

Laboratorio de Estudios Sobre Energía Solar (LESES)

Investigadores:

F. Nores Pondal

A. Haim

M. Purucker

M. Fischer

Estudiantes:

B. Calvo

M. Morale

A. Abraham

M. Scheinckman

VI JORNADA DE ENERGÍAS RENOVABLES ASADES, Octubre 2017

Buenos Aires, 05 de octubre de 2017

¿Por qué Energía “Renovable”?



¿Por qué Energía

“Renovable”?

También llamada:

“No convencional”,
“Alternativa”,
“Limpia”,
etc.

Energías Renovables

Quizá el término que mejor define el concepto es el de:

Energía “Sostenible”

El concepto más amplio es el de

“Desarrollo Sostenible”,

que se aplica en todos los ámbitos.

El principio básico es el de preservar los recursos naturales para no comprometer a las generaciones futuras.

Por lo tanto las Energías Renovables o Sostenibles deben cumplir con ser:

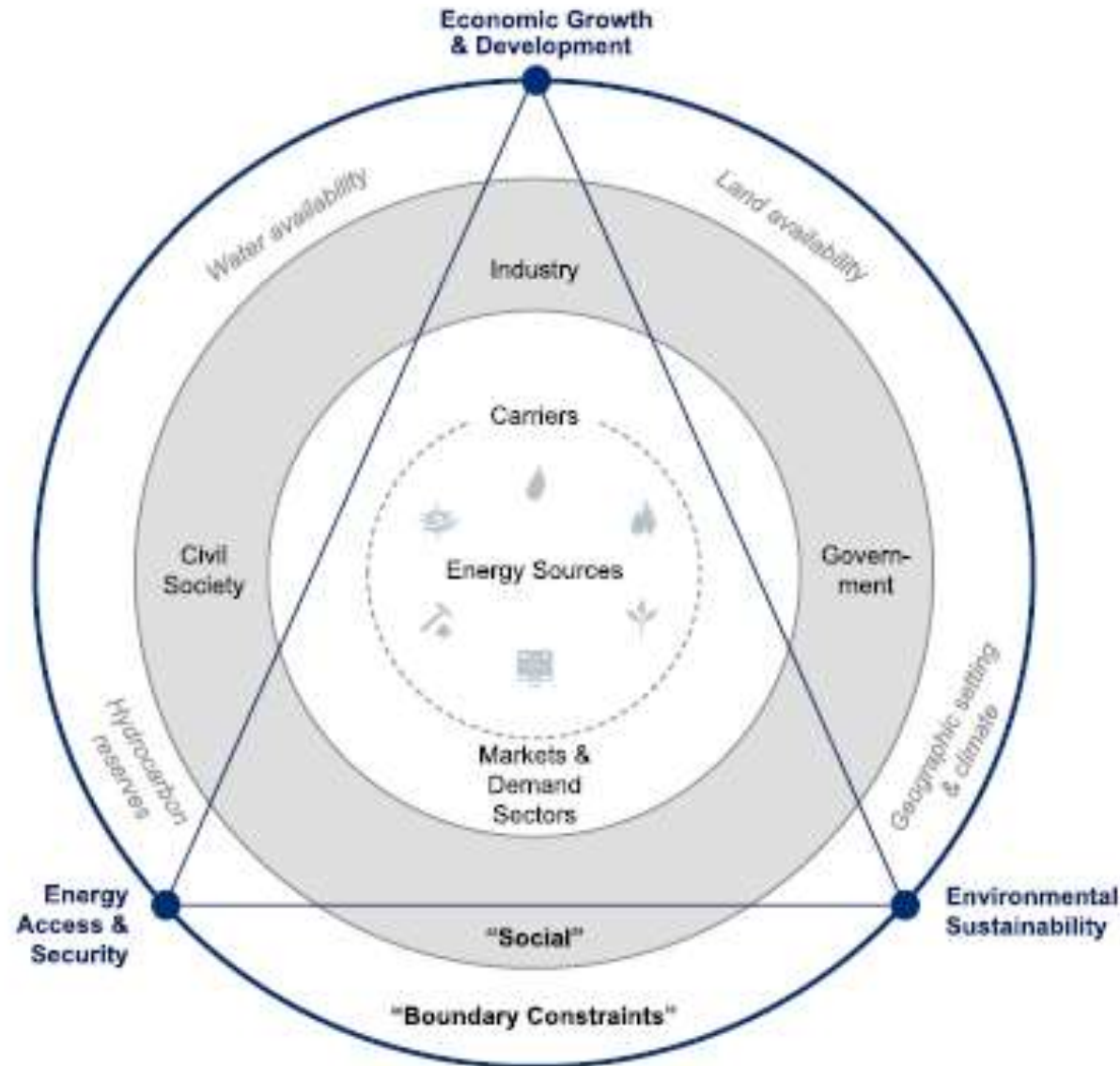
- * Limpias. Deben generar un impacto ambiental mínimo, ser no contaminantes.
- * Inagotables. Deben poder regenerarse.
- * Uso racional y eficiente.

Sustentabilidad



- ▶ Energías limpias: no contaminan
 - ▶ Se regeneran
 - ▶ Ejemplos:
 - ▶ Solar
 - ▶ Eólica
 - ▶ Micro hidráulica
 - ▶ Biomasa
 - ▶ Hidrógeno
 - ▶ Etc.
- En edificaciones:
 - Aislación térmica
 - Piloto de calefones y termotanques con encendido automático
 - Idealmente: sistemas integrados automatizados, con software de control (internet de objetos)
 - Etc
 - De este modo se logra un uso eficiente de los recursos, garantizando un desarrollo sustentable para las futuras generaciones

Triángulo de la Energía:



Definitions



Physical elements:
Includes energy sources, their carriers and end markets.



Social elements:
Includes political institutions, industry and civil society, which shape the physical elements.



The Energy Triangle:
Ultimate objectives that the energy architecture is designed to support.

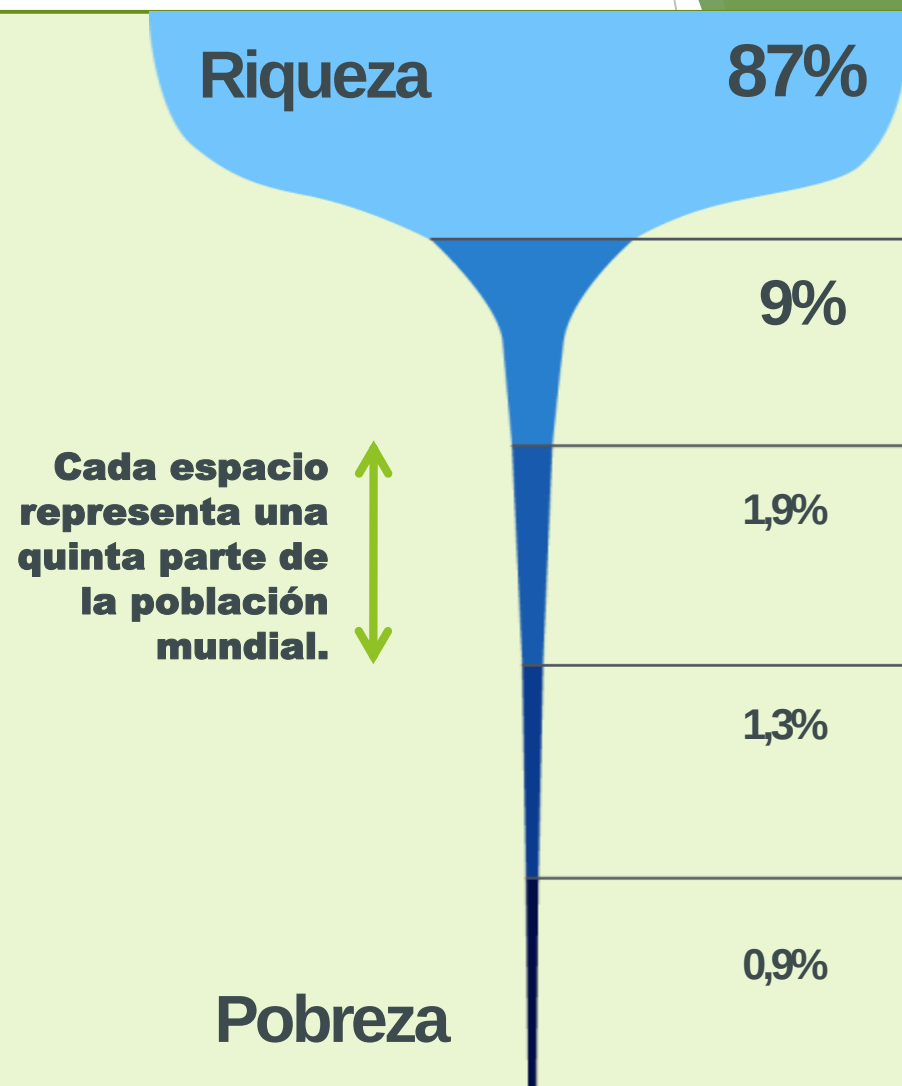


Boundary constraints:
Factors limiting performance against the energy triangle, both physical and social.

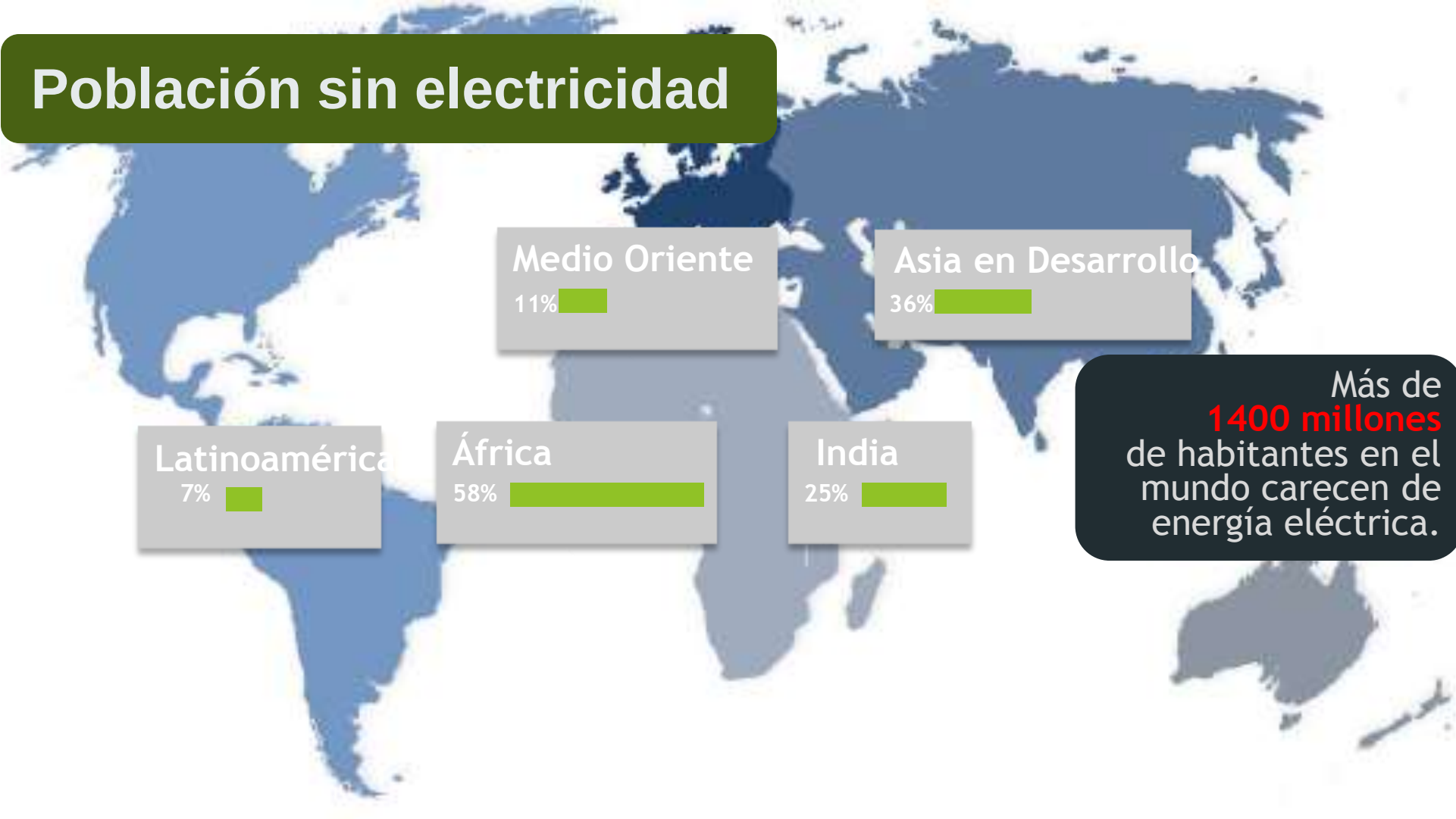


Desigualdad

La desigualdad económica extrema se ha disparado en todo el mundo durante los últimos 30 años.



Población sin electricidad



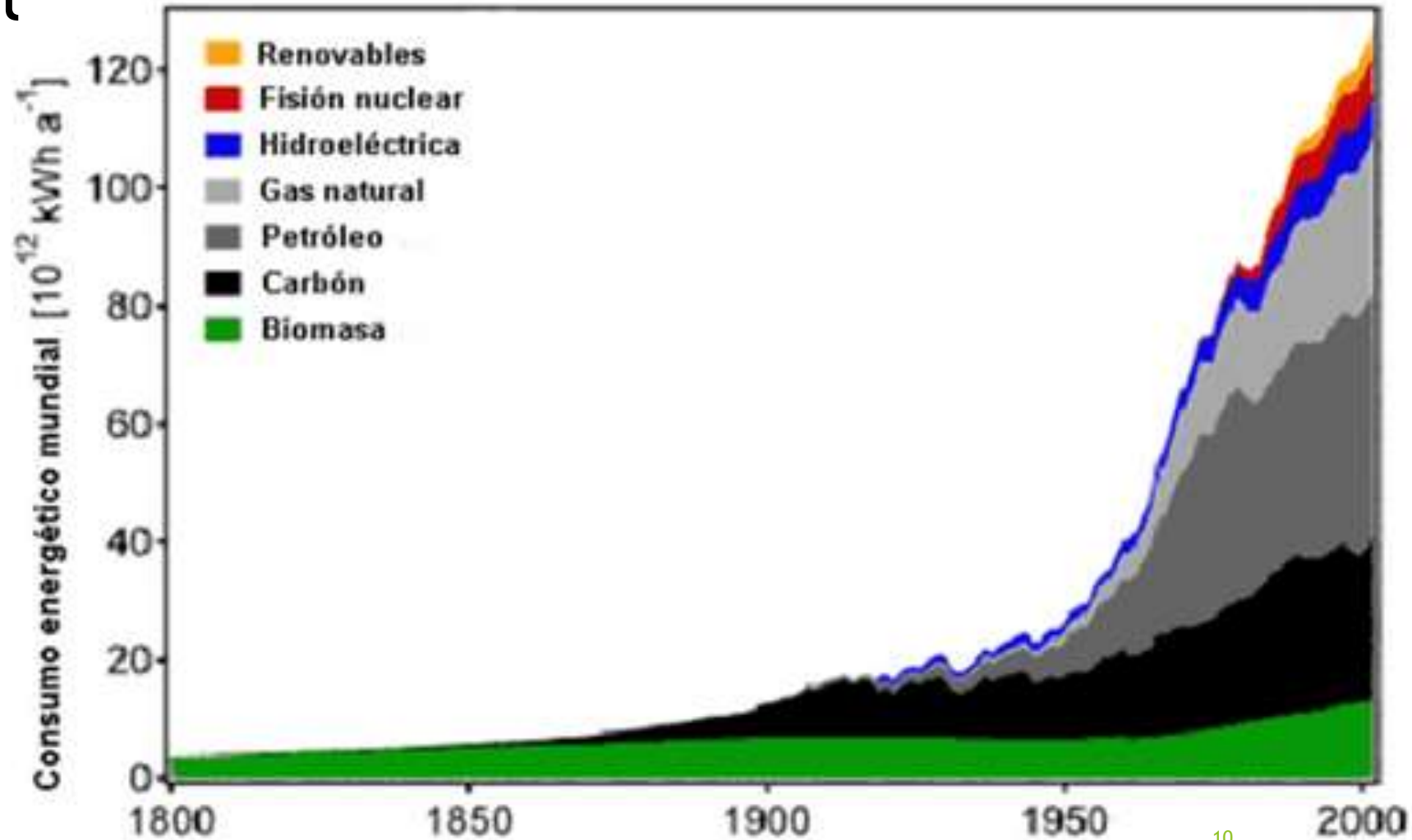
Energías Renovables

Distribución de la Radiación Solar que llega a la superficie terrestre



Los países que mejor recurso tienen no son los que necesariamente tienen mayor potencia instalada,
El recurso condiciona, pero no determina.
El marco legal y el acceso a financiamiento adecuado si lo hace

Evolución del Consumo Energético Mundial



Fuente: <http://www.hydropole.ch>

Consecuencias del uso indiscriminado de combustibles fósiles:

El Cambio Climático

- Su evolución natural en la historia de la Tierra, se ha visto acelerada en los 150 últimos años, debido a la actividad humana (fuente : IPCC).
- La concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera alcanzó los niveles más altos de los últimos 800.000 años.
- La temperatura de la Tierra podría aumentar de 1.4 a 5.8°C en los próximos 100 años.
- Aprox. 22 mil millones de t.eqCO₂ emitidas cada año en la atmosfera (8,4 en 1960) de los cuales:
 - 11 están absorbidas por los sumideros de carbono (océano: 76%, bosque: 24%)
 - 11 se acumulan cada año en la atmosfera.



El deshielo en Groenlandia

Impactos del Cambio Climático :



-10%

Reducción de la
cobertura de nieve
(desde fines de los 60) y
retroceso de los
glaciares (no polares)



**+0,6°
C**

Aumento de la
temperatura promedio
mundial

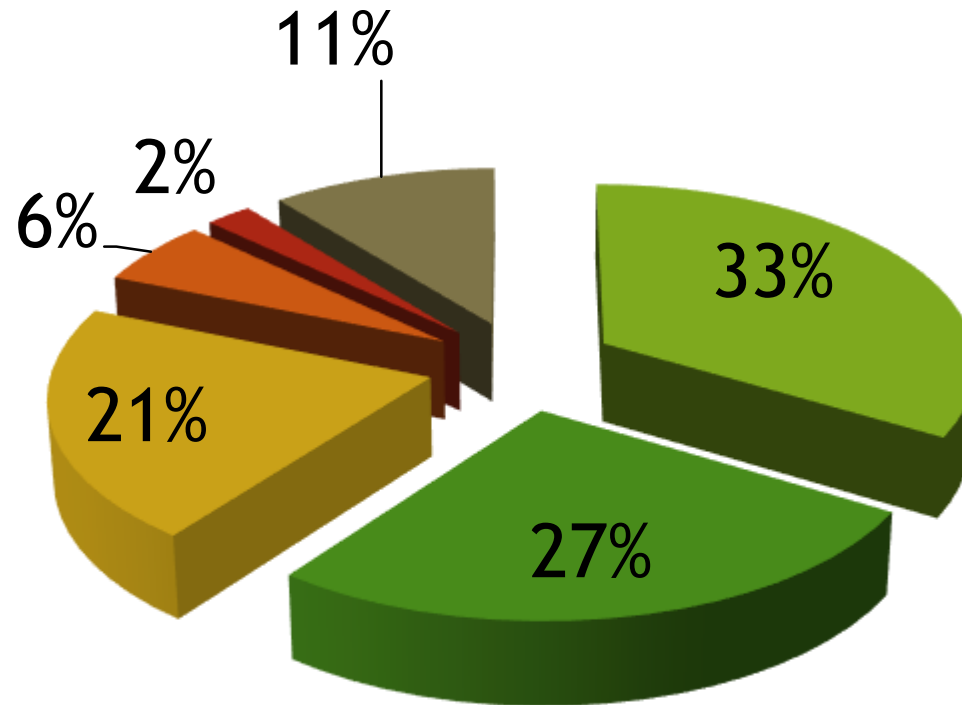


**+ 10 a 20
cm**

Aumento del nivel
promedio de los
oceanos

Fuente: IPCC, 3er Informe

Matriz Energética Primaria Mundial

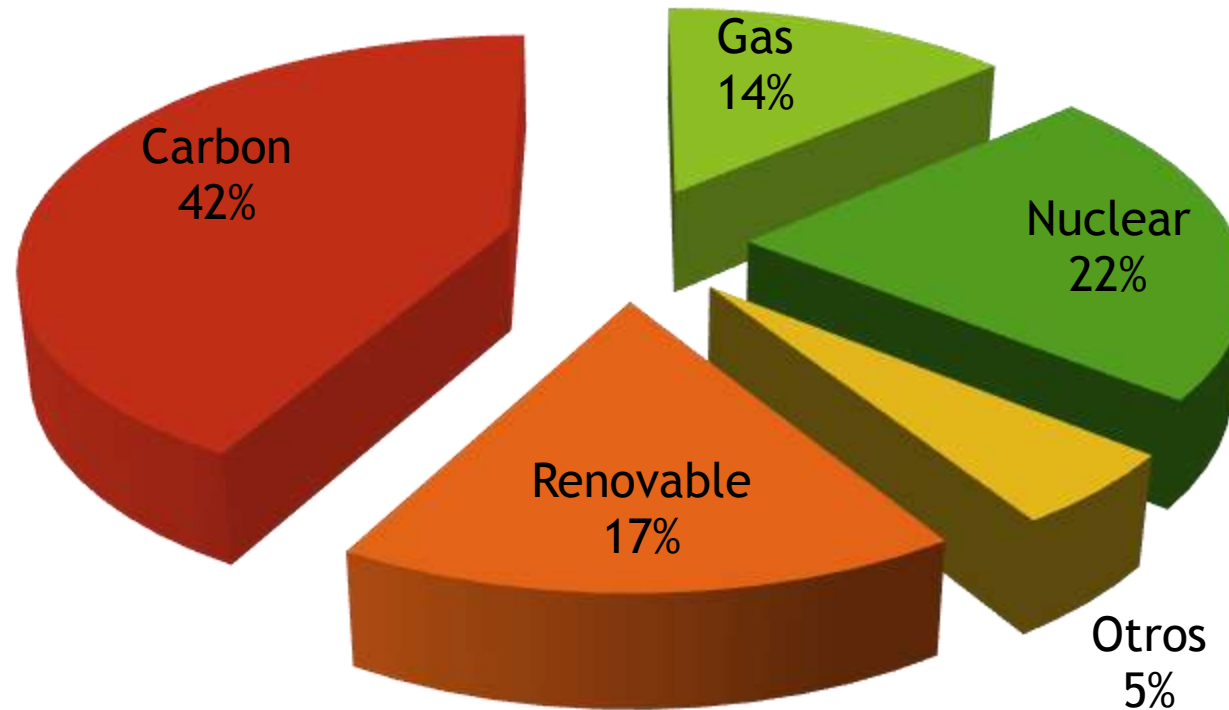


- Petróleo
- Carbón
- Gas
- Nuclear
- Hidroeléctrica
- Otras

- 81 % de Combustibles Fósiles
- 11 % de Renovables

Fuente: Elaboración propia con base en (EAI, Energy Administration Information 2008)

