



XIV Congreso Energía Solar Térmica. GENERA 2022

Guía de Energía Solar Térmica para Procesos Industriales. Contenidos.

Jose Ignacio Ajona
jose.ignacio.ajona@seenso.es

15 junio 2022

Comisión Técnica ASIT

OBJETIVO:
Solarización de la industria

“Guía de Energía Solar Térmica para
Procesos Industriales”

Contenidos

- Objetivos
- ➔ Análisis tecnológico
- ➔ Integración de energía solar térmica en la industria
- ➔ Consumo de energía térmica y potencial solar
 - Identificación de barreras
 - Análisis del estado actual
 - Propuestas de desarrollo
- ➔ Casos de éxito de instalaciones
- ➔ Procedimiento de cálculo a utilizar

A considerar para la solarización

Tecnológicos

- Recurso solar
- Nivel térmico de la demanda de calor
- Importancia del espacio disponible y de las características de las cubiertas o terrenos adyacentes

Entorno

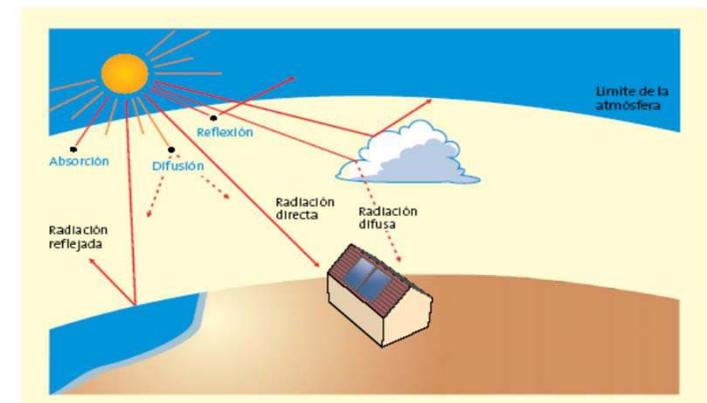
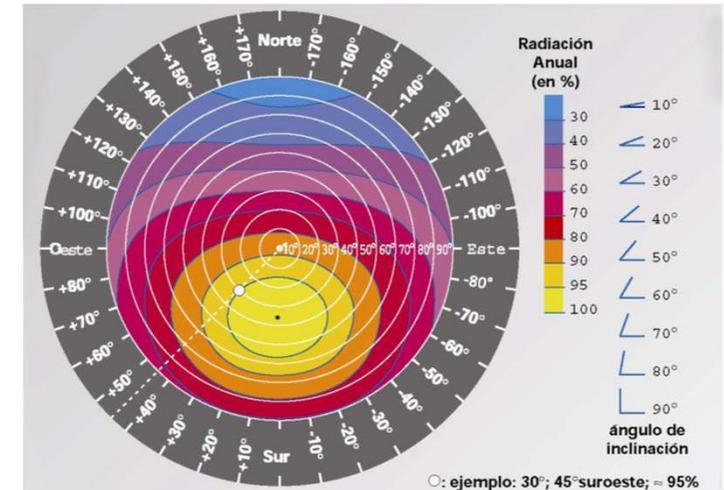
- Parámetros financieros a considerados en el cálculo : Objetivo del TIR solar y parámetros de entrada
- Competencia con renovables y sin renovables + Opciones de hibridación
- Otras consideraciones solares: Mejora de la calidad del aire de la ciudad (NOx), RSC, huella de carbono, marketing,..
- Lo más importante → Vencer la inercia social/reglamentaria

