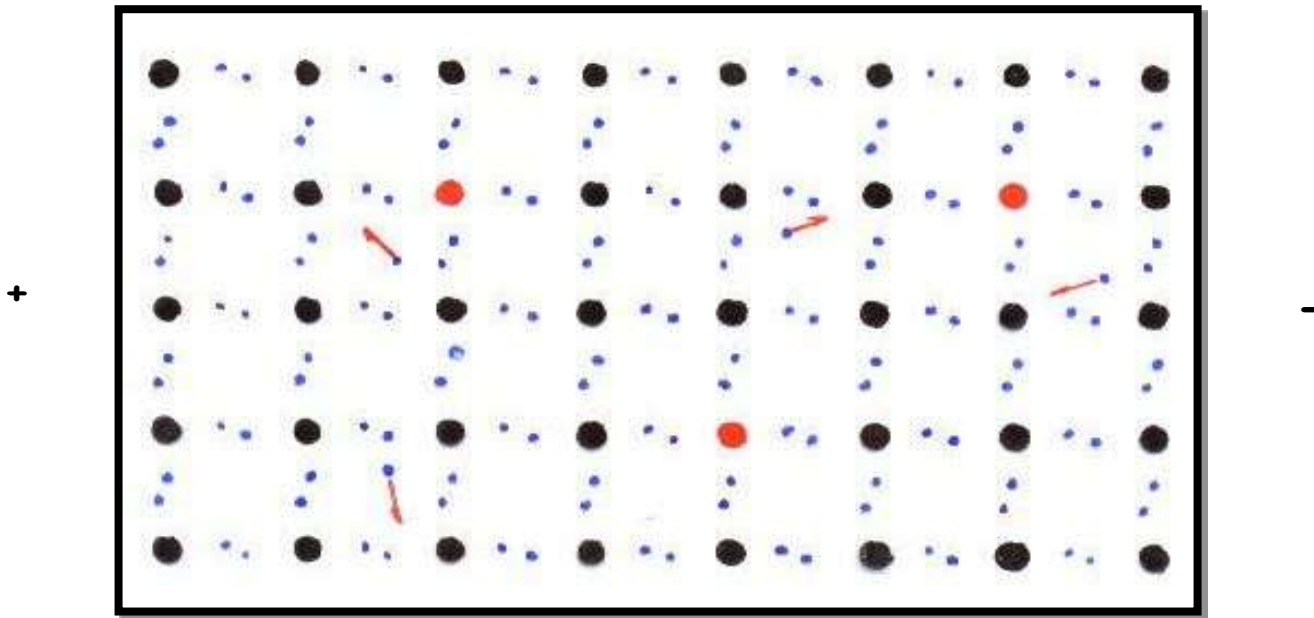
Si al silicio puro lo “dopo” con otro material, puedo cambiar sus propiedades eléctricas. Por ejemplo, si reemplazo átomos de silicio por Boro, van a sobrar “huecos”.



Este se llama un material tipo P (positivo) pues sobran “huecos”.

Conductores – Aislantes – semi conductores

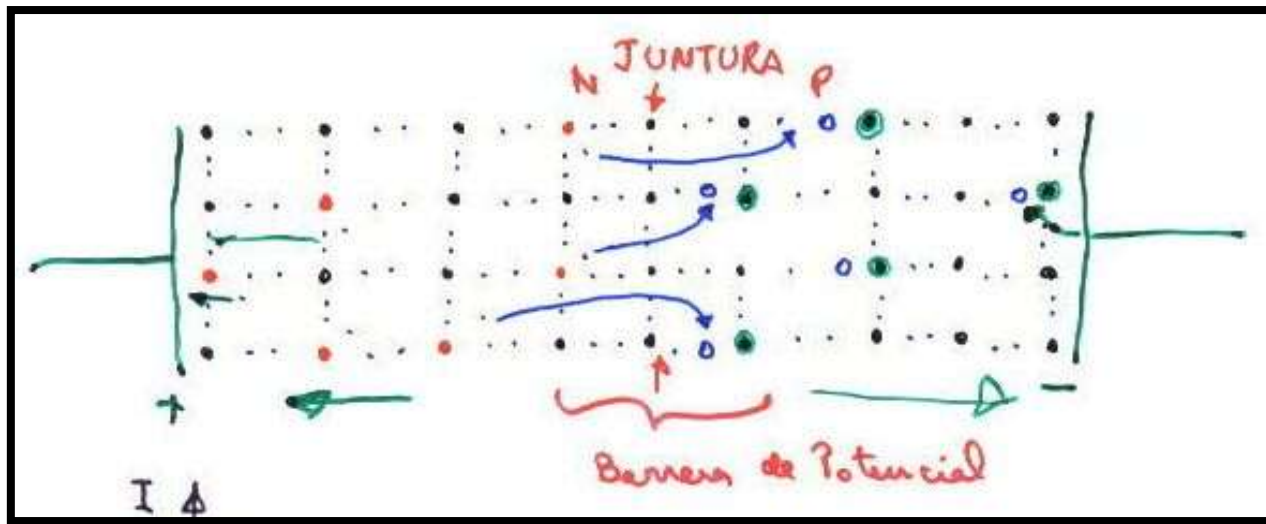
En cambio si lo “dopo” con fósforo o arsénico, quedan electrones prácticamente libres. Genero así un material tipo **N**.