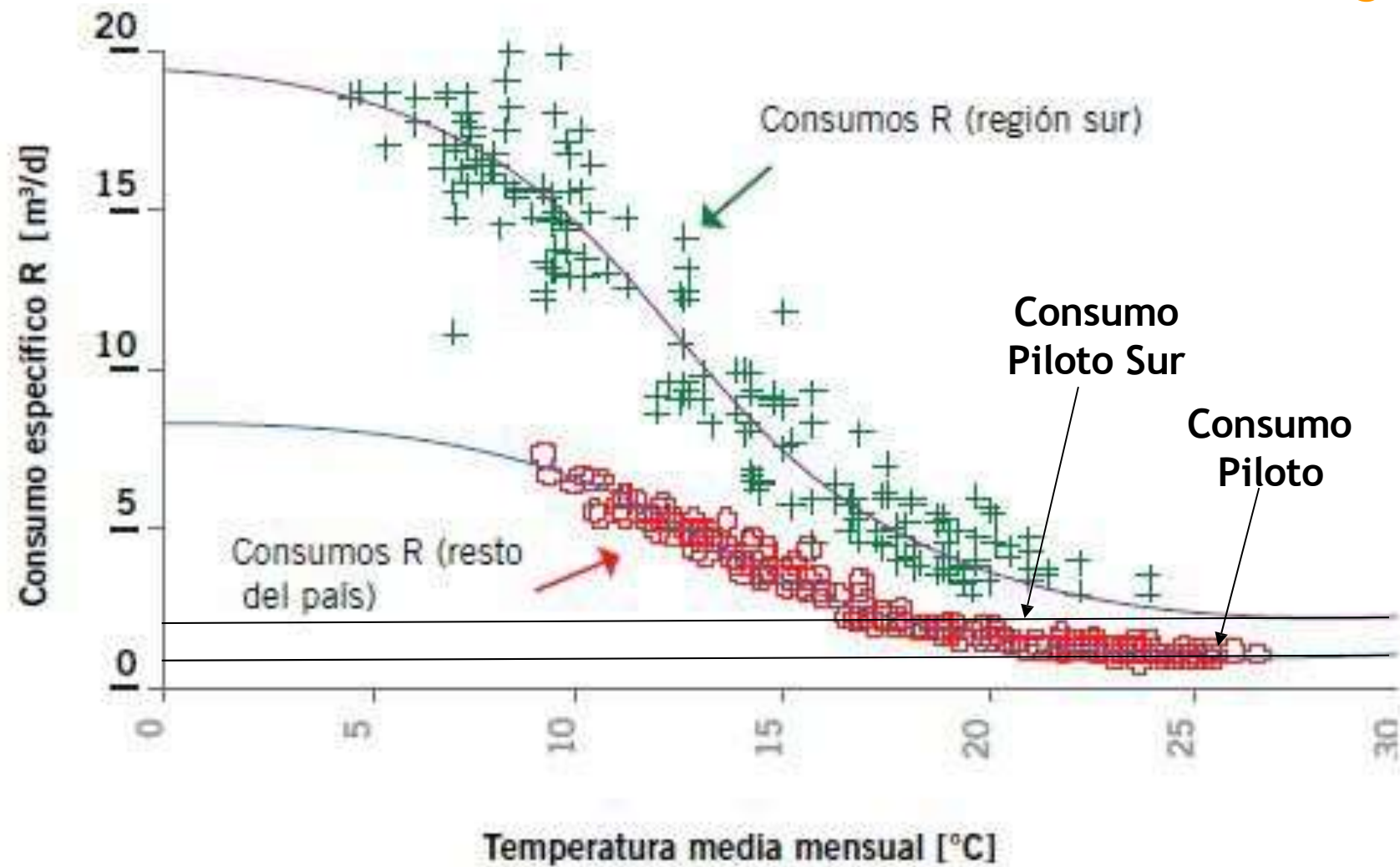
Matriz Energética Primaria Alemana



14

Gráfico de elaboración propia. Fuente de datos: European Commission, unless otherwise stated

Consumos de gas



Ahorro por eficiencia energética

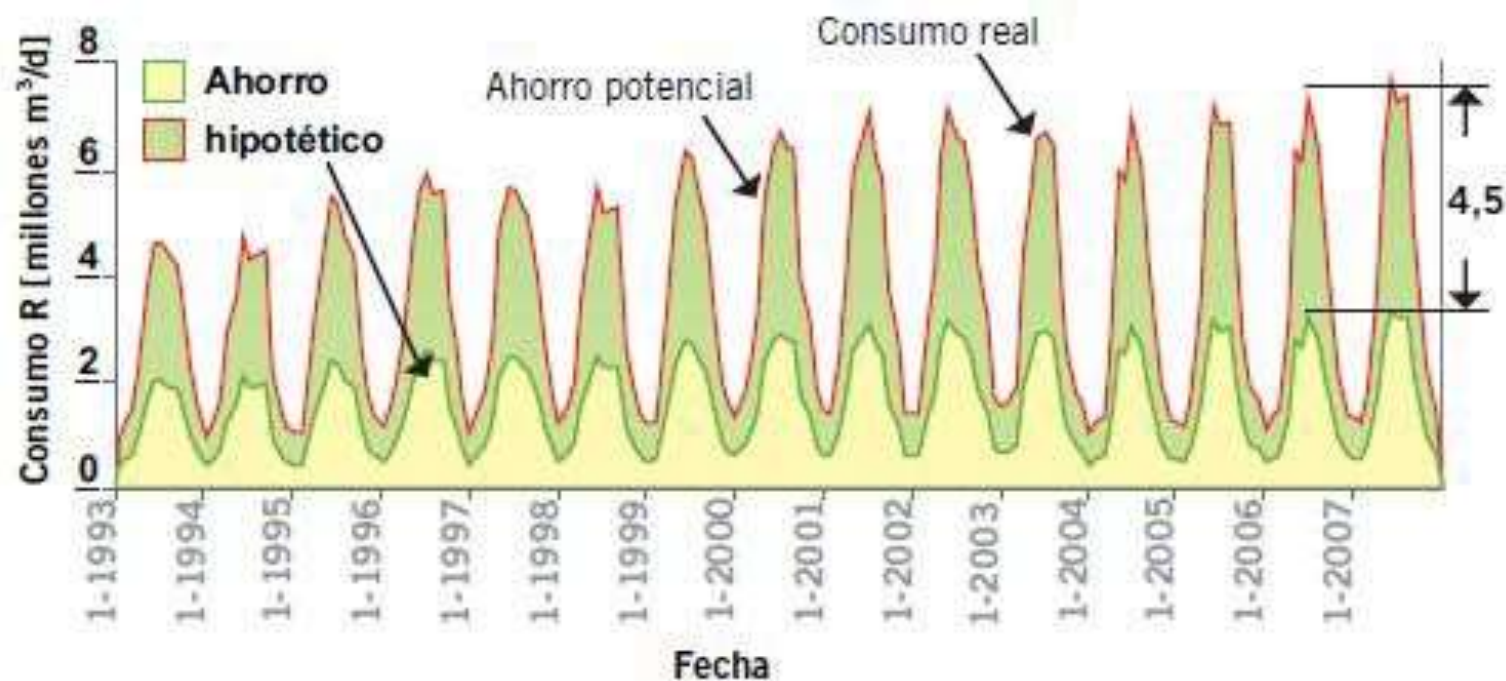


Figura 4. Variación de los consumos residenciales totales en la zona sur. La curva roja representa los consumos realmente observados. La curva que rodea el área amarilla (oscura) representa el consumo residencial de la zona sur, si esta región tuviese un consumo específico como el del resto del país, pero respetando sus escenarios térmicos reales. El área verde (superior) indica la magnitud del posible ahorro de gas, que sería de unos 4,5 millones de m³/día en los días más fríos. —→ consumo diario de central térmica de 900 MW

Energías Renovables

CONSUMOS BASE

Calefones o termotanques a gas:

Llama piloto consume 0,5 m³/día

Calefones o termotanques a electricidad:

Estado piloto consume 2 Kwh /día

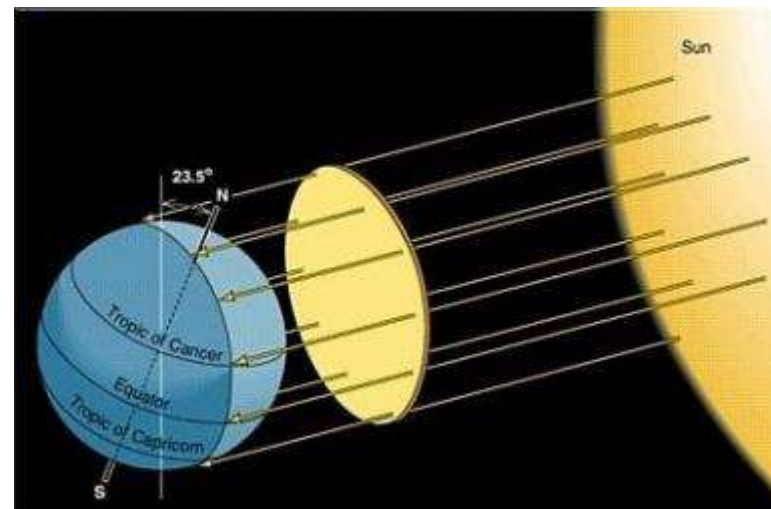
Eficiencia energética:

encendido eléctrico/electrónico en función de la temperatura

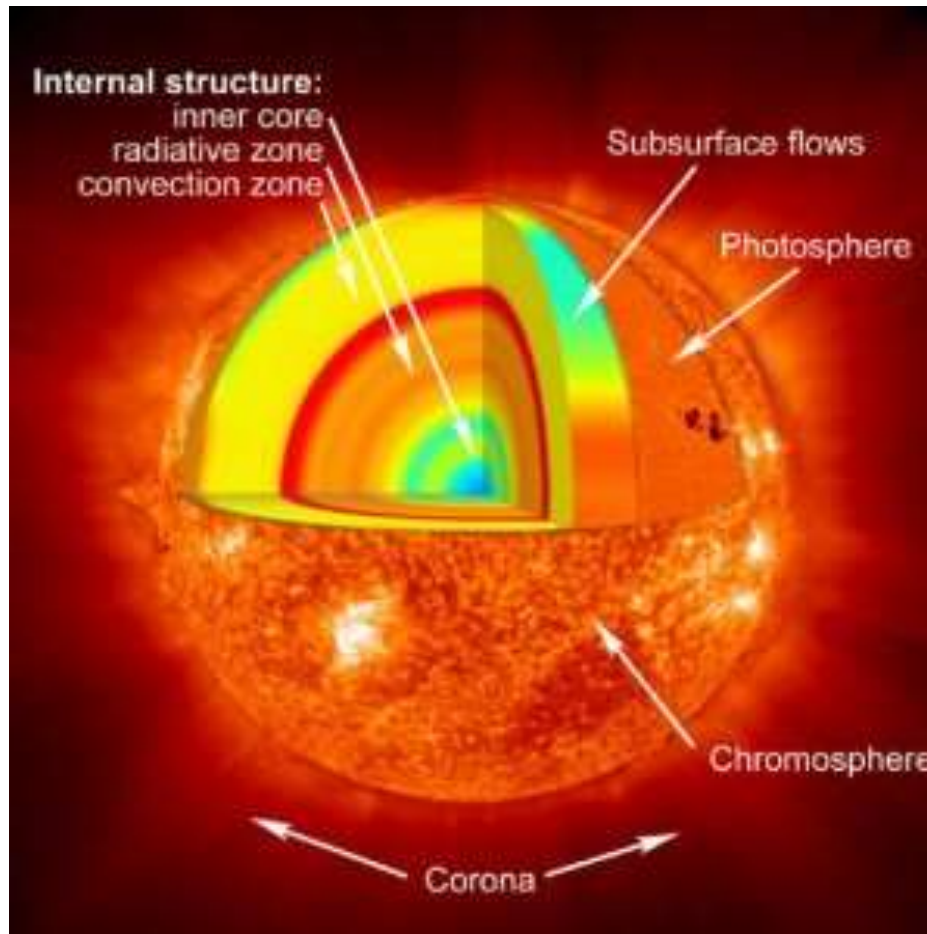
Ahorro posible: 3,5 millones de m³/día. Equivale a una central de ciclo combinado de 700 MW.

ENERGÍA SOLAR

- Distancia Sol-Tierra: 150×10^6 Km
- Tamaño: Diámetro medio aprox. 109 veces mayor que la tierra (12.700 Km)
- Masa: 330.000 veces mayor
- Emite 60000 Kw/m^2 , llega a la tierra $1,367 \text{ KW/m}^2$
- Dos rotaciones: 24 HS(diaria), 365,25 día (anual)
- Potencia en día soleado: 1000 W/m^2



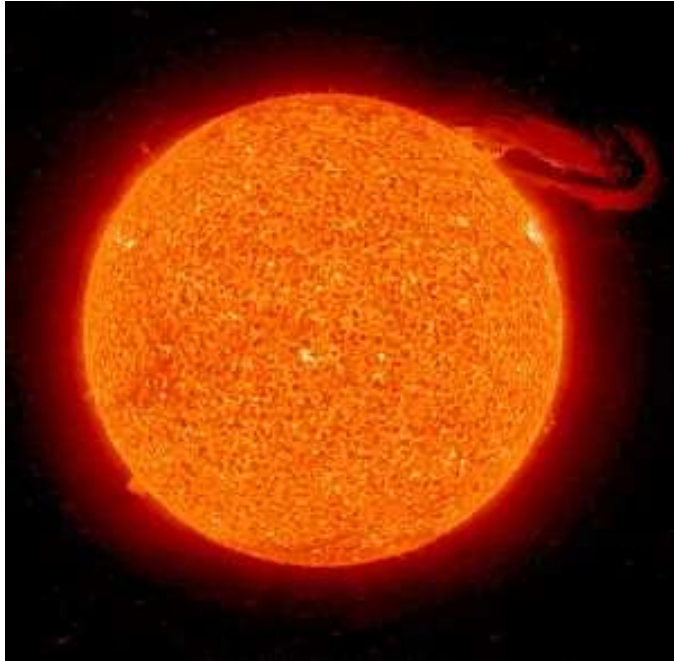
El sol como fuente energética



Fuente: www.astronomiamoderna.com.ar

- Diámetro relativo:
 $D_{sol}/D_{tierra} = 109$
- Aceleración de gravedad en superficie: $274m/s^2$
- Temp. máx. en sup. : 5778 K
- Comp.: 73,5% H; 24,8% He; 1,7% otros
- 98,6% de la masa del sistema solar
- Llega a la tierra radiación electromagnética de: $1.367W/m^2$