Análisis Tecnología Solar

Radiación solar disponible sobre la apertura

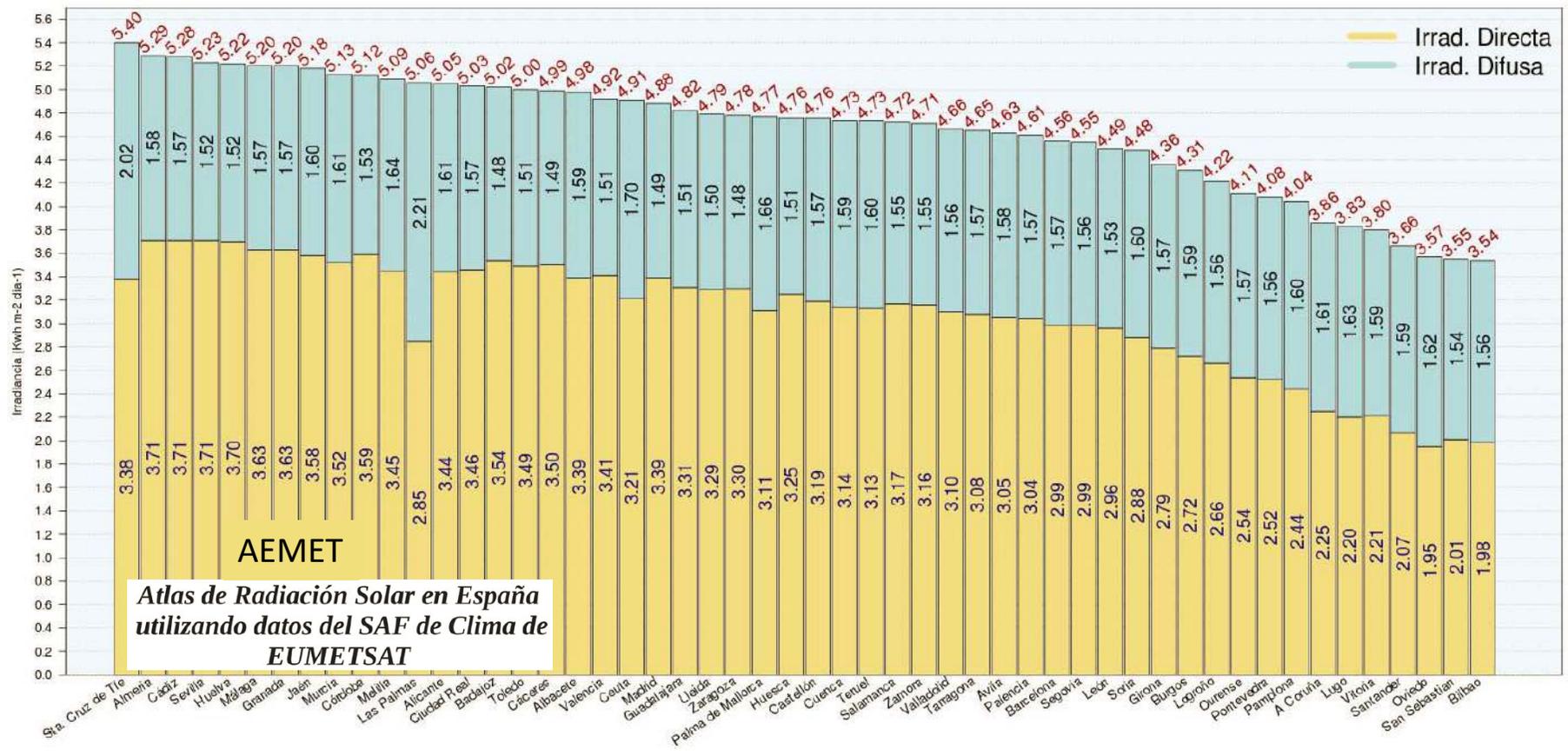
Análisis simplificado para comparar tecnologías solares

- La inclinación del captador a la latitud aumenta un 10-12% la radiación solar global disponible sobre una superficie con respecto a los valores sobre la superficie horizontal
- Los valores de la radiación solar **global** disponibles sobre una superficie con seguimiento del sol en los 2 ejes es de un 20 a un 25% superior a la radiación solar global sobre una superficie fija inclinada
- Los valores de la radiación solar **directa** disponibles sobre una superficie con seguimiento del sol en los 2 ejes es semejante a la radiación solar global sobre una superficie fija inclinada hacia el ecuador un ángulo igual al de la latitud de su emplazamiento
- La radiación difusa sobre una superficie horizontal a lo largo del año, representa un 30% de la radiación global anual



Composición radiación solar global horizontal en España

Irradiancia global media diaria [1983-2005]



Nivel térmico requerido por las demandas

Figura 3.1.1. Distribución de la demanda de calor a baja y media temperatura entre los sectores analizados

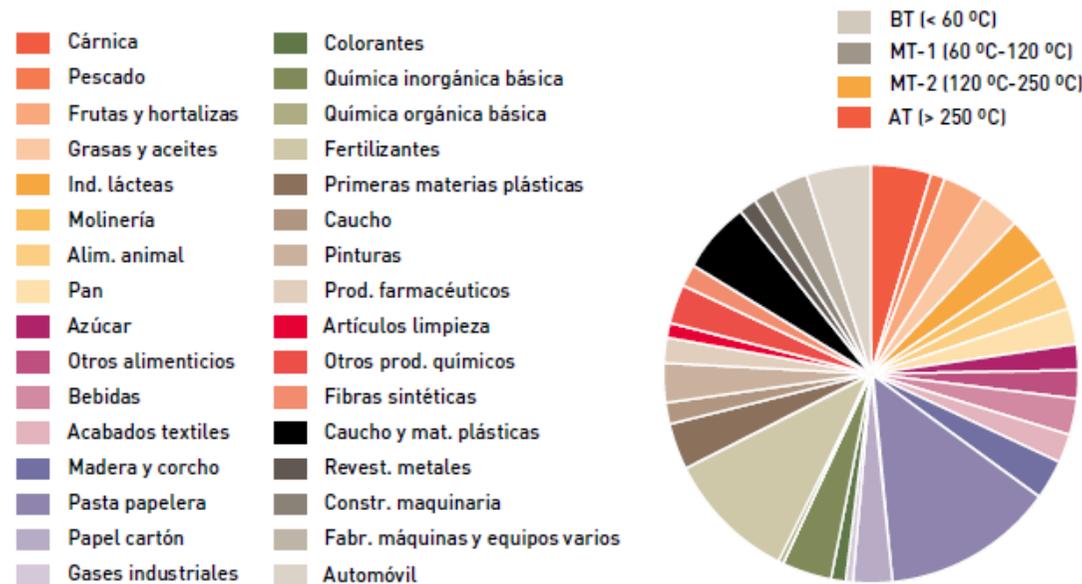
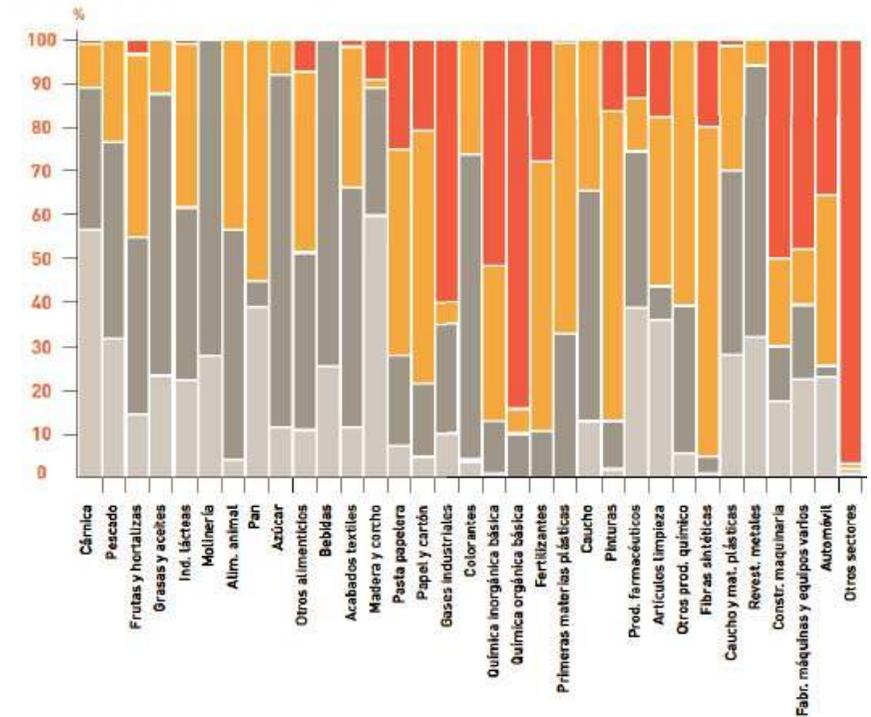