La cantidad de dopante es muy pequeña. Menos de 1 átomo por cada millón original.

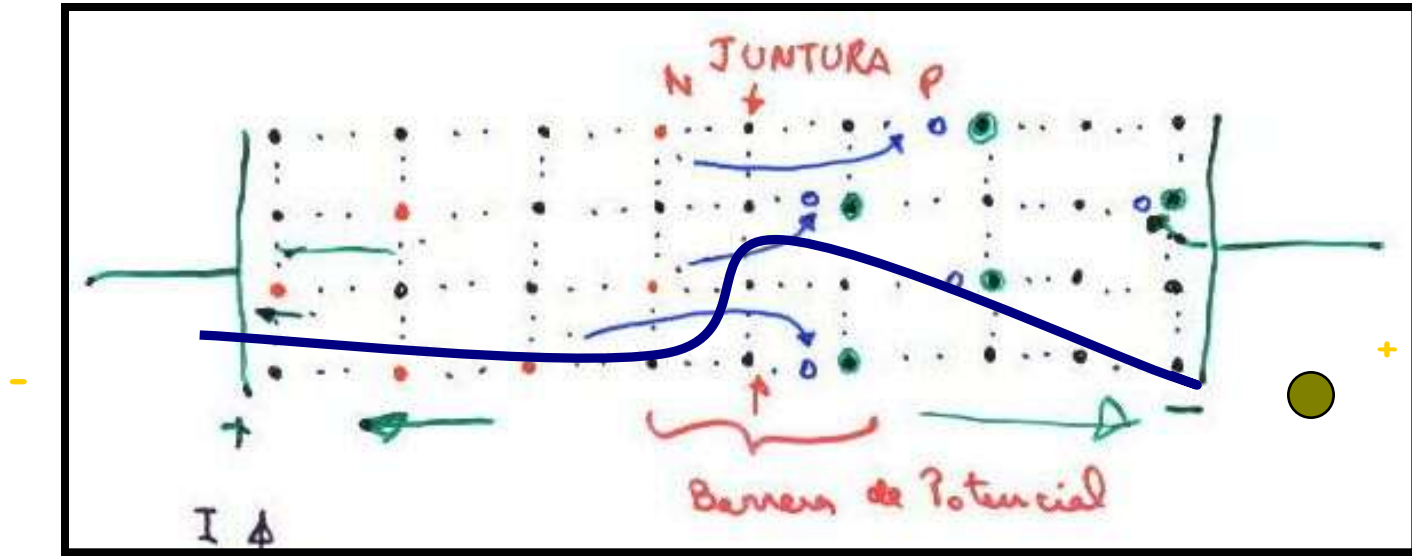
Diodo

Si juntamos material tipo **N** con material tipo **P**, formamos un *diodo*. Este permite la conducción eléctrica en un sentido, pero bloquea el flujo eléctrico en el otro sentido.



Funcionamiento Diodo

Esto se debe a que en la juntura n-p los electrones del lado n migran y ocupan los huecos inmediatos al lado p. Se crea así una *barrera de potencial*.



Al alimentar electrones por el lado -, estos primero deben subir la barrera de potencial, pero después el movimiento es fácil.

Funcionamiento Diodo (2)

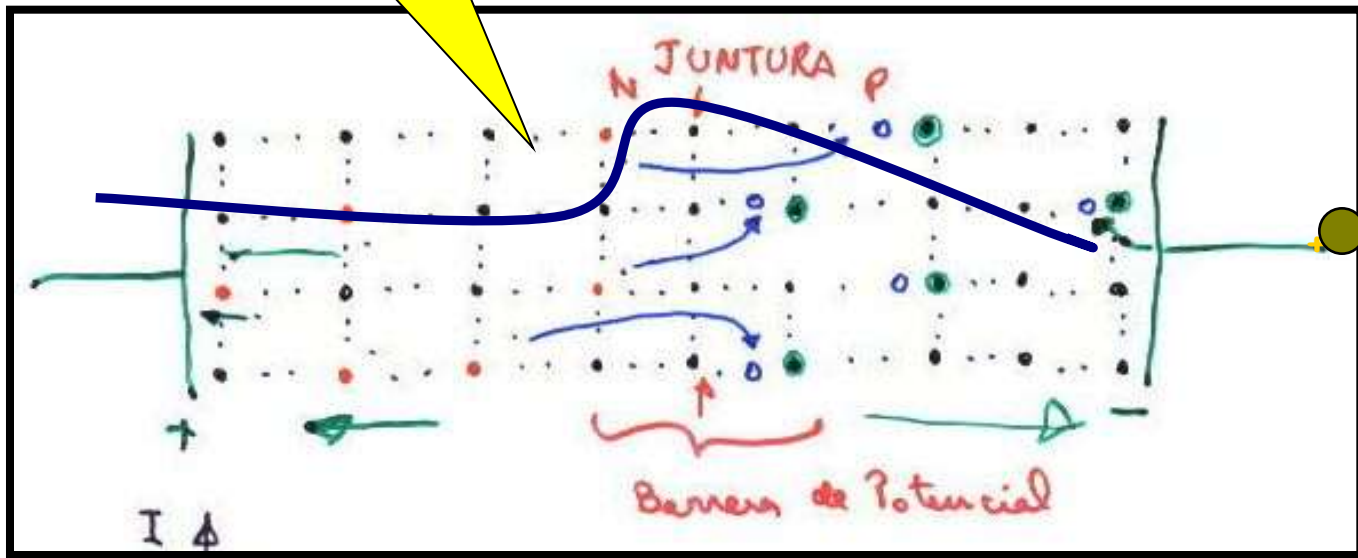
Si quiero hacer fluir la electricidad en sentido inverso, entonces los electrones se “apilan” en la barrera de potencial y no pueden pasar