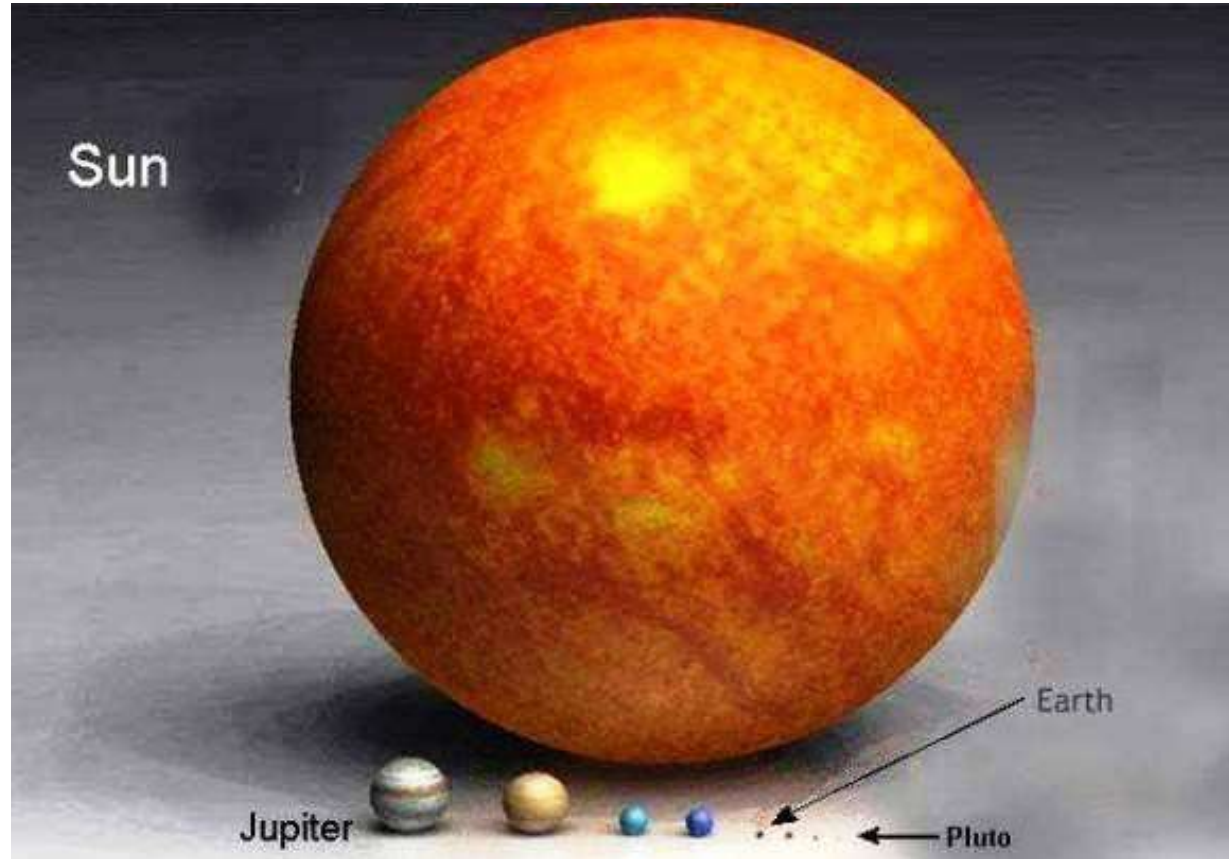
El sol como fuente energética



Fuente: www.astronomiamoderna.com.ar

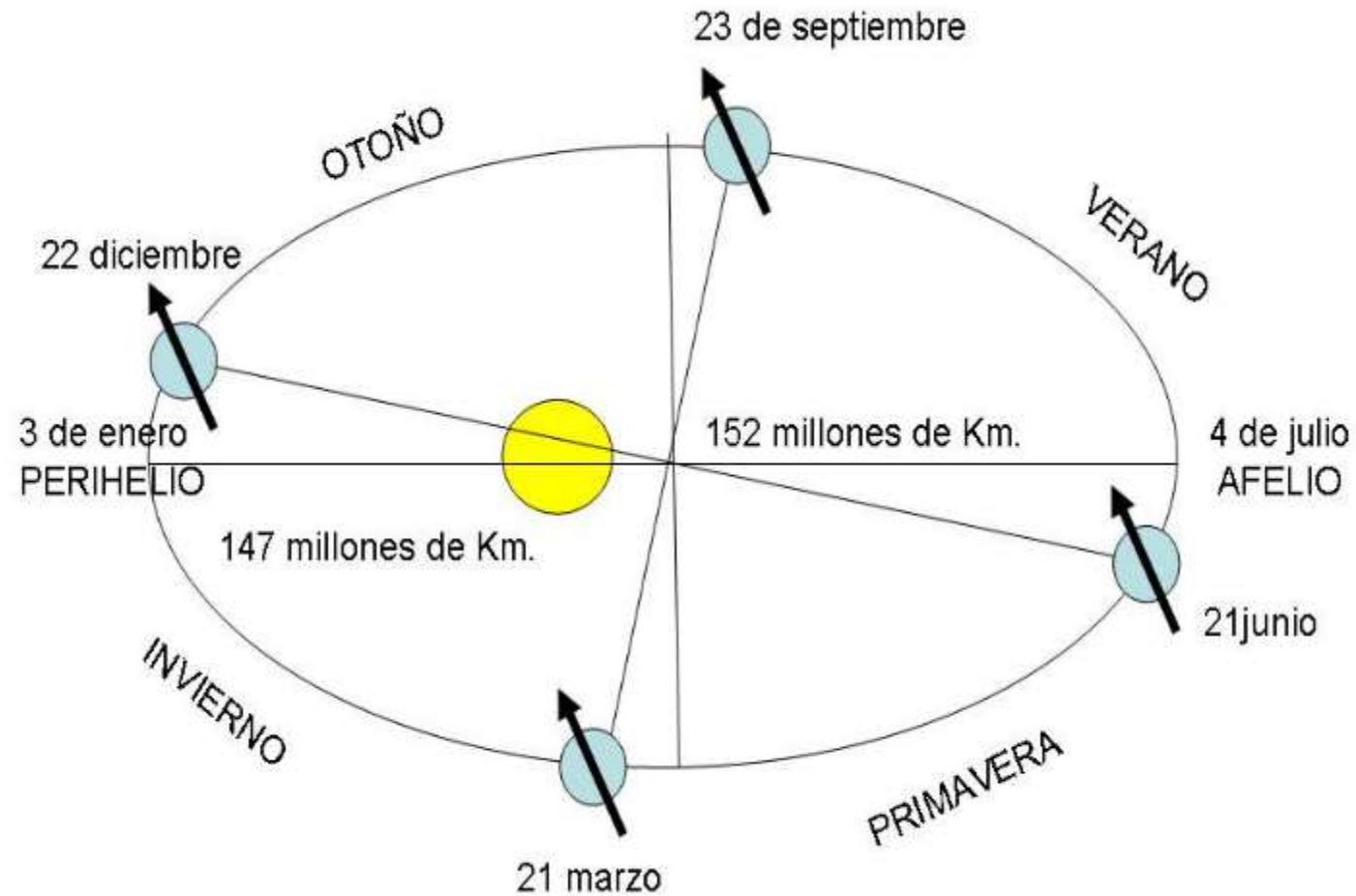
- Dist. Media, Sol a la Tierra aprox. 149.600.000 kilómetros
- Tiempo de recorrido S/T: 8 minutos 30 seg.
- Tiempo de vida 5.000 millones de años
- Reacciones de fusión de H para transformarse en He
- Potencia: $3,8 \times 10^{23} \text{ kW}$, 760.000 veces producida a nivel mundial

Energías Renovables



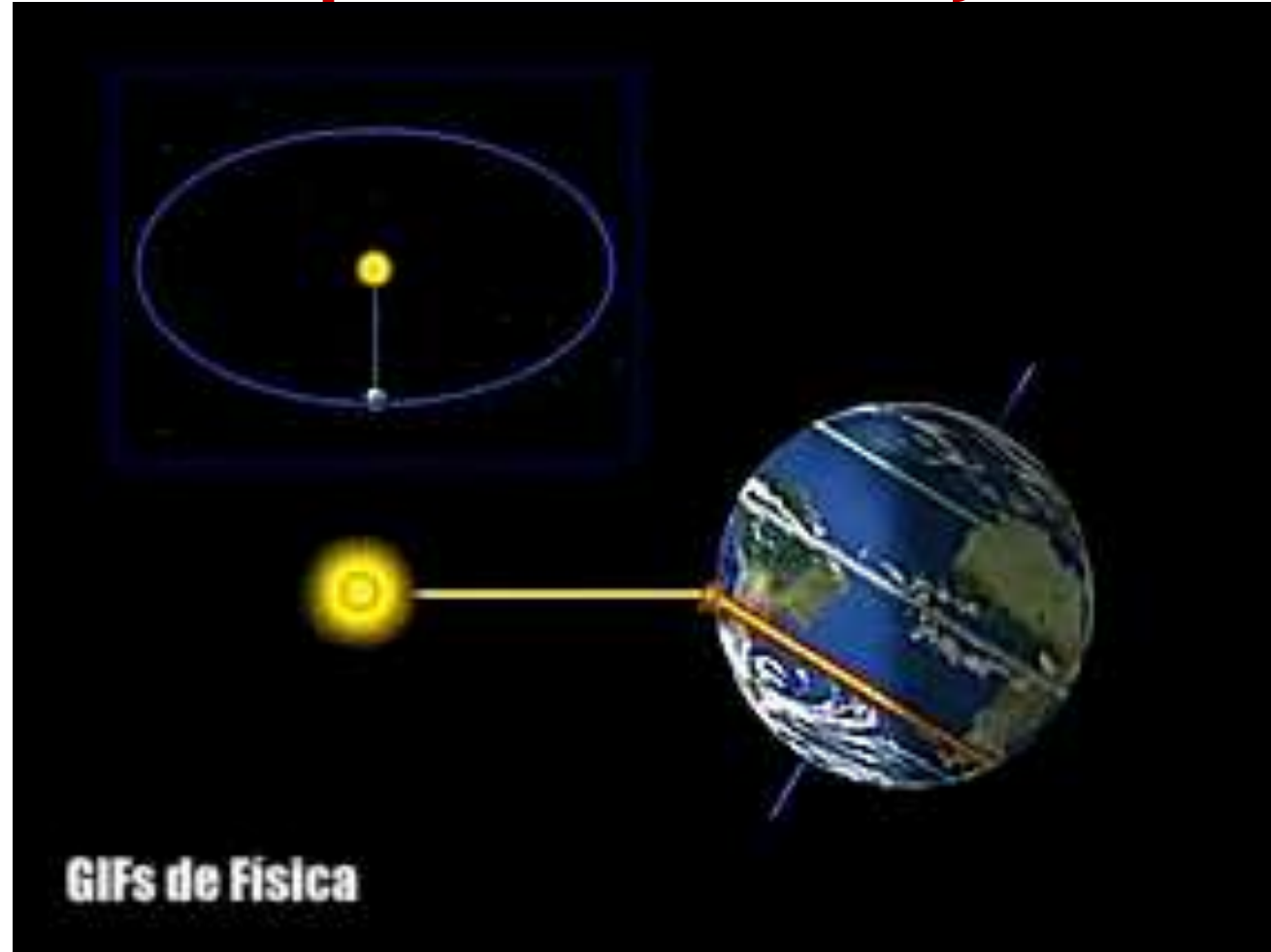
[1] Aprovechamiento energético de la radiación solar, UNLU.

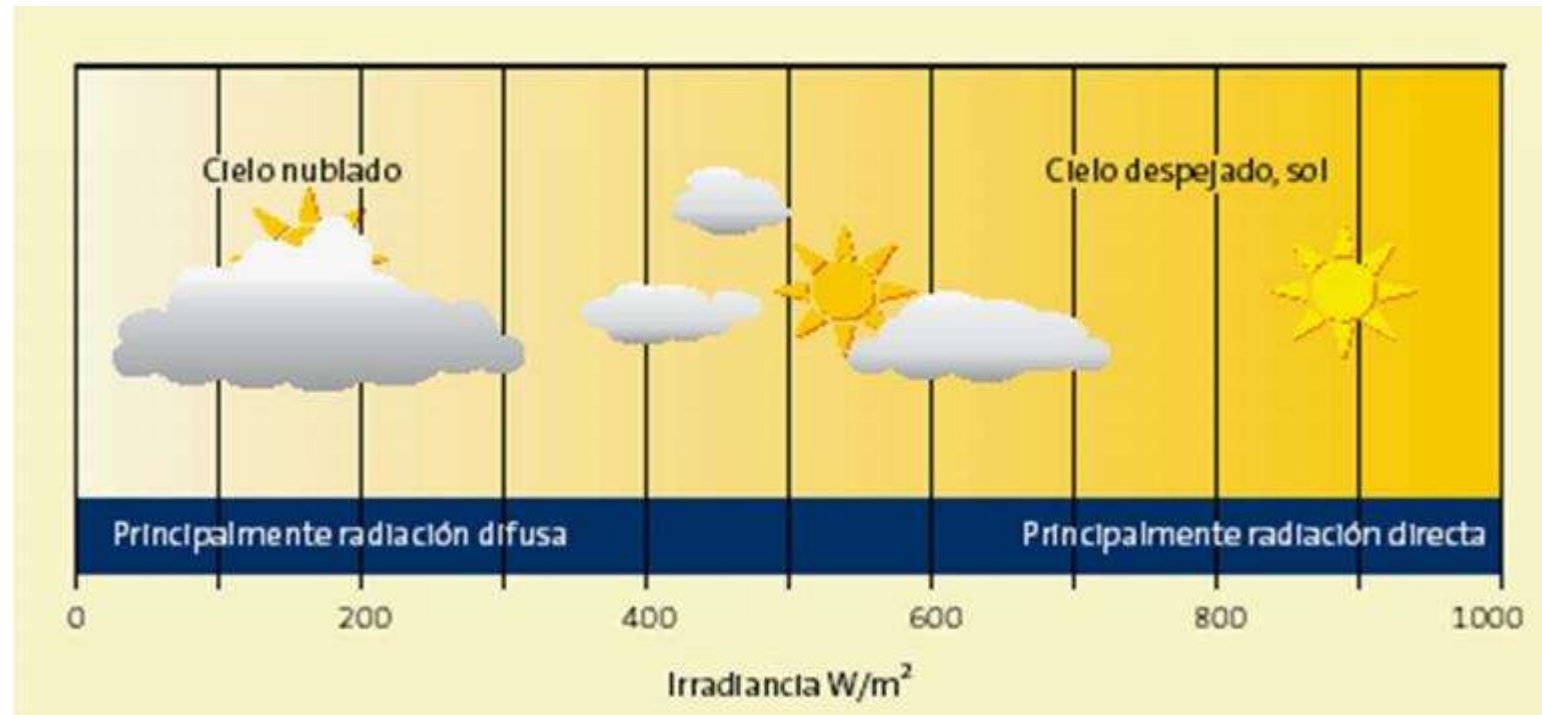
Trayectoria de la Tierra alrededor



Fuente: Departamento de Física y Química del IES - España

Posición de la tierra respecto del plano elíptico de su trayectoria





Variación de la potencia solar recibida según condiciones de cielo

Energías Renovables

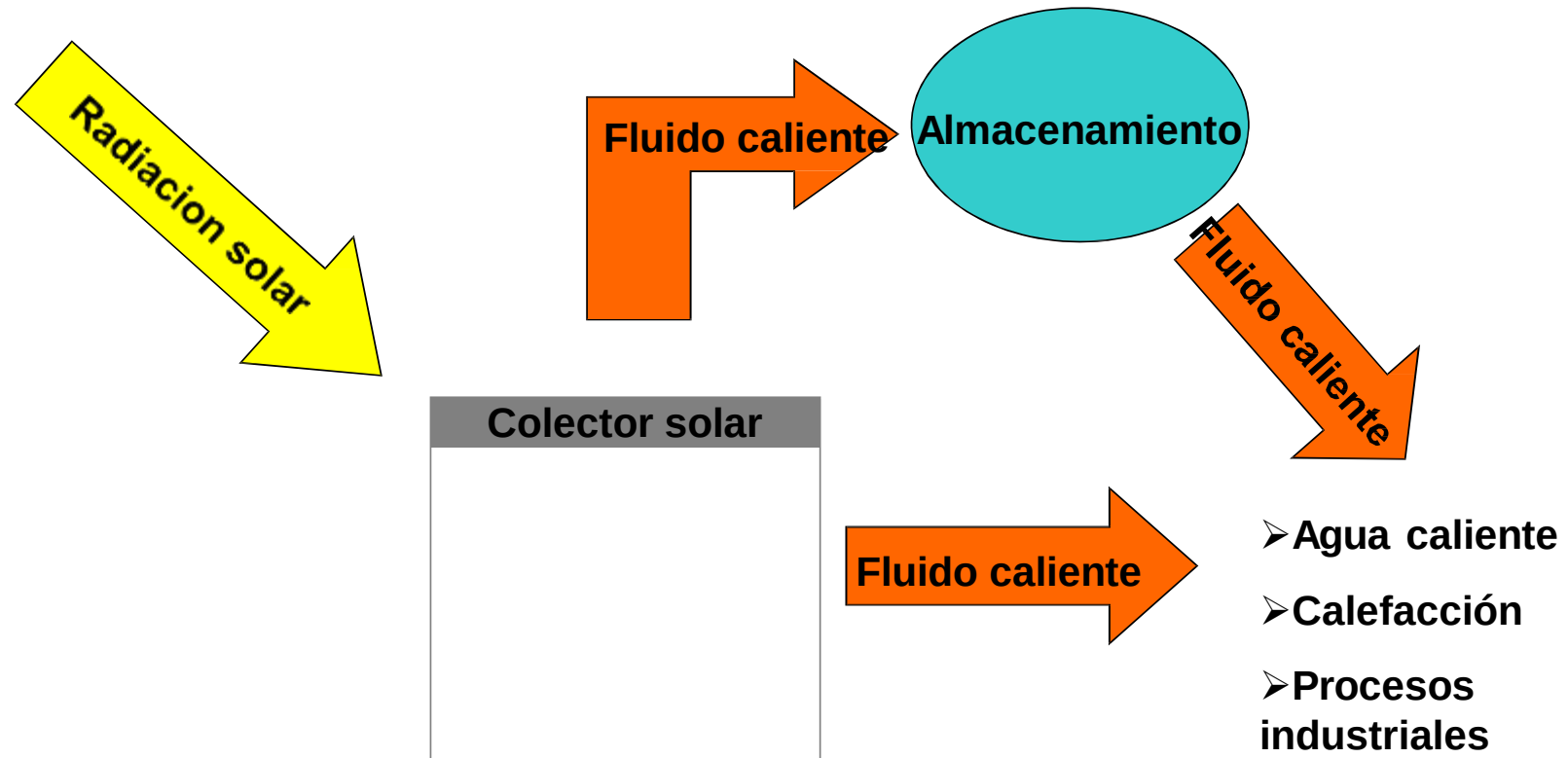
APLICACIONES EN ARQUITECTURA



- Agua caliente sanitaria
- Calefacción
- Climatización de piscinas
- Procesos agroindustriales
- Generación de energía eléctrica



FUNCIONAMIENTO



Colectores solares

► Colectores ensayados

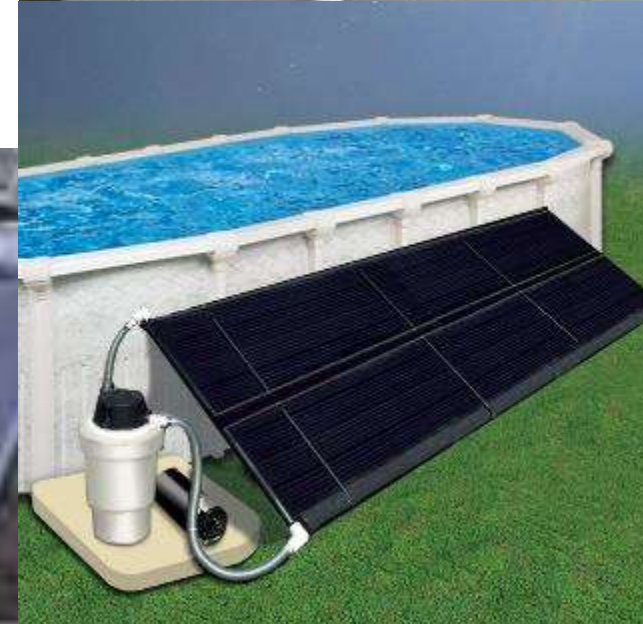
Colector de tubos evacuados



Colector de polipropileno



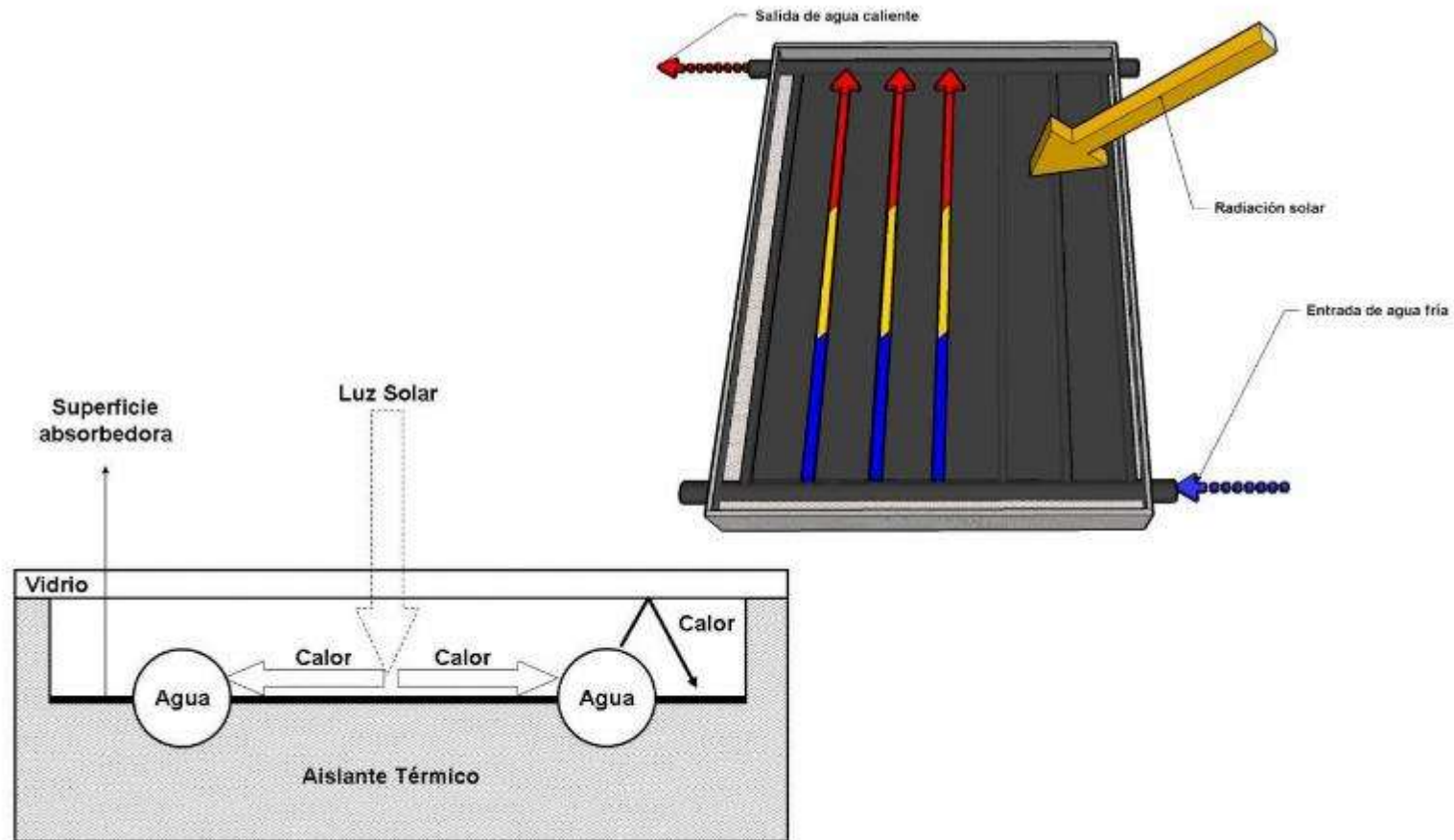
Colector plano con cubierta



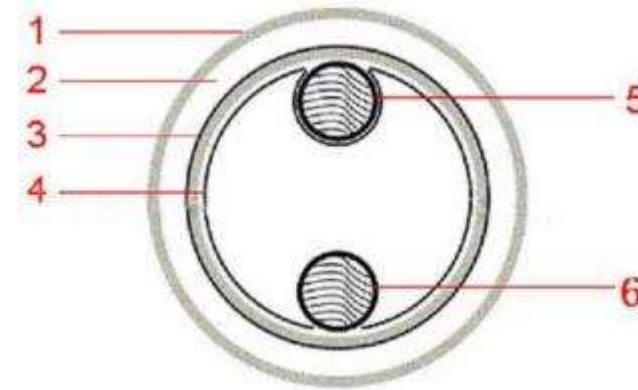
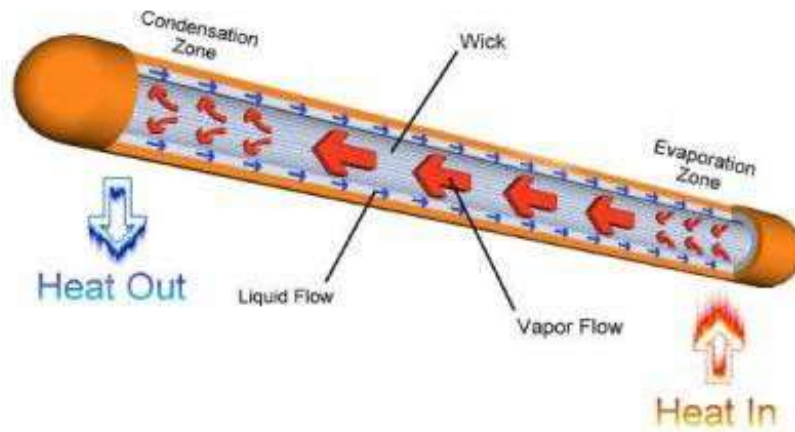