Figura 3.1.2. Distribución de la demanda de calor por niveles de temperatura (temperatura mínima de suministro) en los sectores analizados



IDAE 2011 → Potencial Tecno-económico en España T menor de 120°C: Más de 60Mm²

Indicadores de la tecnología: Rendimiento y cobertura

- Rendimiento instantáneo del captador , η : relación entre la potencia térmica generada por unidad de área y la irradiancia solar incidente.

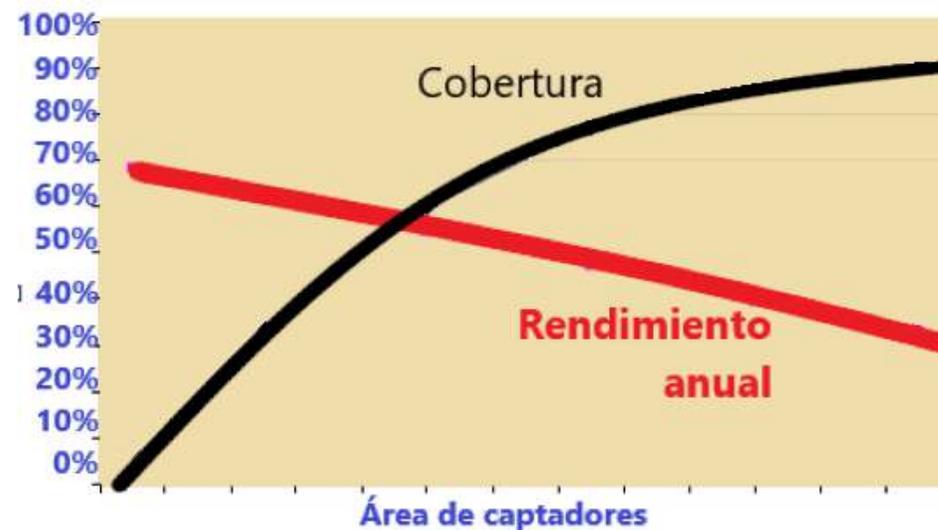
$$\eta = \eta_o(\theta) * k(\theta) - k_1 \cdot \frac{\Delta T}{I_{ap}} - k_2 \cdot \frac{\Delta T^2}{I_{ap}}$$

- η_o : rendimiento óptico del captador = eficacia óptica
- $K(\theta)$: Modificador por ángulo de incidencia
- Coeficientes de perdidas térmicas del captador térmicas k_1 y k_2
 - k_1 define una variación lineal
 - k_2 denota una variación cuadrática de las perdidas térmicas
- I_{ap} = Irradiancia sobre la apertura (Global o directa) W/m^2

Rendimiento solar y cobertura solar anual

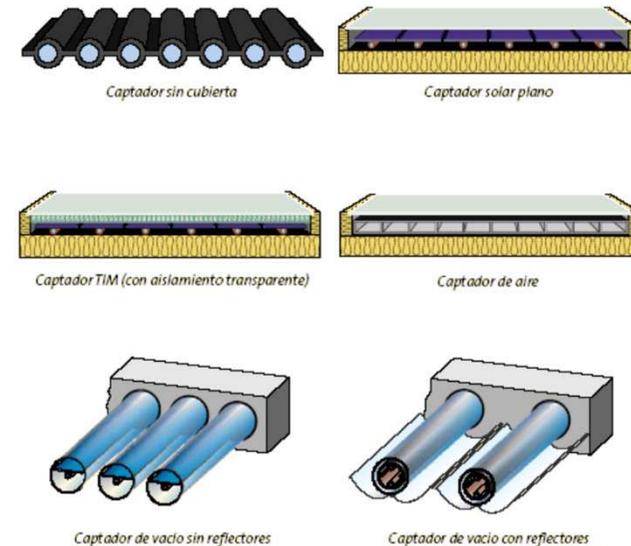


- El rendimiento solar anual ($\eta_{\text{solar anual}}$) se calcula a partir de la acumulación de los valores instantáneos del calor útil solar y de la radiación solar disponible
- La cobertura solar anual, f_{solar} , es la proporción ahorrada con energía solar de la demanda energética anual
- Ambas variables están muy relacionadas y su relación depende del nivel de acumulación térmica y de los perfiles de la demanda y de la disponibilidad solar:



Tecnologías solares: Baja temperatura

- Rango de aplicación térmico: Hasta los 100°
- Implantación: Captador fijo, estructura soporte estacionaria
- Sin concentración
- Radiación disponible sobre la apertura: Radiación global = Directa + Difusa
- Sin protección intrínseca del captador contra sobretemperaturas → requiere protección del circuito primario solar
- Uso del terreno, minimizando sombras (horizontal, inclinado a la latitud $\sim 40^\circ$): Mirando al ecuador: 50%
- Sistemas de producción en grandes cantidades: entre 50,000m² y más de 1,000,000 m²/año por fabricante.



Tecnologías solares: Media temperatura

- Rango de aplicación térmico: Hasta los 300°
- Implantación: Absorbente fijo o móvil, espejos con seguimiento continuo del sol en 2 ejes ó en 1 eje
- Concentración solar ($C = A_{\text{apertura}}/A_{\text{absorbente}}$): entre 15 y 25
- Radiación disponible sobre la apertura: Sólo radiación directa (~70% de la global)
- Protección intrínseca contra sobretemperaturas: Desenfoque
- Uso del terreno, minimizando sombras (horizontal, zonas de latitud ~40°):
 - Un eje de seguimiento horizontal E/O: CP 50%; FR=60% (*)
 - Un eje de seguimiento horizontal N/S: CP35%; FR=60% (*)
 - Dos ejes de seguimiento: 25%
 - (*)(el seguimiento N/S favorece la producción anual, pero provoca grandes diferencias entre los diversos meses)
- Sistemas de producción por proyecto: entre 10,000m² y 100,000 m²/año por fabricante.



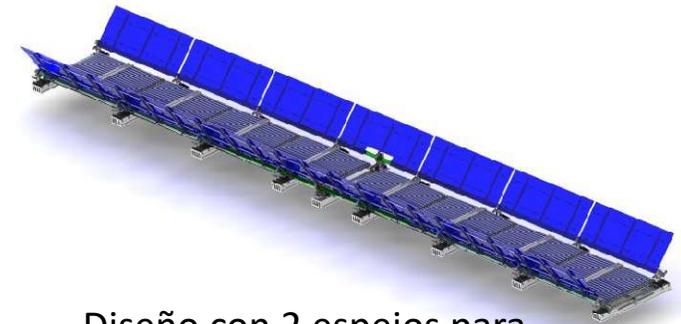
Cilindros parabólicos



Fresnel

Tecnologías solares: Concentrador con seguimiento acoplado a captadores fijos

- Rango de aplicación térmico: Hasta los 150°
- Implantación: Captador fijo, espejos con seguimiento continuo del sol
- Concentración solar ($C = A_{\text{apertura}}/A_{\text{absorbente}}$): entre 1,4 y 2
- Radiación disponible sobre la apertura: Radiación directa + el 70-80% de la difusa
- Protección intrínseca contra sobretemperaturas: Sombreado con los espejos
- Uso del terreno, minimizando sombras (zonas de latitud $\sim 40^\circ$):
 - Captador inclinado a la latitud, un eje de seguimiento E/O: 50% (con 1 ó 2 espejos)
 - Captador horizontal, un eje de seguimiento N/S: 60% (con 2 espejos, $C=1,7$)
- Sistemas de producción
 - Captador: En masa
 - Concentrador: Por establecer.
- Desarrollado y ensayado dentro del proyecto WeDistrict (H2020)