Así, el diodo permite el flujo eléctrico en un solo sentido...

Funcionamiento Focelda

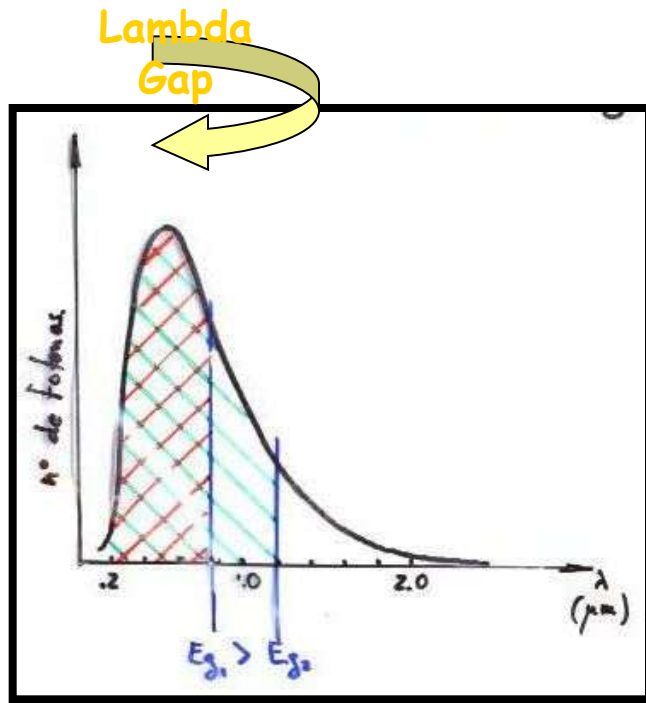
En 1954, en los Laboratorios Bell, se descubrió por accidente que si se iluminaba un diodo, se generaba una fotocorriente. Esta era mucho mayor que lo previamente conocido.



De golpe, la eficiencia del fenómeno fotoeléctrico pasa de valores inferiores al 1% a más del 5%

Funcionamiento Fococelda

Este es un fenómeno **cuántico**, los fotones que constituyen la luz son los que generan la fotocorriente.



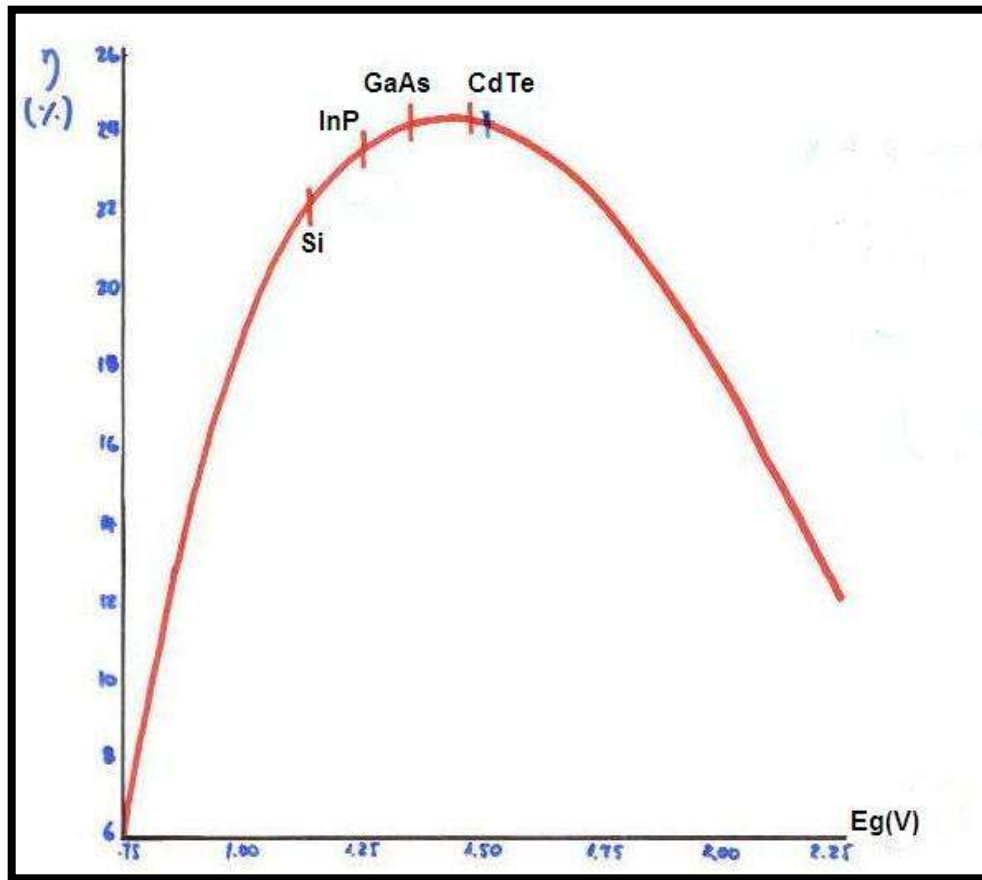
Un fotón puede liberar *directamente* un electrón o bien un fotón más un fonón (agitación térmica) pueden hacer saltar un electrón a la banda de conducción (generación indirecta).