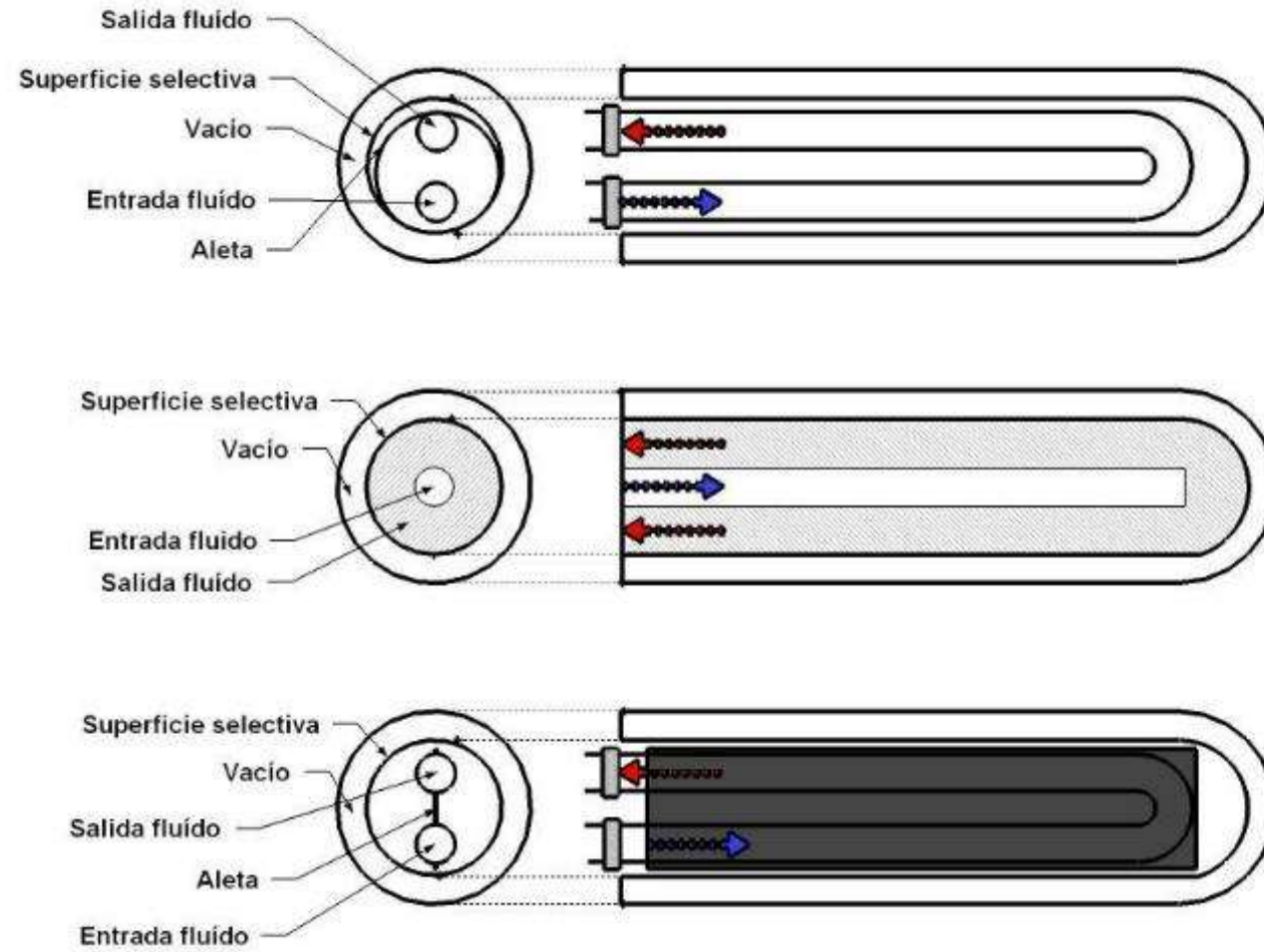


FUNCIONAMIENTO

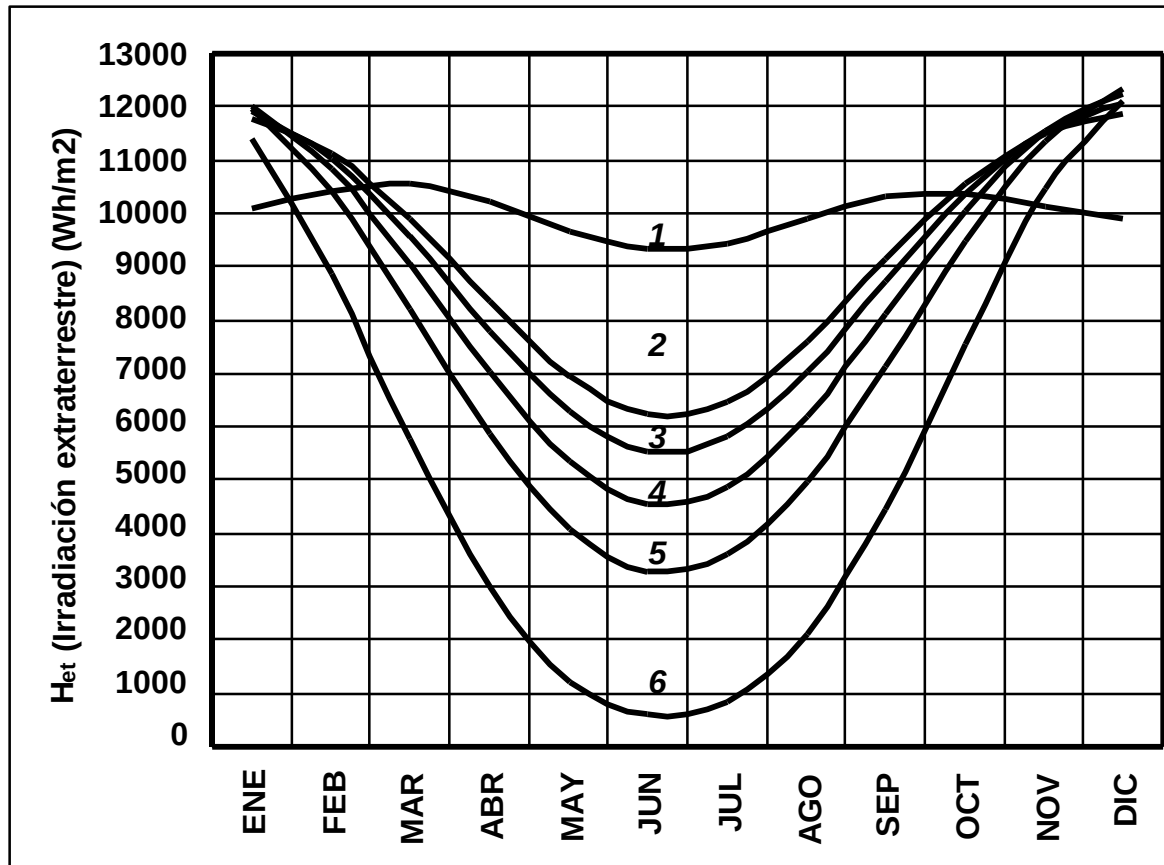


3.3. colector solar de tubos evacuados





Irradiación a tope de atmósfera (ET)



1 = 0°, Ecuador.

2 = 23.45° S, Trópico de Capricornio.

3 = 28° S, Catamarca.

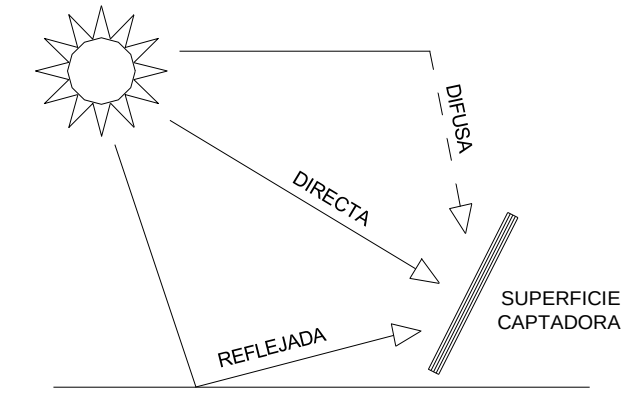
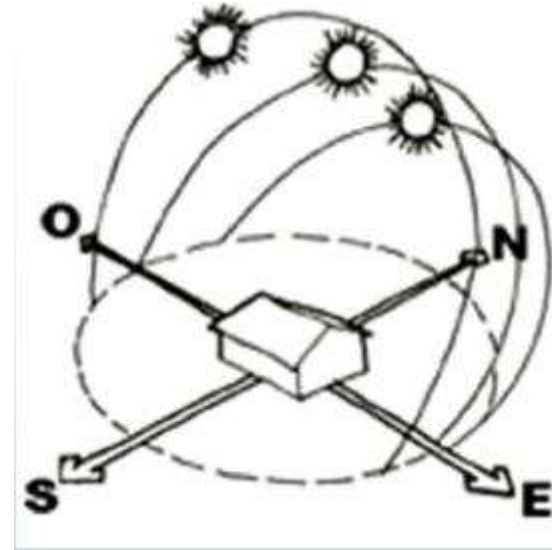
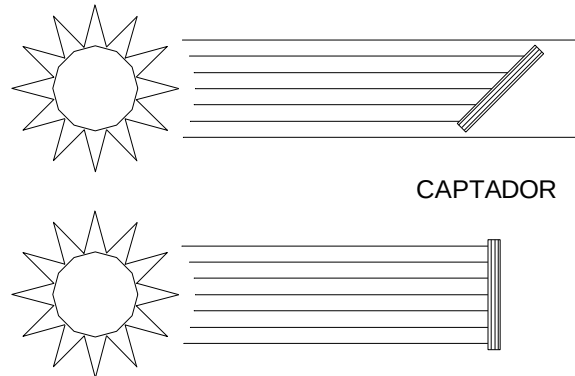
3 = 34° S, Bs Aires.

5 = 42° S, Bariloche.

6 = 60° S, T. del Fuego.

Plano horizontal: interesa la altura del sol a lo largo del día y el total que llega a la superficie. No interesa el azimuth (desviación con respecto al norte).

Plano inclinado: Interesa el azimuth y cuanto llega de cada componente al plano de interés (Directa, Difusa y reflejada).



Rendimiento de colectores solares

No es posible asignar un **único** valor de eficiencia dado que el colector es una maquina térmica que depende de variables que no son constantes a lo largo del tiempo.

En un día cualquiera:

- *La irradiancia solar es variable*
- *La temperatura ambiente es variable*
- *La velocidad del viento es variable*
- *La temperatura de entrada del fluido al sistema es variable*

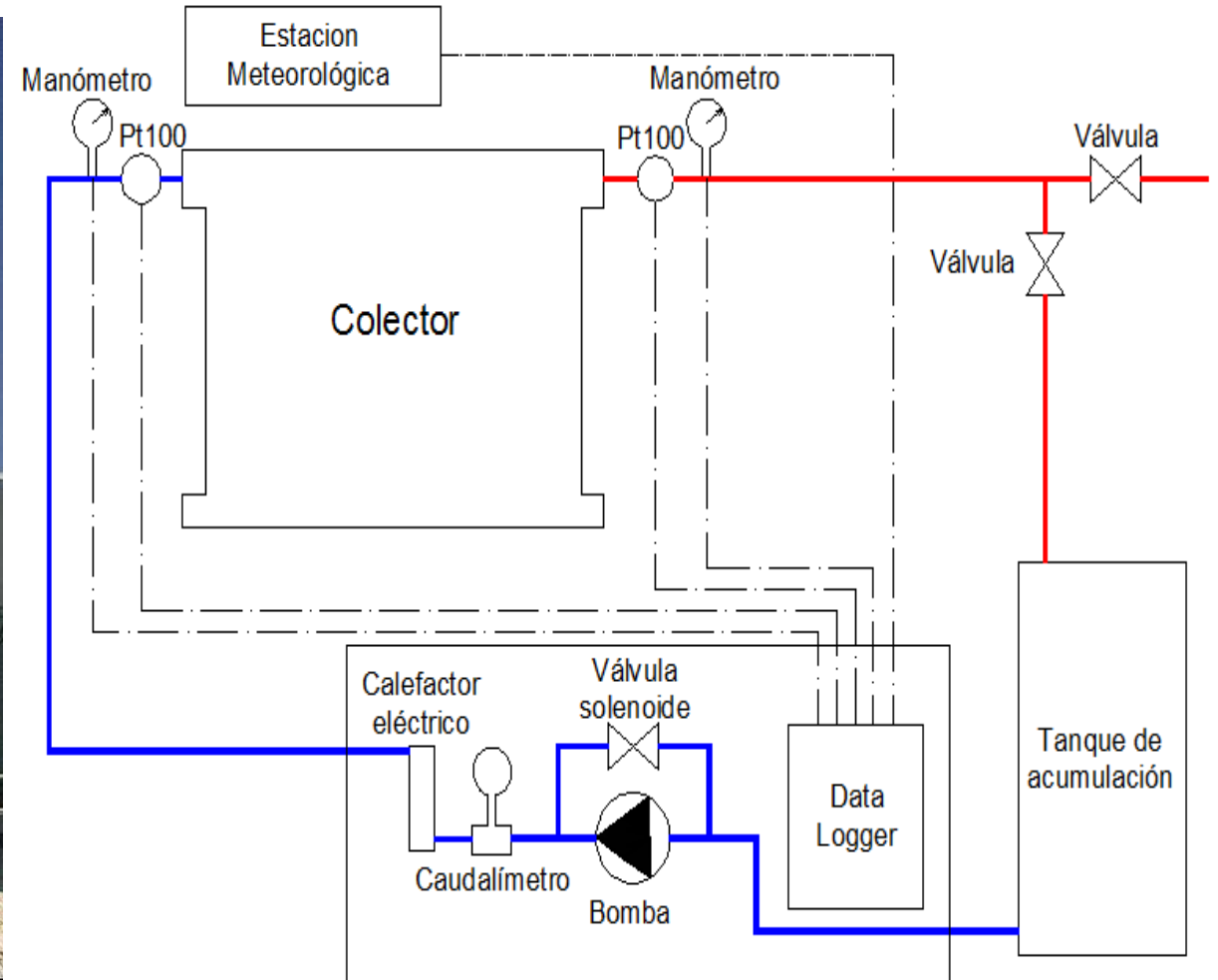
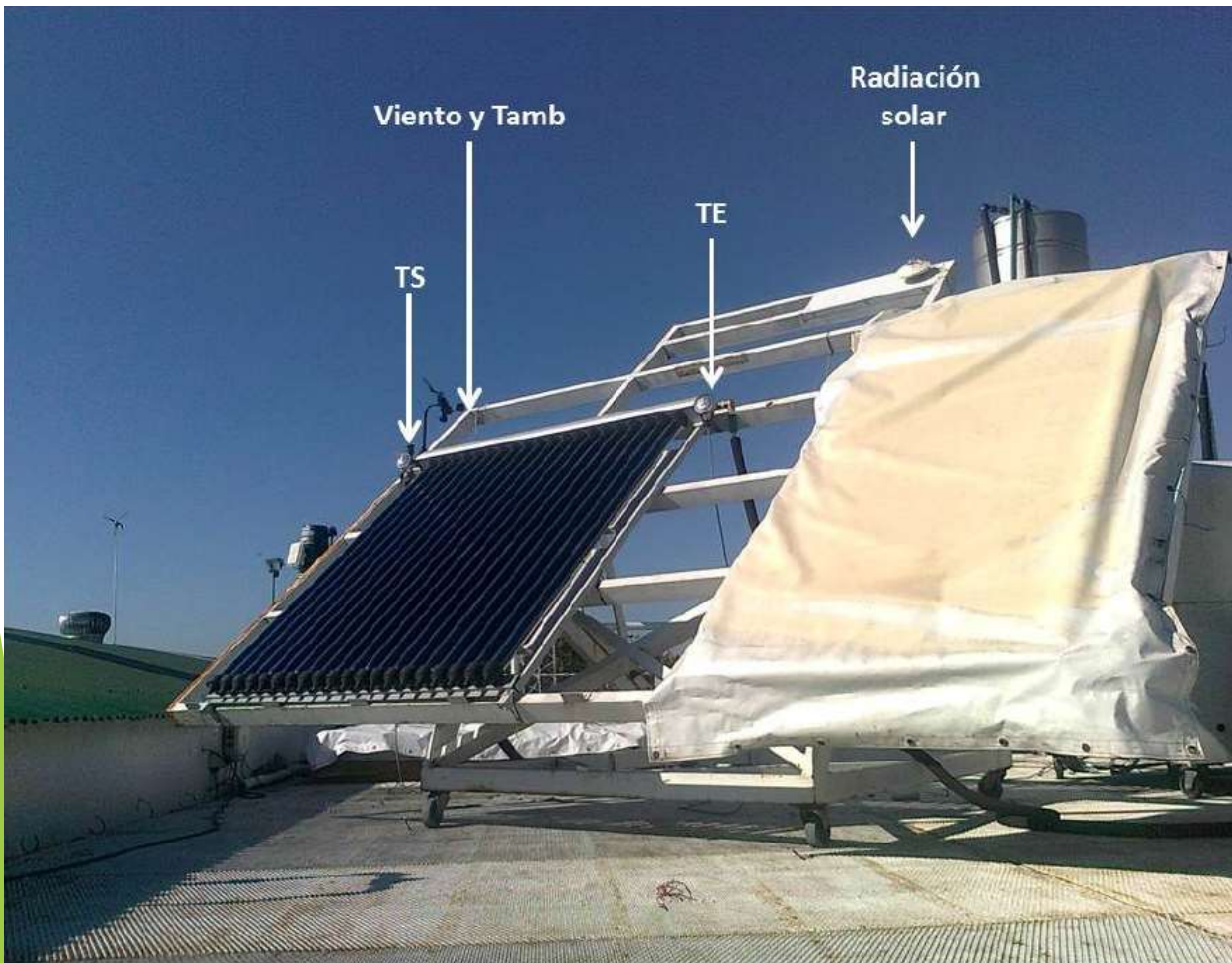
ES NECESARIO UTILIZAR UNA CURVA DE RENDIMIENTO QUE PUEDA PREDECIR EL COMPORTAMIENTO DEL COLECTOR BAJO DIVERSAS CONDICIONES DE LAS VARIABLES DE LAS CUALES DEPENDE.

$$\eta = \frac{\text{Calor ganado por el sistema}}{\text{Irradiancia solar disponible}}$$

$$\eta = \underbrace{(\alpha \cdot \tau)}_{\text{Pérdidas ópticas}} - U \cdot \underbrace{\left(\frac{T_{mf} - T_{amb}}{I} \right)}_{\substack{\text{Pérdidas} \\ \text{térmicas} \\ \text{Condiciones} \\ \text{ambientales}}}$$