Diseño con 2 espejos para tubo de vacío con CPC



Diseño con 1 espejo para captador plano



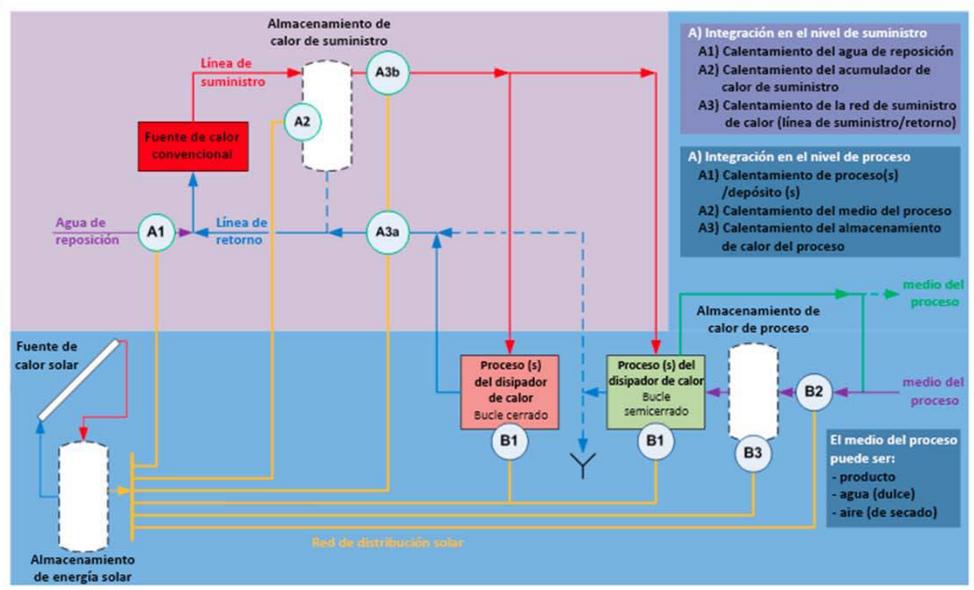
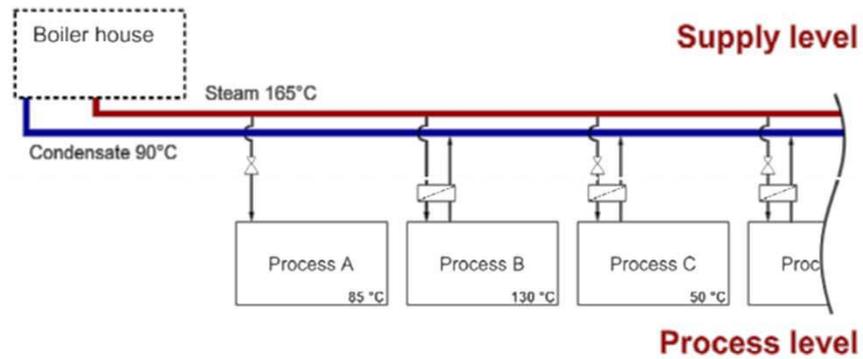