Es claro que el fenómeno implica que los fotones deben tener energía *mínima* para generar movimiento de electrones. Por lo tanto no se aprovecha todo el espectro solar.

Por lo tanto el rendimiento será función del espectro de luz y del "gap" o salto que es propio del diodo. A medida que el "gap" crece, se requieren fotones de más energía, es decir de longitudes de onda más cortas.

Rendimiento Fococelda

Si la celda se ilumina con luz monocromática, el rendimiento de conversión podría ser 100%. Pero al usar luz solar, el rendimiento es inferior.



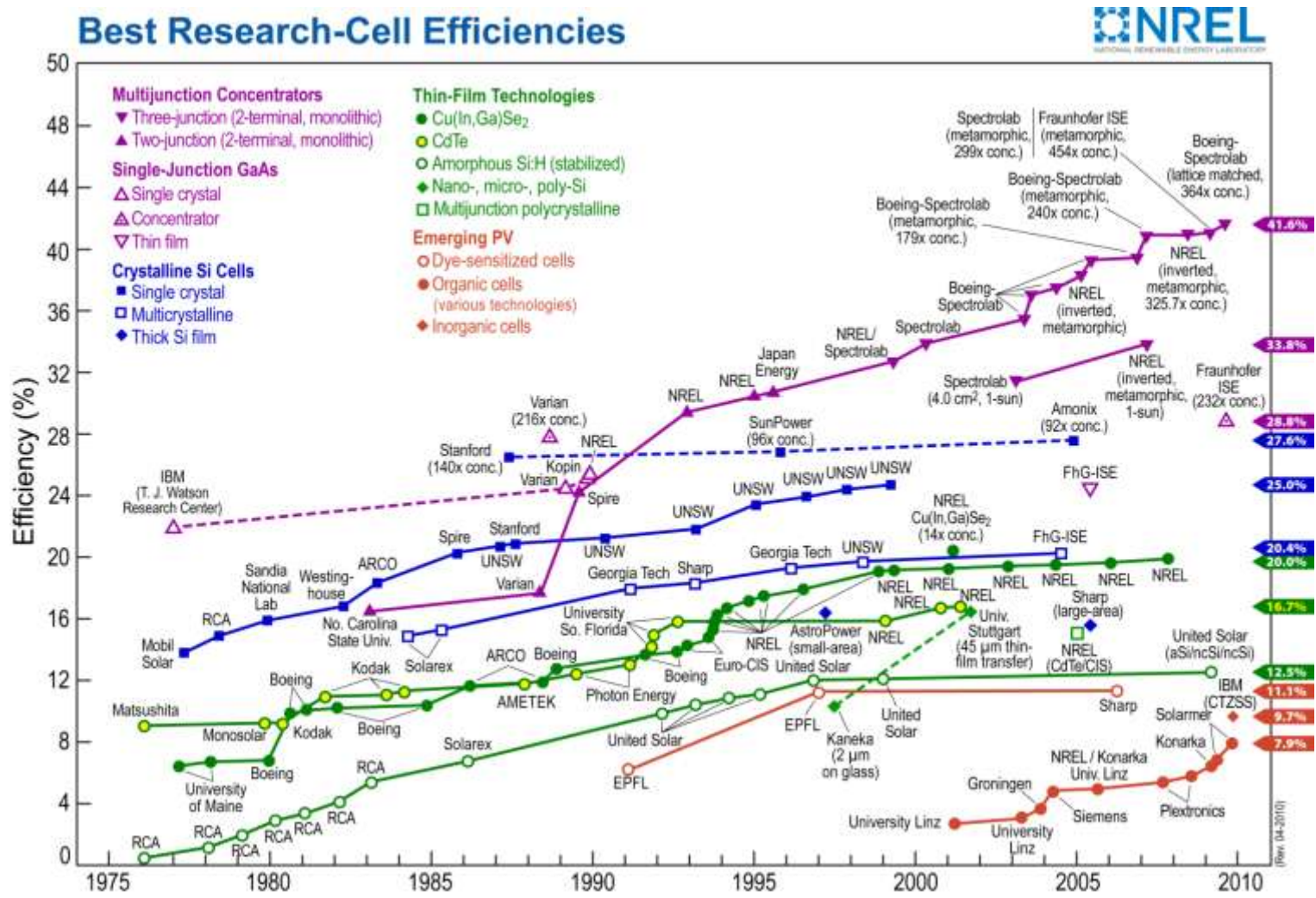
La figura de la izquierda representa el rendimiento máximo teórico en función del Gap de voltaje de la juntura (expresada en electrón volts).