Plataforma Solar: banco de ensayos

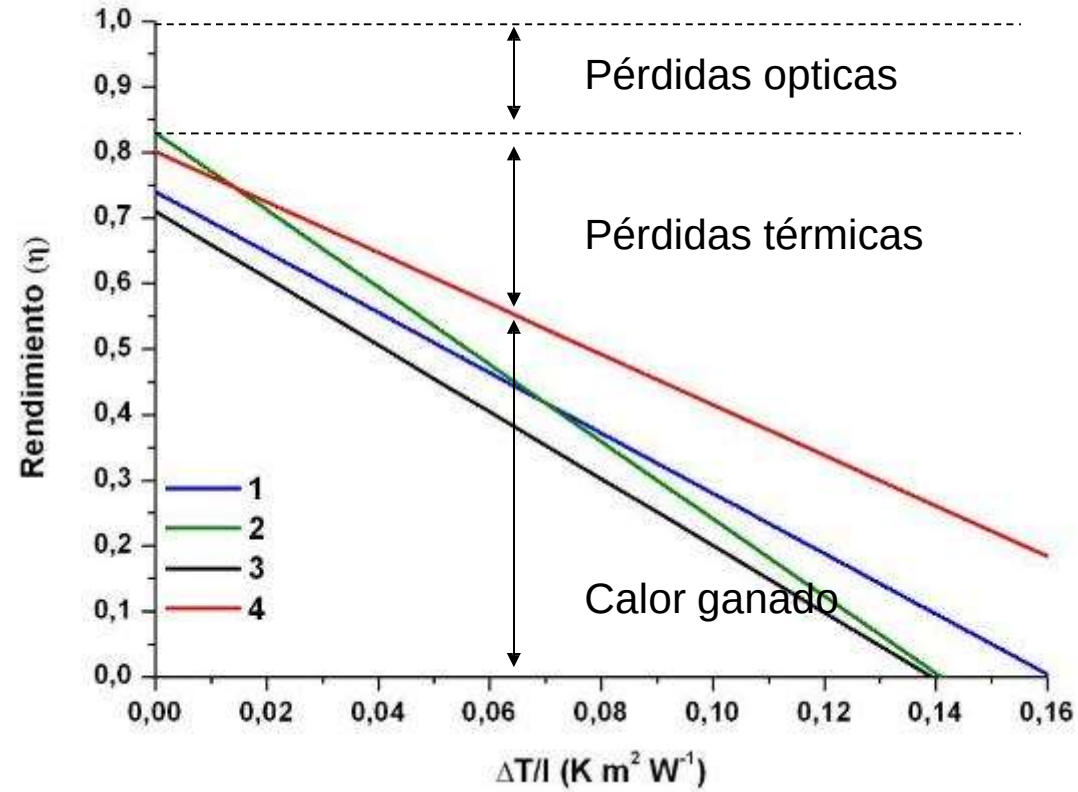
- Foto y esquema del banco de pruebas de colectores de la Plataforma Solar del LESES:



Banco de Ensayos LESES



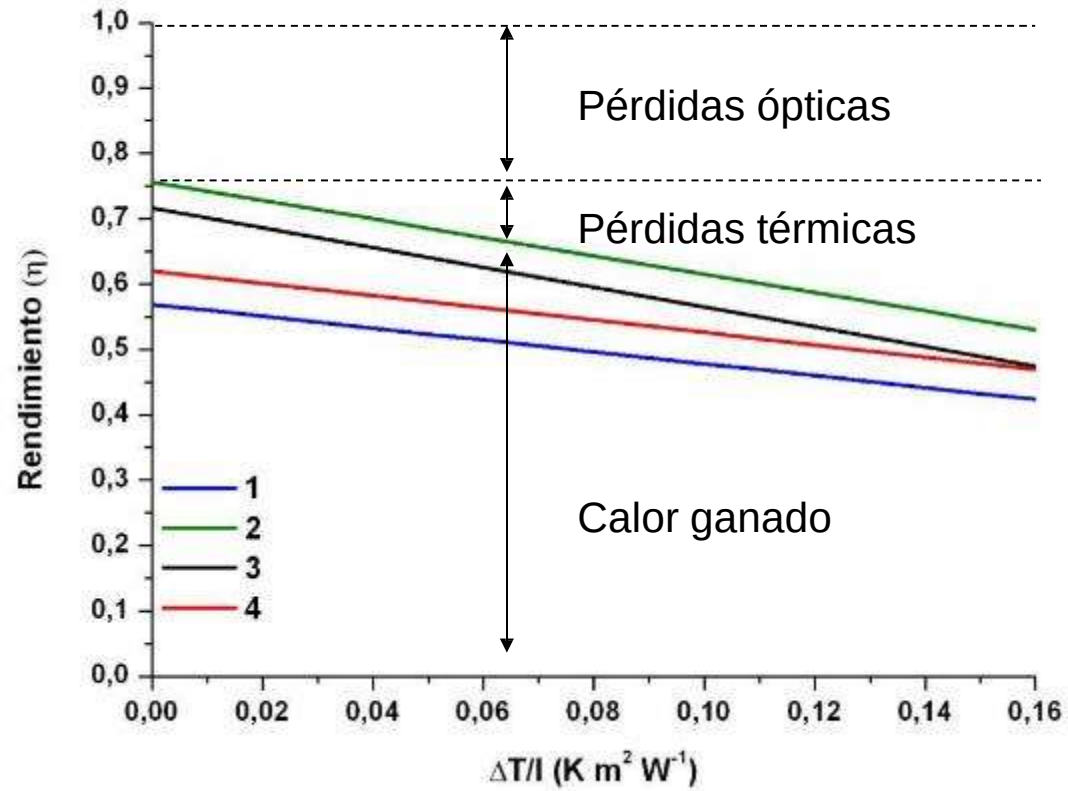
Colectores Planos



$$4) 0,80 - 3,58 \cdot (\Delta T / I)$$

$$2) 0,83 - 5,89 \cdot (\Delta T / I)$$

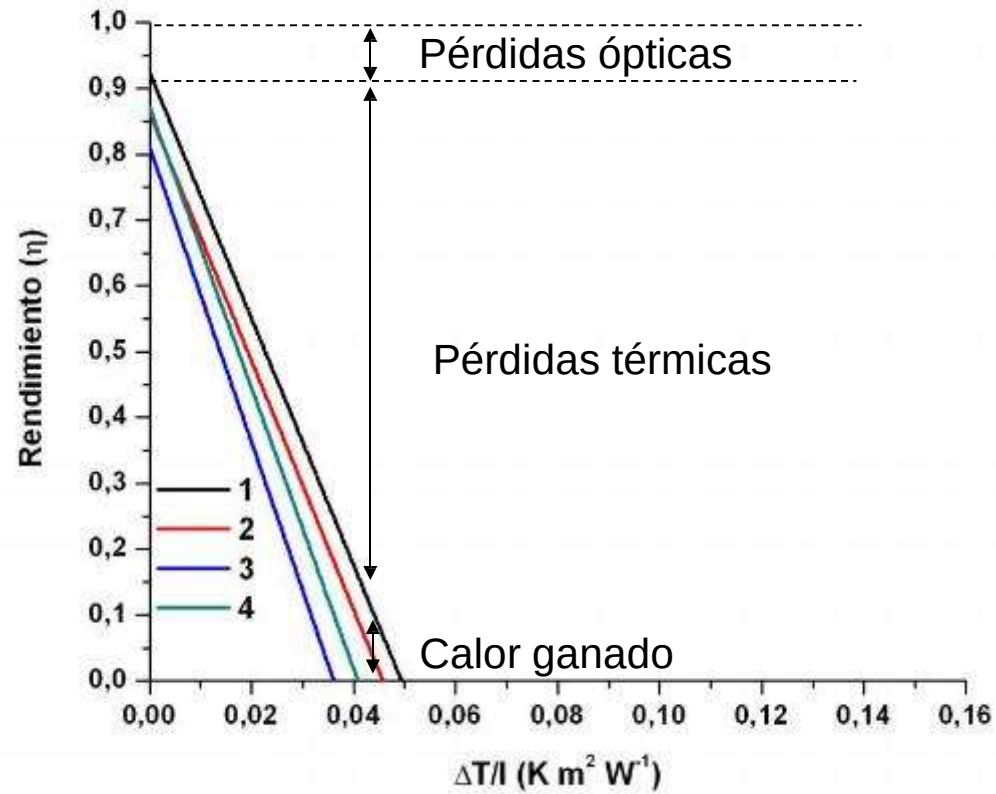
Colectores de tubos evacuados



$$1) 0,57 - 0,91 \cdot (\Delta T / I)$$

$$2) 0,76 - 1,41 \cdot (\Delta T / I)$$

Colectores Planos de piscina

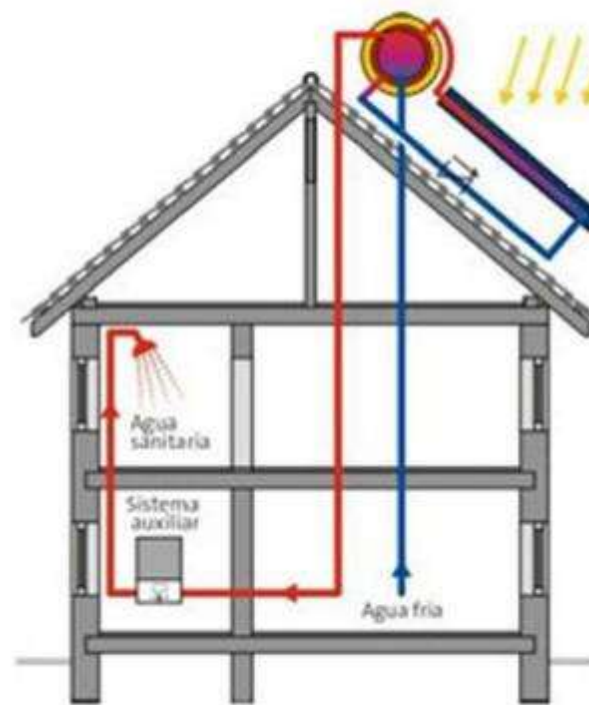


$$1) 0,92 - 18,7 \cdot (\Delta T / I)$$

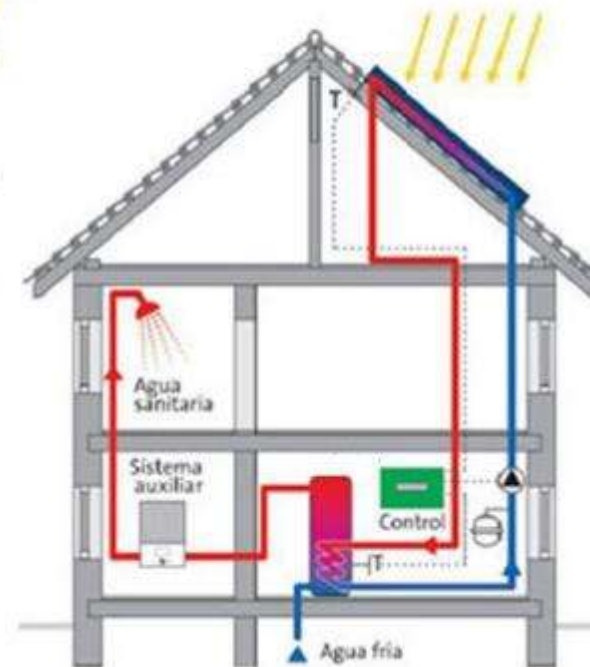
$$4) 0,81 - 22,4 \cdot (\Delta T / I)$$

TIPOS DE INSTALACIONES

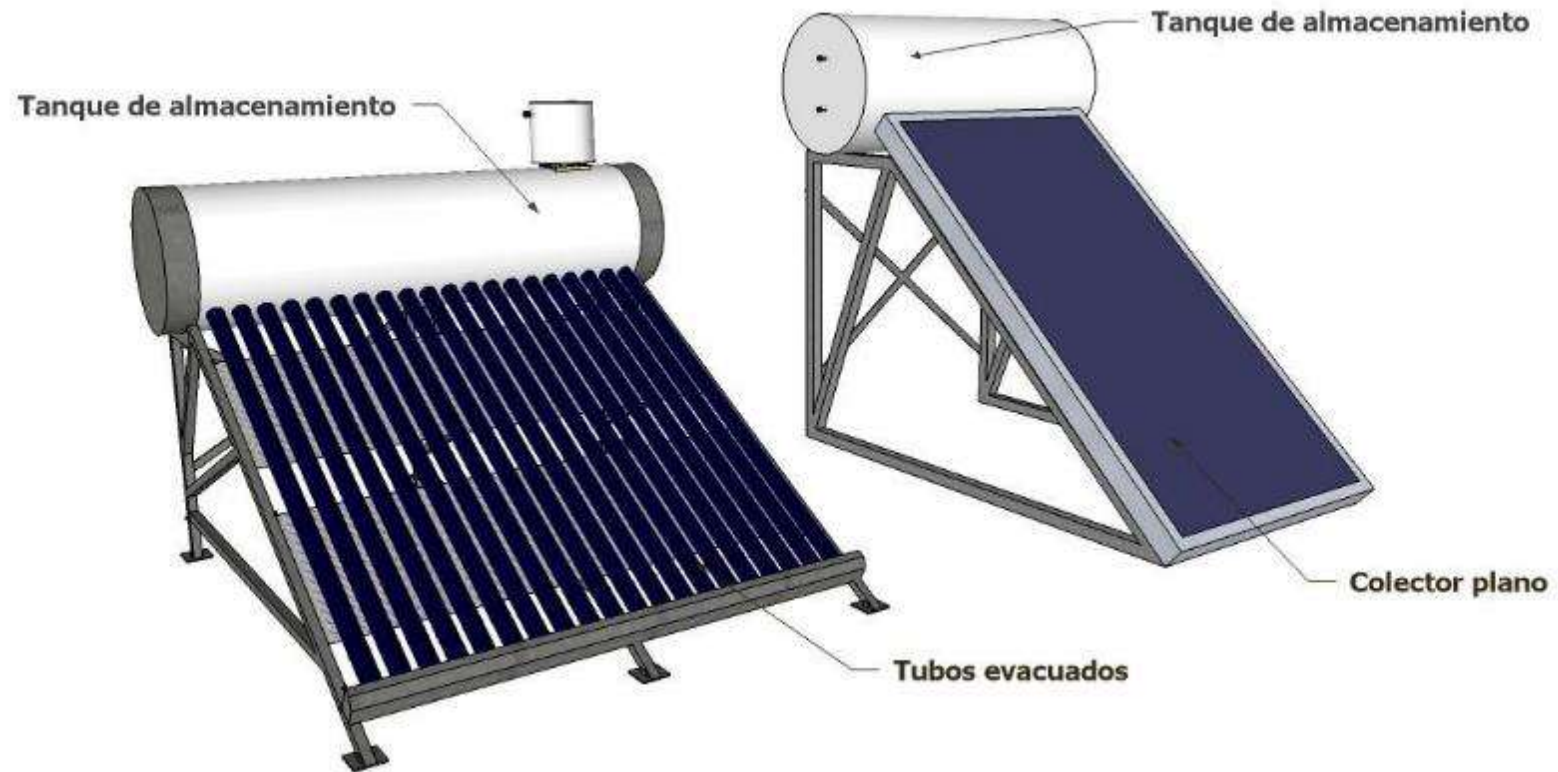
CIRCULACIÓN NATURAL



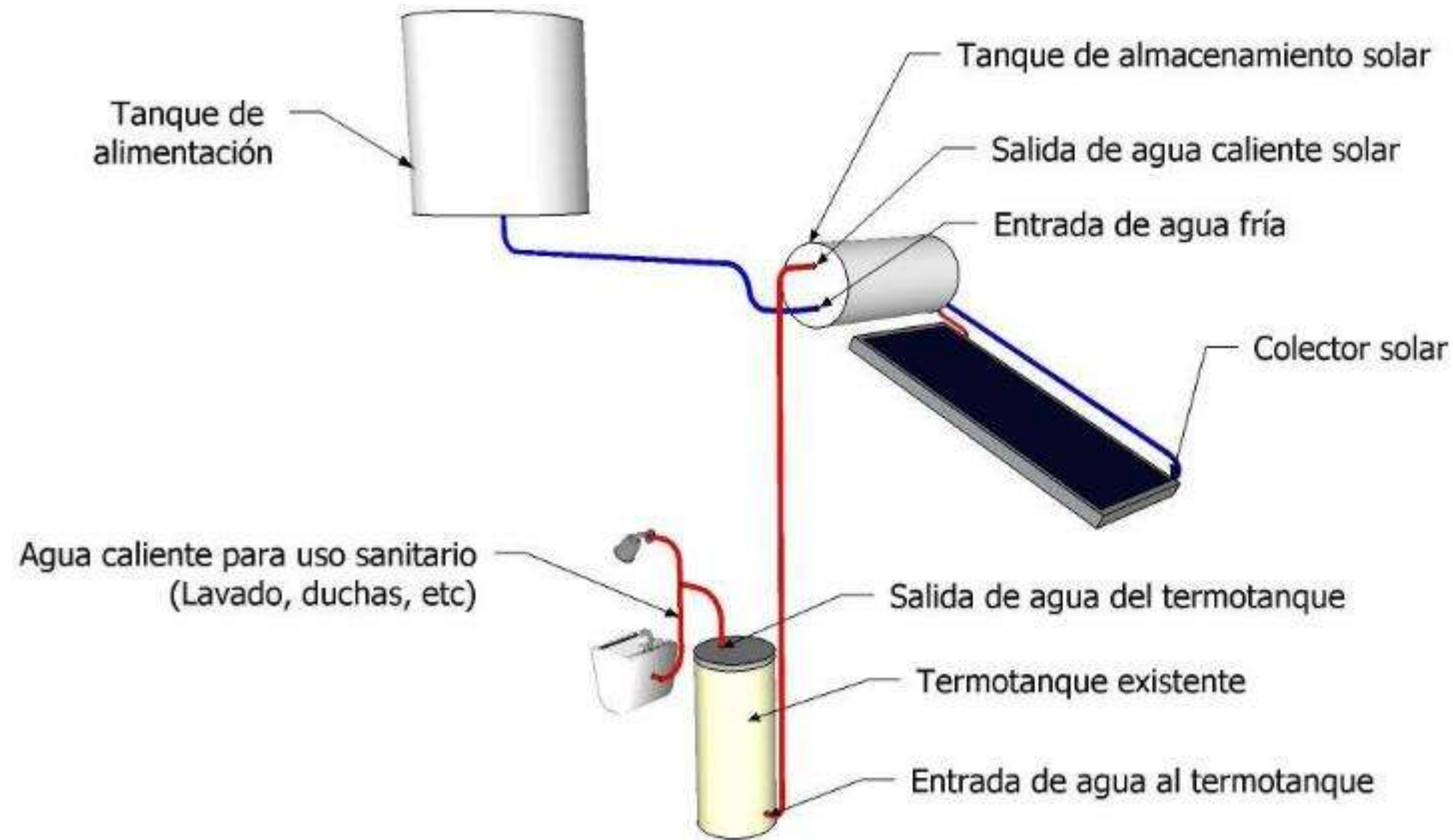
CIRCULACIÓN FORZADA



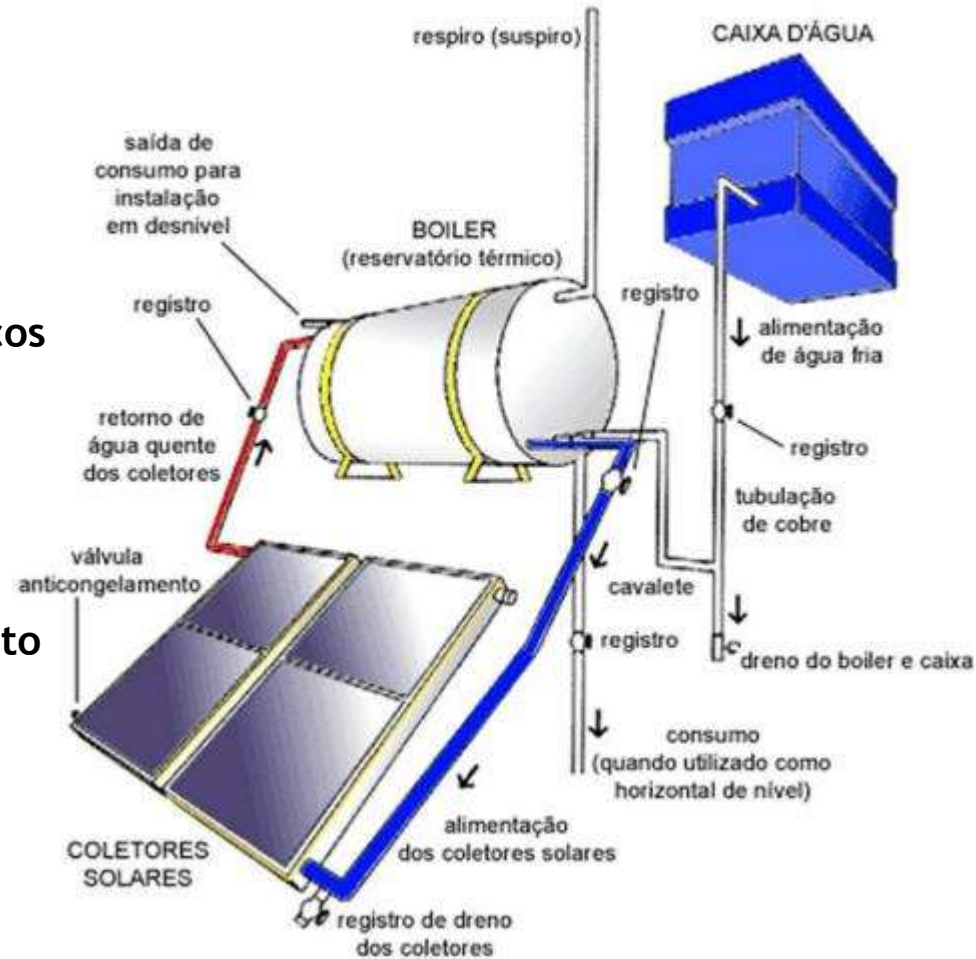
EQUIPOS TÍPICOS PARA CIRCULACIÓN NATURAL



FUNCIONAMIENTO DE INST. CIRCULACIÓN NATURAL

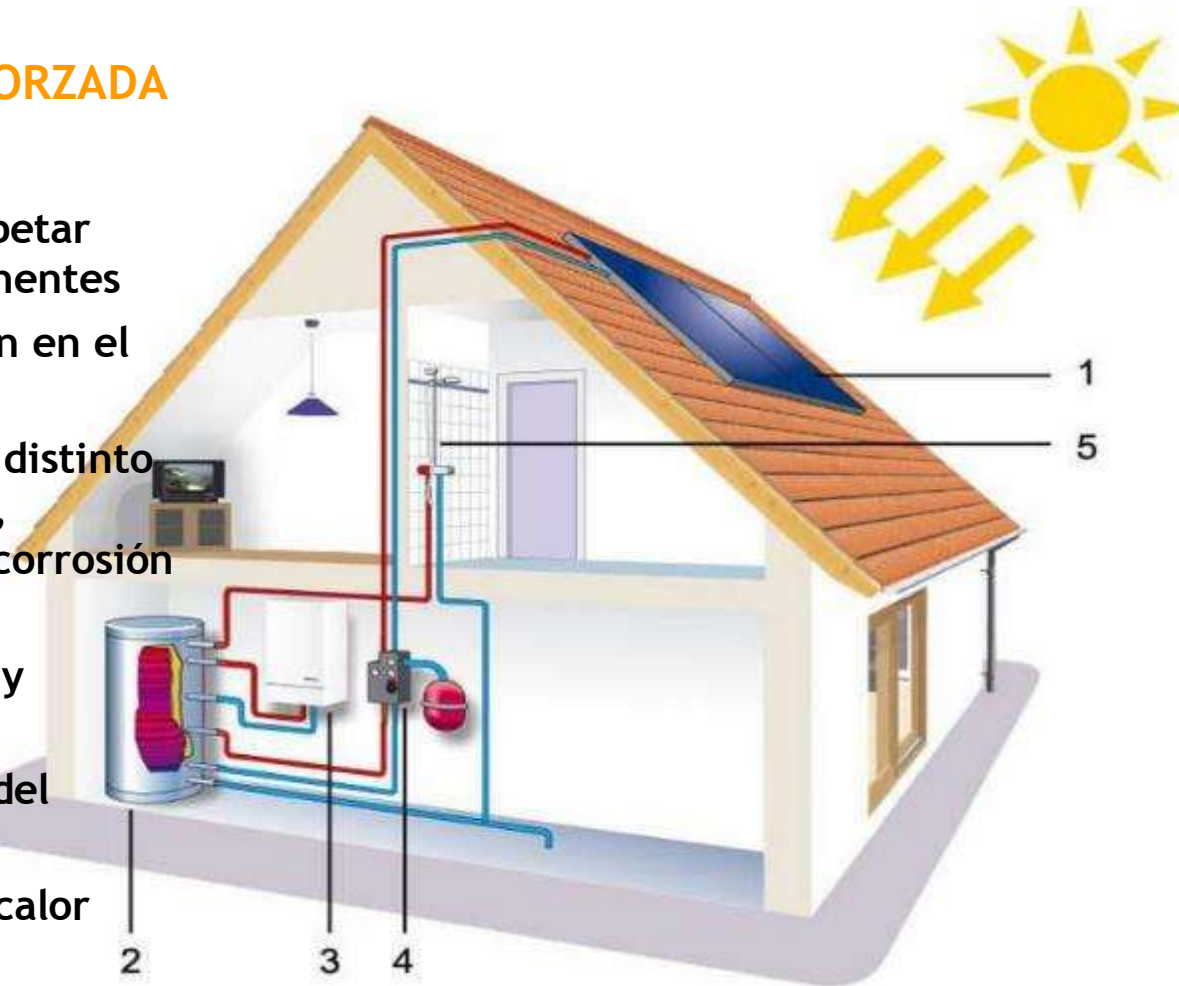


- Niveles de los distintos componentes
- Pendientes necesarias en las cañerías de conducción
- Algunos condicionantes técnicos para su instalación
- Mayor diámetro de cañerías
- Mayor nivel de aislación
- Menor mantenimiento
- Menor costo de funcionamiento
- Menor inversión y costo operativo
- Riesgo de congelamiento

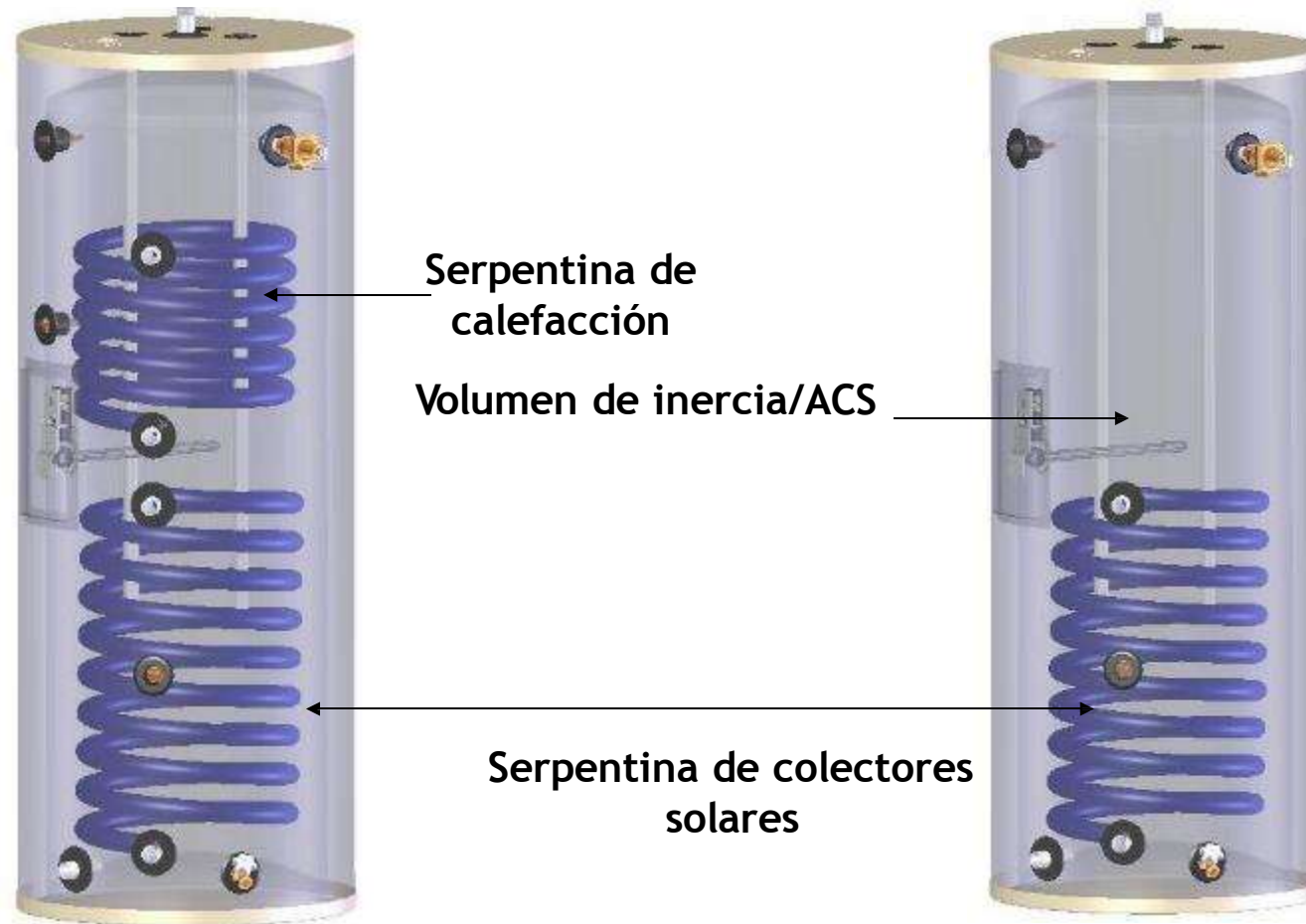


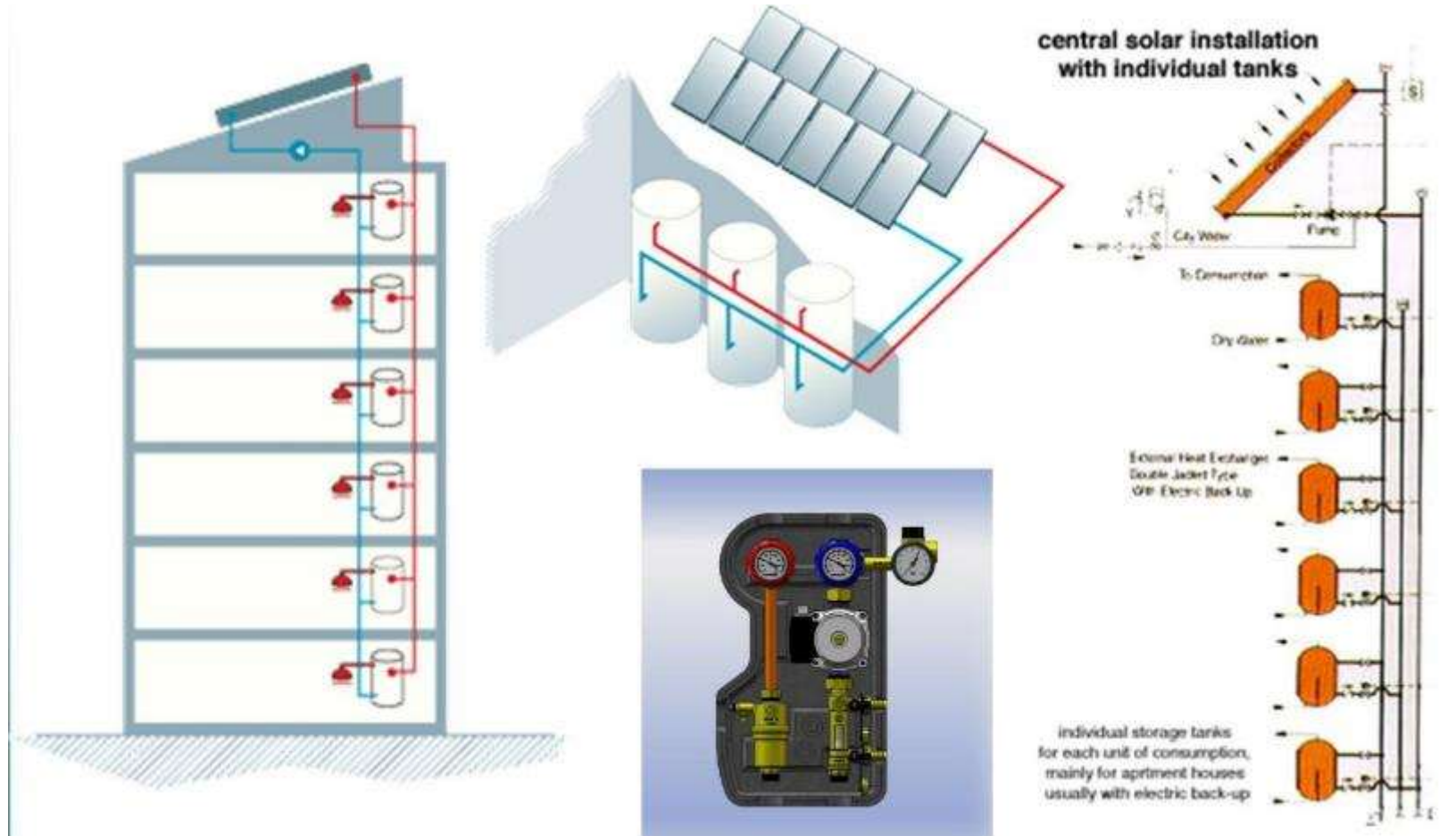
CIRCULACIÓN FORZADA

- No es necesario respetar niveles de los componentes
- Buena estratificación en el tanque acumulador
- Fluido caloportador distinto del agua de consumo, protección contra la corrosión circuito primario
- Sistemas de control y bombeo complejos
- Mayor complejidad del tanque acumulador
- Intercambiador de calor



TANQUES PARA INST. CIRCULACIÓN FORZADA





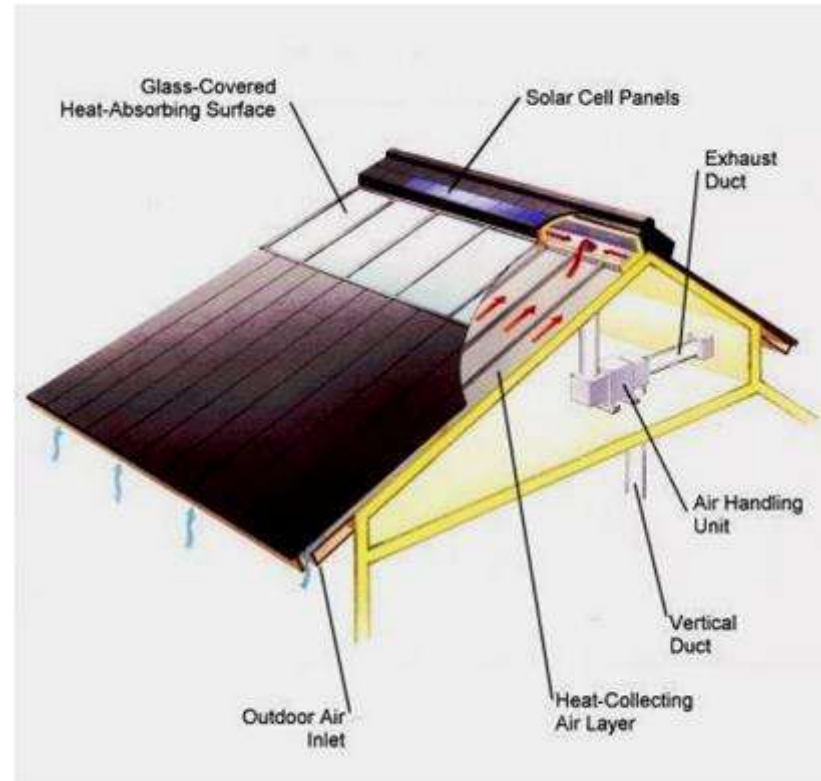
3.7. sistemas colectivos



- Aplicación en edificios de vivienda, escuelas, hoteles, o donde los consumos atienden diferentes necesidades o usuarios
- Los captadores se unifican en una superficie con condiciones de emplazamiento optimizado
- Mayor ahorro que en sumatoria de instalaciones individuales
- Mayor complejidad técnica para asegurar un ahorro equilibrado entre usuarios

COLECTORES DE AIRE

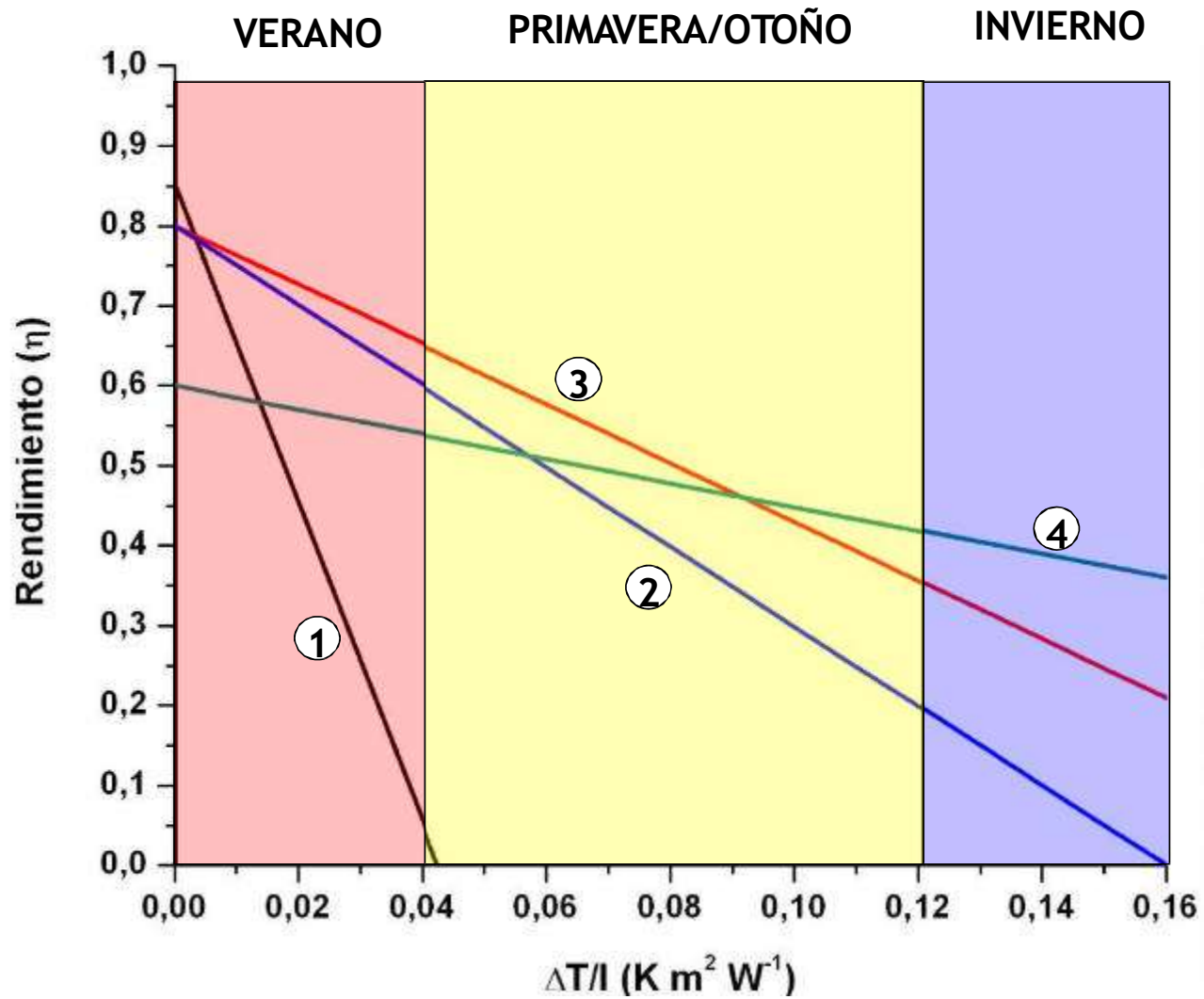
- Menor eficiencia que los sistemas de agua
- Mayor tamaño para captación y canalizaciones.
- Bombeo forzado + sistema de acumulación + posible inyección directa





3.9. colectores para piscinas

- Se pueden usar colectores con vidrio o sin vidrio
- Permiten extender el uso del natatorio más tiempo del normal o aumentar la temperatura del agua para mayor confort
- La aplicación solar se potencia con la utilización de manta térmica



RENDIMIENTO DE EQUIPOS

- 1) $0,91-22,47 \cdot \frac{\Delta T_m}{I}$
- 2) $0,71-5,10 \cdot \frac{\Delta T_m}{I}$
- 3) $0,77-4,10 \cdot \frac{\Delta T_m}{I}$
- 4) $0,71-1,52 \cdot \frac{\Delta T_m}{I}$