Integración de energía solar térmica en la industria

Posibilidades de conexión solar al suministro general o al proceso

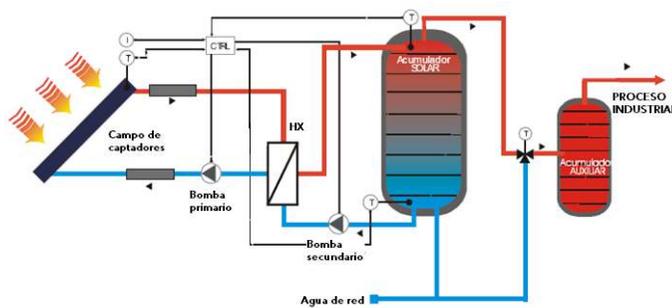
IEA SHC Task 49
SolarPaces Annex IV

Calor de proceso solar para producción y aplicaciones avanzadas

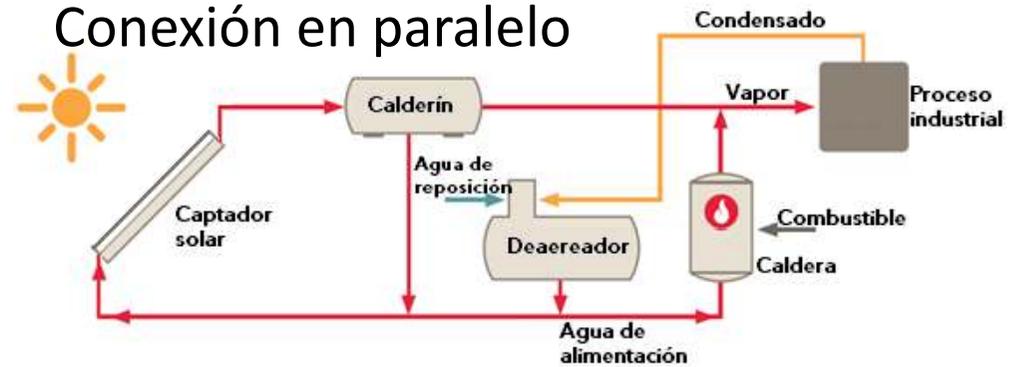


Muchas posibilidades de conexión solar

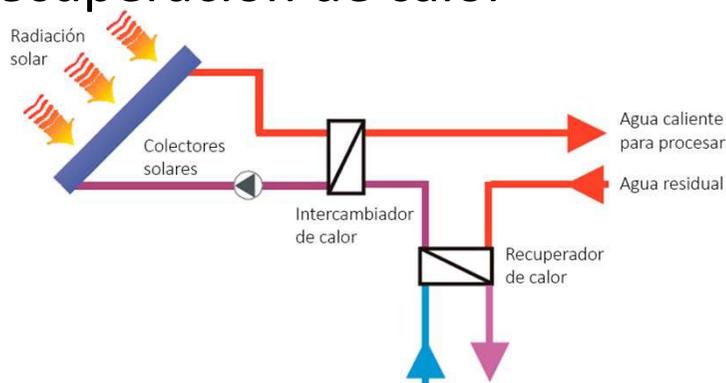
Conexión en serie



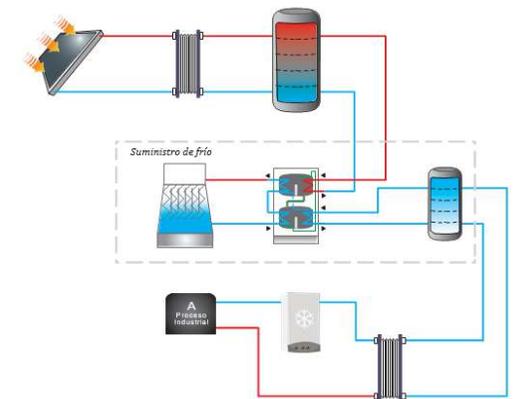
Conexión en paralelo



Acoplado a sistemas de recuperación de calor



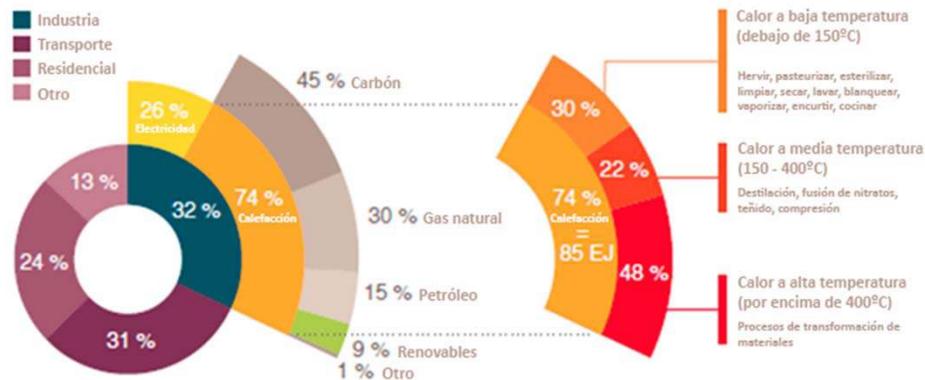
Para frío solar



Consumo de energía térmica y potencial solar

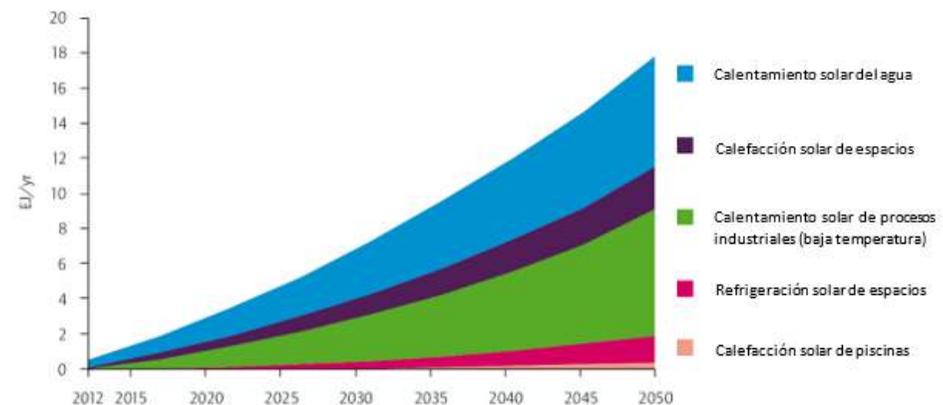
Potencial solar térmico en el mundo

Situación



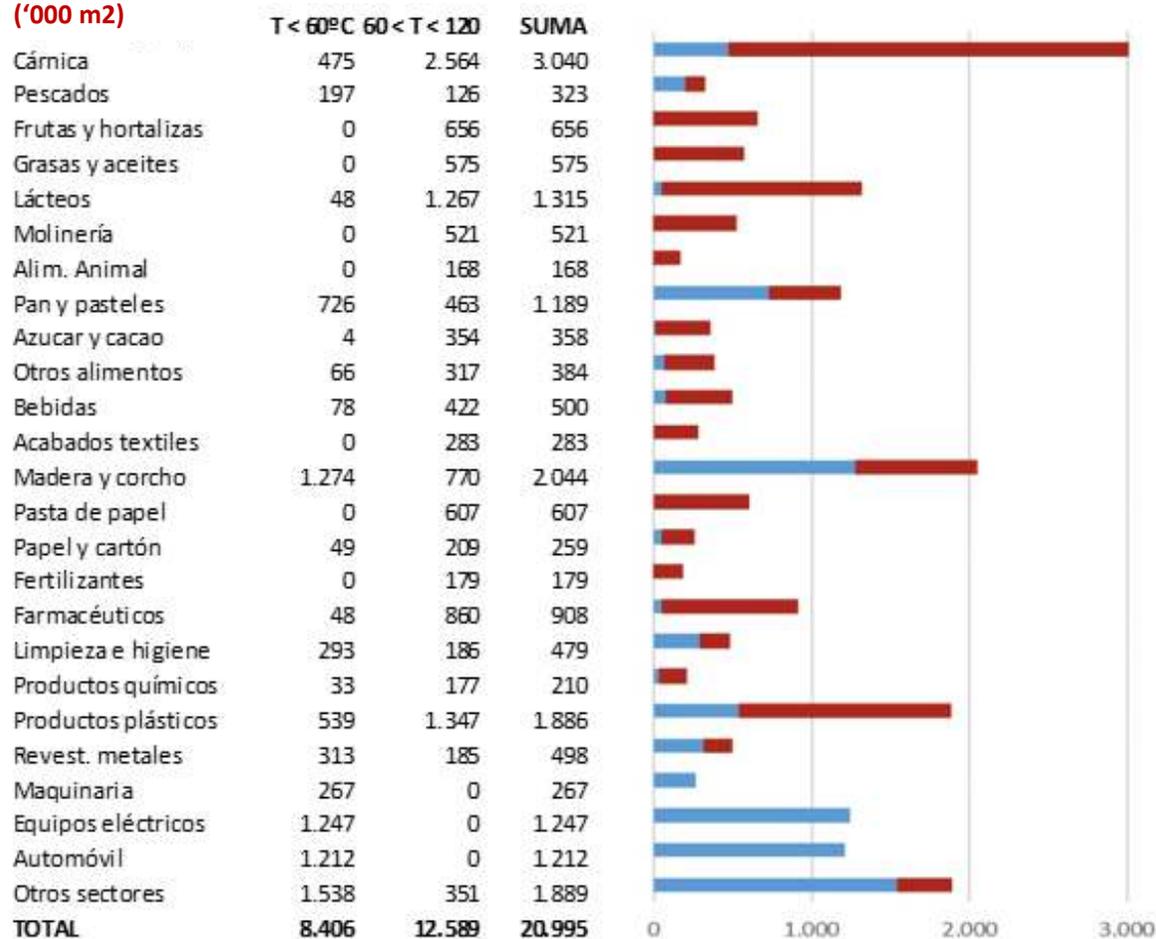
Total del consumo de energía final 2014: 360 EJ (EXAJOULE, mirar Glosario página 17); IEA [1]