También aparecen varios semiconductores que se utilizan para fabricar celdas solares.

Vemos que el Silicio tiene un rendimiento máximo de 21%. Esto se debe a que le gusta la energía más cargada al infrarrojo.

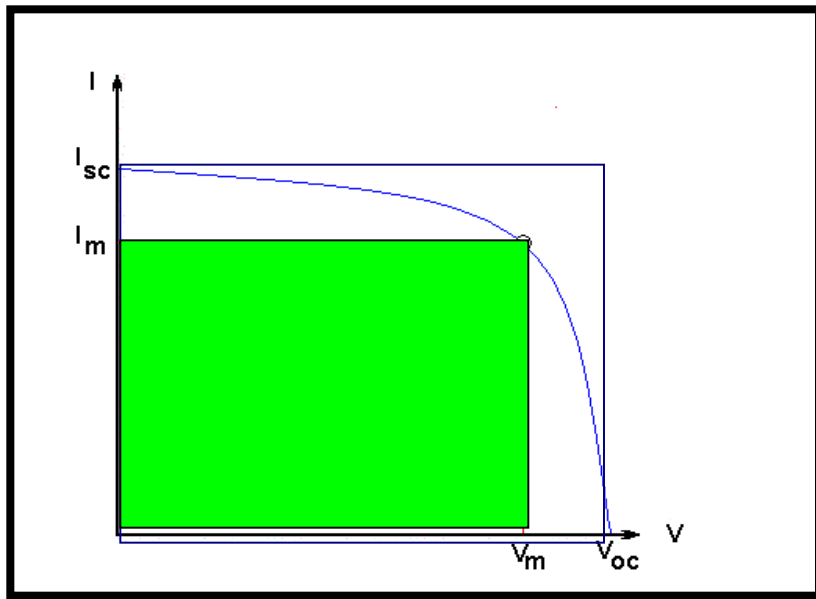
Rendimiento Fococelda

Mejoras Tecnológicas han permitido fabricar celdas con rendimiento sobre 40%. Estas típicamente son multicapas



Puntos claves en Fococelda

En la figura se observa la curva I - V característica de una fotocelda. V_{oc} es el *voltaje en circuito abierto*. I_{sc} es la *corriente en cortocircuito*. En una fotocelda el voltaje es poco sensible a la intensidad de la radiación solar, pero la corriente es **muy** sensible a esta.

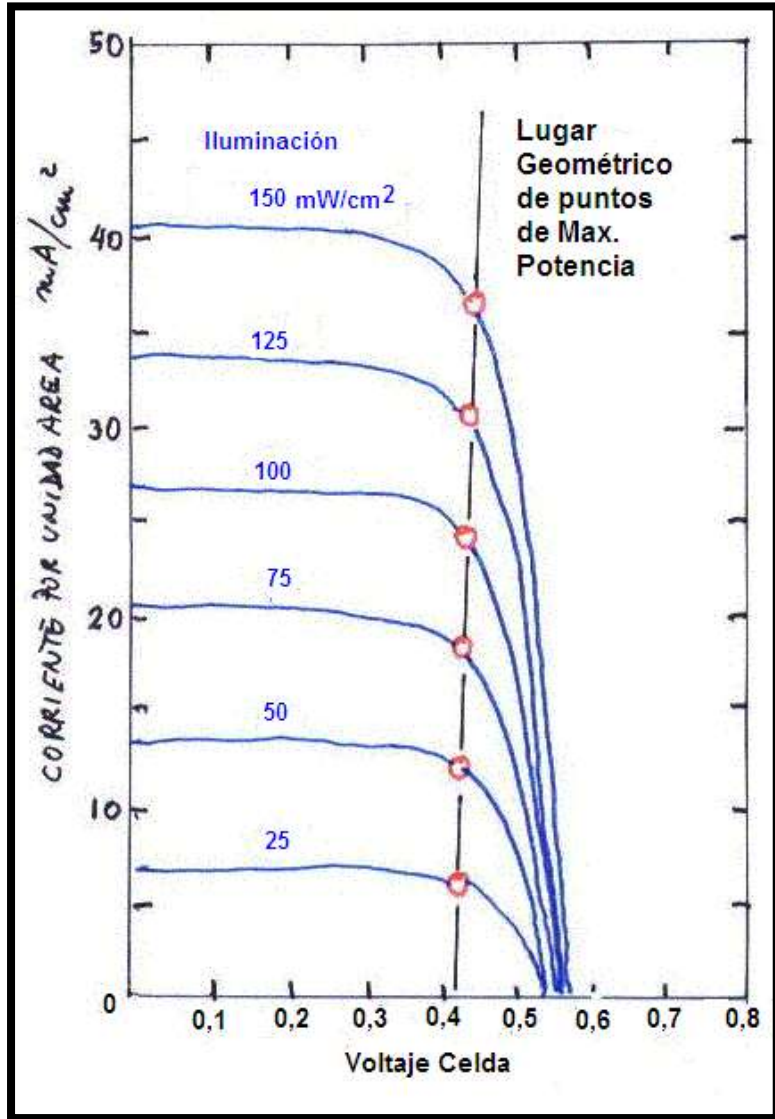


Existe un punto donde el producto $I \times V$ se *maximiza*, este es el **punto de máxima potencia** (para una intensidad de radiación dada). En ese punto tenemos la intensidad de corriente I_m y el voltaje V_m .