Ecológico



intro

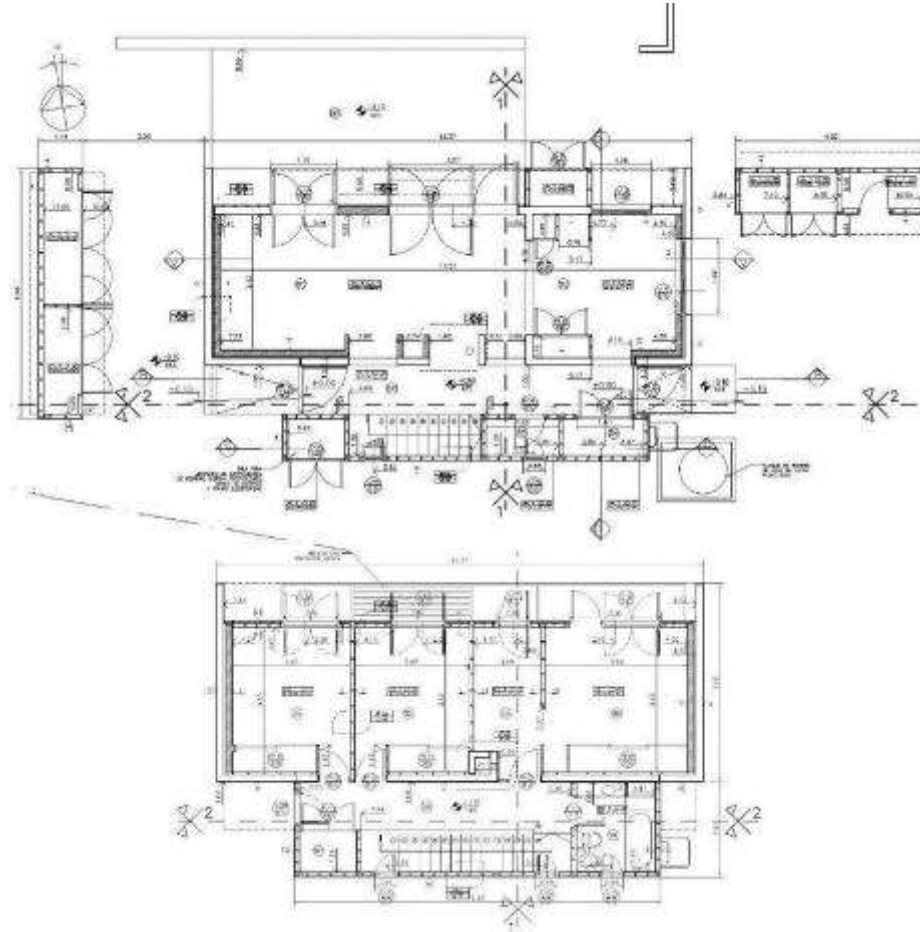
radiación

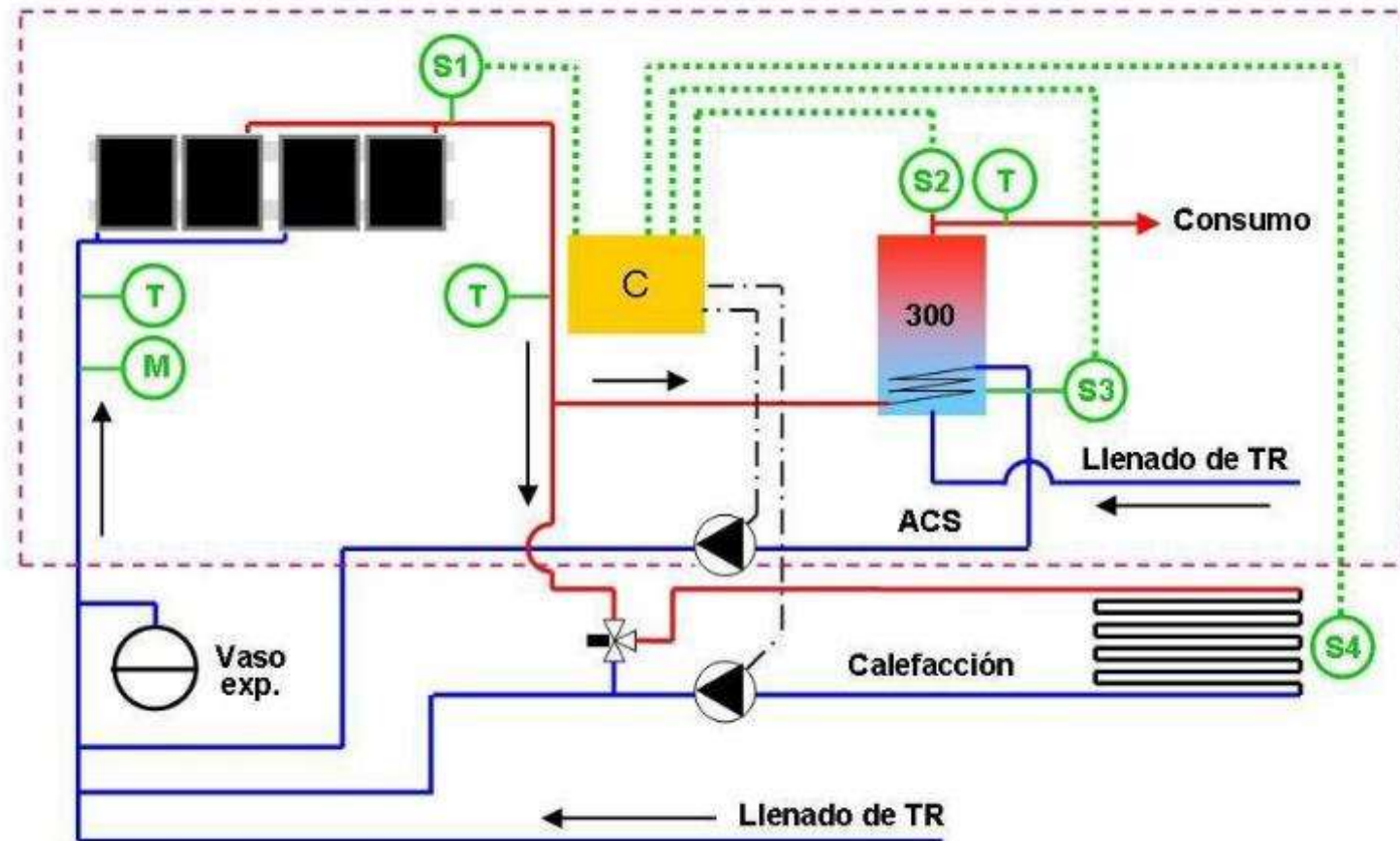
fototérmica

fotovoltaica

integración

arq. sustentable





Económico



Independencia energética



Prestigio





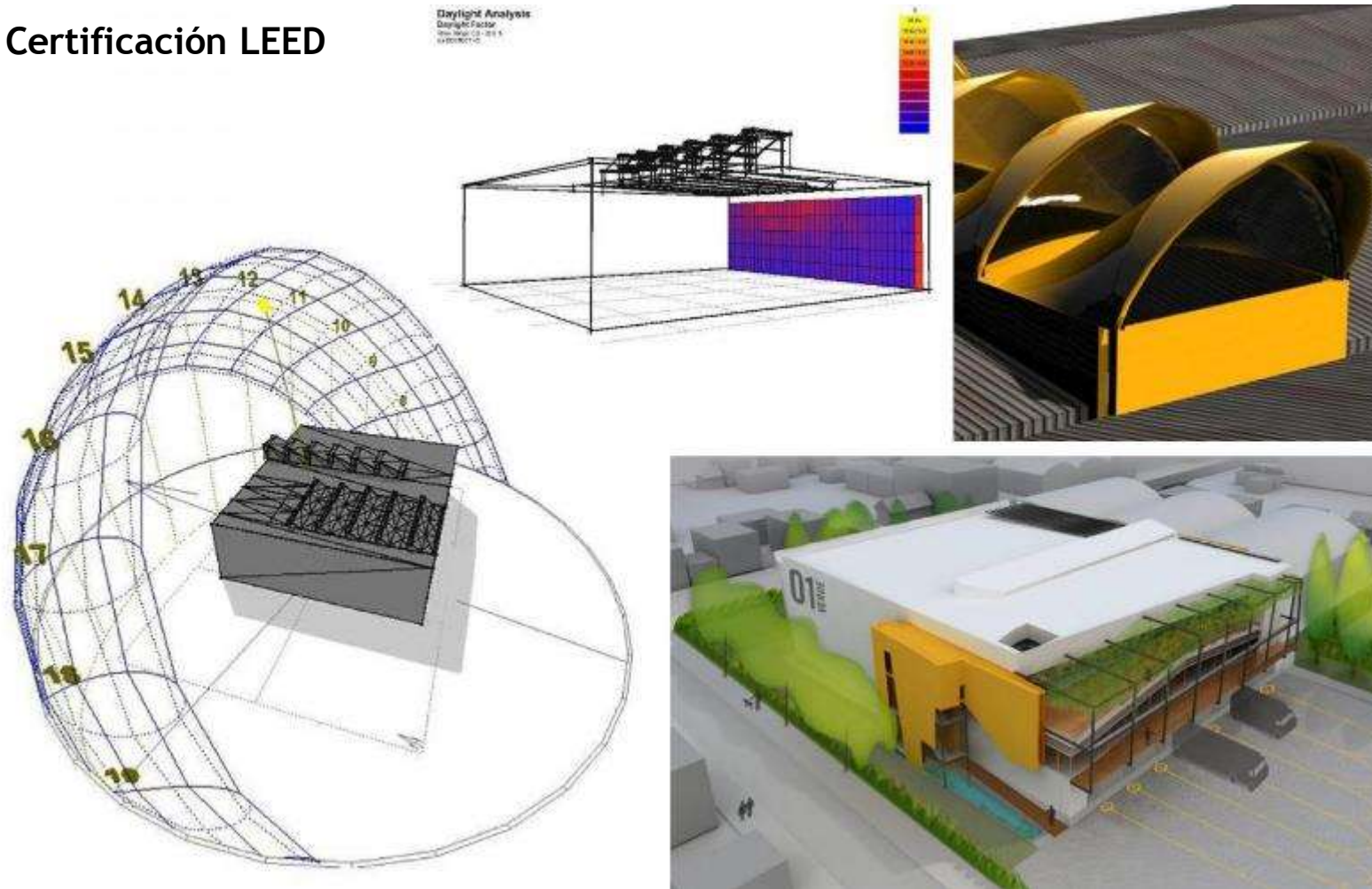




Estratégico



Certificación LEED



Calidad de vida



intro

radiación

fototérmica

fotovoltaica

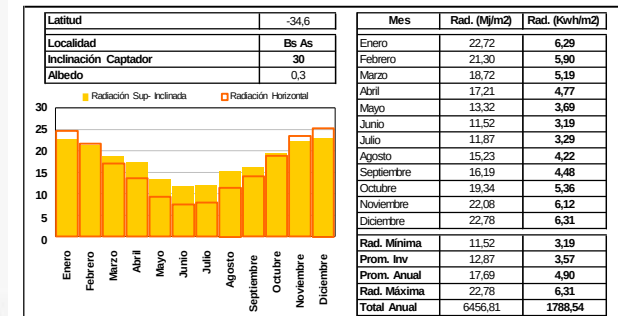
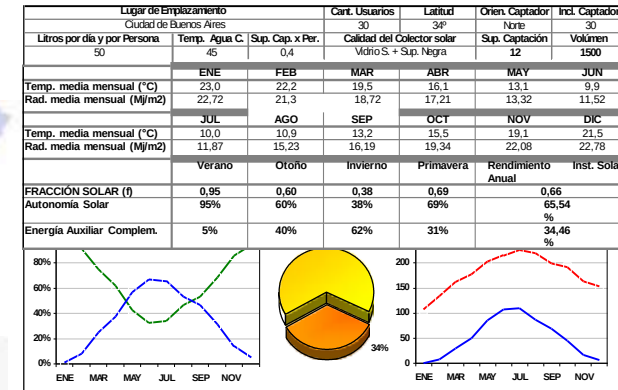
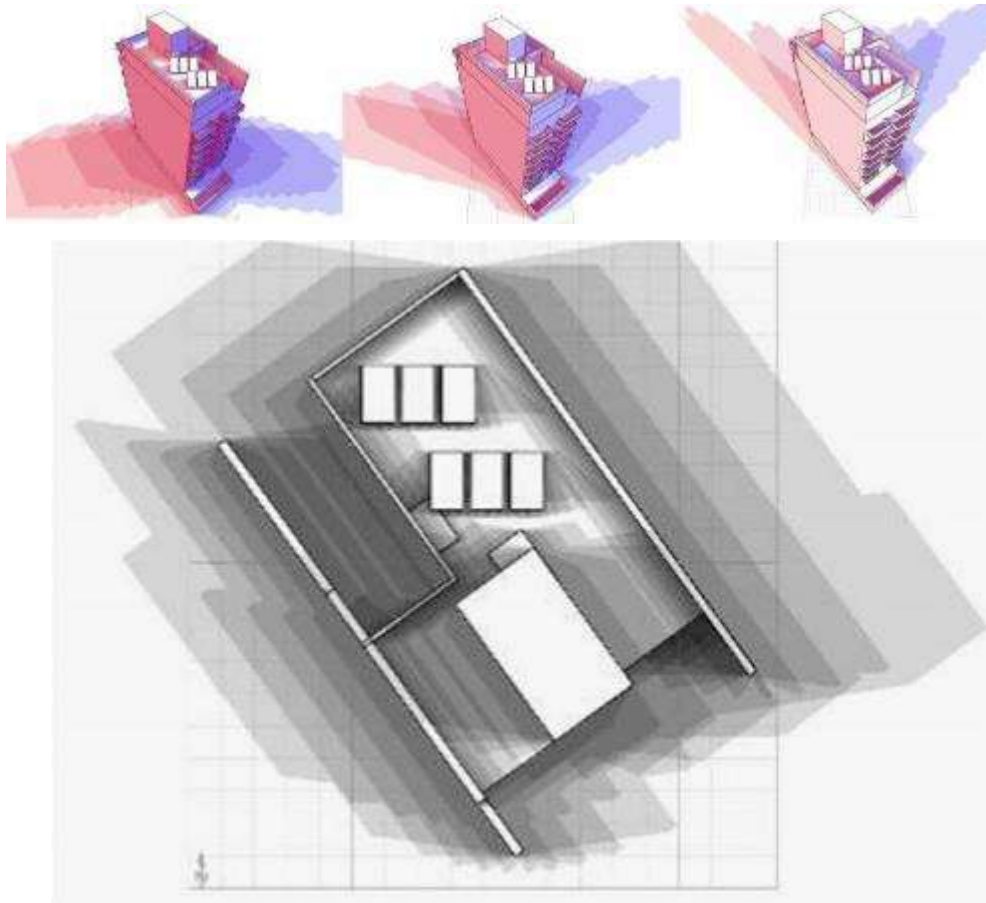
integración

arq. sustentable



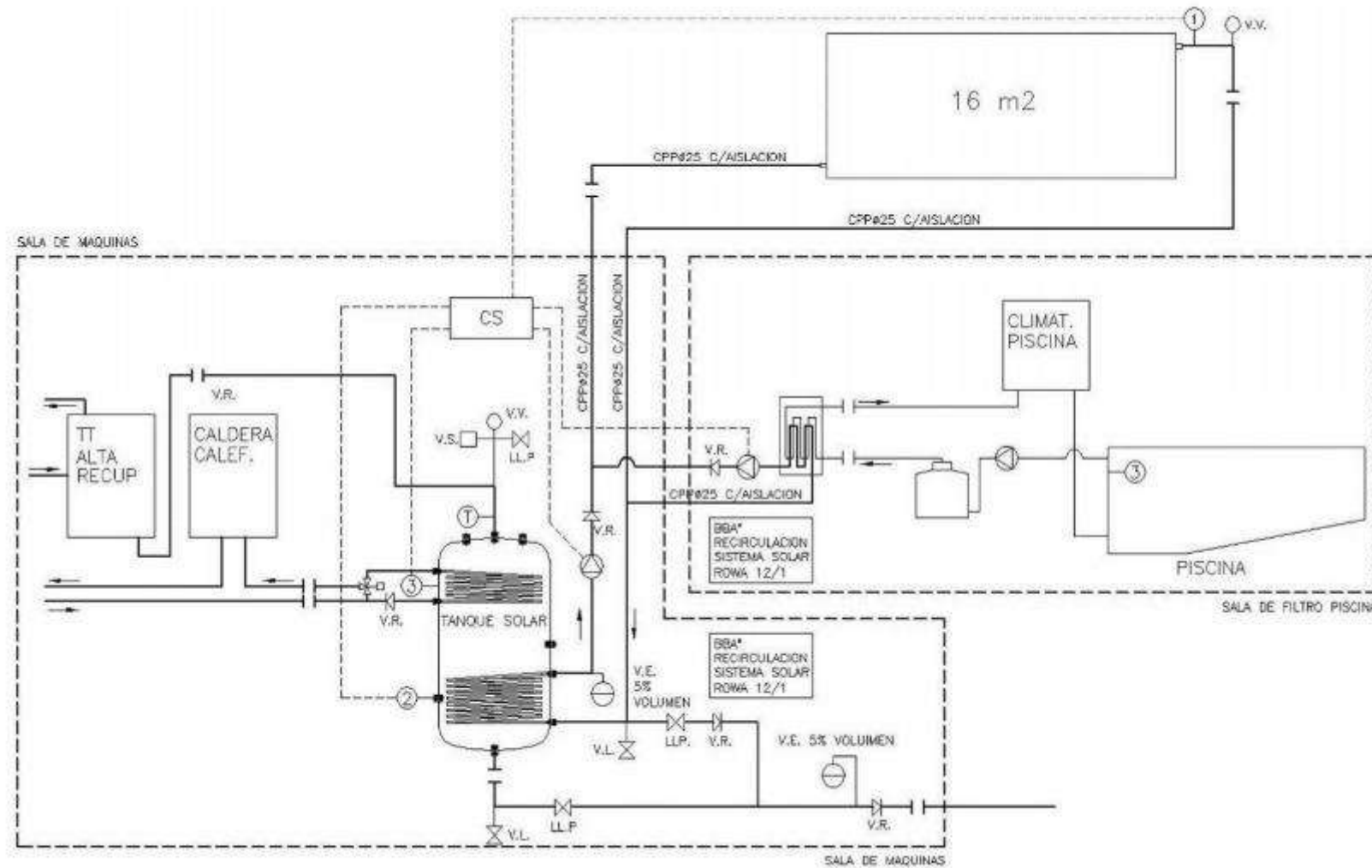


Valor agregado



Unidades funcionales	Cantidad	Usuarios estimados	Consumo por persona	Litros totales por tipo de UF
Dptos. 1 ambiente	25	1	50	1250
Dptos. 2 ambientes	7	2	50	700
Locales comerciales	2	1	15	30
Subtotal				1980
Coeficiente de simultaneidad adoptado				75%
Total litros de agua caliente				1485





Otros factores



Muchas Gracias!!

LABORATORIO DE ESTUDIOS SOBRE ENERGIA SOLAR
Departamento de Ingeniería Civil



Equipo LESES 2017



Agradecimiento: UTN-FRBA, ANPCyT

Colectores solares térmicos

“Son elementos que transforman la radiación del sol en calor útil para calentamiento de fluidos”

► Se ensayaron 5 colectores, que pueden englobarse en 3 categorías:

► Colector de tubos evacuados (CTE) → De tubo calentador o “*heat pipe*”

→ De tubo en U o “*U pipe*”

► Colector Plano (CP)

► Plano de plástico (CPP) → Con cubierta

→ Sin cubierta

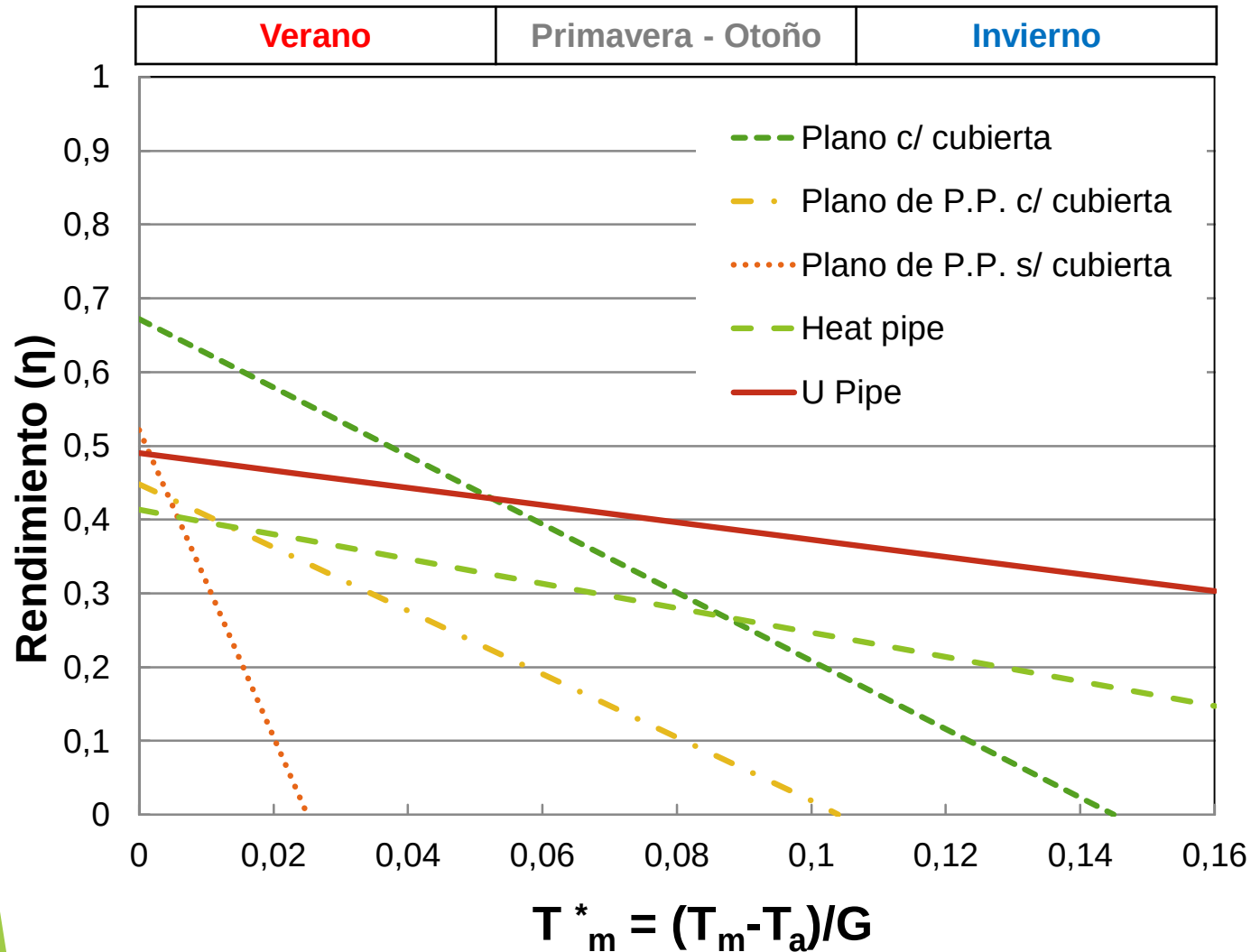
→ Pérdidas: por convección, conducción y radiación.