Previsiones IEA 2050: 16,5 EJ (4.583 TWh/te) anuales : > 16% del uso total de energía final para calor



Distribución del potencial solar en España

Potencial solar
('000 m²)



Casos de éxito de instalaciones

Casos de éxito

CASOS EXISTENTES			
APLICACIÓN	SITIO	M2	TIPO DE CAPTADOR
Industria Cervecera: secar residuo de malta y convertirlo en pienso para alimentación	Córdoba	5000	AIRE
Industria Vitivinícola: proceso fermentación, calefacción y agua caliente.	Haro	70	TUBO VACÍO
Industria Lácteos: elaboración quesos, sistema de calentamiento de la leche para su cuajo	Navarra	75	PLANO estandar
Desaladora: destilación por membrana	Almería	100	Plano gran formato con Concentrador
Industria Vitivinícola: agua caliente limpieza bodegas	San Sadurní d'Anoia	60	TUBO VACÍO
Lavadero de cisternas de camiones: limpieza del interior de cisternas de camiones	Aragón	264	PVT
Uso de agua para precalentar lavadoras	Aragón	126	PVT
Industrias Lácteas	Cuenca	200	PLANO estandar
CASOS CON POTENCIAL			
APLICACIÓN	SITIO	M2	TIPO DE CAPTADOR
Depuración Aguas, secado lodos	Málaga	18,863	ETC -CPC con Concentrador
Industria de la Malta: Precalentamiento del aire de secado de la malta	Madrid	81500	Plano gran formato
Red de Calor en polígono industrial	Barcelona	3200	Plano gran formato
Planta de fabricación de productos lácteos en polvo	Valladolid	11400	Plano gran formato
Secado de áridos	Madrid	223	ETC -CPC
Lavado en industria Cárnica	Murcia	1976	Plano gran formato
Lavado en industria de Bebidas	Extremadura	173.18	PLANO estandar
Lavandería Industrial	Canarias	929.2	Plano gran formato

Ejemplo: EDAR del Guadalhorce

Guías IDAE



Emplazamiento y parcela a solarizar

1

Solarización de la EDAR del Guadalhorce

EMASA EMPRESA MUNICIPAL DE AGUAS DE MÁLAGA

Instalación en estudio	
Demanda anual	28.000 MWh/año
2 Secaderos STC	Régimen de funcionamiento
	365 días/año 24 horas/día
Demanda térmica requerida en STC 88º impulsión y 75º retorno	

La EDAR del Guadalhorce (Málaga) es una instalación de EMASA en la que se procesan los fangos generados en la depuración de las aguas residuales, secándolos con la energía térmica procedente de la cogeneración existente en sus instalaciones. La cogeneración consume gas natural y biogás obtenido en la propia depuradora. Junto a la EDAR existe una parcela libre en la que EMASA valora las posibilidades de utilizarla para su solarización y así conseguir una reducción de los costes energéticos y de las emisiones en un 60%.

“La instalación solar se integra en el proceso conectándose en serie con el circuito actual, precalentando el retorno proveniente de los secaderos y el digestor”

Solarización de la EDAR del Guadalhorce. EMSA 1

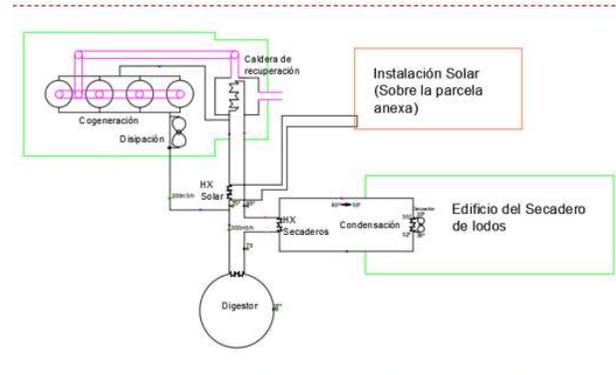
“Se han elegido captadores de vacío con reflector CPC”

Dimensionado	
Superficie de apertura total [m ²]	18.863,3
Producción solar específica [kWh/m ² a]	933,9
Aporte solar neto [MWh]	16.810,2
Fracción Solar [%]	60,04



Configuración del campo solar

Para la ubicación de la instalación solar se ha seleccionado la parcela anexa a la EDAR. La configuración del campo solar se compone de 58 filas con 3 (o 4) captadores por fila inclinados 30º con un acimut de 27º y el espejo siguiendo el movimiento aparente del sol.