Se llama **factor de relleno (FF)** al cociente entre:

$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

Producción de Fococelda



La *corriente* que produce la fotocelda aumenta con la intensidad de radiación solar. En efecto, pues más radiación implica más fotones.

El ideal sería que el lugar geométrico que une los puntos de máxima potencia fuera una recta vertical.

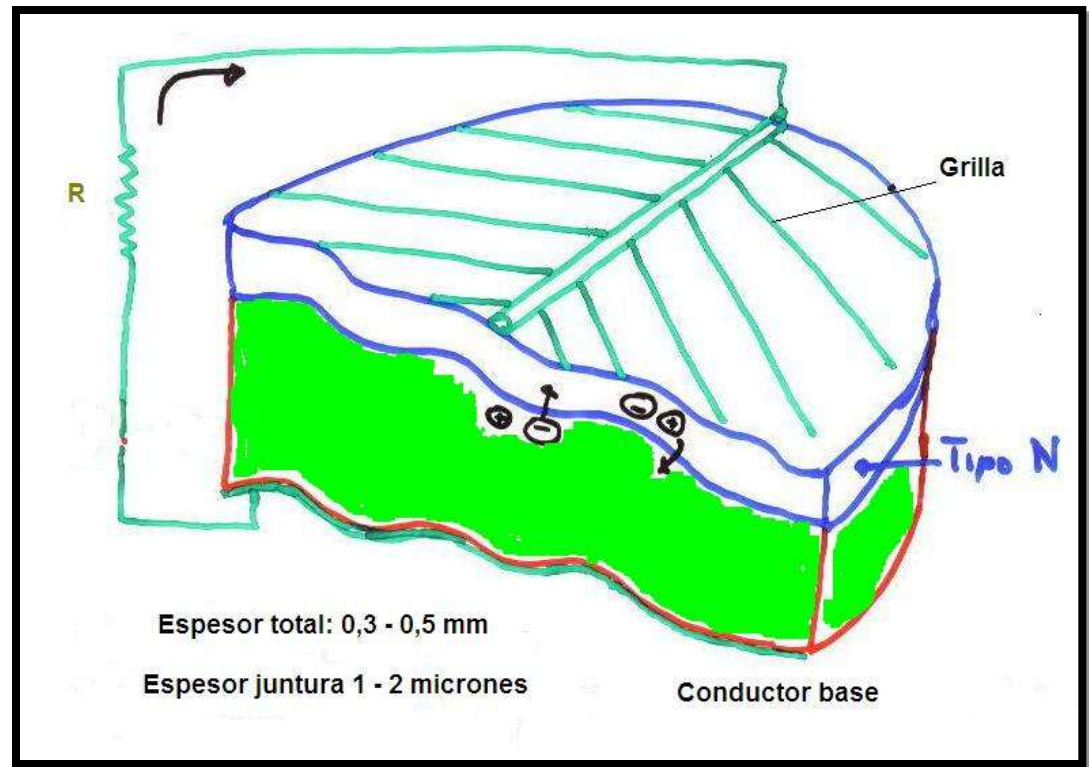
En general, el doble de intensidad de radiación significa el doble de corriente.

Las características de las celdas se obtienen a 25°C .

Celdas – Módulos - Sistemas

Celda solar: es el elemento básico donde se convierte la energía solar en electricidad. Debe tener algunas características muy importantes:

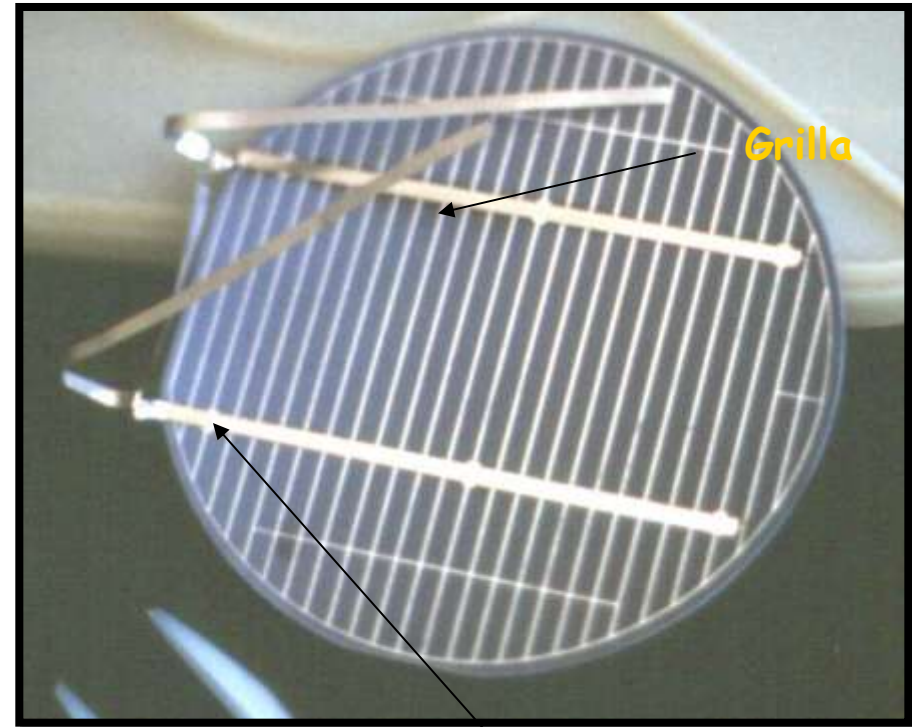
- **Gran superficie:** la intensidad de la radiación es del orden de los 100 mW/cm².
- Una **grilla** en la superficie para captar los electrones.
- Ser **delgada** de manera de utilizar poco material.
- **Reflejar** poca radiación solar.