Caracterización según Norma IRAM 210002

- ▶ **Objeto:** “Establecer los métodos de ensayo y procedimientos de cálculo para determinar la curva de rendimiento en estado estacionario y cuasiestacionario, como así también la constante de tiempo y características de respuesta angular de los colectores solares que calientan fluidos sin su acumulación”
- ▶ **3 parámetros** clave de funcionamiento de un colector:
 - ▶ Curva de rendimiento
 - ▶ Factor modificador del ángulo de incidencia
 - ▶ Constante de tiempo

Resultados

- **Curva de Rendimiento:** obtenidas por regresión lineal para los distintos tipos de colectores ensayados.



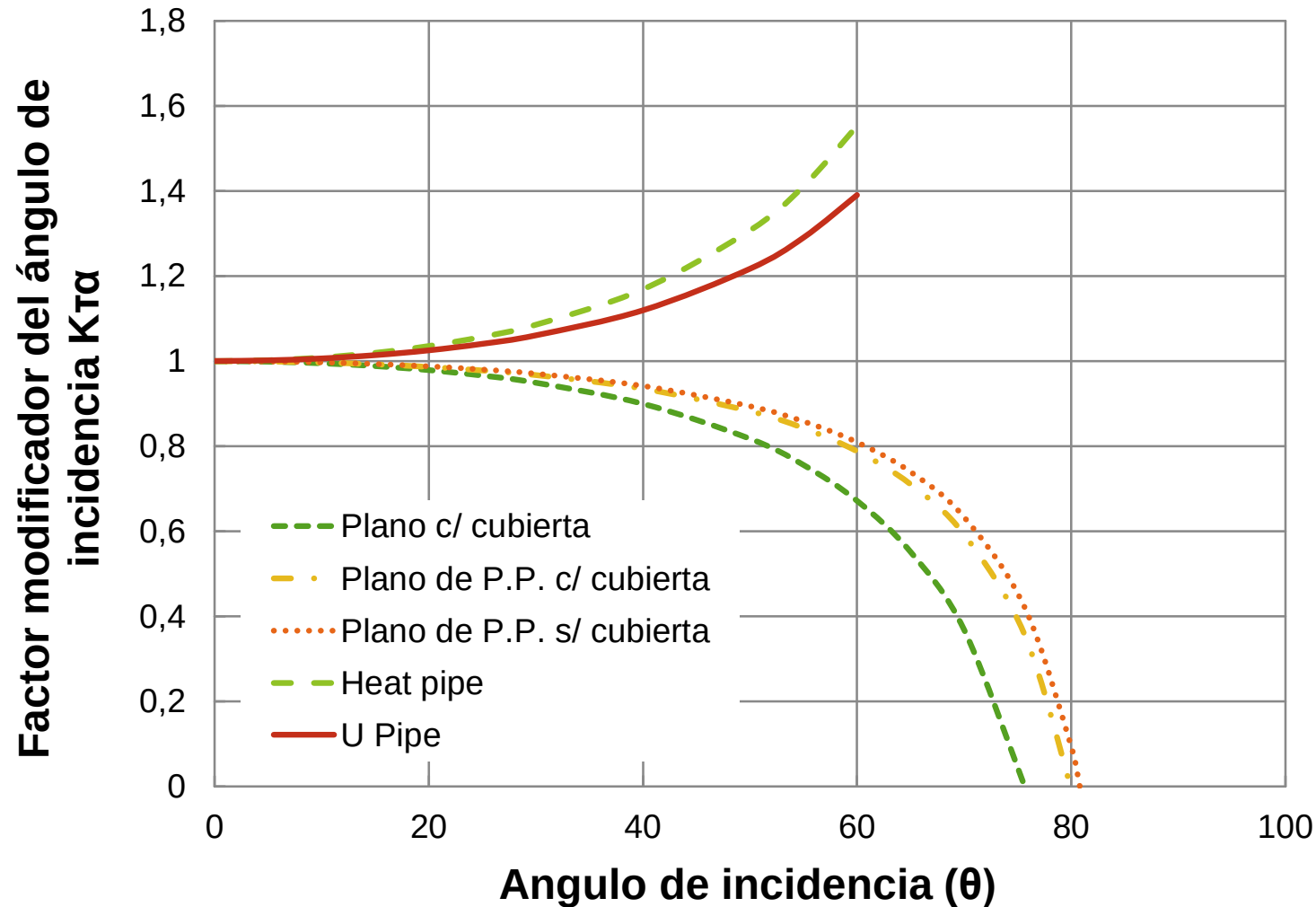
$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot T_m^*$$

→ Para incidencias normales y temperaturas de fluido cercana a la temperatura ambiente, los colectores planos poseen mejor rendimiento que los de tubos evacuados. Para situaciones donde la temperatura de fluido es unos 30°C a 40°C mayor que la temperatura ambiente, los colectores de tubos evacuados presentan un mejor rendimiento.

→ Los colectores de plástico, ya sea con o sin cubierta, presentan menor rendimiento que los anteriores. Esto se debe a las dimensiones del colector y a la tecnología constructiva de los mismos.

Resultados

► Factor modificador del ángulo de incidencia



$$K_{\tau\alpha} = 1 - b_0 \cdot \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right)$$

→ Para colectores de tubos evacuados la dependencia con el ángulo de incidencia suele ser más complicada:

→ $K_{\tau\alpha}(\theta_t, \theta_l)$,

donde θ_t y θ_l son la proyección transversal y longitudinal del ángulo de incidencia θ , respectivamente.

Resultados

- Tabla: Valores de los parámetros característicos de la curva de rendimiento, η_0 y a_1 , y del factor modificador del ángulo de incidencia, b_0 , determinados experimentalmente para cada colector según norma IRAM 210002.

Colector	Parámetro		
	η_0	a_1	b_0
Plano c/ cubierta	0,67	4,63	0,33
Plano de P.P. c/ cubierta	0,45	4,30	0,21
Plano de P.P. s/ cubierta	0,52	20,6	0,19
Tubo evacuado “Heat pipe”	0,41	1,66	-0,55
Tubo evacuado “U pipe”	0,49	1,17	-0,39

Normas IRAM - Serie 210000

- ▶ Eficiencia
 - ▶ Durabilidad
- } Etiquetado

→ Participación en la Comisión de Energía Solar Térmica del IRAM para la elaboración de las Normas.

Conclusiones

- ▶ El LESES cuenta con instalaciones adecuadas en su Plataforma Solar y la capacidad técnica para realizar la caracterización de colectores solares térmicos de cualquier tipo, de acuerdo a los lineamientos establecidos en la norma IRAM 210002.
- ▶ Los datos analizados corresponden sólo a los colectores ensayados detallados en este trabajo. De esta manera, no se pretende establecer una selección de la mejor tecnología en base a ello sino sólo mostrar las capacidades de ensayo del laboratorio.
- ▶ Existe una diversidad muy grande de colectores planos, de tubos evacuados y de plástico. La selección de uso de una tecnología específica va atada a la climatología del lugar, la aplicación requerida y el costo. No hay una tecnología mejor que la otra sino una tecnología adecuada para una aplicación específica. La curva de rendimiento permite identificar la utilidad de ese colector para diferentes aplicaciones. De aquí la importancia de contar con una infraestructura de calidad que pueda certificar la curva de rendimiento de diferentes colectores solares.
- ▶ Asimismo, el LESES se encuentra transitando el camino hacia la adecuación de la Plataforma Solar para cumplir con los requisitos de la nueva versión de la norma IRAM 210002-1 2016, tanto en sus instalaciones, como en procedimientos. Es objetivo del mismo, difundir la existencia de estas instalaciones para que sean consideradas a la hora de implementar una política de promoción de la energía solar térmica y para divulgar las actividades de investigación que allí se realizan.

Cuáles son las alternativas a las energías de origen fósil?

No-renovable/No-fosil

- Energía Nuclear (fisión y fusión)

Renovable

- Biocombustibles: etanol & biodiesel
- Biomasa
- Energía hidroeléctrica
- Energía térmica oceánica
- Energía eólica
- Energía geotérmica
- Energía solar

Máxima potencia

- ◆ Conflicto con los alimentos (?)
- ◆ Desconocida
- ◆ 7 TW
- ◆ 100 TW
- ◆ 72 TW
- ◆ 44 TW
- ◆ 7650 TW

Consumo total de potencia en todas las formas en el mundo: 15
TW (2008) Abbott, D. , Proc. IEEE, 98, 1, January 2010

Una visión diferente *

- ◆ El concepto de “diversificación” está mundialmente aceptado. Esto es cierto a corto y mediano plazo.
- Considerando una escala mundial y una perspectiva a largo plazo, la pregunta es: Existe una única fuente renovable capaz de proveer por si sola los 15 TW que el mundo necesita hoy? Respuesta: La energía solar térmica, pero a través de colectores térmicos solares.
- Una economía solar-hidrógeno (H_2 por electrólisis de agua) sería el objetivo final

* Abbott, D. , Proc. IEEE, 98, 1, January 2010.

Para las fuentes estacionarias:

Desde el punto de vista técnico, las energías renovables están en condiciones de sustituir a las energías de origen fósil.

Y a largo plazo, energía solar térmica

Para las fuentes móviles:

Solo tenemos al biodiesel y al bioetanol.

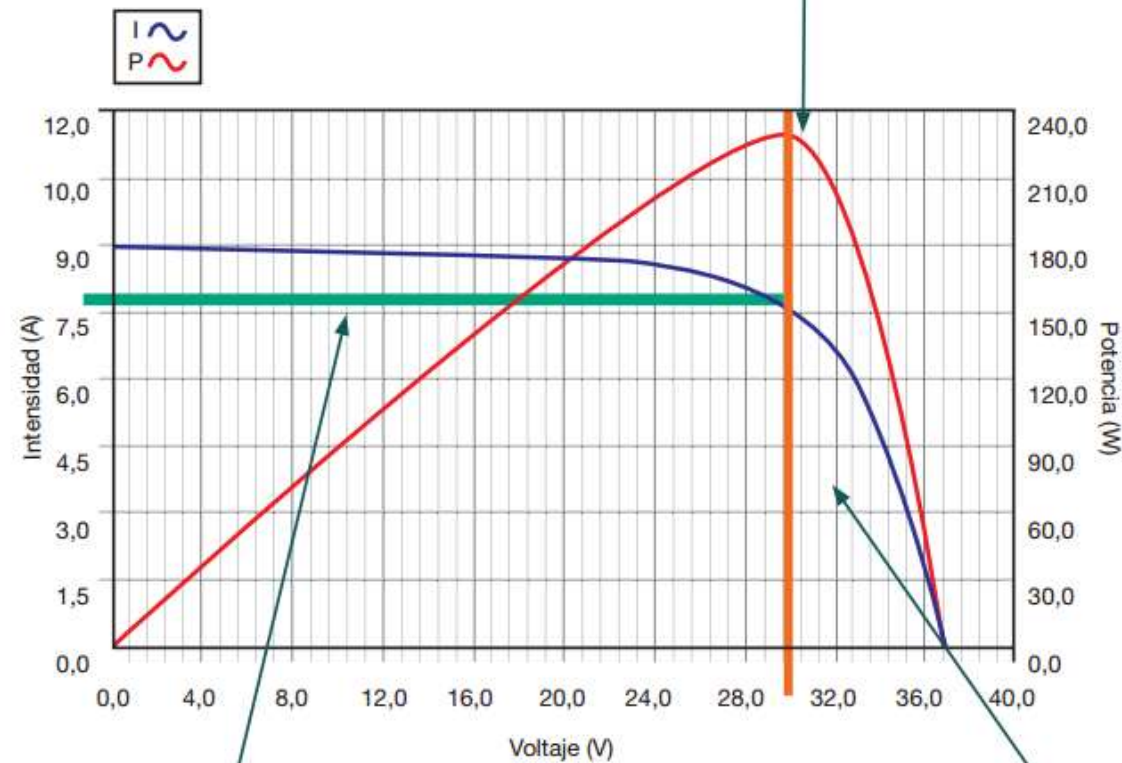
El problema no está resuelto.

A largo plazo el hidrógeno

D. Abbott. Proceedings of the IEEE | Vol. 98, No. 1, January 2010

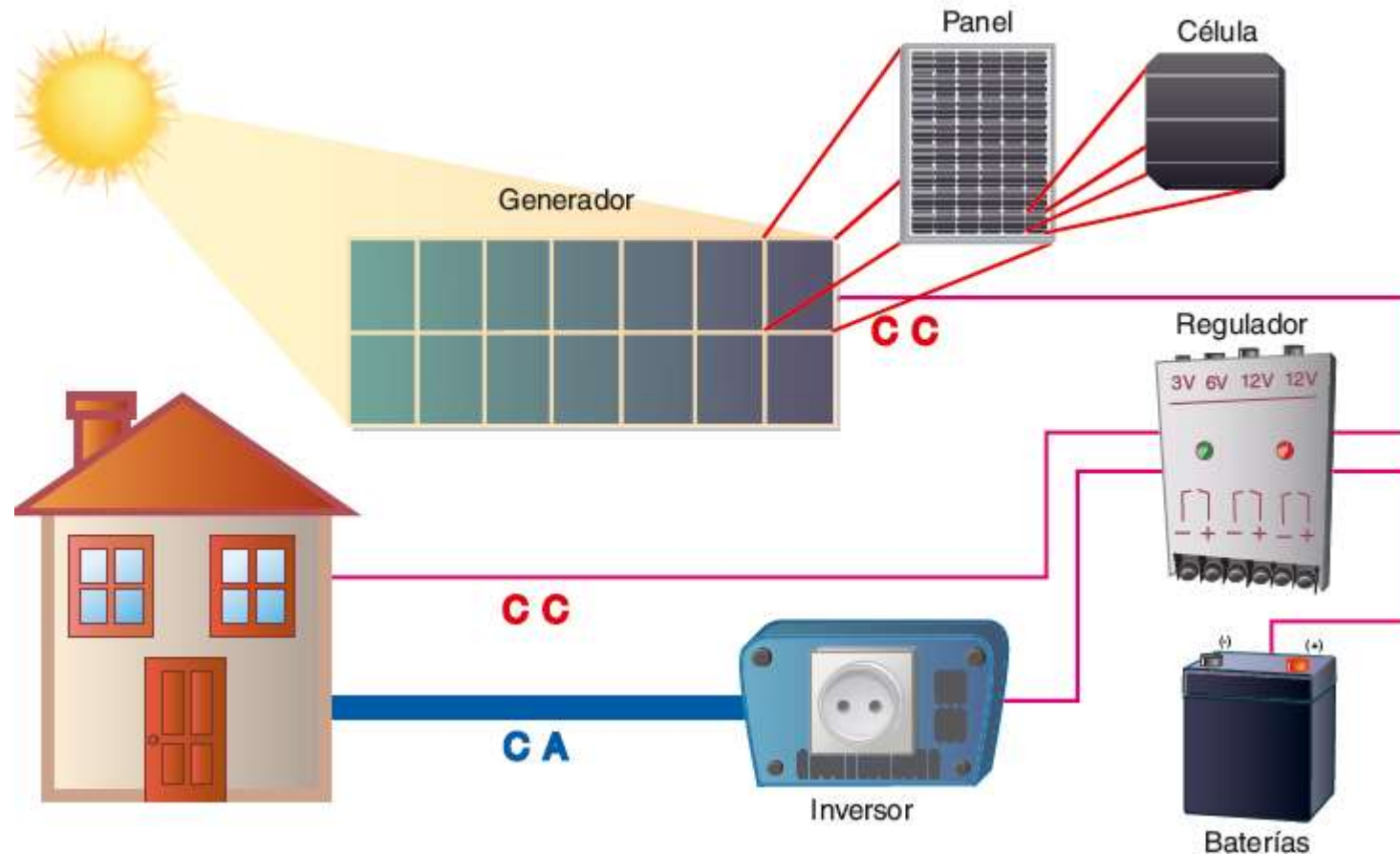
Energía Solar Fotovoltaica

La **curva de potencia** (en rojo) se obtiene multiplicando los valores de tensión e intensidad dados por la gráfica I-V (en azul). Los valores de esta gráfica se leen en el eje de la derecha, que está calibrado en vatios (W). Así, si trazamos una línea desde el pico de la gráfica hasta el eje, vemos que obtenemos un valor aproximado de 240 W.



Esquema de Instalación Fotovoltaica con Almacenamiento

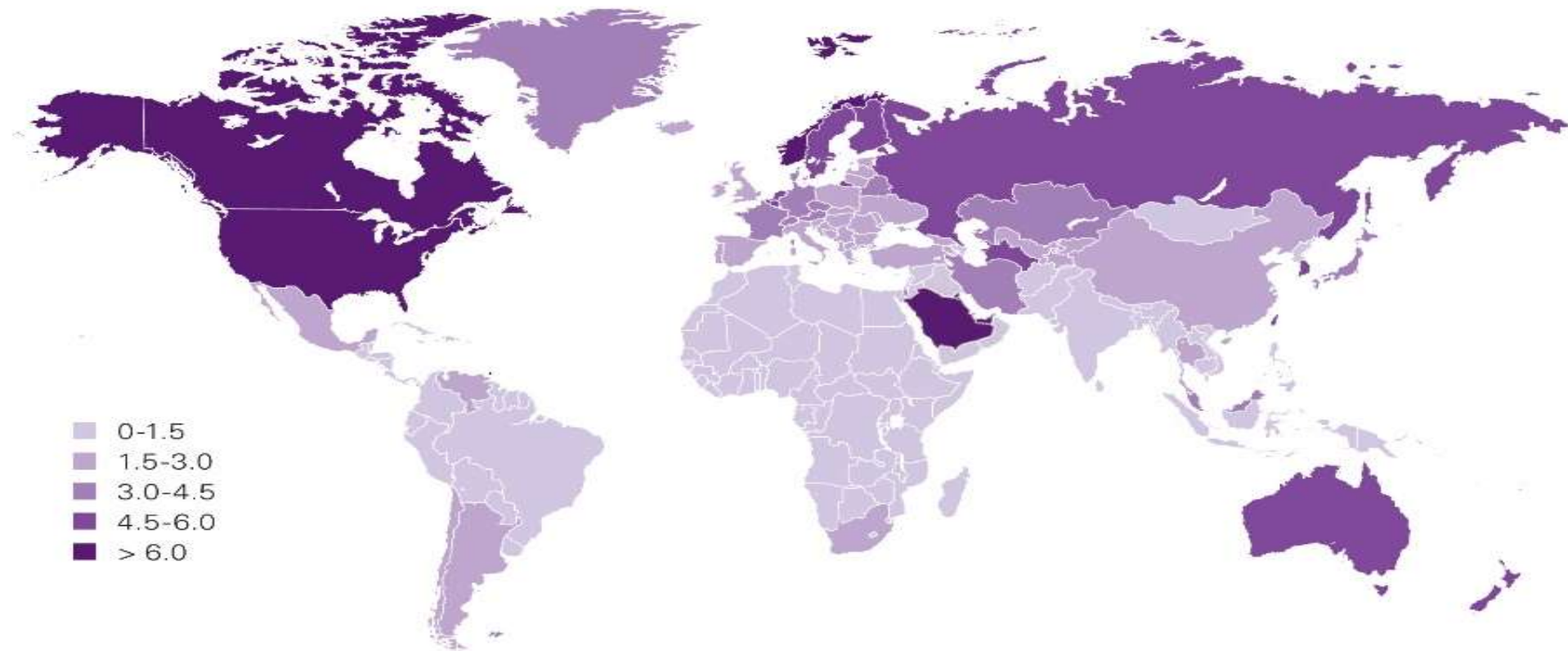
Función: convertir la energía generada por el panel y/o la batería en 220Vca a 50Hz, a partir de 15 kW son trifásicos



Energías Renovables

Primary energy consumption per capita 2014

Tonnes oil equivalent



BP Statistical Review of World Energy 2015
© 2015 BP p.l.c.