Esquema simplificado de la integración de la instalación solar

Solarización de la EDAR del Guadalhorce. FMSA 1

Resultados y viabilidad	
Fuente Energía Convencional	Gas Natural (PCI=10.83 kWh/m ³)
Eficiencia Generación Convencional (s/PCI)	80%
Coste Energía Convencional (bruto)	33,19 €/MWh PCI
Coste Energía Convencional (neto)	41,48 €/MWh útil
Incremento anual Coste Energía y CO ₂	2%
Coefficiente emisiones CO ₂ gas natural	0,202 toneladas CO ₂ /MWh
Coste Inversión	450 €/m ² _apertura 8.488.485 €
Porcentaje Subvención	50%
Coste O&M	2% anual del coste de inversión sin subvención
Precio CO ₂ evitado	20 €/tonelada CO ₂ evitado
Inflación general	1,0 %
Reducción anual producción solar	1,0 %
Periodo Análisis/vida útil instalación	25 años
Rentabilidad del proyecto TIR	15,1%
Payback Simple	6 años
Emisiones de CO ₂ evitadas durante la vida útil	78.085,50 toneladas CO ₂

Comentarios

Otras Instalaciones

Procedimiento de cálculo a utilizar

Simulador del ahorro solar

Caso base: Demanda 500MWh/año

El usuario elige la demanda anual de su proceso y entre las opciones

Localidad
Barcelona
Bilbao
Madrid
Sevilla
Valencia

Proceso
Secado
Carnica
Bebidas
Lacteos
Farmaceutica

Cobertura Solar objetivo
30%
45%
60%
5%

Captador Solar
Captador de AIRE
Captador ETC-CPC
Captador PLANO Estándar
Captador PLANO Gran Formato
CONCENTRADOR CON ETC-CPC

Búsqueda en Resultados (500 simulaciones TRNSYS)

SIM	Localidad	Proceso	Cobertura Solar de la demanda objetivo	Captador	Área Solar [m2]	Producción Específica [kWh/m2.año]
1	Barcelona	Bebidas	0.3	AIRE	2231.21	736.59
2	Barcelona	Bebidas	0.45	AIRE	3592.35	685.25
3	Barcelona	Bebidas	0.6	AIRE	5169.02	611.04
4	Barcelona	Bebidas	0.75	AIRE	7016.80	530.65
5	Barcelona	Carnica	0.3	AIRE	3456.47	13.62
6	Barcelona	Carnica	0.45	AIRE	5184.71	16.56
7	Barcelona	Carnica	0.6	AIRE	6912.94	19.31
8	Barcelona	Carnica	0.75	AIRE	8641.18	21.46
497	Valencia	Secado	0.3	CONCENTRADOR Captador ETC-CPC-CPC	1663.42	921.61
498	Valencia	Secado	0.45	CONCENTRADOR Captador ETC-CPC-CPC	2502.19	910.42
499	Valencia	Secado	0.6	CONCENTRADOR Captador ETC-CPC-CPC	3346.05	894.02
500	Valencia	Secado	0.75	CONCENTRADOR Captador ETC-CPC-CPC	4195.28	870.18

Cálculo: Área solar proporcional a la demanda

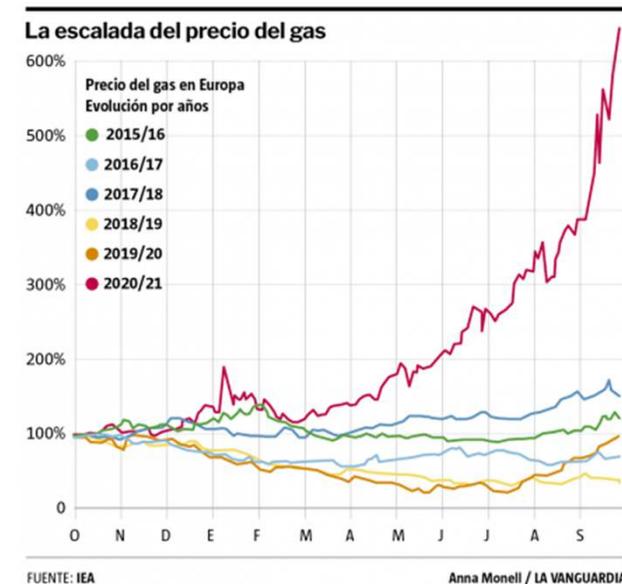
Simulador de Rentabilidad solar

ENTRADAS:

- Combustible sustituido y precio [€/kWh_PCS]+ Ratio PCS/PCI
- Inflación esperada: general y del combustible
- Rendimiento estacional del equipo convencional (s/PCI)
- Tamaño instalación solar (m2)
- Coste de la instalación solar y subvenciones (referencias IDAE/m2)
- Productividad anual de la instalación solar [kWh/m2_año]
- Durabilidad de la instalación solar
- Gasto anual O+M (por m2 y año)
- Impuesto por tonelada de CO2
- Tasa de descuento

SALIDAS:

- TIR de proyecto
- VAN inversión y Coste Energía Solar neta
- Periodo de retorno inversión
- Toneladas de CO2 ahorradas durante la vida útil



¿Preguntas?



Jose.ignacio.ajona@seenso.es