Celdas – Módulos - Sistemas

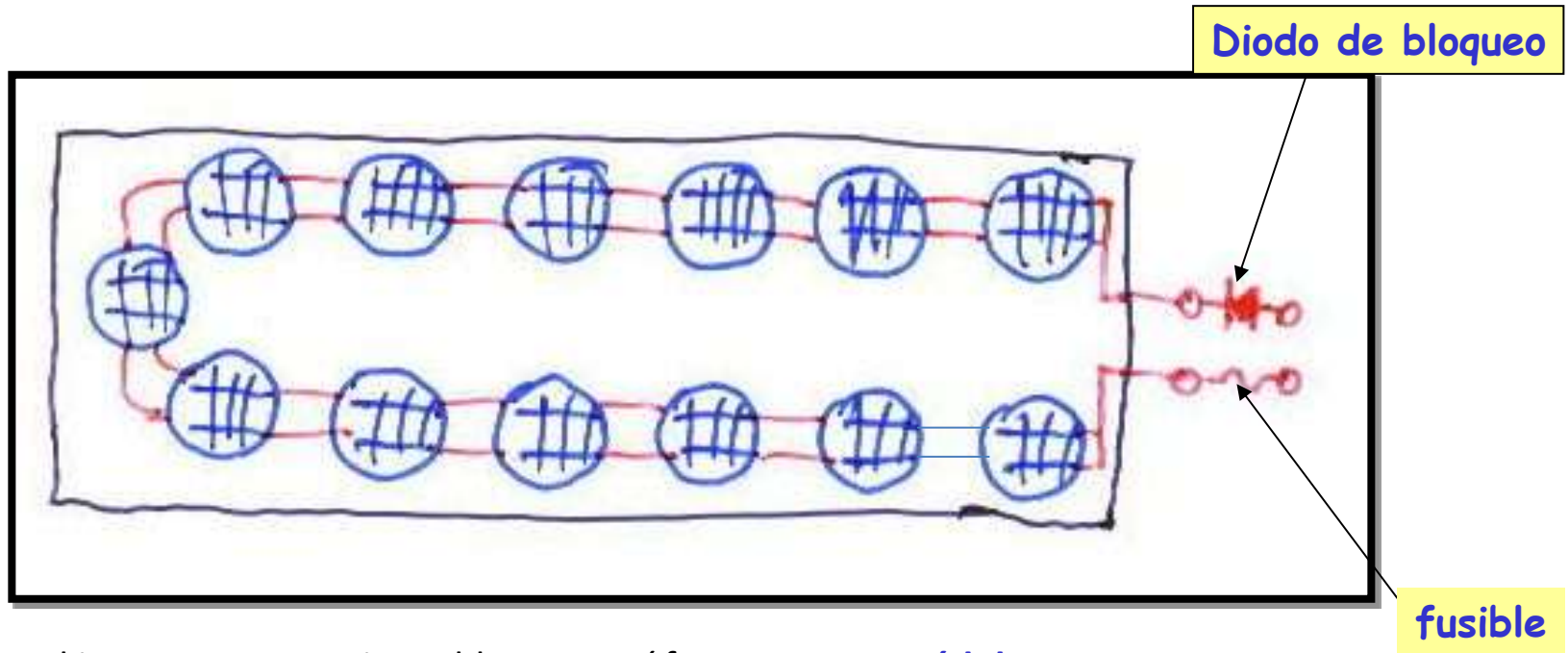
Veamos el aspecto que tienen en realidad. También algunas de sus características.

- Esta es **monocristalina**, vemos la cara delantera.
- Se observa la grilla y los dos conductores principales.
- Por detrás está el segundo conductor. Este cubre toda la **base**.
- Esta celda tiene 10 cm de diámetro. Actualmente se fabrican de 20 centímetros.
- La superficie tiene tratamiento antireflectante.



Conductor

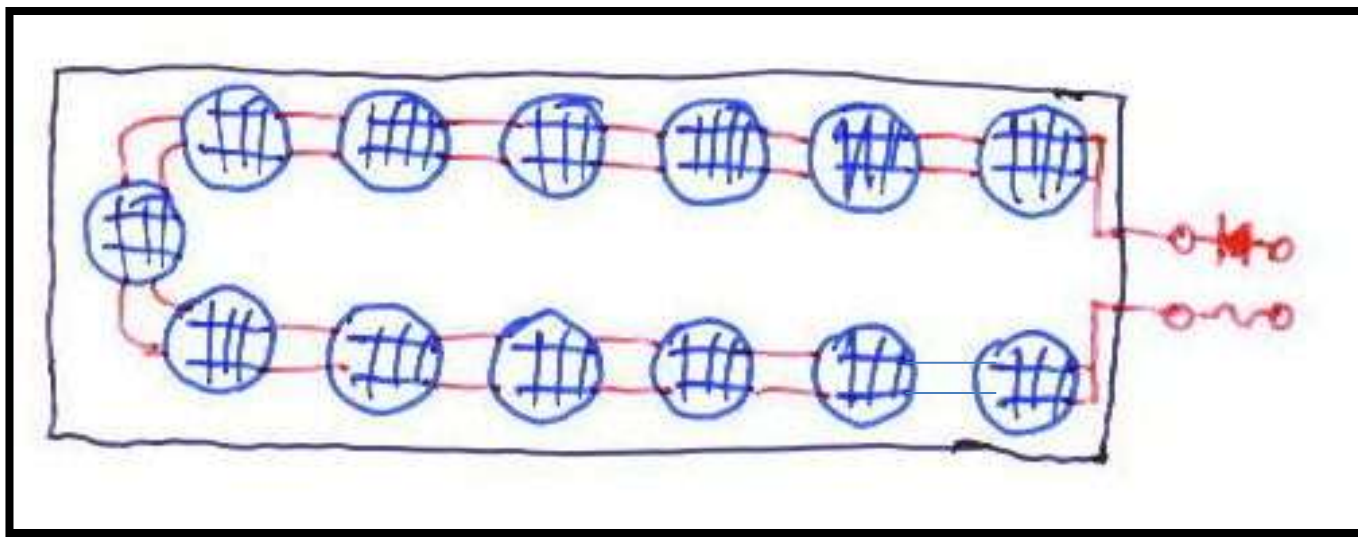
Celdas – Módulos - Sistemas



Al interconectar varias celdas entre sí formamos un **módulo**.

- Con el módulo se obtienen las características de voltaje y corriente que se desean.
- Cada celda de Si genera aproximadamente 0,5 V. Por lo tanto un módulo tiene al menos 26 a 30 celdas en serie.
- Puede darse que también se dispongan en paralelo para **aumentar la corriente**.
- Es esencial que las celdas de un módulo estén bien **hermanadas**.
- Esto significa que deben tener características I - V casi iguales.

Celdas – Módulos - Sistemas



Al conectar celdas en **serie** los **voltajes** se suman y la corriente queda limitada a la corriente que genera la celda con menor corriente.

- En el caso de hileras de celdas en *serie* y dos hileras en *paralelo* entre sí, entonces las **corrientes** se suman y el *voltaje* queda limitado a la hilera de *menor voltaje*.
- Lo anterior *también* es válido para paneles que se conecten en serie o paralelo entre sí.
- Esto es **muy** importante, pues el exceso de energía se disipa internamente en las celdas.
- Veamos que ocurre en curvas *I-V*.

¿Que es Retscreen?

- **¿Que es?:** es un programa de diseño. No es un programa de simulación. Se construye como una serie de Macros para Excel. Es sencillo de instalar y operar.
- **Ventajas:** Es sencillo de comprender y utilizar. Tiene gran cantidad de información climática, de equipos y componentes. Es muy sencillo evaluar escenarios alternativos. Su fundamentación científica es sólida y está muy bien explicada en la documentación. Da buenos resultados en forma comparativa (es decir comparando el escenario A con el escenario B). Es rápido de comprender y aplicar. Existe mucha documentación de soporte (en inglés y francés). Y además es gratuito.
- **Desventajas:** **No** es un programa de simulación. Por lo tanto los resultados son anuales y globales. No tiene las finezas de una simulación, ya que aplica métodos bien conocidos en Ingeniería. Como aún está en desarrollo, hay módulos que funcionan mejores que otros.

Iniciando Retscreen:

Se debe tener instalado una versión de Excel. Funciona muy bien con la versión 2003.

Con Office 2007 se debe permitir macros y habilitar enlaces externos.

Con Office 2010 seguir instrucciones especiales.

- Una vez iniciado el programa, se debe ver una pantalla similar a la que se indica en la siguiente transparencia.
- **Nota:** está el menú en inglés, pero puede ser también en Castellano.

Iniciando Retscreen:

Para instalarlo, bajar el instalador desde:

<http://www.retscreen.net>

Al inicio existen tres Hojas:

- **Inicio:** se ingresan datos básicos del proyecto. Metodología a aplicar. Si se usa poder calorífico superior o inferior como base del combustible. Se escoge el lugar y se cargan los datos climáticos. *Recomendaciones:* Usar método 1 y PCI. Si se visualizan datos, se pueden modificar.
- **Modelo de energía:** aquí se resuelve la comparación del caso base con el de referencia (el que se analiza).
- **Herramientas:** son herramientas auxiliares para análisis más fino del proyecto.

¿Seremos capaces de asumir los desafíos?

¿Pasar de ser un país que explota y exporta materias con poca elaboración a un país capaz de desarrollar, crear y mejorar tecnologías?

